



# ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

## Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας-Διατροφής



«Παρασκευή και ποιοτική  
αξιολόγηση λειτουργικών  
προϊόντων δημητριακών»

Χριστίνα Καρναχωρίτη

### Τριμελής επιτροπή

*Βάιος Καραθάνος, Καθηγητής Φυσικοχημείας και Μηχανικής τροφίμων, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο (επιβλέπων).*

*Γεώργιος Μπόσκου, Επίκουρος Καθηγητής στην Οργάνωση και Διαχείριση Μονάδων Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.*

*Σπυρίδων Παπαδάκης, Καθηγητής στη Συσκευασία τροφίμων, ΤΕΙ Αθήνας.*

**Αθήνα, 2016**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά, τον καθηγητή κ. Βάιο Καραθάνο, επιβλέποντα της πτυχιακής μου μελέτης, για την ευκαιρία που μου έδωσε να μετέχω στην ερευνητική του ομάδα και φυσικά για την υποστήριξη και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και κυρίως κατά την εκπόνηση της πτυχιακής αυτής μελέτης.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Γεώργιο Μπόσκου και κ. Σπυρίδων Παπαδάκη για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσαν και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

Θερμές ευχαριστίες, τέλος, οφείλω στην κ. Ειρήνη Νικολιδάκη, υποψήφια διδάκτορα του Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε, το χρόνο που αφιέρωσε κατά τη διάρκεια της μελέτης καθώς και για την υπομονή, την καλή διάθεση και συνεργασία και κυρίως την υποστήριξή της, ακαδημαϊκή και ηθική.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής μελέτης είναι η παρασκευή και η ποιοτική αξιολόγηση λειτουργικών προϊόντων άρτου στα πλαίσια της ανάπτυξης προϊόντων με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη και πιθανή ωφέλιμη επίδραση στα επίπεδα σακχάρου αίματος και στο λιπιδαιμικό προφίλ. Ύστερα από μία σειρά δοκιμαστικών παραγωγών, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες συνταγές για την παρασκευή προϊόντων με βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά αντάξια ενός προϊόντος υψηλών προδιαγραφών. Σύμφωνα με τις τελικές συνταγές παρασκευάστηκαν τα εξής προϊόντα: i) λευκός άρτος σίτου (δείγμα αναφοράς), (ii) λευκός άρτος σίτου με μαγιά μύρας (0,3-0,7%), (iii) άρτος ολικής σίτου, (iv) άρτος ολικής σίτου με μαγιά μύρας (0,2-0,6%) και (v) άρτος ολικής άλεσης με β-γλυκάνες. Συγκεκριμένα, η διαδικασία παραγωγής περιελάμβανε τα ακόλουθα στάδια: ζύμωμα σε ειδικά ζυμωτήρια της γραμμής παραγωγής σε βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου για τον κάθε τύπο άρτου, τεμαχισμός της ζύμης και ωρίμανση, τοποθέτηση των τεμαχίων σε ειδικές φόρμες, ωρίμανση σε βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας, χρόνου και υγρασίας και τέλος κλιβανισμός των άρτων σε βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου.

Ακολούθησε χημική ανάλυση των μακροθρεπτικών συστατικών των πέντε προϊόντων και οργανοληπτική τους αξιολόγηση με οργανοληπτικές δοκιμές ποιοτικών χαρακτηριστικών και δοκιμές αρέσκειας για την εκτίμηση της αποδοχής των διαφορετικών δειγμάτων άρτου από 15 εκπαιδευμένους δοκιμαστές. Επιπροσθέτως, τα προϊόντα άρτου αξιολογήθηκαν ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες με προσδιορισμό της φαινόμενης και πραγματικής πυκνότητας, αλλά και του πορώδους και ως προς τις θερμικές τους ιδιότητες με τη χρήση της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης. Αναλύθηκαν, ακόμη, τα χαρακτηριστικά της υφής τους με τη δοκιμή της διπλής επαναλαμβανόμενης συμπίεσης και αξιολογήθηκαν ως προς το χρώμα τους με τη μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων με τη χρήση χρωματόμετρου.

Ο άρτος ολικής άλεσης με μαγιά μύρας περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα ολικών διαιτητικών ινών, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυτών και αδιάλυτων ινών παρατηρείται στον άρτο ολικής με β-γλυκάνες και στον άρτο ολικής σίτου, αντίστοιχα. Όσον αφορά το ενεργειακό περιεχόμενο των άρτων, ο λευκός άρτος σίτου με μαγιά μύρας αποδίδει τις περισσότερες θερμίδες και παράλληλα περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα αφομοιώσιμων υδατανθράκων. Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά υφής ο εμπλουτισμένος λευκός άρτος σίτου παρουσίασε τη μικρότερη σκληρότητα, μασητικότητα και κολλητικότητα, ενώ ο άρτος με προσθήκη β-γλυκανών παρουσίασε τις μεγαλύτερες τιμές αυτών των παραμέτρων. Αντιθέτως, η συνεκτικότητα του εμπλουτισμένου λευκού άρτου ήταν μεγαλύτερη και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τα υπόλοιπα δείγματα. Το πορώδες δεν παρουσίασε στατιστικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων, ενώ η χρωματική παράμετρος L και συνεπώς η φωτεινότητα μειώθηκε σημαντικά στα τρία δείγματα άρτου ολικής. Αύξηση της ενθαλπίας παρατηρήθηκε σε όλα τα δείγματα υποδηλώνοντας την ποιοτική τους υποβάθμιση ύστερα από 15 ημέρες, ενώ φαίνεται πως η προσθήκη μαγιάς μύρας και β-γλυκανών μειώνει τον ρυθμό της υποβάθμισης. Σύμφωνα, τέλος, με τα αποτελέσματα των αξιολογούμενων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων άρτου προκύπτει ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στη συνολική εκτίμηση των προϊόντων με εξαίρεση τον άρτο με β-γλυκάνες που έφερε τη μικρότερη βαθμολογία.

## ABSTRACT

The aim of this study is the preparation and the qualitative evaluation of functional bread products within the framework of the development of products with low glycemic index and a possible beneficial effect on blood sugar levels and lipid profile. After a series of test productions, appropriate recipes were chosen to manufacture products with best quality features equal to a product with high quality standards. According to the final recipes the following products were prepared: i) white wheat bread (control), (ii) white wheat bread with beer yeast (0,3-0,7%), (iii) whole wheat bread, (iv) whole wheat bread with beer yeast (0,2-0,6%) and (v) whole wheat bread with b-glucans. Specifically, the production process included the following steps: kneading in special fermenters of the production line in optimal conditions of temperature and time for each bread type, cutting of the dough and fermentation, placement of the pieces in special molds, second fermentation in optimal conditions of temperature, time and moisture and finally baking of the loaves in optimal conditions of temperature and time.

The production was followed by chemical analysis of macronutrients of the five products and organoleptic evaluation with quality and sensory characteristics testing and liking trials to assess the acceptance of different bread samples by 15 trained panelists. Additionally, the bread products were evaluated for their physical properties by determining the apparent and particle density as well as their porosity and for their thermal properties by using differential scanning calorimetry. A texture analysis (TPA – Texture Profile Analysis) of the five samples was conducted and an evaluation of their color by measuring the color parameters using a colorimeter.

The whole wheat bread with beer yeast contains the highest quantity of total dietary fiber, while the highest concentration of soluble and insoluble fiber is observed to the bread with b-glucans and the whole wheat bread, respectively. Regarding the energy content, the white wheat bread with beer yeast provides the most calories and also contains the largest amount of digestible carbohydrates. Regarding the texture features the enriched white wheat bread showed the lowest hardness, chewiness and stickiness, while the bread with added b-glucans showed the highest values of these parameters. In contrast, the consistency of the enriched white bread was greater and statistically different from the other samples. Porosity showed no statistically significant differences between the samples, but the color parameter L, and therefore the brightness was significantly reduced in the three whole wheat bread samples. An increase of enthalpy was observed in all samples suggesting their quality retrogradation after 15 days, while it appears that the addition of beer yeast and b-glucans reduces the rate of retrogradation. Finally, according to the results of the evaluated organoleptic characteristics of bread samples, there was no statistically significant difference in the overall evaluation of the products with the exception of the bread with b-glucans which got the lowest rating.

## Περιεχόμενα

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....                                                                         | 1  |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....                                                                           | 2  |
| ABSTRACT .....                                                                           | 3  |
| ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....                                                                     | 7  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Αρτοποιήση- Λειτουργικά προϊόντα άρτου.....                                  | 7  |
| 1.1 Εισαγωγή.....                                                                        | 7  |
| 1.1.1 Ορισμοί .....                                                                      | 7  |
| 1.1.2 Ιστορική αναδρομή.....                                                             | 9  |
| 1.2 Συστατικά του άρτου και λειτουργίες τους .....                                       | 12 |
| 1.2.1 Άλευρο .....                                                                       | 12 |
| 1.2.2 Νερό .....                                                                         | 29 |
| 1.2.3 Αλάτι .....                                                                        | 30 |
| 1.2.4 Διογκωτικά μέσα .....                                                              | 30 |
| 1.2.5 Λοιπά υλικά .....                                                                  | 33 |
| 1.3 Τα στάδια της αρτοποιήσης .....                                                      | 36 |
| 1.4 Βασικά είδη άρτου.....                                                               | 39 |
| 1.5 Λειτουργικά προϊόντα άρτου .....                                                     | 41 |
| 1.5.1 Εισαγωγή.....                                                                      | 41 |
| 1.5.2 Άρτος χωρίς γλουτένη (gluten-free) .....                                           | 42 |
| 1.5.3 Άρτος με προσθήκη φυτικών ινών .....                                               | 44 |
| 1.5.4 Άρτος με χαμηλή ή καθόλου προσθήκη αλατιού .....                                   | 47 |
| 1.5.5 Άλλα λειτουργικά προϊόντα άρτου (εμπλουτισμός ή αντικατάσταση<br>συστατικού) ..... | 48 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ποιοτική υποβάθμιση του άρτου.....                                           | 49 |
| 2.1 Εισαγωγή.....                                                                        | 49 |
| 2.2 Σταθερότητα του άρτου .....                                                          | 51 |
| 2.3 Μοριακή κινητικότητα και διεργασίες μεταφοράς .....                                  | 52 |
| 2.4 Μεταβολή της υφής.....                                                               | 53 |
| 2.6 Παράγοντες που αναστέλλουν το μπαγιάτεμα (anti-staling agents).....                  | 54 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ποιοτική αξιολόγηση του άρτου .....                                          | 56 |
| 3.1 Χημική ανάλυση μακροθρεπτικών συστατικών .....                                       | 56 |
| 3.1.1 Προσδιορισμός της υγρασίας .....                                                   | 56 |
| 3.1.2 Προσδιορισμός της τέφρας.....                                                      | 57 |
| 3.1.3 Προσδιορισμός του αζώτου ολικών πρωτεϊνών.....                                     | 58 |

|                                                           |                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1.4                                                     | Εκχύλιση των ολικών λιποειδών .....                           | 59  |
| 3.1.5                                                     | Προσδιορισμός των ακατέργαστων φυτικών ινών .....             | 61  |
| 3.2                                                       | Προσδιορισμός φυσικών ιδιοτήτων .....                         | 62  |
| 3.3                                                       | Ανάλυση των χαρακτηριστικών υφής .....                        | 64  |
| 3.3.1                                                     | Καταστρεπτικές μέθοδοι .....                                  | 65  |
| 3.3.2                                                     | Μη καταστρεπτικές μέθοδοι.....                                | 67  |
| 3.3.3                                                     | Χαρακτηριστικές μηχανικές ιδιότητες.....                      | 67  |
| 3.4                                                       | Αξιολόγηση του χρώματος.....                                  | 69  |
| 3.5                                                       | Μελέτη των θερμικών ιδιοτήτων.....                            | 72  |
| 3.5.1                                                     | Εισαγωγή.....                                                 | 72  |
| 3.5.2                                                     | Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC) .....                   | 73  |
| 3.6                                                       | Αξιολόγηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.....                | 75  |
| 3.6.1                                                     | Γενικά .....                                                  | 75  |
| 3.6.2                                                     | Δοκιμές διαφοροποίησης .....                                  | 76  |
| 3.6.3                                                     | Περιγραφικές δοκιμές .....                                    | 77  |
| 3.6.4                                                     | Συναισθηματικές μέθοδοι .....                                 | 78  |
| 3.6.5                                                     | Διεξαγωγή του οργανοληπτικού ελέγχου.....                     | 78  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σκοπός .....                                  |                                                               | 79  |
| ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....                                    |                                                               | 81  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Μεθοδολογία.....                              |                                                               | 82  |
| 5.1                                                       | Παρασκευή άρτων .....                                         | 82  |
| 5.1.1                                                     | Διαδικασία παραγωγής .....                                    | 83  |
| 5.2                                                       | Χημική ανάλυση μακροθρεπτικών συστατικών .....                | 85  |
| 5.2.1                                                     | Προσδιορισμός της υγρασίας των δειγμάτων.....                 | 85  |
| 5.2.2                                                     | Προσδιορισμός της τέφρας των δειγμάτων .....                  | 86  |
| 5.2.3                                                     | Προσδιορισμός αζώτου ολικών πρωτεϊνών- Μέθοδος Kjeldahl ..... | 87  |
| 5.2.4                                                     | Εκχύλιση ολικών λιποειδών- Μέθοδος Soxhlet.....               | 89  |
| 5.2.5                                                     | Προσδιορισμός λοιπών συστατικών των δειγμάτων .....           | 91  |
| 5.3                                                       | Ανάλυση των χαρακτηριστικών υφής των δειγμάτων .....          | 93  |
| 5.4                                                       | Προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων των δειγμάτων.....        | 95  |
| 5.5                                                       | Αξιολόγηση του χρώματος των δειγμάτων.....                    | 97  |
| 5.6                                                       | Προσδιορισμός των θερμικών ιδιοτήτων των δειγμάτων.....       | 98  |
| 5.7                                                       | Οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων.....                      | 99  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Αποτελέσματα και συζήτηση αποτελεσμάτων ..... |                                                               | 101 |
| 6.1                                                       | Χημική ανάλυση μακροθρεπτικών συστατικών .....                | 101 |
| 6.2                                                       | Ανάλυση των χαρακτηριστικών υφής .....                        | 103 |

|     |                                           |     |
|-----|-------------------------------------------|-----|
| 6.3 | Προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων.....  | 106 |
| 6.4 | Αξιολόγηση του χρώματος.....              | 107 |
| 6.5 | Προσδιορισμός των θερμικών ιδιοτήτων..... | 108 |
| 6.6 | Οργανοληπτική εξέταση .....               | 110 |
|     | .....                                     | 113 |
|     | .....                                     | 113 |
|     | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....                            | 114 |
|     | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                         | 117 |
|     | Ελληνόγλωσση.....                         | 117 |
|     | Ξενόγλωσση .....                          | 117 |

## **ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Αρτοποιία- Λειτουργικά προϊόντα άρτου**

#### **1.1 Εισαγωγή**

##### **1.1.1 Ορισμοί**

Ο κώδικας τροφίμων, ποτών και αντικειμένων κοινής χρήσης στο άρθρο 111 (έκδοση 2<sup>η</sup>, Απρίλιος 2014) ορίζει ως άρτο, χωρίς άλλη ένδειξη, το προϊόν που παρασκευάζεται με ψήσιμο σε ειδικούς κλιβάνους, σε καθορισμένες συνθήκες μάζας αποτελούμενης από άλευρο σίτου, νερό, ζύμη και μικρή ποσότητα άλατος. Οι πρώτες ύλες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του άρτου που διατίθεται για κατανάλωση πρέπει να πληρούν τους όρους και τις διατάξεις του Κώδικα. Τα άλευρα, συγκεκριμένα, πρέπει να υπόκεινται στους τύπους και τις κατηγορίες που αναφέρονται στο Κεφάλαιο «XII. Δημητριακά – Προϊόντα εξ αυτών» του Κώδικα καθώς και να επιλέγονται σύμφωνα με τις εκάστοτε Αγορανομικές Διατάξεις. Σε περίπτωση που για την παρασκευή άρτου χρησιμοποιήθηκε άλευρο άλλου δημητριακού ή μίγμα αλεύρων δημητριακών, πρέπει ο άρτος αυτός να φέρει την ονομασία των δημητριακών αυτών, όπως για παράδειγμα άρτος σίτου με σίκαλη. Επιπρόσθετα, επιτρέπεται η παρασκευή και διάθεση στην κατανάλωση ειδικών κατηγοριών άρτου (special) οι οποίοι παρασκευάζονται από άλευρα οποιουδήποτε τύπου ή κατηγορίας, από σίτο ή άλλα δημητριακά αμιγή ή μίγματα, με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων ζάχαρης ή άλλων φυσικών γλυκαντικών ουσιών, λιπαρών υλών, γάλακτος, αυγών, αρτυματικών υλών, επιτρεπόμενων βελτιωτικών κ.ά. με τη διάθεσή τους να ρυθμίζεται από τις σχετικές Αγορανομικές Διατάξεις [1].

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της Μεγάλης Βρετανίας (1998) για τους άρτους και τα άλευρα, ο άρτος ορίζεται ως το τρόφιμο οποιουδήποτε μεγέθους, σχήματος ή μορφής που παρασκευάζεται από ζυμάρι το οποίο αποτελείται από αλεύρι και νερό με ή χωρίς την προσθήκη άλλων συστατικών και έχει υποστεί ζύμωση ή έχει χρησιμοποιηθεί προζύμι και στη συνέχεια έχει ψηθεί πλήρως ή μερικώς. Ο όρος δεν περιλαμβάνει τα κουλούρια, την τσιαπάτα, το ψωμί cholla (είδος άρτου εβραϊκής προέλευσης), τα είδη άρτου τύπου pitta όπως η αραβική, τα είδη άρτου που παρασκευάζονται με κύριο συστατικό την πατάτα και τα είδη άρτου που παρασκευάζονται για ασθενείς με εντεροπάθεια από δυσανεξία στη γλουτένη [1].



Επιπροσθέτως, ο αμερικανικός οργανισμός Food and Drug Administration (FDA) ορίζει ως άρτο, λευκό άρτο, και αρτίσκο, λευκό αρτίσκο ή κουλούρι και λευκό κουλούρι, τα τρόφιμα που παράγονται από το ψήσιμο ζυμαριού με μαγιά το οποίο παρασκευάστηκε με ένα ή περισσότερα από τα είδη αλεύρου που αναγράφονται στην παράγραφο (1) και ένα ή περισσότερα από τα συστατικά ύγρανσης των παραγράφων (2), (6), (7) και (8) καθώς και ένα ή περισσότερα από τα διογκωτικά μέσα της παραγράφου (3). Τα τρόφιμα αυτά μπορεί να περιέχουν επιπρόσθετα υλικά από αυτά που αναφέρονται παρακάτω. Κάθε έτοιμο προϊόν δε θα πρέπει να περιέχει λιγότερο από το 62 τοις εκατό του συνόλου σε στερεά συστατικά, όπως καθορίζεται από τη μέθοδο που περιγράφεται στην παράγραφο (18) και όλα τα συστατικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι κατάλληλα και ασφαλή.

- (1) Αλεύρι, βρωμιωμένο άλευρο, φωσφατωμένο άλευρο ή συνδυασμός δύο ή περισσότερων από αυτά.
- (2) Νερό.
- (3) Μαγιά-κάθε τύπος που οδηγεί στο απαραίτητο φούσκωμα.
- (4) Αλάτι.
- (5) Λιπαρή ύλη όπως λεκιθίνη, υδροξυλιωμένη λεκιθίνη, μονο- και διγλυκερίδια λιπαρών οξέων, εστέρες διακετυλο-ταρταρικού οξέος με μονο- και διγλυκερίδια λιπαρών οξέων κ.ά.: μία ή συνδυασμός δύο ή περισσότερων.
- (6) Γάλα και/ή άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα σε ποσότητα και σύνθεση που διαφέρουν από τις απαιτήσεις για το γάλα και/ή τα γαλακτοκομικά προϊόντα με τα οποία παρασκευάζεται ο άρτος με βασικό συστατικό το γάλα (milk bread).
- (7) Αυγό και προϊόντα αυτού.
- (8) Θρεπτικές υδατανθρακούχες γλυκαντικές ύλες.
- (9) Παρασκευάσματα με ενζυμική δραστηριότητα.
- (10) Οξυγαλακτικά βακτήρια.
- (11) Μη σιτηρούχα άλευρα, μη σιτηρούχοι κόκκοι, άμυλα σιταριού και μη, οποιοδήποτε από τα οποία μπορεί να είναι εξ ολοκλήρου ή εν μέρει δεξτρινοποιημένα, δεξτρινοποιημένο αλεύρι σίτου, ή οποιοσδήποτε συνδυασμός 2 ή περισσότερων από αυτά, εάν η συνολική ποσότητα δεν είναι περισσότερη από 3 μέρη για κάθε 100 μέρη του βάρους του αλευριού που χρησιμοποιείται.
- (12) Αλεσμένη και αποφλοιωμένη σόγια η οποία μπορεί να έχει υποστεί θερμική επεξεργασία προκειμένου να αφαιρεθούν τα έλαια, αλλά, να διατηρηθεί η ενζυμική δραστηριότητα εάν η ποσότητά της δε ξεπερνά τα 0,5 μέρη για κάθε 100 μέρη του βάρους του αλευριού που χρησιμοποιείται.

(13) Θρεπτικές ουσίες ζύμης και άλατα ασβεστίου, εάν η συνολική ποσότητα των συστατικών αυτών, με εξαίρεση το φωσφορικό μονocalcium και το προπιονικό ασβέστιο, δε ξεπερνά τα 0,25 μέρη για κάθε 100 μέρη του βάρους του αλευριού που χρησιμοποιείται.

(i) Βρωμικό κάλιο, βρωμικό ασβέστιο, ιωδικό κάλιο, ιωδικό ασβέστιο, υπεροξείδιο ασβεστίου, ή οποιοσδήποτε συνδυασμός 2 ή περισσότερων από αυτά, εάν η συνολική ποσότητα, περιλαμβανομένου του βρωμικού καλίου, σε οποιαδήποτε βρωμιωμένο άλευρο που χρησιμοποιείται δεν είναι μεγαλύτερη από 0,0075 μέρη για κάθε 100 μέρη του βάρους του αλευριού που χρησιμοποιείται. (ii) Αζωδικαρθοναμίδιο, εάν η συνολική ποσότητα, συμπεριλαμβανομένης οποιασδήποτε ποσότητας στο αλεύρι που χρησιμοποιείται, δεν είναι μεγαλύτερη από 0,0045 μέρη για κάθε 100 μέρη του βάρους του αλευριού που χρησιμοποιείται.

(14) Βελτιωτικά και ενισχυτικά ζύμης εάν η συνολική ποσότητα ενός ή συνδυασμού αυτών δε ξεπερνά τα 0,5 μέρη για κάθε 100 μέρη του βάρους του αλευριού που χρησιμοποιείται.

(15) Μπαχαρικά, έλαια και εκχυλίσματα μπαχαρικών.

(16) Χρωστικές δε μπορούν να προστεθούν ως έχει ή ως μέρος κάποιου άλλου συστατικού εκτός αν αποτελούν μέρος των συστατικών της παραγράφου (15) και του βουτύρου ή της μαργαρίνης.

(17) Άλλα συστατικά που δεν αλλάζουν τη βασική ταυτότητα ή δεν επηρεάζουν δυσμενώς τα φυσικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου.

(18) Το σύνολο των στερεών προσδιορίζεται από τη μέθοδο που περιγράφεται στη 13<sup>η</sup> έκδοση του "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists". Εάν το ψημένο προϊόν ζυγίζει 454 g ή περισσότερο χρησιμοποιείται ολόκληρο για τον προσδιορισμό, ενώ εάν ζυγίζει λιγότερο από 454 g χρησιμοποιούνται τόσα προϊόντα ώστε να ζυγίζουν 454 g ή περισσότερο στο σύνολο τους.

### **1.1.2 Ιστορική αναδρομή**

Ο άρτος αποτελεί ένα από τα βασικότερα συστατικά της διατροφής των περισσότερων λαών της Ευρώπης, της Αμερικής, της Μέσης Ανατολής καθώς και της Βόρειας Αφρικής και αναφέρεται συχνά ως η ουσία της ζωής. Η προέλευση του όρου είναι αμφίβολη και πιθανά περσική, ενώ, ο σύγχρονος όρος «ψωμί» προέρχεται από το αρχαίο

ρήμα ψώω που σημαίνει τρίβω και αποτελεί υποκοριστικό του ψώμους (→ψώμιον= μικρό κομματάκι, μπουκιά). Η ιστορία του αρχίζει χιλιάδες χρόνια πριν και ξεδιπλώνεται στο βάθος των αιώνων.

Το πρώτο είδος άρτου παρασκευάστηκε τυχαία ή πιθανόν ύστερα από πειραματισμούς κατά την προϊστορική περίοδο. Η επικρατέστερη εκδοχή αναφέρεται σε μία ψημένη μορφή χυλού σιταριού που προέκυψε από την ανάμειξη καβουρδισμένων και αλεσμένων δημητριακών με νερό. Αναμφίβολα, το πρώτο αυτό ψωμί ήταν άζυμο χωρίς προσθήκη μαγιάς και τα αρχικά αυτά flatbreads παρασκευάζονται μέχρι σήμερα αποτελώντας σημαντικό στοιχείο της κουζίνας πολλών χωρών όπως η μεξικανική τορτίγια, το ινδικό ναν, η ελληνική πίτα κ.ά. Από τα πρώτα ακόμη παρασκευάσματα αναγνωρίστηκε η σημασία των δημητριακών και του άρτου, ο οποίος αν και διατροφικά κατώτερος από το κυνήγι, έδωσε τη δυνατότητα στις κοινωνίες να συντηρήσουν μεγαλύτερους πληθυσμούς.

Το πρώτο ζύμωμα και, επομένως, ο πρώτος άρτος σε μορφή παρόμοια με τη σημερινή εντοπίζεται στην Αίγυπτο με μερικούς από τους παλαιότερους παπύρους που διασώζονται να αναγράφουν οδηγίες για τη διαδικασία παρασκευής άρτου. Ένα άλλο διασωθέν έγγραφο φαίνεται να αποτελεί απάντηση σε κάποιον υπεύθυνο, καθώς, αναφέρει πως η καθυστέρηση της κατασκευής των πυραμίδων οφείλεται στην ανεπαρκή παροχή ψωμιού και μύρας στους εργάτες. Αξίζει να σημειωθεί πως η καλλιέργεια του σιταριού ξεκίνησε στη Μεσοποταμία (σημερινή περιοχή του Ιράκ) και σύντομα εξαπλώθηκε από τη Μέση Ανατολή σε όλη την Ευρώπη. Μέσω της αποικιοκρατίας, σπόροι μεταφέρθηκαν στην Αμερική και, τέλος, στον Καναδά και την Αυστραλία.

Ο άρτος ήταν ευρύτατα γνωστός και στην Αρχαία Ελλάδα όπου ο τελετουργικός άρτος psadista παρασκευάζονταν από αλεύρι, λάδι και κρασί και προσφέρονταν στους θεούς. Επιπροσθέτως, επικρατούσε η παρασκευή άρτου από κριθάρι αφού ο Σόλων διακήρυξε πως το σταρένιο ψωμί μπορεί να παρασκευάζεται μόνο σε γιορτινές ημέρες. Στην αρχαιότητα εντοπίζεται και η πρώτη μορφή προζυμιού: μούστος αναμεμιγμένος με αλεύρι ή πίτουρο σταριού μουσκεμένο σε κρασί, αλλά και ο πρώτος επιδαπέδιος φούρνος με πόρτα, ο οποίος μπορούσε να προθερμανθεί. Αναφορές στον άρτο γίνονται από πολλούς σημαντικούς ιστορικούς και συγγραφείς όπως ο Ησίοδος, ο Όμηρος, ο Ηρόδοτος κ.ά. Ο Πλάτωνας αναφέρεται μάλιστα και σε ένα φημισμένο αρτοκόπο, τον Θεαρίωνα, ενώ στον αρχαίο ελληνικό πολιτισμό οι λαοί που ασχολούνταν με την καλλιέργεια, τη σπορά και το θερισμό γνωστοί και ως σιτοφάγοι θεωρούνταν πιο πολιτισμένοι σε σχέση με τους λαούς που επιδίδονταν στο κυνήγι. Ήδη από εκείνη την εποχή αναγνωρίζονταν η σπουδαιότητα του άρτου γεγονός που αντανάκλωνε στον όρο ὄψον (=προσφάγι δηλαδή το φαγητό που τρώει κάποιος μαζί με το ψωμί ως

συμπλήρωμά του) που χρησιμοποιούνταν για το υπόλοιπο γεύμα. Από τον 5<sup>ο</sup> αι. π.Χ. οι Αθηναίοι μπορούσαν να αγοράσουν ψωμί από αρτοποιείο, ενώ, στη Ρώμη εμφανίστηκαν το 2<sup>ο</sup> αι. π.Χ. Οι Ρωμαίοι ήταν και αυτοί που δημιούργησαν τους πρώτους φούρνους στη βιοτεχνική τους μορφή.

Κατά τον Μεσαίωνα, ο άρτος εκτός από αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής χρησιμοποιούνταν και για το σερβίρισμα. Μπαγιάτικο ψωμί, συνήθως 15×10 εκ., χρησιμοποιούνταν ως ένα είδος πιάτου που στη συνέχεια μπορούσε να φαγωθεί, να δοθεί σε κάποιο φτωχό ή να χρησιμοποιηθεί ως τροφή για τα σκυλιά.

Ο άρτος χρησιμοποιήθηκε και ως σύμβολο σε πολλές θρησκείες, αλλά και από καθεστώτα, όπως οι αρχαίοι Ρωμαίοι στο Κολοσσαίο οι οποίοι προσέφεραν μεγάλες ποσότητες φρεσκοψημένων καρβελιών στους θεατές των αγώνων στις αρένες (panem et circenses: άρτον και θεάματα). Φαίνεται να συσχετίζεται και με σελίδες της παγκόσμιας ιστορίας καθώς λέγεται ότι η Γαλλική Επανάσταση (1789) ξεκίνησε όταν πεινασμένα πλήθη Γάλλων πολιτών εισέβαλλαν στη Βαστίλη όπου πιστεύαν ότι είχαν αποθηκευτεί ποσότητες σιτηρών λόγω της μεγάλης έλλειψης που εμφανιζόταν στην αγορά καθιστώντας το ψωμί πανάκριβο για τους φτωχούς.

Η Βιομηχανική Επανάσταση (18<sup>ος</sup>-19<sup>ος</sup> αι.) επέφερε ραγδαίες τεχνολογικές ανακαλύψεις και σημαντικές αλλαγές στην αρτοποιία. Στη Μεγάλη Βρετανία η εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων σιτηρών από την Αμερική κατέστησε αναγκαία τη δημιουργία ισχυρότερων μύλων από τους νερόμυλους και τους ανεμόμυλους οι οποίοι δε μπορούσαν να αλέσουν αποτελεσματικά το σκληρό εισαγόμενο σιτάρι. Η λύση δόθηκε από έναν Ούγγρο εφευρέτη με την κατασκευή των κυλινδρόμυλων που άλεθαν το σκληρό σιτάρι και μάλιστα παρήγαγαν λευκότερο αλεύρι. Το 1939 η κυβέρνηση της Μ. Βρετανίας αποφάσισε να περιορίσει την εισαγωγή σιτηρών και να ενισχύσει την τοπική καλλιέργεια. Μελετήθηκαν έτσι και ανακαλύφθηκαν νέες ποικιλίες σταριού που υπόσχονταν την παράγωγή ψωμιού καλής ποιότητας. Ύστερα, η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινωνία (EEC), γνωστή σήμερα ως Ευρωπαϊκή Ένωση, απαγόρευσε την εισαγωγή δημητριακών από χώρες εκτός της EEC εφόσον ήταν δυνατή αντίστοιχη καλλιέργεια σε περιοχή της EEC [1].

Παράλληλα, το 1928 κατασκευάστηκε η πρώτη μηχανή που έκοβε το ψωμί σε φέτες αλλά και το τύλιγε ώστε να το προστατέψει από το μπαγιάτεμα. Κατασκευάστηκαν σταδιακά και τα μηχανικά ζυμωτήρια που οδήγησαν σε σημαντική μείωση του χρόνου ζυμώματος λόγω της μηχανικής δύναμης. Ο χρόνος που απαιτείται για την παρασκευή ενός ψωμιού έχει μειωθεί ακόμη περισσότερο ύστερα από τη χρήση πρόσθετων χημικών όπως το βρωμικό κάλιο, η L-κυστεΐνη κ.ά. Μάλιστα, η επιστήμη της χημείας και η χρήση πρόσθετων στη βιομηχανία του άρτου καθιστά, εκτός των άλλων, δυνατή την

παρασκευή «απομίμησης» ψωμιού με προζύμι. Τέλος, μία από τις σημαντικότερες αλλαγές στην ιστορία του άρτου είναι η αναγνώριση της διατροφικής αξίας του ψωμιού ολικής άλεσης το οποίο για αιώνες αποτελούσε το ψωμί των φτωχών.

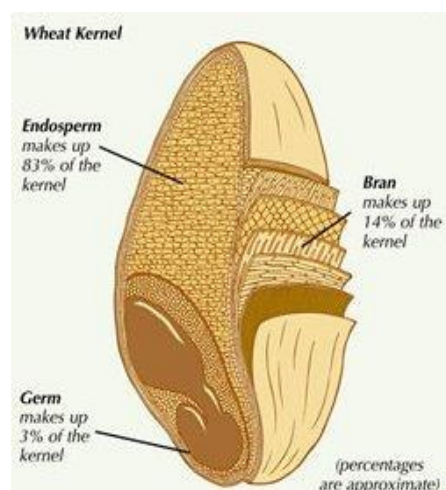
## 1.2 Συστατικά του άρτου και λειτουργίες τους

### 1.2.1 Άλευρο

#### 1.2.1.1 Σιτηρά και άλεση

Το αλεύρι συνιστά το κύριο υλικό κατά την παρασκευή του άρτου και οι ιδιότητές του εξαρτώνται σημαντικά από τις ιδιότητες των σιτηρών από τα οποία έχει παραχθεί. Τα σιτηρά είναι οι σπόροι των καλλιεργειών των δημητριακών, όπως σιτάρι, σίκαλη, ρύζι, βρώμη, καλαμπόκι και κριθάρι. Πριν από την ανάπτυξη της βιομηχανίας και την εξέλιξη των μηχανημάτων καταναλώνονταν ολόκληροι. Σήμερα, η ανάπτυξη της τεχνικής του αλέσματος και της επεξεργασίας των σιτηρών καθιστά δυνατή την επεξεργασία των σπόρων δηλαδή το διαχωρισμό και την αφαίρεση του πίτουρου και του φύτρου με αποτέλεσμα την παραγωγή αλεύρου με κύριο συστατικό το αμυλούχο ενδοσπέρμιο.

Ο σπόρος ή, αλλιώς, πυρήνας ενός δημητριακού (π.χ. το σιτάρι) διαμορφώνεται, όπως φαίνεται και στην εικόνα, από το ενδοσπέρμιο ή endosperm που αποτελείται κυρίως από άμυλο και πρωτεΐνες, το φύτρο ή germ που αποτελείται κυρίως από λιπίδια και πρωτεΐνες και, τέλος, το πίτουρο ή bran με κύριο συστατικό τις φυτικές ίνες [2]. Ειδικότερα:



➤ Το ενδοσπέρμιο/endosperm (80 – 85% του πυρήνα) συνιστά τροφοδότη για το φύτρο, παρέχοντάς του την απαραίτητη ενέργεια. Καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του πυρήνα και περιέχει αμυλούχους υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, και σε μικρότερη αναλογία φυτικές ίνες, βιταμίνες του συμπλέγματος Β και Ε, σελήνιο και ιχνοστοιχεία [3].

➤ Το φύτρο/germ (περίπου 3% του πυρήνα) αποτελεί το έμβρυο, από το οποίο θα προκύψει το καινούριο φυτό όταν βρεθεί υπό κατάλληλες συνθήκες. Περιέχει απαραίτητα ακόρεστα λιπαρά οξέα,

βιταμίνες του συμπλέγματος B, βιταμίνη E, σελήνιο και άλλα αντιοξειδωτικά, φυτοστερόλες και άλλες βιοδραστικές ενώσεις.

- Το πίτουρο/bran (12-17% του πυρήνα) είναι το πολυεπίπεδο εξωτερικό περίβλημα του καρπού, που μαζί με το φλοιό, προστατεύει το εσωτερικό του καρπού (ενδοσπέρμιο και φύτρο) από την ηλιακή ακτινοβολία, τα έντομα και το νερό. Περιέχει φυτικές ίνες, μεταλλικά στοιχεία όπως σίδηρο, ψευδάργυρο, χαλκό και μαγνήσιο αλλά και βιταμίνες του συμπλέγματος B, βιταμίνη E καθώς και βιοδραστικές ενώσεις. Οι τελευταίες είναι κυρίως τα φλαβονοειδή και τα καροτενοειδή, τα οποία μαζί με τις φυτικές ίνες φαίνεται να είναι υπεύθυνες για τα οφέλη των δημητριακών ολικής άλεσης στον οργανισμό [4, 5].

Τα τρία αυτά τμήματα του πυρήνα του σιτηρού διαχωρίζονται κατά την άλεση και την διαδικασία εξευγενισμού, διαδικασίες που παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες. Η διαδικασία του αλέσματος μετατρέπει το ενδοσπέρμιο του σπόρου του δημητριακού σε αλεύρι με ταυτόχρονη διαλογή του φύτρου (germ) και πίτουρου (bran) του σπόρου. Το ραφινάρισμένο αλεύρι χρησιμοποιείται περισσότερο στην αρτοποιητική λόγω της μαλακής υφής που προσδίδει στα προϊόντα, αλλά τόσο το πίτουρο όσο και το φύτρο έχουν σημαντικά θρεπτικά συστατικά που χάνονται κατά την επεξεργασία [6].

Τα βήματα της άλεσης είναι τα εξής:

- Καθαρισμός και ενυδάτωση: μαγνήτες, ανιχνευτές μετάλλων και άλλα μηχανήματα ανιχνεύουν και εξάγουν μεταλλικά αντικείμενα, γαιώδεις προσμίξεις, ακαθαρσίες, καθώς και άλλους σπόρους, όπως κριθάρι, βρώμη και μικρούς σπόρους από τον κόκκο σιταριού. Ρεύματα αέρα ανασηκώνουν τη σκόνη και το άχυρο. Ακολουθεί η διεργασία του «κοντισιωναρίσματος» δηλαδή της ενυδάτωσης των σπόρων. Οι σπόροι εμβαπτίζονται σε νερό το οποίο θερμαίνεται (έως 65 °C) διευκολύνοντας την είσοδό του στους σπόρους του σιτηρού. Η ενυδάτωση είναι απαραίτητη ώστε να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά ο διαχωρισμός του πίτυρου από το ενδοσπέρμιο. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς το πίτουρο σκληραίνει, ενώ το ενδοσπέρμιο μαλακώνει με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η άλεση του πρώτου και να ευνοείται η άλεση του δεύτερου. Αξίζει να σημειωθεί πως ο βαθμός ενυδάτωσης του σιτηρού είναι καίριας σημασίας. Υψηλός βαθμός ενυδάτωσης καθιστά δυσκολότερο το διαχωρισμό των τμημάτων του σπόρου και μετέπειτα μειώνει την απόδοση της θερμικής κατεργασίας του αλεύρου και την αποτελεσματικότητα του κοσκινίσματος.

Χαμηλός βαθμός ενυδάτωσης έχει ως αποτέλεσμα την άλεση και του πίτουρου και, συνεπώς την επιμόλυνση του λευκού αλεύρου.

- “Gristing”: το καθαρισμένο και ενυδατωμένο σιτάρι αναμειγνύεται με άλλους τύπους σιταριού προκειμένου να δημιουργηθούν τα διάφορα είδη αλεύρου. Μερικές φορές σε αυτό το στάδιο προστίθεται και γλουτένη για να αυξηθεί το πρωτεϊνικό περιεχόμενο του αλεύρου.
- Άλεσμα και κοσκίνισμα: οι σπόροι περνούν από τους σιδερένιους περιστρεφόμενους κυλίνδρους άλεσης. Οι κύλινδροι ρυθμίζονται (ταχύτητα περιστροφής) ανάλογα με το προϊόν που πρόκειται να παραχθεί και, παράλληλα, επιλέγεται και το μέγεθός τους. Η πίεση και οι διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στους κόκκους οδηγούν στη μείωση του μεγέθους τους μέχρι το σχηματισμό σωματιδίων που, στη συνέχεια, διαχωρίζονται με τη βοήθεια κόσκινων ποικίλων διαμέτρων [7,8].
- Τελικός διαχωρισμός: πραγματοποιείται με βάση το μέγεθος ή τη διάμετρο των σωματιδίων. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η παραλαβή αλεύρου, φύτρου και πίτουρου ξεχωριστά. Το αλεύρι σικάλεως προκύπτει από την ανάμιξη λευκού αλεύρου με ένα μέρος πίτουρου και φύτρου, ενώ για το αλεύρι ολικής άλεσης όλα τα επιμέρους συστατικά που αρχικά διαχωρίστηκαν, αναμειγνύονται ξανά. Ο διαχωρισμός των αλεύρων επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα αρτοποιήσης που εξαρτάται και από την ποικιλία του σιτηρού. Τέλος, η ποιότητα εξαρτάται από την προέλευση του αλεσμένου προϊόντος: το εσωτερικό ή το εξωτερικό τμήμα του ενδοσπερμίου [9].

Η χημική σύσταση των αλεύρων εξαρτάται από το βαθμό άλεσης. Με αύξηση του βαθμού άλεσης ελαττώνεται το ποσοστό του αμύλου και αυξάνονται τα συστατικά που υπάρχουν στον φλοιό (ανόργανα συστατικά, αδιάλυτες ίνες, βιταμίνες). Τα προϊόντα που προκύπτουν από ένα σύστημα άλεσης είναι:

- I. Οι **ακαθαρσίες του σιταριού** (1-3% επί του συνόλου) που προκύπτουν από το κοσκίνισμα πριν γίνει η σύνθλιψη των σπόρων και προορίζονται για ζωοτροφές.*
- II. Το **αλεύρι I** (60-65% επί του συνόλου) που προορίζεται για την αρτοποιία.*
- III. Το **αλεύρι II** (10-17% επί του συνόλου) που προορίζεται για τη βιομηχανία.*
- IV. Η **φαρίνα** (3-8% επί του συνόλου) που προορίζεται για προϊόντα πρωινού.*
- V. Το **σιμιγδάλι** (65-67% επί του συνόλου) που προκύπτει από την άλεση του σκληρού σίτου και προορίζεται για την παρασκευή ζυμαρικών.*

- VI. Το **πίτουρο** (22-25% επί του συνόλου) που αποτελείται από το περικάρπιο, τη στοιβάδα αλευρόνης, και ένα μέρος του ενδοσπερμίου, έχει υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και προορίζεται κυρίως για ζωοτροφές.
- VII. Το **φύτρο** (0,2-0,5% επί του συνόλου) που προορίζεται για τρόφιμα, αλλά και καλλυντικά προϊόντα [9,10].

### 1.2.1.2 Σιτάλευρο

Το σιτάρι, και το άλευρό του, αποτελεί το κύριο συστατικό της αρτοποιίας και στην καλλιέργειά του στηρίζεται ο δυτικός πολιτισμός καθώς κατέχει τη δεύτερη θέση στην καλλιέργεια δημητριακών παγκοσμίως με την ετήσια παραγωγή να αγγίζει τους 540-580 εκατομμύρια τόνους. Χρησιμοποιείται σε όλες του τις μορφές από ολόκληρο σπόρο έως αλεσμένο και κοσκινισμένο. Το σιτάρι, ανεξάρτητα από τον τύπο του, ανήκει στο γένος *Triticum* της οικογένειας Gramineae με την πλειονότητα του σιταριού που προορίζεται για τροφή να κατηγοριοποιείται σε δύο κύρια είδη: *Triticum aestivum* και *Triticum durum*. Το πρώτο είδος περιλαμβάνει σιτάρια που διακρίνονται σε σκληρά και μαλακά, ανάλογα με την δύναμη που απαιτείται για τη σύνθλιψη των πυρήνων. Το σκληρό σιτάρι έχει υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο και το αντίστοιχο άλευρο χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή άρτου και των κατηγοριών του, κρουασάν, ντόνατ κ.ά και γενικότερα προϊόντων στα οποία η μαγιά αποτελεί το διογκωτικό μέσο. Από την άλλη πλευρά, το μαλακό σιτάρι έχει χαμηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο και το αντίστοιχο άλευρο αξιοποιείται κατά κύριο λόγο για παρασκευάσματα ζαχαροπλαστικής όπως κέικ, μπισκότα κ.ά. Βέβαια, αρκετές φορές ο όρος μαλακό σιτάρι ταυτίζεται με το είδος *Triticum aestivum* και δεν αναφέρεται μόνο στο σιτάρι που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ψωμιού, ενώ ο όρος σκληρό σιτάρι ταυτίζεται με το είδος *Triticum durum* και αποτελεί την πρώτη επιλογή για την παραγωγή ζυμαρικών. Ακόμη, για εμπορικούς λόγους το σιτάρι εκτός από μαλακό και σκληρό, κατατάσσεται σε κόκκινο ή λευκό και θερινό ή χειμερινό. Ο τελευταίος χαρακτηρισμός οφείλεται στο γεγονός ότι η ποιότητα του σιταριού επηρεάζεται σημαντικά από τον καιρό και γενικά το κλίμα. Η αρτοποιητική ικανότητα του σιταριού, ακόμη, επηρεάζεται έντονα από την καλλιεργούμενη ποικιλία, τον τόπο καλλιέργειας και φυσικά από τις συνθήκες συγκομιδής και τη διάρκεια της αποθήκευσης [1,11,12].

Το σιτάρι είναι το μοναδικό δημητριακό του οποίου το άλευρο έχει την ικανότητα να σχηματίζει ζυμάρι όταν έρθει σε επαφή με το νερό με αποτέλεσμα το σιτάλευρο να έχει την αποκλειστική ιδιότητα να διαμορφώνει τη δομή και την εμφάνιση των προϊόντων αρτοποιίας [11]. Το αλεύρι συνίσταται από πρωτεΐνες, άμυλο και λοιπούς υδατάνθρακες,



λιπίδια, φυτικές ίνες, νερό και τέφρα καθώς και μικρά ποσοστά βιταμινών, μετάλλων και ενζύμων [13]. Οι πρωτεΐνες του, γλιαδίνες και γλουτενίνες, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους όταν αναμειγνύονται με το νερό δημιουργώντας το πλέγμα της γλουτένης. Το πλέγμα έχει τη δυνατότητα να δεσμεύει τα αέρια, που παράγονται κατά τη ζύμωση ή λόγω χημικών διογκωτικών μέσων, με τη μορφή φυσαλίδων και να διογκώνεται προκαλώντας το φούσκωμα της ζύμης. Η ποσότητα πρωτεΐνης που περιέχεται στο αλεύρι, καθορίζει και την ποσότητα της γλουτένης που θα σχηματιστεί, η οποία με τη σειρά της καθορίζει τη δύναμη, το σχήμα και τη δομή της ζύμης. Το σκληρό σιτάρι έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη σε σχέση με το μαλακό γι' αυτό και το πρώτο χρησιμοποιείται στη παρασκευή ψωμιού, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω [14]. Εκτός από τις πρωτεΐνες που συνιστούν το 10-12% της σύστασης του αλεύρου, συνίσταται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από άμυλο (70-75%), ενώ το νερό αποτελεί περίπου το 14%. Αποτελείται, επίσης, από μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες (~2-3%) με κυριότερες τις αραβινοξυλάνες και λιπαρά σε παρόμοιο ποσοστό. Παρ' ότι σε μικρές περιεκτικότητες, τα συστατικά αυτά είναι απαραίτητα για την παραγωγή και την ποιότητα του άρτου [15].

### **1.2.1.3 Αλεύρι σίκαλης**

Δεύτερη θέση στην αρτοποιία, ύστερα από το σιτάρι και το άλευρο του, κατέχει η σίκαλη (*Secale Cereale*, L.) που ανήκει, επίσης, στο είδος *Gramineae*. Διαφέρει, βέβαια, αρκετά από το σιτάρι τόσο στη χημική σύσταση όσο και στις ιδιότητές της. Συνίσταται από 55-65% άμυλο, 10-15% πρωτεΐνες, 2-3% λίπος, 2% τέφρα και 15-17% διαιτητικές ίνες με περίπου το 3% να αποτελεί διαλυτές φυτικές ίνες, καθιστώντας την σίκαλη πλουσιότερη σε φυτικές ίνες [16]. Οι διαφορές στη σύσταση και, κυρίως, στις φυτικές ίνες οφείλεται στο γεγονός ότι το φύτρο και το πίτυρο του σπόρου της σίκαλης διαχωρίζονται με μεγάλη δυσκολία από το ενδοσπέρμιο με αποτέλεσμα μέρος τους να παραμένει στο τελικό προϊόν άλεσης [17]. Το αλεύρι σίκαλης παράγεται με διαδικασία άλεσης παρόμοια με αυτή του σιταριού. Από το εσωτερικό του σπόρου προκύπτει ανοιχτόχρωμο άλευρο με πολύ λεπτή υφή, υψηλή περιεκτικότητα αμύλου και χαμηλή περιεκτικότητα πρωτεϊνών αντιστοιχώντας σε «καθαρό» αλεύρι. Ακολουθεί το άλευρο που προκύπτει από την άλεση ολόκληρου του σπόρου ύστερα από την αφαίρεση του πίτυρου και, τέλος το σκούρο αλεύρι σίκαλης από την άλεση των τμημάτων του σπόρου πλησιέστερα στο πίτυρο [11].

Όσον αφορά την αρτοποίηση, η σίκαλη αποτελεί το μόνο δημητριακό, εκτός του σταριού, του οποίου οι πρωτεΐνες μπορούν να διαμορφώσουν πλέγμα γλουτένης που,

ωστόσο, είναι ασθενέστερο συγκριτικά με τη γλουτένη του σταριού. Επομένως, η δημιουργία άρτου αποκλειστικά από σικαλένιο αλεύρι οδηγεί σε ένα προϊόν με μεγάλη πυκνότητα γι' αυτό αναμειγνύεται με σταρένιο αλεύρι [11]. Βέβαια, έχει βρεθεί πως οι ιδιότητες του αλεύρου σίκαλης δεν καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το πρωτεϊνικό περιεχόμενο, αλλά από τους υδατάνθρακες και τα αμυλολυτικά ένζυμα που περιέχει με το άμυλο και τις αραβοξυλάνες να διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο [1,18-20].

Όπως προαναφέρθηκε, η σίκαλη έχει τη μεγαλύτερη ποσότητα διαιτητικών ινών και ως αποτέλεσμα τα προϊόντα της εμφανίζουν χαμηλότερο γλυκαιμικό δείκτη σε σχέση με τα προϊόντα σίτου καθιστώντας τα κατάλληλα για διαβητικούς, γεγονός που αποδεικνύεται και από έρευνα που διεξήχθη στο Πανεπιστήμιο Lund στη Σουηδία. Μελετήθηκε η επίδραση πρωινού γεύματος που περιείχαν άρτους από διαφορετικά αλεύρια σίκαλης σε 12 υγιείς εθελοντές και φάνηκε ότι ο άρτος από ενδοσπέρμιο σίκαλης και από σίκαλη ολικής άλεσης ελέγχουν καλύτερα τα επίπεδα γλυκόζης του αίματος [21].

Σύσταση προϊόντων άλεσης σιταριού και σίκαλης που χρησιμοποιούνται συνήθως στην αρτοποιία [11].

| Υδατάνθρακες                                        |         |          |       |       |                                         |       |
|-----------------------------------------------------|---------|----------|-------|-------|-----------------------------------------|-------|
|                                                     | Νερό    | Πρωτεΐνη | Λίπος | Άμυλο | Μη αμυλούχοι<br>πολυσακχαρίτες<br>(NSP) | Τέφρα |
| Σπόρος ή<br>αλεσμένο<br>προϊόν                      | g/100 g |          |       |       |                                         |       |
| Κοινό<br>αλεύρι<br>σιταριού                         | 12,8    | 11,8     | 1,8   | 65,2  | 22,1                                    | 1,6   |
| Αλεύρι<br>σίτου για<br>παρασκευή<br>άρτου           | 13,3    | 11,7     | 1,4   | 75,8  | 3,5                                     | 0,6   |
| Αλεύρι<br>σίτου για<br>παρασκευή<br>μπισκότων       | 12,8    | 8,5      | 1,4   | 77,5  | 3,1                                     | 0,5   |
| Αλεύρι<br>σίτου με<br>78%<br>ποσοστό<br>εξαγωγής    | 13,0    | 11,5     | 1,3   | 71,6  | 3,1                                     | 0,6   |
| Ολικής<br>αλέσεως για<br>παρασκευή<br>άρτου         | 13,2    | 12,7     | 2,0   | 65,8  | 11,8                                    | 1,4   |
| Ολικής<br>αλέσεως με<br>100%<br>ποσοστό<br>εξαγωγής | 13,1    | 12,6     | 2,3   | 65,0  | 12,1                                    | 1,4   |

|                           |      |      |     |      |      |     |
|---------------------------|------|------|-----|------|------|-----|
| <b>Πίτουρο<br/>σίτου</b>  | 10,6 | 14,6 | 5,4 | 22,4 | 35,4 | 5,7 |
| <b>Φύτρο<br/>σίτου</b>    | 9,3  | 22,0 | 7,4 | 25,1 | 16,0 | 3,6 |
| <b>Αλεύρι<br/>σίκαλης</b> | 15,0 | 8,2  | 2,0 | 75,9 | 11,7 | -   |

#### 1.2.1.4 Κριθαρένιο αλεύρι

Το κριθάρι (*Hordeum sativum*) αποτέλεσε μία σημαντική θρεπτική τροφή για χιλιάδες χρόνια. Ήταν βασικό τρόφιμο στην αρχαία πόλη της Ιεριχούς ήδη από το 8000 π.Χ., ενώ οι Βαβυλώνιοι το χρησιμοποιούσαν για διάφορες παρασκευές από το 2500 π.Χ. [11]. Σταδιακά άρχισε να καλλιεργείται κυρίως ως τροφή για τα ζώα και δευτερευόντως για την ζυθοποιία και άλλες παρασκευές. Στη σημερινή εποχή, περίπου τα 2/3 των καλλιεργειών προορίζεται για ζωοτροφές, το 1/3 για την παραγωγή της βύνης ζυθοποιίας, λόγω του είδους και της ποσότητας των ενζύμων που παράγονται, και την παραγωγή ουίσκι και μόλις το 2% για ανθρώπινη κατανάλωση [22]. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η σύγκριση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών προϊόντων από κριθάρι και προϊόντων από σιτάρι ή ρύζι οδήγησε σε αξιοσημείωτη μείωση της προτίμησης των πρώτων [23]. Βέβαια, από διατροφικής άποψης ο σπόρος του κριθαριού έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε λίπος, υψηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες και περιέχει απαραίτητα αμινοξέα σε ποσότητα ίση ή και μεγαλύτερη από άλλα δημητριακά με αποτέλεσμα να αποτελεί μία ευεργετική τροφή για την υγεία. Ιδίως, οι β-γλυκάνες του κριθαριού μειώνουν αποδεδειγμένα τη χοληστερόλη του αίματος [24-26], και το γλυκαιμικό φορτίο [27]. Παρ' όλα αυτά υπήρξε μικρή πρόοδος όσον αφορά τη βελτίωση και την ανάπτυξη προϊόντων από κριθάρι.

Πολλές ποικιλίες κριθαριού καλλιεργούνται, όπως η κηρώδης και η μη κηρώδης. Κηρώδες κριθάρι που έχει αφαιρεθεί μερικώς το κέλυφος μπορεί να περιέχει 6-9% διαλυτές φυτικές ίνες, ενώ όταν αφαιρείται πλήρως το κέλυφος περιέχει μόλις 2-4% διαλυτές ίνες. Γενικότερα, η περιεκτικότητα του σπόρου του κριθαριού σε αδιάλυτες φυτικές ίνες κυμαίνεται από 11 έως 34% και σε διαλυτές από 3 έως 20% [11]. Το κύριο συστατικό του κόκκου κριθαριού είναι το άμυλο που συγκεντρώνεται στο ενδοσπέρμιο με τη μορφή διακριτών κοκκίων και αποτελεί το 65-68% του βάρους του σπόρου. Τα

υπόλοιπα συστατικά του είναι πρωτεΐνες (10-17%), β-γλυκάνη (4-9%), λίπος (2-3%) και ιχνοστοιχεία (1,5-2%) [28,29]. Η β-γλυκάνη, μάλιστα, που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έχει θετική επίδραση στην υγεία, **περιέχεται αποκλειστικά στο κριθάρι και σε κανένα άλλο σιτηρό** [30]. Επιπροσθέτως, το κριθάρι αποτελεί πηγή τοκολών (τοκοφερόλες και τοκοτριενόλες) οι οποίες έχουν αντιοξειδωτική δράση [31].

Ο σπόρος του κριθαριού υφίσταται αποφλοιώση ώστε να απομακρυνθεί το κέλυφος και το πίτουρο και στη συνέχεια είτε καταναλώνεται είτε υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία. Το πίτουρό του σπάει αρκετά εύκολα κατά την άλεση με αποτέλεσμα το κριθαρένιο αλεύρι να περιέχει ορατά θραύσματα πίτουρο και να είναι σκουρόχρωμο. Σημειώνεται ότι η υφή του ενδοσπερμίου και το χρώμα του καρπού αποτελούν χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του δημητριακού [32]. Ωστόσο, η αναγνώριση των ευεργετικών ιδιοτήτων των προϊόντων ολικής αλέσεως και η αυξανόμενη κατανάλωσή τους περιόρισε τη σημασία του χρώματος ως παράγοντα ποιότητας και τα προϊόντα αρτοποιίας με σκούρο χρώμα είναι αποδεκτά από τους καταναλωτές [22].

Το κριθαρένιο αλεύρι χρησιμοποιείται πλέον αρκετά στην παραγωγή άρτου, ενώ, ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η βύνη ως πρόσθετο καθώς αυξάνει τη συγκέντρωση του ενζύμου α-αμυλάση που με τη σειρά της αυξάνει το ρυθμό ζύμωσης του ζυμαριού και βελτιώνει τις ιδιότητες του ψησίματος. Η βύνη προστίθεται σε συγκέντρωση μικρότερη του 10%. Μεγαλύτερη συγκέντρωση επηρεάζει τον όγκο του ψωμιού λόγω της απουσίας γλουτένης. Ένας άρτος μπορεί να περιέχει έως και 20% κριθαρένιο αλεύρι, ενώ περαιτέρω αύξηση της περιεκτικότητας προκαλεί μείωση του όγκου του άρτου, σκούρο καφέ χρώμα και ψίχα με σκληρή υφή [33]. Αντιθέτως, είδη ζαχαροπλαστικής όπως κέικ, μπισκότα, ντόνατς, μάφινς και pancakes μπορούν να παρασκευαστούν αποκλειστικά με κριθαρένιο αλεύρι πετυχαίνοντας ένα αποδεκτό τελικό προϊόν. Το κριθαρένιο αλεύρι λόγω της ικανότητας του να συγκρατεί το νερό είναι ιδανικό και ως πυκνωτικό μέσο σε διάφορα τρόφιμα. Εκχυλίσματα και σιρόπια βύνης κριθαριού προστίθενται, ακόμη, για να προσδώσουν χρώμα και άρωμα. Σε είδη όπως ψωμάκια και μπίγκελ το σιρόπι βύνης συνήθως περιέχεται σε ποσοστό 1-3% του βάρους του αλεύρου [11].

#### **1.2.1.5 Καλαμποκάλευρο**

Το καλαμπόκι (*Zea mays* L.) είναι ένα φυτό γνωστό παγκοσμίως με το μεγαλύτερο ποσοστό των καλλιεργειών του να προορίζεται για ζωοτροφή και μόνο το 20% να προορίζεται για την διατροφή του ανθρώπου. Το άλευρο του παράγεται μέσω ξηρής ή

υγρής άλεσης. Στην πρώτη περίπτωση διαχωρίζονται τα ανατομικά μέρη του καλαμποκιού, όπως και στην άλεση των υπόλοιπων δημητριακών, ενώ στη δεύτερη περίπτωση διαχωρίζονται τα χημικά συστατικά του καλαμποκιού δηλαδή το άμυλο, οι πρωτεΐνες, τα λιπαρά και οι φυτικές ίνες. Το καλαμποκάλευρο χρησιμοποιείται για την παραγωγή πλήθους προϊόντων αρτοποιίας, όπως ψωμί, κέικ, ντόνατς αλλά και άλλων προϊόντων με κυριότερο τις βρεφικές τροφές [34]. Παράλληλα, το χοντροκομμένο αποξηραμένο καλαμπόκι αποτελεί το γνωστό σιμιγδάλι καλαμποκιού και το άμυλο αραβοσίτου αποτελεί το πιο λεπτοκομμένο καλαμπόκι. Και τα δύο προϊόντα περιέχουν 7-8% πρωτεΐνη σε ξηρή βάση η οποία, όμως, δε μπορεί να δημιουργήσει πλέγμα γλουτένης γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για παρασκευή προϊόντων χωρίς γλουτένη. Το δημητριακό αυτό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε βιταμίνη Α, σχεδόν δεκαπλάσια από τα υπόλοιπα, αλλά είναι πλούσιο και σε καροτενοειδή (η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη συνιστούν το 70% των καροτενοειδών στο καλαμπόκι) που δρουν ως αντιοξειδωτικά [35].

#### **1.2.1.6 Ρυζάλευρο**

Το ρύζι είναι ένα από τα αρχαιότερα δημητριακά αποτελώντας βασικό συστατικό της διατροφής των λαών για αιώνες και τα προϊόντα του διαθέτουν μοναδικά λειτουργικά χαρακτηριστικά. Οι ποικιλίες ρυζιού είναι πολυάριθμες και η καθεμία εμφανίζει χαρακτηριστική γεύση και οσμή. Η πλειοψηφία, όμως, των ποικιλιών έχουν ήπια γεύση και μαλακή υφή γι' αυτό και το ρύζι είναι ένα από τα πρώτα στερεά τρόφιμα που εισάγεται στη διατροφή ενός βρέφους. Αρκετά παράγωγα του ρυζιού χρησιμοποιούνται ως συστατικά των τροφίμων, όπως το ρυζάλευρο και το πίτουρο ρυζιού του οποίου οι ευεργετικές ιδιότητες έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας τροφίμων κατά καιρούς [11]. Πλούσιο σε φυτικές ίνες είναι αρκετά θρεπτικό και, επίσης, μπορεί να προσδώσει επιθυμητή υφή σε μπισκότα, αλλά, και σε ψωμιά. Αποτελεί, τέλος, πηγή λιπιδίων, πρωτεϊνών και αντιοξειδωτικών [11]. Το ρυζάλευρο είναι ένα εξευγενισμένο, καλά αλεσμένο και εύπεπτο λευκό άλευρο με ήπια γεύση και χαμηλά επίπεδα νατρίου το οποίο περιέχει περίπου 6,5-7% πρωτεΐνες, κατά κύριο λόγο υποαλλεργικές, αλλά δεν διαθέτει την ικανότητα δημιουργίας πλέγματος γλουτένης. Είναι κατάλληλο υποκατάστατο του σιταριού, του κριθαριού, της σίκαλης και της βρώμης για ασθενείς με κοιλιοκάκη ή με δυσανεξία στη γλουτένη [36]. Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου άρτου με βάση το ρύζι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την λειτουργικότητα του ρυζάλευρου. Οι φυσικοχημικές του ιδιότητες, που καθορίζουν την λειτουργικότητα, ποικίλλουν και εξαρτώνται με τη σειρά τους από την ποικιλία του ρυζιού [37,38], τις συνθήκες

αποθήκευσης [39], το μέγεθος των κόκκων του ρυζιού καθώς και το μέγεθος των κόκκων του αλεύρου [40], τη μέθοδο επεξεργασίας [41] και τη χημική δομή και σύνθεση [42].

#### **1.2.1.7 Αλεύρι ολικής άλεσης**

Ο όρος ολικής άλεσης, σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρεία Χημείας των Δημητριακών (AACC International, 1999) και τον FDA, αναφέρεται σε ανέπαφο, αλεσμένο, σπασμένο ή σε μορφή νιφάδων καρπό δημητριακού ο οποίος πρέπει να διατηρεί την ίδια ποσοστιαία αναλογία από τα τρία κύρια ανατομικά του μέρη (ενδοσπέρμιο, φύτρο, πίτυρο) όπως αυτά βρίσκονται και στον ανέπαφο καρπό. Το αλεύρι ολικής άλεσης περιέχει σε σημαντικό ποσοστό (έως και 75%) μεγαλύτερες ποσότητες βιταμινών, μετάλλων, αντιοξειδωτικών, φυτικών ινών και άλλων θρεπτικών συστατικών από το κοινό επεξεργασμένο σιτάλευρο, αφού τα συστατικά αυτά συγκεντρώνονται στα εξωτερικά τμήματα του καρπού [43, 44]. Καίριας σημασίας για την παραγωγή του συγκεκριμένου είδους αλεύρου αποτελεί η επιλογή της μεθόδου άλεσης που θα χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι για παραγωγή αλεύρων ολικής αλέσεως με κυρίαρχες τις παρακάτω: χρήση κυλινδρόμυλων ή χρήση πετρόμυλων [45]. Οι πετρόμυλοι πλέον αποτελούνται από μεταλλικές πλάκες με επισυναπτόμενες συνθετικές πέτρες και κατά τη μέθοδο αυτή παράγεται σημαντικό ποσό θερμότητας λόγω της τριβής η οποία προκαλεί καταστροφή του αμύλου, των πρωτεϊνών και των ακόρεστων λιπαρών οξέων [46,47]. Η χρήση των κυλινδρόμυλων περιλαμβάνει διαχωρισμό του ενδοσπερμίου από το φύτρο και το πίτυρο και ακολουθεί σταδιακή μείωση του μεγέθους του ενδοσπερμίου [48]. Η χρήση των κυλινδρόμυλων είναι οικονομικότερη και ευκολότερη από τους πετρόμυλους. Παράλληλα, αναπτύσσονται χαμηλότερες θερμοκρασίες που οδηγούν σε μικρότερου βαθμού καταστροφή των θρεπτικών συστατικών, ενώ η χρήση τους επιτρέπει την περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. θέρμανση ή άλεση) του φύτρου και του πίτυρου επηρεάζοντας την αποθήκευση ή τις λειτουργικές ιδιότητες του αλεύρου [46].

Πέρα από τη διαφορετική διατροφική αξία, το άλευρο ολικής άλεσης διαφέρει από το σιτάλευρο και στα στάδια που ακολουθούνται κατά την άλεση καθώς συχνά παραλείπεται το κοντισιονάρισμα δηλαδή η ενυδάτωση των σπόρων. Η παραγωγή του αλεύρου ολικής αλέσεως ώστε να πληροί τις προϋποθέσεις του όρου «ολικής άλεσης» επιτυγχάνεται με ανάμειξη των κλασμάτων του ενδοσπερμίου και πίτυρου-φύτρου στις φυσιολογικές αναλογίες. Αξίζει να σημειωθεί πως η μεγαλύτερη περιεκτικότητά τους σε λιπίδια και αντιοξειδωτικά συνεπάγεται μεγαλύτερη ενζυμική δραστηριότητα η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την τελική χρήση και/ή την αποθήκευση του αλεύρου [47].

Διατροφική σύνθεση διαφόρων ολικής άλεσης και επεξεργασμένων δημητριακών ανά 100 g\* [49].

|                                                  | Αλεύρι<br>ολικής<br>άλεσης | Λευκό<br>αλεύρι<br>σίτου<br>(75%) | Αλεύρι<br>σίκαλης | Αλεύρι<br>σίκαλης<br>(60%) | Μαύρο<br>ρύζι<br>(ωμό) | Λευκό<br>ρύζι<br>(ωμό) | Κριθάρι<br>(ολόκληρο<br>&ωμό) | Κριθάρι<br>χωρίς<br>κέλυφος<br>και<br>πίτυρο | Βρώμ<br>η      |
|--------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------|
| Υδατάνθρακ<br>ες, g (% της<br>ενέργειας)         | 62<br>(75,6)               | 71<br>(80,6)                      | 55<br>(71,4)      | 73 (85)                    | 73,5<br>(82,4)         | 78<br>(87)             | 60,8 (7,8)                    | 67 (79)                                      | 59,4<br>(63,9) |
| Πρωτεΐνες, g<br>(% της<br>ενέργειας)             | 10<br>(12,2)               | 12,6<br>(14,3)                    | 10 (13)           | 8 (9,3)                    | 8,3<br>(9,3)           | 7 (8)                  | 10,6 (12,7)                   | 9 (10,6)                                     | 12,3<br>(13,2) |
| Λίπος, g (%<br>της<br>ενέργειας)                 | 2 (5,5)                    | 1,1<br>(2,8)                      | 2 (5,8)           | 1 (2,6)                    | 2,6<br>(6,6)           | 1 (2,6)                | 2,1 (5,7)                     | 2 (5,3)                                      | 7,5<br>(18,1)  |
| Φυτικές ίνες,<br>g                               | 11                         | 4                                 | 15                | 5                          | 3                      | 1,3                    | 14,8                          | 8,6                                          | 9              |
| <b>Βιταμίνες</b>                                 |                            |                                   |                   |                            |                        |                        |                               |                                              |                |
| Βιταμίνη B <sub>1</sub><br>(θειαμίνη),<br>μg     | 0,4                        | 0,07                              | 0,4               | 0,15                       | 0,34                   | 0,04                   | 0,31                          | 0,03                                         | 0,60           |
| Βιταμίνη B <sub>2</sub><br>(ριβοφλαβίν<br>η), μg | 0,35                       | 0,04                              | 0,2               | 0,07                       | 0,03                   | 0,03                   | 0,10                          | 0,03                                         | 0,05           |
| Βιταμίνη B <sub>3</sub><br>(νιασίνη),<br>mg      | 5,7                        | 1                                 | 1,7               | 1                          | 6,1                    | 1                      | 5,2                           | 3                                            | 1              |
| Βιταμίνη B <sub>6</sub><br>(πυριδοξίνη)<br>, μg  | 0,35                       | 0,12                              | 0,22              | 0,23                       | 0,25                   | 0,12                   | 0,56                          | 0,25                                         | 0,12           |



|                                                      |     |      |    |     |     |     |     |    |      |
|------------------------------------------------------|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|----|------|
| Βιταμίνη B <sub>9</sub><br>(φυλλικό<br>οξύ), $\mu g$ | 37  | 22   | 78 | 28  | 49  | 20  | 50  | 20 | 60   |
| <b>Μέταλλα</b>                                       |     |      |    |     |     |     |     |    |      |
| Σίδηρος, $mg$                                        | 4   | 0,8  | 4  | 1,5 | 1,3 | 0,4 | 6,0 | 2  | 4,0  |
| Ψευδάργυρος, $mg$                                    | 2,9 | 0,64 | 3  | 1,3 | 0,8 | 1,8 | 3,3 | 2  | 3,02 |
| Μαγνήσιο, $mg$                                       | 124 | 20   | 20 | 92  | 51  | 157 | 13  | 44 | 128  |
| Νάτριο<br>(αλάτι), $g$                               | 5   | 2    | 5  | 10  | 1   | 2   | 4   | 5  | 7    |

\*Μπορεί να διαφέρει ανάλογα το προϊόν και/ή την χώρα. Συστήνεται ο έλεγχος των πληροφοριών της διατροφικής ετικέτας των συσκευασμένων προϊόντων.

Περιεκτικότητα δημητριακών και αλεσμένων προϊόντων τους σε φυτικές ίνες [11].

| Ολόκληρο ή<br>αλεσμένο<br>προϊόν        | Διαιτητικές ίνες (g/100 g) |        |           |          |
|-----------------------------------------|----------------------------|--------|-----------|----------|
|                                         | Υγρασία<br>(g/100 g)       | Σύνολο | Αδιάλυτες | Διαλυτές |
| <i>Κριθάρι</i>                          | 9,4                        | 17,3   | -         | -        |
| <i>Πίτουρο<br/>κριθαριού</i>            | 3,5                        | 70,0   | 67,0      | 3,0      |
| <i>Πίτουρο<br/>καλαμποκιού</i>          | 6,5                        | 82,4   | 80,4      | 2,0      |
| <i>Καλαμποκάλευρο<br/>(whole grain)</i> | 10,9                       | 13,4   | -         | -        |
| <i>Άμυλο<br/>καλαμποκιού</i>            | 12,0                       | 0,9    | -         | -        |
| <i>Πίτουρο βρώμης</i>                   | 10,0                       | 22,2   | 11,7      | 10,5     |
| <i>Αλεύρι βρώμης</i>                    | 7,8                        | 9,6    | -         | -        |
| <i>Ρύζι καστανό<br/>μακρύκοκκο</i>      | 11,7                       | 3,9    | -         | -        |
| <i>Ρύζι λευκό<br/>μακρύκοκκο</i>        | 8,7                        | 1,3    | 1,0       | 0,3      |
| <i>Πίτουρο ρυζιού</i>                   | 6,1                        | 21,7   | -         | -        |
| <i>Ρυζάλευρο<br/>καστανό</i>            | 12,0                       | 4,6    | -         | -        |
| <i>Ρυζάλευρο λευκό</i>                  | 11,1                       | 2,4    | -         | -        |
| <i>Σίκαλη (dark)</i>                    | 11,1                       | 32,0   | -         | -        |
| <i>Σίκαλη (medium)</i>                  | 8,8                        | 14,7   | -         | -        |
| <i>Σίκαλη (light)</i>                   | 10,6                       | 14,6   | -         | -        |
| <i>Πίτουρο σιταριού</i>                 | 11,6                       | 42,4   | 40,3      | 2,1      |
| <i>Φύτρο σιταριού</i>                   | 2,9                        | 14,0   | 12,9      | 1,1      |
| <i>Σιτάλευρο λευκό</i>                  | 11,2                       | 2,7    | 1,7       | 1,0      |
| <i>Σιτάλευρο ολικής<br/>άλεσης</i>      | 11,5                       | 12,6   | 10,2      | 2,4      |

### 1.2.1.8 Συστατικά αλεύρου και ιδιότητες τους

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός αλεύρου είναι οι περιεχόμενες πρωτεΐνες με σπουδαιότερη την γλουτένη, την ποσότητα και την ποιότητά της, η ικανότητα απορρόφησης νερού, καθώς και η ικανότητα διάστασης σε ιόντα. Η ανάμειξη του αλεύρου με το νερό δίνει τη ζύμη: μια συνεκτική, ιξωδοελαστική μάζα, η οποία διατηρεί το αέριο που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια του ζυμώματος στο πλέγμα της γλουτένης [50]. Το αλεύρι είναι το κύριο συστατικό του άρτου και δημιουργεί το πλέγμα γύρω από το οποίο αναμειγνύονται τα υπόλοιπα συστατικά σε σωστές αναλογίες ώστε να σχηματιστεί το ζυμάρι [12].

Η σύσταση του αλεύρου είναι:

- άμυλο σε περιεκτικότητα 70-75%
- νερό σε περιεκτικότητα 14%
- πρωτεΐνες σε περιεκτικότητα 8-11% (ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του σιταλεύρου)
- αραβινοξυλάνες σε περιεκτικότητα 1,5-2,5% και
- λιπαρά σε περιεκτικότητα περί το 2% του συνόλου

Σημειώνεται ότι τα δύο τελευταία συστατικά προσδίδουν στο τελικό προϊόν σημαντικά χαρακτηριστικά παρά τη μικρή ποσότητά τους. Αναλυτικότερα:

#### **Πρωτεΐνες**

Οι πρωτεΐνες των σιτηρών μελετήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν για πρώτη φορά στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η ταξινόμηση έγινε με βάση τη διαλυτότητα των πρωτεϊνών και διακρίθηκαν οι εξής κατηγορίες:

- αλβουμίνες, διαλυτές στο νερό
- γλοβουλίνες, διαλυτές σε αραιά διαλύματα αλάτων
- γλοιαδίνες, διαλυτές σε αλκοόλες και ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των προλαμινών
- γλουτενίνες, διαλυτές σε αραιά διαλύματα οξέων και αλκαλίων και οι οποίες ανήκουν στις γλουτελίνες

Παράλληλα, διακρίνονται και σε δύο ακόμη κατηγορίες πρωτεϊνών ανάλογα με τις ιδιότητες της γλουτένης. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις πρωτεΐνες που δε διαθέτουν τις ιδιότητες της γλουτένης και διαδραματίζουν μηδενικό ή ελάχιστο ρόλο στην παρασκευή ψωμιού και των προϊόντων αρτοποιίας. Οι πρωτεΐνες αυτές, αλβουμίνες και γλοβουλίνες στην πλειοψηφία τους, αποτελούν το 15-20% των συνολικών πρωτεϊνών του αλεύρου και προέρχονται κυρίως από τα εξωτερικά στρώματα του καρπού του σίτου. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις πρωτεΐνες γλουτένης, γλοιαδίνες και γλουτενίνες, με αδιαμφισβήτητη σημασία για την αρτοποίηση. Αποτελούν το 80-85% των συνολικών πρωτεϊνών του αλεύρου και προέρχονται από το ενδοσπέρμιο των σπόρων του σιταριού. Οι πρωτεΐνες γλουτένης εμφανίζουν πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό ή σε διαλύματα αλάτων και η διάλυσή τους προϋποθέτει την αλλαγή της δομής τους. Οι πρωτεΐνες αυτές όταν έρθουν σε επαφή με το νερό, ενυδατώνονται και σχηματίζουν ένα συνεχές ιξωδοελαστικό δίκτυο. Κατά την ωρίμανση της ζύμης, το λεγόμενο φούσκωμα, το πλέγμα της γλουτένης κατακρατά το διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται από την αλκοολική ζύμωση των υδατανθράκων με τη μορφή φυσαλίδων [15,51,52]. Κατά το επόμενο στάδιο, το ψήσιμο, μεταβάλλεται κατά πολύ η δομή των πρωτεϊνών γλουτένης λόγω της υψηλής θερμοκρασίας. Οι αλλαγές αυτές σε συνδυασμό με τις αλλαγές που διαδραματίζονται στο άμυλο είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό της αφρώδους δομής της ψίχας [15].

Πρέπει κατά την επιλογή του αλεύρου να ληφθεί υπόψη η ποσότητα και η ποιότητα των πρωτεϊνών της γλουτένης. Οι γλουτενίνες είναι πολυμερή μόρια και σχηματίζουν ένα δίκτυο που παρέχει δύναμη δηλαδή αντίσταση στην παραμόρφωση και ελαστικότητα στο ζυμάρι. Αντιθέτως, οι μονομερείς γλοιαδίνες έχουν τη δράση πλαστικοποιητών του δικτύου της γλουτενίνης παρέχοντας πλαστικότητα (ελαστικότητα) στη ζύμη. Η αναλογία γλοιαδινών: γλουτενινών, επομένως, είναι άκρως σημαντική για την δημιουργία ενός ποιοτικού τελικού προϊόντος [15].

### **Άμυλο**

Το κύριο συστατικό του αλεύρου είναι το άμυλο που συνίσταται από αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη. Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές όπου τα μόρια της γλυκόζης συνδέονται με  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 4 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η αμυλοπηκτίνη είναι ένα διακλαδισμένο πολυμερές όπου τα μόρια της γλυκόζης συνδέονται γραμμικά με  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 4 δεσμούς και στις διακλαδώσεις με  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 6 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η αναλογία των δύο αυτών συστατικών διαφέρει μεταξύ των αμύλων, αλλά οι συνηθέστερες αναλογίες είναι 25-28% αμυλόζη και 72-75% αμυλοπηκτίνη [15,53]. Το άμυλο εντοπίζεται με τη μορφή κόκκων που σε θερμοκρασία δωματίου και παρουσία νερού απορροφούν το 50% του ξηρού βάρους

τους. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί και ξεπεράσει τη λεγόμενη θερμοκρασία ζελατινοποίησης, η διεργασία αυτή καθίσταται μη αναστρέψιμη και πραγματοποιούνται αλλαγές που τελικά θα συντελέσουν στην καταστροφή της δομής του αμύλου, τη ζελατινοποίηση. Αν η θερμοκρασία δεν υπερβεί τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης, η διεργασία αυτή είναι αναστρέψιμη [15].

Η ζελατινοποίηση του αμύλου είναι υπεύθυνη για την απώλεια της κρυσταλλικής δομής του, τη διόγκωση και τη διάρρηξη των κοκκίων καθώς και την περιορισμένη διάλυση του αμύλου με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους του αιωρήματος αμύλου. Περαιτέρω θέρμανση του αιωρήματος αυτού συνεισφέρει επιπρόσθετα στη ζελατινοποίηση και προκαλεί το σχηματισμό διογκωμένων, άμορφων κοκκίων αμύλου και διαλυτοποιημένων μακρομορίων [53]. Αν μεταβληθούν διάφοροι παράγοντες, όπως το pH, η παρουσία αλάτων, σακχάρων και λιπών και, κυρίως, αν ψυχθεί η άμορφη πάστα αμυλοκόκκων, οι πολυσακχαρίτες του αμύλου επανασυνδέονται σε μια πιο διατεταγμένη ή κρυσταλλική μορφή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παλινόρθωση (retrogradation) και περιλαμβάνει την ελάττωση της διαλυτότητας και την τάση προς επανακρυστάλλωση [15].

Κατά το ψήσιμο, επιτυγχάνεται η ζελατινοποίηση και η διόγκωση των αμυλοκόκκων με ταυτόχρονο διαχωρισμό των φάσεων: η αμυλόζη συγκεντρώνεται κυρίως στο κέντρο των αμυλοκόκκων και η αμυλοπηκτίνη στο εξωτερικό τους στρώμα. Μέρος της αμυλόζης σχηματίζει σύμπλοκα εγκλεισμού με τα ενδογενή και προστιθέμενα πολικά λιπίδια του σιταριού με αποτέλεσμα την δημιουργία της ψίχας του ψωμιού [54].

### ***Μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες***

Οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες είναι τα πρωταρχικά συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων και εντοπίζονται στα εξωτερικά τμήματα του καρπού [52]. Στους πολυσακχαρίτες ανήκουν οι αραβινοξυλάνες, οι β-γλυκάνες, η σελλουλόζη και τα πεπτίδια αραβινογαλακτάνης και αποτελούν διαιτητικές ίνες. Οι πιο διαδεδομένοι είναι οι αραβινοξυλάνες που διακρίνονται σε εκχυλίσιμες στο νερό (Water Extractable Arabinoxylans) και μη εκχυλίσιμες (Water Unextractable Arabinoxylans) [12]. Όπως αναφέρθηκε, οι αραβινοξυλάνες αποτελούν μόνο το 2% του αλεύρου αλλά επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τις ιδιότητές του και, συνεπώς τα χαρακτηριστικά των προϊόντων αρτοποιίας, όπως την υφή, την δομή, την σταθερότητα της ψίχας και τον όγκο [55].

## **Λιπίδια**

Το ποσοστό των ενδογενών λιπιδίων στο σιτάλευρο ανέρχεται μόλις στο 2.0-2.5% και, όπως οι αραβοξυλάνες, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποιότητα των προϊόντων αρτοποιίας. Η περιεκτικότητα των αλεύρων σε λιπίδια ποικίλει και εξαρτάται από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, παράγοντες που σχετίζονται με την παραγωγή του αλεύρου και, κυρίως την άλεση [56,57].

Διακρίνονται σε αμυλούχα (ISL) και μη αμυλούχα λιποειδή (NSL) με τα τελευταία να αποτελούν το 70-75% της συνολικής ποσότητας λιπιδίων και να διακρίνονται περαιτέρω σε ελεύθερα και δεσμευμένα λιπίδια. Περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο τριακυλογλυκερόλες, καθώς και άλλα μη πολικά λιποειδή, και διγαλακτοζυλοδιγλυκερίδια (DGDG). Τα ελεύθερα λιποειδή μπορούν να κατηγοριοποιηθούν επιπλέον σε πολικά (25% των ελεύθερων μη αμυλούχων λιποειδών) και μη πολικά (75% των ελεύθερων λιπιδίων). Από την άλλη πλευρά, τα αμυλούχα λιποειδή είναι πολικά και κυρίως είναι λυσοφωσφολιπίδια [15,57].

Όπως προαναφέρθηκε, επηρεάζουν τις ιδιότητες των αρτοσκευασμάτων με τα μη αμυλούχα λιποειδή (NSL) να καθορίζουν σημαντικά την τελική ποιότητα του αλεύρου. Τα αμυλούχα λιποειδή λόγω του ότι είναι ισχυρά συνδεδεμένα στους αμυλοκόκκους δεν επηρεάζουν τη ζύμη πριν από την έναρξη της ζελατινοποίησης. Ο ρόλος των λιπιδίων οφείλεται πιθανά στην ικανότητα τους να σταθεροποιούν τις φυσαλίδες αέρα που συγκρατούνται στο πλέγμα της γλουτένης. Τέλος, η αναλογία πολικών και μη πολικών ελεύθερων μη αμυλούχων λιποειδών φαίνεται να συσχετίζεται με τον όγκο του τελικού προϊόντος [15,55].

### **1.2.2 Νερό**

Το νερό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο κυρίως στο ψήσιμο του άρτου, αλλά και στα χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος και τη διατηρησιμότητά του παρά την απλότητά του. Υπάρχει φυσικά στο αλεύρι ως συστατικό του (~14% υγρασία), και παράλληλα προστίθεται ως συστατικό του άρτου. Το νερό που χρησιμοποιείται στην αρτοποιία πρέπει να είναι πόσιμο. Βασικός ρόλος είναι η διαλυτοποίηση των υπόλοιπων συστατικών που προστίθενται για την παρασκευή του ζυμαριού, ενώ, συμμετέχει στο σχηματισμό του πλέγματος της γλουτένης που προϋποθέτει, άλλωστε, την ενυδάτωση των πρωτεϊνών. Τέλος, ευθύνεται για την ενυδάτωση των αμυλοκόκκων και εν συνεχεία τη ζελατινοποίηση τους και συνεισφέρει στη διόγκωση του ζυμαριού. Για τους παραπάνω λόγους πρέπει να επιλέγεται με προσοχή η ποσότητα του νερού που θα

προσθεθεί στο μίγμα ώστε να διαμορφωθεί τόσο το επιθυμητό ζυμάρι όσο και το επιθυμητό τελικό προϊόν. Στο τελευταίο, μάλιστα, το νερό με τη μορφή της περιεχόμενης υγρασίας θα καθορίσει το χρόνο ζωής του [58].

### **1.2.3 Αλάτι**

Το αλάτι (χλωριούχο νάτριο, NaCl) κατέχει σημαντική θέση στην αρτοποιία. Πέρα από τη γεύση που προσδίδει στο τελικό προϊόν είναι υπεύθυνο και για:

1. την ενδυνάμωση του πλέγματος της γλουτένης που γίνεται και πιο ελαστική
2. τον έλεγχο της ανάπτυξης της μαγιάς και, συνεπώς, της ζύμωσης και
3. τον έλεγχο της ενεργότητας του νερού

Η ποσότητα του προστιθέμενου άλατος πρέπει να επιλέγεται με προσοχή και σύμφωνα με τους κανονισμούς να μη ξεπερνά το 1,5% του συνολικού βάρους των υλικών και να πληροί τους όρους του μαγειρικού άλατος. Η προσθήκη μεγάλης ποσότητας αλατιού επιβραδύνει τη ζύμωση, ενώ προσθήκη ανεπαρκούς ποσότητας επιταχύνει τη ζύμωση [58,59].

### **1.2.4 Διογκωτικά μέσα**

Η διόγκωση ή αλλιώς το φούσκωμα του άρτου είναι η παραγωγή ή η ενσωμάτωση αερίων σε ένα προϊόν προκειμένου να αυξηθεί ο όγκος του και να διαμορφωθεί το σχήμα και η υφή της ψίχας. Ο όρος διογκωτικό μέσο χαρακτηρίζει μια πηγή αερίου που προκαλεί την ανύψωση μίας ζύμης ή ενός μίγματος. Τα αέρια αυτά πρέπει να παραμείνουν στο προϊόν έως ότου η δομή (ανάπτυξη πλέγματος γλουτένης, ζελατινοποίηση αμύλου) γίνει αρκετά σταθερή για να διατηρηθεί το σχήμα. Τα τρία βασικότερα διογκωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία είναι το νερό, η μαγιά και τα χημικά διογκωτικά.

Η παρασκευή του άρτου πραγματοποιείται ως επί το πλείστον από αλεύρι σκληρού σταριού το οποίο λόγω του πρωτεϊνικού περιεχομένου του και τη διαμόρφωση της γλουτένης απαιτεί τη χρήση μαγιάς. Σε μαλακά αλεύρια που χρησιμοποιούνται κυρίως στη ζαχαροπλαστική επιλέγονται συνήθως χημικά διογκωτικά λόγω των χαμηλότερων επιπέδων γλουτένης που δε μπορούν να συγκρατήσουν τα αέρια της μαγιάς. Τα χημικά διογκωτικά αποτελούν μία γρηγορότερη και ευκολότερη μέθοδο από τη μαγιά. Βέβαια, αρκετές φορές επιλέγεται συνδυασμός μαγιάς και χημικών για τη διόγκωση του προϊόντος. Όσον αφορά το νερό, το οποίο περιέχεται σχεδόν σε όλα τα προϊόντα αρτοποιίας, φαίνεται να προκαλεί διόγκωση λόγω του ατμού που παράγεται κατά την

θέρμανση. Η διόγκωση αυτή, ωστόσο, συνεισφέρει σε μικρό βαθμό στη συνολική διόγκωση που προκαλούν τα προστιθέμενα διογκωτικά.

### **Μαγιά**

Η μαγιά (*Saccharomyces cerevisiae*) αποτελεί ένα κλασικό διογκωτικό παράγοντα του άρτου και των συναφών προϊόντων αρτοποιίας. Αλληλεπιδρά με τα σάκχαρα από την ενζυμική υδρόλυση του αμύλου ή τα προστιθέμενα και τα μετατρέπει σε αιθυλική αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα το οποίο προκαλεί και την επιθυμητή διόγκωση. Η μαγιά είναι ένας ζωντανός οργανισμός ευαίσθητος σε υψηλές θερμοκρασίες γι' αυτό και παραμένει δραστική μεταξύ των 0°C και 55°C. Επιπροσθέτως, σε θερμοκρασία μικρότερη των 20°C και μεγαλύτερη των 40°C εμφανίζει μειωμένη δραστηριότητα με το μέγιστο ρυθμό πολλαπλασιασμού να εμφανίζεται περίπου στους 26°C και το μέγιστο ρυθμό ζύμωσης των σακχάρων στη βέλτιστη θερμοκρασία των 35°C [11]. Η μαγιά διακρίνεται σε νωπή και ξηρή και η επιλογή της μορφής εξαρτάται από την διαδικασία αρτοποίησης που θα ακολουθηθεί, το κόστος και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Παράλληλα, η ποσότητα της μαγιάς που προστίθεται στη συνταγή καθορίζεται με αρκετή δυσκολία εξαιτίας των διαφορετικών μεθόδων και τις εναλλαγές στη δραστηριότητά της. Τέλος, η μαγιά εκτός από τη ζύμωση των σακχάρων και τη διόγκωση του ζυμαριού ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τη χαρακτηριστική γεύση και οσμή των παραγόμενων προϊόντων αρτοποιίας μέσω των χημικών ενώσεων που παράγονται κατά τη ζύμωση (οργανικά οξέα, αιθυλική αλκοόλη, αλδεΐδες, εστέρες και κετόνες). Ορισμένες από αυτές τις χημικές ενώσεις έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν χαλάρωση του πλέγματος της γλουτένης αυξάνοντας την ελαστικότητα του ζυμαριού.



| Τύπος μαγιάς                               |                                                           |                                                   |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Χαρακτηριστικά                             | Νωπή                                                      | Ξηρή                                              |
| Μορφή                                      | Στερεή                                                    | Κόκκοι                                            |
| Θερμοκρασία αποθήκευσης                    | 2-7 °C                                                    | Θερμοκρασία δωματίου                              |
| Χρόνος ζωής                                | 3-4 εβδ.                                                  | 2-12 μήνες                                        |
| Υγρασία (%)                                | 67-72                                                     | 6-8                                               |
| Δύναμη (g ζυμωμένων σακχάρων/g μαγιάς/ώρα) | Ζύμη                                                      | 2,2-2,3                                           |
|                                            | Γλυκιά ζύμη                                               | 1,0-1,1                                           |
| Συντελεστής μετατροπής*                    | 1                                                         | 0,4-0,5                                           |
| Διαχείριση                                 | Προστίθεται μαζί με άλλα υλικά ή διαλύεται πρώτα σε νερό. | Ενυδάτωση στους 40-43°C για 10-15' πριν τη χρήση. |

\*υπολογίζει την ποσότητα της ξηρής μαγιάς που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ποσότητα νωπής [11].

### Χημικά διογκωτικά μέσα

Τα χημικά διογκωτικά μέσα παράγουν διοξείδιο του άνθρακα είτε μέσω χημικής τους αποσύνθεσης λόγω της θέρμανσης είτε μέσω της αντίδρασης ενός οξέος με μία βάση. Το διττανθρακικό νάτριο, γνωστό και ως μαγειρική σόδα, καθώς και το διττανθρακικό αμμώνιο αποτελούν δύο βασικά συστατικά των χημικών διογκωτικών συστημάτων. Το διττανθρακικό κάλιο χρησιμοποιείται σε προϊόντα με χαμηλή περιεκτικότητα νατρίου όπου, όμως, απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητά του για να επιτευχθεί αποτέλεσμα ίδιο με αυτό του διττανθρακικού νατρίου. Η θέρμανση του τελευταίου οδηγεί σε παραπροϊόντα που υποβαθμίζουν τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου ψωμιού (σκούρο χρώμα και ανεπιθύμητη γεύση) και γι' αυτό προστίθενται διάφορα οξέα που επιταχύνουν την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τα οξέα αυτά εξουδετερώνουν και την περίσσεια της σόδας η οποία υποβαθμίζει, επίσης, το τελικό προϊόν. Ο χυμός λεμονιού, το ξύδι κ.ά. χρησιμοποιούνται συχνά, ενώ σε βιομηχανικό επίπεδο χρησιμοποιούνται ενώσεις, όπως φωσφορικό μονοασβέστιο (MCP), όξινο πυροφωσφορικό νάτριο (SAPP) κ.ά. Η προσθήκη οξέων επηρεάζει, ακόμη, τη δομή, το χρώμα, τη γεύση και το pH του προϊόντος. Η υφή επηρεάζεται διαφορετικά από το κάθε οξύ λόγω των διαφορετικών ιόντων. Για παράδειγμα, τα ιόντα ασβεστίου και αργιλίου ενδυναμώνουν τη δομή της ζύμης και ευνοούν τη διαμόρφωση σπογγώδους υφής.

Το μπέικιν πάουντερ, τέλος, προκύπτει από την ανάμειξη ενός ή περισσότερων οξέων με διττανθρακικό νάτριο και συνήθως άμυλο το οποίο αποτρέπει την αντίδραση οξέος-βάσης κατά την αποθήκευση. Οι ζύμες στις οποίες χρησιμοποιείται μπέικιν θα αυξήσουν τον όγκο τους δύο φορές: όταν αναμιχθούν τα υγρά και τα στερεά συστατικά και κατά τη διάρκεια του ψησίματος.

### 1.2.5 Λοιπά υλικά

#### *Λίπη και έλαια*

Τα λιπίδια αποτελούν σημαντικό υλικό για έναν αρτοποιό αφού οι πολλές διαφορετικές λειτουργικές ιδιότητές τους τα καθιστούν χρήσιμα για διάφορους σκοπούς. Παρ' όλο που προστίθεται μικρή ποσότητα λιπαρής ύλης, ο αρτοποιός καλείται να λάβει υπόψη του αρκετούς παράγοντες, όπως μεταξύ άλλων τη σύσταση στις διάφορες θερμοκρασίες, τη γεύση, τη γαλακτωματοποιητική ικανότητα, το κόστος και τις επιπτώσεις στην υγεία. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται:

- το βούτυρο: φτιάχνεται από κρέμα βουτύρου και περιέχει λίπος περίπου 80% ενώ το υπόλοιπο 20% είναι ορός γάλακτος. Δίνει μια χαρακτηριστική γεύση χωρίς να αφήνει λιπαρή αίσθηση στο στόμα.
- η μαργαρίνη: φτιάχνεται από κάποιο λίπος ή έλαιο, φυτικής ή ζωικής προέλευσης, που έχει εν μέρει υποστεί υδρογόνωση, νερό, σκόνη γάλακτος, και αλάτι. Επίσης, συχνά προστίθενται βιταμίνες και χρωστικές ουσίες. Έχει την ίδια αναλογία με το βούτυρο σε λιπαρά και μη λιπαρά συστατικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά αντί για αυτό. Υποκατάστατα με χαμηλά λιπαρά υπάρχουν, αλλά δεν λειτουργούν το ίδιο μέσα σε ένα προϊόν και είναι καλύτερα να χρησιμοποιούνται σαν επάλειψη.
- τα λίπη αρτοποιίας (shortenings): είναι 100% λίπος και είναι στερεά σε θερμοκρασία δωματίου. Συχνά φτιάχνονται από υδρογονωμένα φυτικά λίπη, που στερεοποιήθηκαν με προσθήκη υδρογόνου, αλλά κάποιες φορές περιέχει και ζωικό λίπος. Υπάρχουν γαλακτωματοποιητές στο μαγειρικό λίπος προκειμένου να βοηθήσουν στην γαλακτωματοποίηση λίπους και υγρών στοιχείων, με τέτοιο τρόπο ώστε οι δύο φάσεις να παραμείνουν ενωμένες και να δημιουργήσουν μια ισοκατανεμημένη γεύση και υφή στη ζύμη. Παράλληλα, προσδίδουν λιπαντική αίσθηση στο στόμα, συνεισφέρουν στη δομή, ενσωματώνουν τον αέρα και δρουν ως μεταφορείς θερμότητας.

- **τα φυτικά έλαια:** προέρχονται από διάφορες πηγές (π.χ. ηλιέλαιο, σογιέλαιο κ.ά.) και επιλέγονται κυρίως με βάση το κόστος και τη διαθεσιμότητα. Το ελαιόλαδο παρά τα οφέλη του και την εκτεταμένη παραγωγή του στον ελλαδικό χώρο επιλέγεται πολύ σπάνια στην αρτοποιία [11].

Τα έλαια επιδρούν κυρίως στην υφή του προϊόντος, ενώ τα λίπη στη δομή της ζύμης και του τελικού προϊόντος. Επιπροσθέτως, τα έλαια περιέχουν περισσότερα ακόρεστα λιπαρά οξέα συγκριτικά με τα στερεά λίπη με αποτέλεσμα να υπόκεινται ευκολότερα σε οξειδωτικό τάγγισμα. Τέλος, η μορφή και το μέγεθος του λιπαρού επιδρούν στη συγκράτηση αερίου από τη ζύμη, καθώς κρύσταλλοι μικρού μεγέθους επιτρέπουν μεγαλύτερη συγκράτηση αέρα άρα και μεγαλύτερο όγκο στον παραγόμενο άρτο. Όσο αυξάνεται η ποσότητα της λιπαρής ύλης τόσο αυξάνεται και η κατακράτηση του αέρα έως ένα βέλτιστο σημείο πέρα από το οποίο η επίδραση είναι σχεδόν μηδενική. Το βέλτιστο αυτό σημείο καθορίζεται δύσκολα και εξαρτάται κυρίως από το είδος του αλεύρου που χρησιμοποιείται [57,60,61].

### **Γλυκαντικές ύλες**

Οι γλυκαντικές ύλες είναι ένα ακόμα συστατικό που χρησιμοποιείται στην αρτοποιία με τα περισσότερα προϊόντα να περιέχουν μία από αυτές. Εκτός από τη γλυκιά γεύση, είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της μαγιάς και επηρεάζουν τη διαμόρφωση της γεύσης και του χρώματος της κόρας, καθώς και τη σκληρότητα και το χρόνο ζωής του προϊόντος στο ράφι. Ο τρόπος με τον οποίο μία γλυκαντική ύλη επηρεάζει τις ιδιότητες του άρτου εξαρτάται από τη χημική της σύνθεση, τις φυσικοχημικές της ιδιότητες (γλυκύτητα, διαλυτότητα κ.ά.) και, φυσικά, τη μορφή της. Γλυκαντικά που χρησιμοποιούνται, συνήθως, είναι η κρυσταλλική ζάχαρη, η καστανή ζάχαρη, η φρουκτόζη, το μέλι, η μελάσσα αλλά και τεχνητά γλυκαντικά, όπως η ζαχαρίνη, η ασπαρτάμη και η ακετοσουλφάμη K που υστερούν στη διατήρηση των ιδιοτήτων της επιτραπέζιας ζάχαρης για αμαύρωση, τρυφερότητα στην υφή και διατήρηση της υγρασίας του προϊόντος. Σημειώνεται ότι η ακετοσουλφάμη K είναι ένα γλυκαντικό που παρουσιάζει αρκετή σταθερότητα κατά την θέρμανση γι' αυτό και είναι κατάλληλο για την αρτοβιομηχανία [11,62].

### **Γαλακτοκομικά και αυγά**

Το γάλα είναι το δεύτερο υγρό στοιχείο, έπειτα από το νερό, που χρησιμοποιείται στην αρτοβιομηχανία και συνεισφέρει στη διαμόρφωση του πλέγματος της γλουτένης, τη δομή, τη γεύση, το άρωμα, την ποιότητα, το χρώμα της κόρας και τη διατροφική αξία του προϊόντος. Οι αρτοποιοί, βέβαια, χρησιμοποιούν πολύ συχνά σκόνη γάλακτος, πλήρη

ή αποβουτυρωμένη, όπως προκύπτει από το αντίστοιχο γάλα, λόγω ευκολίας και χαμηλού κόστους. Εναλλακτικά, χρησιμοποιείται ο ορός (πρωτεΐνης) γάλακτος που αποτελεί μία οικονομική επιλογή και αυξάνει τη λειτουργικότητα και τη θρεπτικότητα του παραγόμενου προϊόντος. Τέλος, σε ορισμένα προϊόντα αρτοποιίας περιέχονται και άλλα γαλακτοκομικά, όπως γάλα εβαπορέ, κρέμα γάλακτος, γιαούρτι, τυρί.

Η χρήση των αυγών εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς στην αρτοποιομηχανία. Προσδίδουν χρώμα και γεύση, συμβάλλουν στη δομή, ενσωματώνουν αέρα όταν χτυπηθούν, προσφέρουν την απαραίτητη υγρασία, λίπος και πρωτεΐνη και επιτυγχάνουν την ανάμειξη του λίπους με τα υγρά συστατικά της συνταγής. Μειώνοντας ή παραλείποντας τους κρόκους των αυγών, που προσδίδουν χρυσαφί χρώμα, μπορεί το προϊόν να είναι λιγότερο μαλακό, ενώ μειώνοντας ή παραλείποντας τα ασπράδια το τελικό προϊόν υστερεί σε όγκο.

| Λειτουργίες                                  | Σχόλια                                                                                                                             |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Δομή                                         | Οι πρωτεΐνες του αυγού συμβάλλουν στη διαμόρφωση της δομής.                                                                        |
| Γαλακτοματοποίηση λίπους με τα υπόλοιπα υγρά | Οι κρόκοι περιέχουν φυσικά γαλακτοματοποιητές που βοηθούν στην παραγωγή λείας ζύμης, τον όγκο και την υφή.                         |
| Φούσκωμα                                     | Στα χτυπημένα αυγά ενσωματώνεται αέρας με τη μορφή φυσαλίδων που προκαλούν διαστολή της ζύμης και φούσκωμα με τη θέρμανση.         |
| Δράση λίπους                                 | Το λίπος των κρόκων των αυγών αποτελεί μία πρόσθετη λιπαντική ουσία.                                                               |
| Υγρασία                                      | Τα αυγά περιέχουν μεγάλη ποσότητα νερού που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας υγρών του μίγματος. |
| Γεύση                                        | Συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη γεύση.                                                                                              |
| Διατροφική αξία                              | Τα αυγά είναι θρεπτικά με πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας.                                                                       |
| Χρώμα                                        | Τα ασπράδια προσδίδουν ένα υποκίτρινο χρώμα στη ζύμη ενώ ο κρόκος συμβάλλει στο χαρακτηριστικό χρώμα της κόρας.                    |

### 1.3 Τα στάδια της αρτοποιίας

Ποικιλία μεθόδων εφαρμόζεται κατά την αρτοποιία, αλλά τα βασικά στάδια της παρασκευής άρτου παραμένουν τα ίδια: η ανάμειξη ή αλλιώς ζύωμα, η ζύμωση, ο σχηματισμός του άρτου και ο κλιβανισμός. Η κατασκευή όλων των ψημένων προϊόντων βασίζεται στις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών, τη διαμόρφωση και τις μεθόδους επεξεργασίας. Αλλάζοντας μια πτυχή της σχέσης αυτής, αλλάζει η φύση των αλληλεπιδράσεων με αποτέλεσμα μία ή περισσότερες αλλαγές στην ποιότητα του προϊόντος. Η σημασία της αλληλεπίδρασης των συστατικών, που πραγματοποιείται στο πρώτο στάδιο της αρτοποιίας, συχνά δεν αναγνωρίζεται καθώς η αλληλεπίδραση αυτή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη δομή του προϊόντος. Αναπτύσσονται οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης και, παράλληλα, ενσωματώνεται αέρας επιδρώντας και στη ρεολογία και την υφή της ζύμης. Υπάρχει μια στενή σχέση μεταξύ της ανάμειξης, του αερισμού και των ρεολογικών ιδιοτήτων και ο σχεδιασμός και η λειτουργία του κατάλληλου μίξερ θα αναπτύξει αυτά τα χαρακτηριστικά και, αντιστρόφως, οι ρεολογικές ιδιότητες του τροφίμου θα επηρεάσουν την ισχύ και το χρόνο ανάμειξης ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα [62,63]. Η ανάμειξη, επομένως, είναι καθοριστική για το τελικό προϊόν και περιλαμβάνει τις εξής διεργασίες:

- I. Ομοιόμορφη κατανομή των συστατικών.*
- II. Διαλυτοποίηση, ενυδάτωση των συστατικών και διασπορά των διαφόρων υλικών και των συστατικών τους.*
- III. Ενυδάτωση των πρωτεϊνών του αλευρού που έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό του πλέγματος της γλουτένης.*
- IV. Ενσωμάτωση αέρα με τη μορφή φουσαλίδων όπου θα εγκλωβιστεί το διοξείδιο του άνθρακα που θα παραχθεί από την αλκοολική ζύμωση με τη δράση της μαγιάς.*
- V. Παρασκευή ζυμαριού με τις επιθυμητές ρεολογικές ιδιότητες.*

Παραδοσιακά, το ζύωμα πραγματοποιούταν με τα χέρια, ενώ πλέον πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά με τη χρήση ζυμωτηρίων. Στο ζυμωτήριο η μηχανική ανάμειξη επιτυγχάνεται με την καθορισμένη κίνηση μίας ή περισσότερων λεπίδων στο εσωτερικό του δοχείου όπου τοποθετήθηκαν τα υλικά. Η διαμόρφωσή του πλέγματος γλουτένης και η ενσωμάτωση αέρα στη ζύμη αποτελούν απαραίτητες διεργασίες για την παραγωγή άρτου και καθίστανται δυνατές λόγω της ενέργειας που μεταφέρεται κατά το ζύωμα. Η ενέργεια αυτή είναι τόσο σημαντική ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ένα ακόμη «υλικό». Κατά την ανάμειξη, αύξηση της μεταφερόμενης ενέργειας

στο ζυμάρι συνεπάγεται αύξηση της δέσμευσης αέρα που με τη σειρά της συνεπάγεται αύξηση του όγκου του τελικού προϊόντος. Βέβαια, υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο πέρα από το οποίο η αύξηση της ενέργειας δε συνεπάγεται περαιτέρω δέσμευση αέρα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις οδηγεί σε απώλεια της ικανότητας δέσμευσης. Η αύξηση της ενέργειας οφείλεται σε αύξηση του χρόνου ανάμειξης και, κυρίως, στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στη ζύμη. Συνεπώς, οι παράγοντες ενέργεια ανάμειξης, χρόνος ανάμειξης και θερμοκρασία είναι αλληλένδετοι και οι αρτοποιοί διαθέτουν πλέον τη δυνατότητα να τους ελέγχουν προκειμένου να παραχθεί το επιθυμητό προϊόν [64].

Έπεται η ωρίμανση της ζύμης, γνωστή και ως στοφάρισμα, κατά την οποία η διογκωμένη ζύμη μεταφέρεται από τον κάδο του ζυμωτηρίου σε θερμό περιβάλλον και αφήνεται ώστε να πραγματοποιηθεί η ζύμωση κατά την οποία οι φυσαλίδες αέρα που ενσωματώθηκαν στο ζυμάρι κατά την ανάμειξη διαστέλλονται δημιουργώντας τη χαρακτηριστική δομή του άρτου [65]. Η διαστολή οφείλεται στην παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα και, παράλληλα, κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μεταβάλλονται οι ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης λόγω της ενζυμικής δράσης [64].

Αναλυτικότερα, το άμυλο του αλεύρου διασπάται από τις αμυλάσες σε δεξτρίνες και σάκχαρα, κυρίως μαλτόζη, η οποία με τη σειρά της θα διασπαστεί σε μόρια γλυκόζης με τη δράση της μαλτάσης, ένζυμο που παράγεται από τις ζύμες. Η γλυκόζη ζυμώνεται προς παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και αιθυλικής αλκοόλης. Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά την αλκοολική αυτή ζύμωση των σακχάρων διαχέεται στις φυσαλίδες αέρα της ζύμης, προκαλώντας την αύξηση του μεγέθους τους και την περαιτέρω διόγκωση της ζύμης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι η αύξηση του ποσοστού των περιεχόμενων αερίων από 4-8% σε 80%. Παράλληλα, προϊόντα της ζύμωσης, όπως το γαλακτικό και οξικό οξύ μειώνουν το pH της ζύμης από 6,2 σε 5,7 επιδρώντας στις ρεολογικές της ιδιότητες και ενισχύοντας το σχηματισμό του πλέγματος της γλουτένης [66]. Η ζύμωση αναλόγως με την ποσότητα της μαγιάς, τη διάρκεια και τη θερμοκρασία διαμορφώνει ως ένα βαθμό και τη γεύση του παραγόμενου άρτου.

Η ζύμωση πρέπει να πραγματοποιείται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο και επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο ακριβής χρόνος ζύμωσης εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου της συγκέντρωσης της μαγιάς και του αλατιού στην εκάστοτε συνταγή και τη θερμοκρασία στην οποία διεξάγεται η ζύμωση. Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ της δύναμης του αλεύρου και του απαιτούμενου χρόνου ζύμωσης. Άλευρα με υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο που αναπτύσσουν ισχυρά πλέγματα γλουτένης απαιτούν περισσότερο χρόνο ζύμωσης από ότι τα άλευρα με χαμηλότερες περιεκτικότητες πρωτεΐνης. Εκτός από τη διάρκεια της ζύμωσης, πρέπει να

ελέγχονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Η βέλτιστη θερμοκρασία καθορίζεται από το είδος του ψωμιού και τη διαδικασία παραγωγής καθώς και από τη συγκέντρωση της μαγιάς. Κυμαίνεται ανάμεσα στους 40°C και 45°C, ενώ η σχετική υγρασία του χώρου πρέπει να είναι περίπου 85%. Τέλος, στενή σχέση υπάρχει και μεταξύ της θερμοκρασίας ζύμωσης και του απαιτούμενου χρόνου και, μάλιστα είναι αντιστρόφως ανάλογη [50,58,67-69].

Τελευταίο στάδιο της αρτοποιίας αποτελεί ο κλιβανισμός των άρτων αφού προηγουμένως έχει διαμορφωθεί το επιθυμητό σχήμα τους (καρβέλι, φραντζόλα, αρτίσκος κ.ά.). Η διαδικασία διαμόρφωσης ενός τμήματος της ζύμης είναι τυπικά διαδικασία δύο σταδίων που παρεμβάλλονται από μία μικρή περίοδο «ξεκούρασης» της ζύμης [70]. Και στα δύο στάδια, οι ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης είναι πολύ σημαντικές για τον καθορισμό της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να μη καταστραφεί η λεπτή δομή των φυσαλίδων αέρα κατά τη δημιουργία του σχήματος της ζύμης. Αν υποστεί βλάβη το πλέγμα της γλουτένης που διαχωρίζει τις φυσαλίδες τότε θα συγχωνευτούν άμεσα δημιουργώντας μεγάλες τρύπες [71] και αποχρωματισμένη σκληρή ψίχα κατά το ψήσιμο [72]. Μερική καταστροφή του πλέγματος είναι αναπόφευκτη, αλλά η χρήση κατάλληλων τεχνικών περιορίζει την καταστροφή στο ελάχιστο.

Ο κλιβανισμός που ακολουθεί αποτελεί καθοριστικό στάδιο για την παρασκευή άρτου με τα προσδοκώμενα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Λόγω της θερμότητας που αναπτύσσεται πραγματοποιούνται πλήθος φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών όπως:

- ✓ εξάτμιση του περιεχόμενου νερού,
- ✓ μετουσίωση πρωτεϊνών,
- ✓ σχηματισμός του πορώδους της ζύμης,
- ✓ αύξηση του όγκου (περαιτέρω διαστολή του διοξειδίου του άνθρακα),
- ✓ ζελατινοποίηση του αμύλου,
- ✓ σχηματισμός της χαρακτηριστικής κόρας του άρτου [58,59]

Αρχικά, η ζύμη που έχει υποστεί ζύμωση τοποθετείται στον κλίβανο και η θερμοκρασία μεταφέρεται σταδιακά από το εξωτερικό προς το εσωτερικό της. Η ανομοιόμορφη αυτή κατανομή της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση της κόρας καθώς η θερμοκρασία στην επιφάνεια ξεπερνά τους 100°C και τη διαμόρφωση της ψίχας στο εσωτερικό όπου η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 100°C. Κατά τη διάρκεια των πρώτων λεπτών (5-10') η θερμοκρασία προσεγγίζει τους 50°C όπου οι ζύμες εμφανίζουν τη μέγιστη δραστηριότητα τους και, συνεπώς, τη μέγιστη ζύμωση των

σακχάρων και παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα. Επιτυγχάνεται, έτσι, ο μέγιστος όγκος της ζύμης. Σύντομα, οι ζύμες θα απενεργοποιηθούν λόγω της θέρμανσης [50].

Στη συνέχεια, η θερμοκρασία φτάνει τους 100°C η οποία είναι η θερμοκρασία εξατμής του νερού. Το νερό μεταφέρεται από το εσωτερικό προς το εξωτερικό της ζύμης και εξατμίζεται από την επιφάνεια όπου σχηματίζεται σταδιακά και η κόρα. Η διάρκεια του ψησίματος θα καθορίσει το πάχος της. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 100°C εξατμίζονται και οι χημικές ενώσεις με σημείο βρασμού πάνω από τη θερμοκρασία αυτή όπως η αιθανόλη, το διοξείδιο του άνθρακα, και κάποιες αρωματικές ενώσεις που σχηματίζονται κατά τη ζύμωση και το ίδιο το ψήσιμο [50].

Συγχρόνως, η θέρμανση των υδατανθράκων και, κυρίως της σουκρόζης και των αναγόντων σακχάρων οδηγεί σε μία σειρά αντιδράσεων γνωστή ως καραμελοποίηση. Η καραμελοποίηση σε συνδυασμό με την αντίδραση Maillard μεταξύ σακχάρων και πρωτεϊνών (ή πεπτιδίων ή αμινοξέων) είναι υπεύθυνη για το χαρακτηριστικό καφέ χρώμα του άρτου. Το καφέ χρώμα οφείλεται στις μελανοΐδινες, τα προϊόντα της παραπάνω αντίδρασης που έχουν το αντίστοιχο χρώμα. Επιπρόσθετα, λαμβάνει χώρα η αντίδραση Strecker από την οποία προκύπτουν αλδεΐδες και πυραζίνες. Οι ενώσεις αυτές προσδίδουν στα προϊόντα άρτου το χαρακτηριστικό ευχάριστο άρωμα τους [73]. Κατά τον κλιβανισμό, τέλος, πραγματοποιούνται η ζελατινοποίηση του αμύλου και η μετουσίωση των πρωτεϊνών που, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.2.1.8, μετατρέπουν το ιξώδες ζυμάρι σε μία ελαστική ψίχα.

Σημειώνεται ότι η διάρκεια και η θερμοκρασία ψησίματος είναι καίριας σημασίας και εξαρτώνται από παράγοντες όπως ο φούρνος, το μέγεθος του άρτου και το είδος του. Η ιδανική θερμοκρασία βρίσκεται ως επί το πλείστον μεταξύ 200 και 275°C και επιλέγεται με βάση το μέγεθος του προϊόντος, αλλά και τη συνεκτικότητα της ζύμης. Ζύμες με χαμηλή συνεκτικότητα απαιτούν υψηλότερη θερμοκρασία κλιβανισμού από τις ζύμες με υψηλή συνεκτικότητα και μικρή περιεκτικότητα νερού. Η σχετική υγρασία του χώρου, ακόμα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όπως και στο στάδιο του στοφαρίσματος [50,69].

#### **1.4 Βασικά είδη άρτου**

Η λίστα με τα είδη του άρτου απαριθμεί μία πολύ μεγάλη γκάμα η οποία οφείλεται κυρίως στη χρήση και το συνδυασμό διαφόρων ειδών και τύπων αλεύρου, διαφόρων άλλων υλικών καθώς και σε διαφορετικές τεχνικές, μεγέθη και σχήματα, αλλά και στη γεωγραφική προέλευσή τους. Ωστόσο, τα βασικότερα είδη που αναγνωρίζονται στο



εμπόριο είναι το σταρένιο ψωμί, το ανάμεικτο σταρένιο ψωμί, το ψωμί σίκαλης και, αντιστοίχως, το ανάμεικτο ψωμί σίκαλης και το ψωμί ολικής άλεσης.

#### Βασικά είδη

| Είδος                                           | Συστατικά                                   | Χαρακτηριστικά                                                                                                     |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ψωμί σιταριού                                   | Τουλάχιστον 90% αλεύρι σιταριού             | Ανοιχτόχρωμη ψίχα, κόρα που χρυσίζει, αρωματικό ψωμί με ήπια γεύση.                                                |
| Ψωμί σίκαλης                                    | Τουλάχιστον 90% αλεύρι σίκαλης              | Σκούρα ψίχα με λεπτούς πόρους, χαρακτηριστική δυνατή και υπόξινη γεύση.                                            |
| Ανάμεικτο ψωμί σιταριού, ανάμεικτο ψωμί σίκαλης | >50% το αλεύρι που δίνει το όνομα στο ψωμί  | Σιταριού (>50% σιτάλευρο): αρωματικό με ήπια γεύση<br>Σίκαλης (>50% αλεύρι σίκαλης): εντονότερη γεύση και υπόξινη. |
| Ψωμί ολικής άλεσης                              | Αλεύρι ολικής αλέσεως (σιτάρι και/ή σίκαλη) | Ήπια έως έντονη γεύση όταν περιέχεται σιτάλευρο και δυνατή, υπόξινη γεύση όταν περιέχεται αλεύρι σίκαλης.          |

Στην αγορά κυκλοφορούν και τα λεγόμενα «σπέσιαλ» ψωμιά. Η κατηγορία αυτή περιέχει τα είδη που πληρούν μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις όσον αφορά τα συστατικά:

- Προϊόντα δημητριακών: όπως το καλαμποκόψωμο από άλευρο καλαμποκιού και το πολύσπορο ψωμί που παρασκευάζεται από ένα τουλάχιστον δημητριακό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή άρτου και από ένα τουλάχιστον δημητριακό που δε σχετίζεται άμεσα με την αρτοποιία. Σημειώνεται ότι ένα ψωμί θεωρείται πολύσπορο όταν περιέχει τρία ή περισσότερα διαφορετικά είδη δημητριακών σε ποσοστό  $\geq 5\%$  έκαστως.
- Συστατικά φυτικής προέλευσης: σουσάμι, ηλιόσπορος, λιναρόσπορος κ.ά., κρεμμύδι, σταφίδες και άλλα αποξηραμένα φρούτα.
- Συστατικά ζωικής προέλευσης: γάλα, βούτυρο, ελαιόλαδο, γιαούρτι, τυροκομικά.

Όπως προαναφέρθηκε, τα είδη του άρτου διακρίνονται ανάλογα με την «καταγωγή» τους σε μεγάλο βαθμό. Κάθε χώρα σχεδόν παρασκευάζει ένα ξεχωριστό είδος που,

ωστόσο, δε θεωρείται προϊόν προστατευόμενης ονομασίας προέλευσης ή προστατευόμενης γεωγραφικής ένδειξης και παρεμφερή είδη επιτρέπεται να παρασκευάζονται και εκτός της αντίστοιχης περιοχής εφόσον διαθέτουν τα τυπικά χαρακτηριστικά για το συγκεκριμένο είδος. Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα προϊόντων άρτου είναι τα παρακάτω: μπαγκέτα (Γαλλία), μπριός (Γαλλία), αρέπα (Κολομβία, Βενεζουέλα), μπίγκελ (καταγωγή από την Πολωνία), τσαπάτι (Ινδία), αγγλικό μάφιν, ιντζέρα (Αιθιοπία), λαβάς (Αρμενία, Ιράν, Τουρκία), τσιαπάτα (Ιταλία), ντάμπερ (Αυστραλία), φοκάτσια (Ιταλία), λαγάνια (Ελλάδα), πρέτζελ (Γερμανία), γιουφκά (Τουρκία), τортίγια (Μεξικό), σκούν (Μ. Βρετανία) κ.ά. [74].

## **1.5 Λειτουργικά προϊόντα άρτου**

### **1.5.1 Εισαγωγή**

Ο όρος λειτουργικό τρόφιμο εμφανίστηκε για πρώτη φορά περί το 1980 στην Ιαπωνία όπου οι υγειονομικές αρχές αναγνώρισαν ότι η αύξηση του προσδόκιμου ζωής και, συνεπώς η αύξηση των ηλικιωμένων στον πληθυσμό πρέπει να συνοδεύεται από βελτίωση της ποιότητας ζωής ώστε να ελέγχεται το κόστος της ιατρικής περίθαλψης. Για τον λόγο αυτό, εισήχθη η έννοια των τροφίμων που αναπτύχθηκαν ειδικά για την προώθηση της υγείας ή για να μειώσουν τον κίνδυνο κάποιας νόσου. Ως λειτουργικό τρόφιμο ορίζεται το τρόφιμο ή θρεπτικό συστατικό το οποίο δίδει σημαντικές φυσιολογικές αλλαγές στον καταναλωτή και η δράση του είναι ξεχωριστή και διακριτή από τον ρόλο του ως θρεπτικό συστατικό (FDA, 2004). Γενικότερα, θεωρείται κάθε τρόφιμο που καταναλώνεται ως μέρος της κανονικής διατροφής και που περιέχει ενεργά συστατικά τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα ενισχυμένης υγείας ή μειωμένου κινδύνου εμφάνισης ασθένειας ή καθυστέρησης της εμφάνισής της. Χαρακτηριστικά παραδείγματα λειτουργικών τροφίμων είναι όσα περιλαμβάνουν συστατικά όπως μέταλλα, βιταμίνες, λιπαρά οξέα, φυτικές ίνες, φυτοχημικά ή άλλα αντιοξειδωτικά, προβιοτικά κ.ά. (EUFIC: Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Πληροφόρησης για τα Τρόφιμα). Σύμφωνα με τους κανονισμούς του ADA (2009), στα λειτουργικά τρόφιμα περιλαμβάνονται τα συμβατικά τρόφιμα, τα τροποποιημένα τρόφιμα (εμπλουτισμένα ή ενισχυμένα), τα ιατρικά τρόφιμα (medical foods) και τα τρόφιμα για ειδική διαιτητική χρήση. Συγκεκριμένα,

- Συμβατικά τρόφιμα είναι τα τρόφιμα που δεν έχουν υποστεί καμία τροποποίηση ή επεξεργασία, όπως τα φρούτα, τα λαχανικά και τα ολικής άλεσης δημητριακά τα οποία αντιπροσωπεύουν την πιο απλή μορφή ενός λειτουργικού τροφίμου.
- Τροποποιημένα τρόφιμα είναι τα τρόφιμα που έχουν υποστεί κάποιου είδους επεξεργασία και εμπλουτίστηκαν ή ενισχύθηκαν με κάποιο βιοενεργό συστατικό. Όπως μεταξύ άλλων χυμός πορτοκαλιού εμπλουτισμένος με ασβέστιο, ψωμί εμπλουτισμένο με φυλλικό οξύ, μαργαρίνες που περιέχουν φυτοστανόλη ή εστέρες της στερόλης.
- Ιατρικά τρόφιμα (medical foods) είναι τα τρόφιμα με επιβεβαιωμένη κλινική δράση στη θεραπεία συγκεκριμένης ασθένειας, τα οποία χορηγούνται κατόπιν ιατρικής συνταγής. Παραδείγματα τέτοιων ιατρικών σκευασμάτων είναι συμπληρώματα διατροφής για διατροφική διαχείριση της φαινυλκετονουρίας.
- Τρόφιμα για ειδικές διαιτητικές χρήσεις είναι τα τρόφιμα που είναι κατάλληλα για ειδική διατροφή, όπως υποαλλεργικά τρόφιμα, τρόφιμα χωρίς γλουτένη και χωρίς λακτόζη.

Δεδομένου ότι ο άρτος συνιστά ένα βασικό τρόφιμο της καθημερινής διατροφής του ανθρώπου έχουν ήδη γίνει ποικίλες προσπάθειες παρασκευής λειτουργικών προϊόντων του είδους αυτού και πολλές από αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την παραγωγή άρτων που καταναλώνονται από σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού. Ορισμένα από αυτά τα προϊόντα συνοψίζονται παρακάτω:

### **1.5.2 Άρτος χωρίς γλουτένη (gluten-free)**

Η κοιλιοκάκη, γνωστή και ως εντεροπάθεια από ευαισθησία στη γλουτένη, είναι μία συστηματική αυτοάνοση διαταραχή του λεπτού εντέρου που προκαλείται από την κατανάλωση δημητριακών (σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη) που περιέχουν γλουτένη σε άτομα με γενετική προδιάθεση [75]. Οι πρώτες ιατρικές περιγραφές της νόσου τοποθετούνται στον 1<sup>ο</sup> αι. π.Χ., ενώ η πρώτη σύγχρονη περιγραφή εκδόθηκε το 1888. Περαιτέρω στοιχεία συγκεντρώθηκαν κατά τη δεκαετία του 1900 όπου αναγνωρίστηκε το υπεύθυνο διατροφικό στοιχείο (γλουτένη), ο καθοριστικός γενετικός παράγοντας και ο αυτοάνοσος χαρακτήρας της νόσου. Παλαιότερα, η κοιλιοκάκη θεωρούνταν σπάνια νόσος που εμφανίζονταν κατά τα πρώτα χρόνια της ζωής και έπληττε μεμονωμένα περιστατικά. Με την πάροδο των χρόνων, αυξήθηκε κατά πολύ η εμφάνιση της νόσου η οποία συσχετίστηκε με τη σημαντική ανάπτυξη της καλλιέργειας των σιτηρών ύστερα από τη βιομηχανική επανάσταση με μεγάλο αριθμό ερευνών να υποστηρίζουν πως η

κοιλιοκάκη πλέον αποτελεί μία από τις συνηθέστερες χρόνιες παθήσεις που πλήττει άτομα σε όλο τον κόσμο με το μέσο επιπολασμό να εκτιμάται στο 0,9% και την εμφάνιση των συμπτωμάτων να γίνεται σε οποιαδήποτε ηλικία [76]. Συγκεκριμένα στην Ευρώπη, ο επιπολασμός της νόσου εκτιμάται στα 1/300 άτομα με πρόσφατες μελέτες προσυμπτωματικού ελέγχου στον πληθυσμό να δείχνουν ότι ο επιπολασμός μπορεί να ανέλθει στο 1/100 άτομα [77]. Μία, ακόμα, πρόσφατα δημοσιευμένη διεθνής και πολυκεντρική μελέτη διερεύνησε ένα ευρύ δείγμα πληθυσμού σε τέσσερις διαφορετικές χώρες και έδειξε ότι κατά μέσο όρο ο επιπολασμός της νόσου ήταν 1%, με μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των χωρών (2,0% στη Φινλανδία, 1,2% στην Ιταλία, 0,9% στη Βόρεια Ιρλανδία, και 0,3% στη Γερμανία) [78], ενώ η επίπτωση της νόσου αυξάνεται συνεχώς [79].

Παράλληλα, έχουν αναγνωριστεί και άλλα κλινικά περιστατικά που σχετίζονται άμεσα με τη γλουτένη όπως η αλλεργία στο σιτάρι και η μη-κοιλιακή ευαισθησία στη γλουτένη. Η τελευταία αποτελεί ένα σύνδρομο που εκδηλώνεται με γαστρεντερικά και εξωεντερικά συμπτώματα σε ασθενείς που δεν πάσχουν από κοιλιοκάκη και δεν εμφανίζουν αλλεργία στο σίτο. Η παθογένεια σχετίζεται με αυτοάνοσο μηχανισμό που δεν είναι πλήρως κατανοητός και απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση, ενώ τα συμπτώματα υποχωρούν λίγες ώρες ή και ημέρες μετά την απομάκρυνση της γλουτένης από τον οργανισμό και εμφανίζονται άμεσα ύστερα από κατανάλωση τροφίμου περιέχοντος γλουτένη [80].

Σε όλες τις περιπτώσεις και, κυρίως στην κοιλιοκάκη, η θεραπεία είναι ο δια βίου αποκλεισμός της γλουτένης από τη διατροφή (ΔΕΓ: δίαιτα ελεύθερη γλουτένης) [81,82]. Οι πρωτεΐνες που θεωρούνται επιβλαβείς είναι η γλιαδίνη του σίτου, η σεκαλίνη της σίκαλης, η ορδεΐνη του κριθαριού και, πιθανά η αβενίνη της βρώμης, καθώς περιέχουν τοξικά πεπτίδια [82,83]. Επομένως, τα δημητριακά αυτά πρέπει να αποκλεισθούν με αποτέλεσμα τα άτομα με κοιλιοκάκη που υιοθετούν τη ΔΕΓ να μην είναι σε θέση να καταναλώνουν σημαντικό αριθμό από τα πιο κοινά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων του άρτου και των προϊόντων αρτοποιίας, καθώς και άλλων τροφίμων που παρασκευάζονται με άλευρα των παραπάνω δημητριακών ή που περιέχουν γενικά γλουτένη [84]. Δημιουργήθηκε, έτσι, η ανάγκη παρασκευής άρτου άνευ γλουτένης που πρέπει να διαθέτει ποιοτικά χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα του κοινού άρτου από αλεύρι σιταριού [85]. Η ανάπτυξη των άρτων αυτών είναι δύσκολη δεδομένου ότι η γλουτένη είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό της δομής, των ελαστικών και αρκετών άλλων ιδιοτήτων που χρειάζονται για την παραγωγή αποδεκτού άρτου καλής ποιότητας [85]. Εναλλακτικά του σιτάλευρου χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο άμυλο σιταριού, άμυλο καλαμποκιού, άμυλο πατάτας, αλεύρι σόγιας, ρυζάλευρο, αλεύρι από φαγόπυρο

τα οποία συνήθως συνδυάζονται σε διάφορες αναλογίες [77]. Η πλειοψηφία των προϊόντων χωρίς γλουτένη είναι κατώτερης ποιότητας από τους κοινούς άρτους με σιτάλευρο κυρίως όσον αφορά την υφή, την ψίχα που είναι ξηρή και εύθρυπτη, τη γεύση, το χρώμα και τις μεταβολές μετά το ψήσιμο [86]. Διατροφικά, εμφανίζουν μικρότερες συγκεντρώσεις πρωτεϊνών και φυτικών ινών, αλλά και βιταμινών και μετάλλων. Για τον λόγο αυτό, η εξωγενής προσθήκη των συστατικών αυτών είναι συνήθως απαραίτητη [77,87,88]. Ποικίλες έρευνες έχουν γίνει σχετικά με τη βελτίωση των άρτων χωρίς γλουτένη μελετώντας την προσθήκη διαφορετικών υλικών, όπως αλβουμίνη, αμάρανθος [89], φαγόπυρο [90], νερό και λιπαρές ύλες σε ποικίλες συγκεντρώσεις [89] κ.ά., την προσθήκη πρόσθετων, όπως υδροκολλοειδή [91], γαλακτωματοποιητές [92] κ.ά. και την προσθήκη πρωτεϊνών, όπως πρωτεϊνών αλβουμίνης, πρωτεϊνών σόγιας, πρωτεϊνών λούπινου, πρωτεϊνών κολλαγόνου, πρωτεϊνών μπιζελιού [36,93] και φυτικών ινών συμπεριλαμβανομένης της ινουλίνης [94,95].

Παράλληλα, η χρήση διαφόρων δημητριακών καθιστά αναγκαία την εύρεση τεχνικών που αντικαθιστούν το ρόλο της γλουτένης είτε με τη βοήθεια συστατικών του ίδιου του αλεύρου είτε με την προσθήκη συστατικών είτε με την δοκιμή διαφόρων αλεύρων. Μελετάται, ακόμη, η διαφορετική επεξεργασία της ζύμης, αλλά και διαφορετικές μέθοδοι ψήσιματος. Οι τεχνικές αυτές αποσκοπούν στην καλύτερη ποιότητα του τελικού προϊόντος, τη μεγαλύτερη ικανότητα δέσμευσης νερού, την αύξηση του τελικού όγκου και την ομοιόμορφη δομή της ψίχας [96].

Συχνά τα προϊόντα αυτά είναι και ελεύθερα λακτόζης (nondairy-based gluten-free bread), καθώς μεγάλο ποσοστό των ασθενών με κοιλιοκάκη εμφανίζουν δυσανεξία στη λακτόζη λόγω της ανεπαρκούς παραγωγής λακτάσης από τις κατεστραμμένες λάχνες του λεπτού εντέρου [81].

### **1.5.3 Άρτος με προσθήκη φυτικών ινών**

Σύμφωνα με τον ορισμό των διαιτητικών ινών, οι διαιτητικές ίνες αποτελούνται από υδατανθρακικά πολυμερή με δέκα ή περισσότερα μονομερή τα οποία δεν αφομοιώνονται ούτε απορροφώνται από το λεπτό έντερο του ανθρώπινου οργανισμού και κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- i. εδώδιμα υδατανθρακικά πολυμερή που απαντώνται φυσικά στα τρόφιμα ως έχουν,
- ii. εδώδιμα υδατανθρακικά πολυμερή που έχουν ληφθεί από πρώτες ύλες τροφίμων με φυσικά, ενζυμικά ή χημικά μέσα και έχουν ωφέλιμη επίδραση στη φυσιολογία

του οργανισμού, η οποία αποδεικνύεται με γενικώς αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία, ή

- iii. εδώδιμα συνθετικά υδατανθρακικά πολυμερή που έχουν ωφέλιμη επίδραση στη φυσιολογία του οργανισμού, η οποία αποδεικνύεται με γενικώς αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία [97].

Διακρίνονται σε διαλυτές και αδιάλυτες ανάλογα με τις φυσικές, χημικές και λειτουργικές τους ιδιότητες. Οι πρώτες (π.χ. πηκτίνες, κόμμεα, ινουλίνη, ημικυτταρίνες) διαλύονται στο νερό σχηματίζοντας ιξώδη πηκτώματα, δεν πέπτονται στο λεπτό έντερο αλλά ζυμώνονται από τη μικροχλωρίδα του παχέος εντέρου. Οι δεύτερες ( π.χ. λιγνίνη, κυτταρίνη, ημικυτταρίνες) δεν είναι υδατοδιαλυτές, δε σχηματίζουν ιξώδη πηκτώματα και υφίστανται ελάχιστη ζύμωση από τη μικροχλωρίδα του εντέρου. Η πλειοψηφία των τροφίμων που περιέχει φυτικές ίνες περιλαμβάνουν 1/3 διαλυτές και 2/3 αδιάλυτες ίνες [98,99].

Η διατροφική αξία των διαιτητικών ινών έχει μελετηθεί εκτενώς και τα οφέλη τους στην υγεία του ανθρώπου είναι αρκετά και αδιαμφισβήτητα. Μεταξύ αυτών έχουν αναγνωριστεί ο αποτελεσματικότερος γλυκαιμικός έλεγχος, καθώς και ο έλεγχος των επιπέδων της χοληστερόλης, η προστασία έναντι της εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων, η ρύθμιση του σωματικού βάρους, η ρύθμιση της λειτουργίας του εντέρου, η προαγωγή της υγείας του εντέρου και η προστασία από καρκίνο του παχέος εντέρου [100,101]. Η Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας Τροφίμων (EFSA- European Food Safety Authority) συστήνει την πρόσληψη τουλάχιστον 25 γραμμαρίων φυτικών ινών ημερησίως, ενώ η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη σύμφωνα με τον Αμερικανικό Σύλλογο Διαιτολόγων ανέρχεται στα 14 g φυτικών ινών ανά 1000 kcal (ADA, 2008). Η πραγματική, όμως, πρόσληψη σημαντικού ποσοστού του πληθυσμού απέχει από τις συστάσεις αυτές.

Ξεκίνησε, έτσι μία σειρά μελετών που οδήγησε και στην παρασκευή προϊόντων που κυκλοφορούν στην αγορά και τα οποία είναι εμπλουτισμένα με φυτικές ίνες. Ο άρτος ως βασικό τρόφιμο της καθημερινής διατροφής του δυτικού πολιτισμού, αν παρασκευαστεί καταλλήλως, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της πρόσληψης των φυτικών ινών χωρίς να τροποποιηθούν οι διατροφικές συνήθειες του ατόμου [102]. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία (Regulation (EC) 1924/2006, 2006) ένας άρτος χαρακτηρίζεται ως προϊόν πλούσιο σε φυτικές ίνες και, συνεπώς επιδρά θετικά στη φυσιολογία του οργανισμού όταν περιέχει τουλάχιστον 6 g ανά 100 g προϊόντος. Οι φυτικές ίνες επηρεάζουν τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης [103], τη σταθερότητα του άρτου [104] και τροποποιούν τις μακρομοριακή και μοριακή κατανομή του νερού και τη

δυναμική του [105]. Σε μικρές περιεκτικότητες φαίνεται να καθυστερούν το μπαγιάτευμα του άρτου λόγω της ικανότητας συγκράτησης νερού [106]. Βέβαια, οι προστιθέμενες ίνες προκαλούν μείωση του τελικού όγκου, αφού αλληλεπιδρούν με τη γλουτένη κατά το ζύμωμα και, εκτός αυτού επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά [100].

Κατα κύριο λόγο χρησιμοποιούνται ως λειτουργικές φυτικές ίνες οι β-γλυκάνες, υδατοδιαλυτές φυτικές ίνες με υψηλή συγκέντρωση στη βρώμη (3-8 g ανά 100 g ξηρού βάρους) και στο κριθάρι (2-20 g ανά 100 g ξηρού βάρους) γνωστές για την ικανότητά τους να αυξάνουν το ιξώδες των διαλυμάτων [107]. Υπάρχουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις και σε άλλα δημητριακά, αλλά εκχυλίζονται συνήθως από το κριθάρι και τη βρώμη που εμφανίζουν σημαντικές συγκεντρώσεις. Οι φυτικές αυτές ίνες χρησιμοποιούνται στα λειτουργικά προϊόντα άρτου καθώς έχει μελετηθεί και αποδειχθεί η αποτελεσματική μείωση της χοληστερόλης του αίματος και της μεταγευματικής συγκέντρωσης γλυκόζης ύστερα από κατανάλωσή τους [27,108]. Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας Τροφίμων (EFSA- European Food Safety Authority) διατύπωσε το διατροφικό ισχυρισμό ότι οι β-γλυκάνες από κριθάρι έχουν την ικανότητα να μειώνουν τη συγκέντρωση της ολικής χοληστερόλης (TC – Total Cholesterol) και της LDL-C, σε ενήλικες με κανονικά ή ελαφρώς ανεβασμένα επίπεδα χοληστερόλης αίματος μειώνοντας τον κίνδυνο για στεφανιαία νόσο. Σχέση αιτίου-αποτελέσματος έχει διαπιστωθεί ανάμεσα στην κατανάλωση β-γλυκάνης κριθαριού και τη μείωση των επιπέδων λιπιδίων του αίματος. Ο διατροφικός αυτός ισχυρισμός προϋποθέτει την ημερήσια πρόσληψη τουλάχιστον 3 g β-γλυκάνης, στα πλαίσια μιας ισορροπημένης διατροφής και αναφέρεται σε ενήλικες που επιθυμούν να μειώσουν τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα τους (EFSA, 2010). Ακόμη, η Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας Τροφίμων υποστηρίζει ότι 4 g β-γλυκανών από βρώμη ή κριθάρι ανά 30 g αφομοιώσιμων υδατανθράκων συμβάλλουν στη μείωση της αύξησης της γλυκόζης αίματος μεταγευματικά (EFSA,2011).

Προϊόντα σταρένιου άρτου εμπλουτισμένα με κλάσματα κριθαριού πλούσια σε β-γλυκάνες φαίνεται να φέρουν αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά [27]. Όσον αφορά τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, οι β-γλυκάνες φαίνεται να επιδρούν θετικά στην υφή της ψίχας, ενώ δεν επιδρούν ή μειώνουν τον όγκο του τελικού προϊόντος [109]. Επιπροσθέτως, οι άρτοι με β-γλυκάνες εμφανίζουν μικρότερη απώλεια υγρασίας κατά την αποθήκευση από τον κοινό άρτο. Η επίδραση της β-γλυκάνης στις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού και του άρτου εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το μοριακό βάρος του πολυσακχαρίτη, την ποσότητα που προστίθεται και την ποιότητα του αλευρού που αποτελεί τη βάση της ζύμης [110].

Εναλλακτικές κατηγορίες φυτικών ινών που έχουν προστεθεί σε άρτο και έχουν μελετηθεί είναι το πίτουρο σιταριού [111], η κυτταρίνη [106], η χιτοζάνη [112] και η ινουλίνη [113]. Η τελευταία παρουσιάζει σημαντική πρεβιοτική δράση [114], αλλά διαθέτει και πολλές λειτουργικές ιδιότητες που σχετίζονται, κυρίως με την ικανότητά της να σχηματίζει σταθερές πηκτές [115].

#### **1.5.4 Άρτος με χαμηλή ή καθόλου προσθήκη αλατιού**

Τα καρδιαγγειακά νοσήματα ευθύνονται για το 1/3 των θανάτων παγκοσμίως (WHO, 2003) με την αυξημένη αρτηριακή πίεση (Α.Π.) να αποτελεί κύριο αιτιολογικό τροποποιησιμο παράγοντα και το αλάτι να αποτελεί την πρωταρχική αιτία της αυξημένης Α.Π. [116]. Οι ημερήσιες ανάγκες των ενηλίκων εκτιμώνται περίπου στα 3-4 g αλάτι όταν η μέση ημερήσια πρόσληψη του ευρωπαϊκού πληθυσμού κυμαίνεται στα 8-11 g [117]. Εκτιμάται ότι ο περιορισμός του αλατιού της διατροφής στα 5 g/ημέρα μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο για εγκεφαλικό και καρδιαγγειακά κατά 23% και 17%, αντίστοιχα [118]. Κύρια πηγή αλατιού συνιστούν τα επεξεργασμένα τρόφιμα που καλύπτουν το 70-75% της ημερήσιας πρόσληψης με τα δημητριακά και τα προϊόντα τους να καλύπτουν περίπου το 30% της ημερήσιας πρόσληψης [119]. Ο άρτος, μάλιστα, αποτελεί μία πλούσια κρυφή πηγή νατρίου. Σύμφωνα με την αμερικανική βάση USDA, μία φέτα λευκό σταρένιο ψωμί (28 g) περιέχει 134 mg νατρίου (Na), ενώ μία φέτα ψωμί σικάλεως (28,35 g) περιέχει 171 mg νατρίου (Na). Μειώνοντας την περιεκτικότητα του άρτου, που αποτελεί βασικό τρόφιμο, σε αλάτι μειώνεται η συνολική πρόσληψη, η Α.Π. και, μακροπρόθεσμα, ο κίνδυνος για καρδιαγγειακά νοσήματα. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, ένα τρόφιμο φέρει την επιγραφή «χαμηλό σε αλάτι» όταν περιέχει λιγότερο από 0,3% αλάτι [120]. Το αλάτι, ωστόσο, δε συμβάλλει μόνο στη γεύση του ψωμιού, αλλά και στη διαμόρφωση του πλέγματος της γλουτένης, την ενζυμική δραστηριότητα της μαγιάς και την παραγωγή αερίων επηρεάζοντας την ανάπτυξη της ζύμης [121].

Προϊόντα άρτου με χαμηλή ή καθόλου προσθήκη αλατος έχουν μελετηθεί και παρασκευαστεί. Η γεύση των προϊόντων αυτών διαφέρει κατά πολύ από την γεύση του κοινού άρτου και συχνά χαρακτηρίζεται ως ξινή με μια επίγευση μαγιάς. Γενικά, τα προϊόντα με μειωμένη ποσότητα αλατιού δεν είναι τόσο αρεστά στους καταναλωτές όσο ο κοινός άρτος παρ' όλο που φαίνεται να αναγνωρίζουν τα οφέλη της μείωσης του αλατιού [122]. Ο περιορισμός του αλατιού (έως 0,3% περιεκτικότητα) δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την εκτατότητα της ζύμης, ενώ η ζύμη με μηδενική προσθήκη αλατιού εμφανίζει έως και 26% μείωση της εκτατότητας σε σχέση με τη ζύμη με



συνηθισμένη προσθήκη αλατιού (1,2%) [123]. Επιπρόσθετα, η μείωση του άλατος δε συνεπάγεται σημαντική μείωση του όγκου του άρτου ούτε γρηγορότερο μπαγιάτεμα, το οποίο σχετίζεται με τη μηδενική προσθήκη, καθώς το αλάτι μειώνει το ρυθμό απομάκρυνσης της υγρασίας διατηρώντας τον άρτο πιο «ενυδατωμένο» με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διατηρησιμότητά του [124]. Δεδομένου ότι το αλάτι είναι απαραίτητο για την ομοιόμορφη κατανομή των πόρων της ψίχας, η μείωση και/ή η απουσία του οδηγεί σε ανομοιόμορφη κατανομή και μικρότερο αριθμό μεγάλων πόρων [123].

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως ερευνάται η παρασκευή λειτουργικών προϊόντων άρτου με περιορισμένη περιεκτικότητα χλωριούχου νατρίου και με προσθήκη καλίου που, όπως είναι διαπιστωμένο, έχει αρνητική συσχέτιση με την αρτηριακή υπέρταση [118].

#### **1.5.5 Άλλα λειτουργικά προϊόντα άρτου (εμπλουτισμός ή αντικατάσταση συστατικού)**

Δεδομένου ότι ο άρτος αποτελεί βασικό τρόφιμο της καθημερινής διατροφής σημαντικού ποσοστού του πληθυσμού έχουν πραγματοποιηθεί ποικίλες ακόμη προσπάθειες βελτίωσης της θρεπτικής του αξίας προκειμένου να εμφανίζει οφέλη για την υγεία του ανθρώπου. Αναφορικά, έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στις ιδιότητες των οσπρίων και συγκεκριμένα του ρεβιθιού τόσο σχετικά με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου όσο και με τις πιθανές ευεργετικές τους δράσεις. Η αντικατάσταση μέρους του σιταλεύρου με αλεύρι ρεβιθιού (~35%) οδηγεί στην παραγωγή ενός προϊόντος με αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά το οποίο δεν προκαλεί κάποια δυσφορία και, μάλιστα προκαλεί μικρότερη αύξηση των μεταγευματικών επιπέδων γλυκόζης αίματος σε σύγκριση με το σταρένιο ψωμί. Τα ρεβίθια συνιστούν μία πλούσια πηγή φυτικών ινών, βιταμινών, μετάλλων και απαραίτητων αμινοξέων που ανεπαρκούν στο σιτάλευρο [125]. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητά τους σε φυτικές ίνες ανέρχεται στο 16,4% έναντι του 3% του σιταλεύρου και η περιεκτικότητά σε πρωτεΐνη του ωμού αλεύρου τους ανέρχεται στο 25,5% έναντι του 11,9% στο σιτάλευρο [126,127]. Γενικά, τα άλευρα των οσπρίων αυξάνουν το πρωτεϊνικό περιεχόμενο του άρτου [128]. Η προσθήκη τους, ωστόσο επηρεάζει αρκετά τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος οδηγώντας σε πιο σκληρή υφή, μικρότερο όγκο, σκουρότερο χρώμα και διαφορετική γεύση [47,129]. Όταν η προσθήκη τους κυμαίνεται από 20%-30% δε φαίνεται να επηρεάζουν τόσο τα παραπάνω χαρακτηριστικά [125]. Η επίδρασή τους, όμως στα επίπεδα γλυκόζης αίματος μπορεί να συμβάλλει σε έναν καλύτερο γλυκαιμικό έλεγχο των ατόμων με σακχαρώδη

διαβήτη ύστερα από κατανάλωση λειτουργικών προϊόντων άρτου με προσθήκη αλεύρων οσπρίων [130].

Επιπροσθέτως, έχει γίνει μελέτη της προσθήκης αλεύρων «ψευδοδημητριακών», όπως ο αμάρανθος, το φαγόπυρο και η κινόα, τα οποία φαίνεται να αυξάνουν το φαινολικό περιεχόμενο (TPC=Total Phenolic Content) του άρτου και την αντιοξειδωτική του δράση. Το φαγόπυρο, μάλιστα φαίνεται να ενισχύει τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του άρτου όπως η γεύση, το χρώμα και το άρωμα, ενώ παρουσιάζει και το μεγαλύτερο φαινολικό περιεχόμενο [131]. Για το φαινολικό του περιεχόμενο έχει μελετηθεί και το αλεύρι από κουκούτσια σταφυλιού. Βρέθηκε ότι η προσθήκη 5 g του αλεύρου αυτού ανά 100 g σιταλεύρου έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός προϊόντος με αποδεκτά χαρακτηριστικά, ποιοτικά και οργανοληπτικά, και με υψηλό φαινολικό περιεχόμενο (TPC) σε σύγκριση με τον κοινό άρτο [132]. Τέλος, έχει μελετηθεί και η αντικατάσταση της ζάχαρης η οποία είναι απαραίτητη για τη ζύμωση της μαγιάς. Παρ' όλο που προστίθεται σε μικρές ποσότητες αυξάνει το θερμιδικό περιεχόμενο χωρίς να προσδίδει κάποια άλλη θρεπτική αξία. Η αντικατάσταση της με σκόνη μελιού οδηγεί σε ένα αποδεκτό προϊόν που μπορεί να έχει και οφέλη για την υγεία λόγω του παλινορθωμένου αμύλου, που χρησιμοποιείται στην παρασκευή της, η μακροχρόνια κατανάλωση του οποίου βελτιώνει τα επίπεδα χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων σε σύγκριση με μία διατροφή πλούσια σε άμυλο [133].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ποιοτική υποβάθμιση του άρτου**

### **2.1 Εισαγωγή**

Ύστερα από μακροχρόνια μελέτη, το μπαγιάτεμα του άρτου (staling) εξακολουθεί να αποτελεί βασικό πρόβλημα της αρτοβιομηχανίας. Λόγω της δυναμικής του συστήματος, τα φυσικοχημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του άρτου αρχίζουν να μεταβάλλονται αμέσως μετά τον κλιβανισμό και κατά τη διάρκεια της “ψύξης” (απόκτηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος) και της αποθήκευσης. Παρ' όλη τη γνώση που έχει αποκτηθεί σχετικά με τους παράγοντες που συμβάλλουν και/ή επιταχύνουν το μπαγιάτεμα του άρτου, αλλά και των παραγόντων που το καθορίζουν ή το επιβραδύνουν δεν έχει πλήρως κατανοηθεί ο μηχανισμός που οδηγεί σε αυτό το φαινόμενο. Η διαλεύκανσή του θα περιορίσει σημαντικά την οικονομική ζημία των παραγωγών και θα βελτιώσει τον χρόνο ζωής και την ποιότητα του προϊόντος στο ράφι.

Ο μηχανισμός αυτός ορίζεται ως αρκετά πολύπλοκος λόγω του αριθμού των συστατικών του άρτου, καθώς και των ποικίλων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα. Ακόμη και η φύση των βασικών συστατικών (πρωτεΐνες και υδατάνθρακες), τα οποία είναι ήδη σύνθετα από μόνα τους, αποτρέπει την απλουστευμένη κατανόηση της δράσης τους κατά το μπαγιάτεμα. Ο ορισμός του τελευταίου συνδέεται άμεσα με τη θερμοκρασία και το χρόνο, συνιστώσες της αλλοίωσης των χαρακτηριστικών του άρτου. Γενικότερα, το μπαγιάτεμα οφείλεται σε μια σειρά αλληλένδετων διεργασιών με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολο να μελετηθεί καθεμία ξεχωριστά χωρίς να υποεκτιμηθούν σχετικές αιτίες ή/και συνέπειες στο δυναμικό αυτό σύστημα [134]. Συγκεκριμένα, το μπαγιάτεμα του άρτου περιλαμβάνει δύο σημαντικές αλλαγές στην υφή του: η κόρα μαλακώνει και χάνει την τραγανή και εύθρυπτη υφή της, ενώ η ψίχα σκληραίνει καθώς μειώνεται η ελαστικότητά της. Παράλληλα, περιλαμβάνει την απώλεια της χαρακτηριστικής γεύσης του φρέσκου ψωμιού, αλλά και του αρώματος, που οφείλονται σε πτητικές ενώσεις [135].

Η πρώτη μεταβολή στην υφή οφείλεται στη μεταφορά υγρασίας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό λόγω της υψηλότερης ενεργότητας ( $a_w$ ) της ψίχας σε σχέση με την κόρα [136]. Η δεύτερη αποτελεί ένα πιο σύνθετο φαινόμενο που οφείλεται σε περισσότερες διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές και οι παράγοντες που επηρεάζουν το μπαγιάτεμα της ψίχας έχουν μελετηθεί αρκετά και φαίνεται να σχετίζονται με την παλινόρθωση του αμύλου [137,138].

Η παλινόρθωση του αμύλου συνιστά ένα φαινόμενο που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το χρόνο και περιλαμβάνει την επανασύνδεση των μορίων του αμύλου σε μερικώς καθορισμένη κρυσταλλική μορφή. Όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές πραγματοποιείται επανακρυστάλλωση τόσο της αμυλόζης όσο και της αμυλοπηκτίνης. Βέβαια, η κινητική της επανακρυστάλλωσης των δύο πολυμερών διαφέρει σημαντικά με την επανακρυστάλλωση της αμυλόζης να απαιτεί μερικές ώρες και την επανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης μερικές μέρες [139]. Δεδομένου ότι η απώλεια της μαλακής υφής της ψίχας παρατηρείται με το πέρας των πρώτων ημερών, έχει μελετηθεί κυρίως η επανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης ως η κύρια αιτία του μπαγιάτεματος [138]. Η κρυσταλλική δομή του αμύλου αποκαθίσταται σταδιακά και τα πολυμερή της αμυλοπηκτίνης οργανώνονται με τη μορφή διπλής έλικας [140]. Το φαινόμενο αυτό, μάλιστα, είναι εντονότερο σε προϊόντα άρτου με υψηλή συγκέντρωση φυτικών ινών ύστερα από εμπλουτισμό με κλάσματα πίτουρου ή ινουλίνης, ενώ φαίνεται να πραγματοποιείται με μικρότερο ρυθμό όταν αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης της ζύμης [95,141,142].

Παράλληλα, το νερό κατέχει βασικό ρόλο καθώς τα μόρια του ενσωματώνονται στους κρυστάλλους που σχηματίζονται κατά την παλινόρθωση της αμυλοπηκτίνης και μεταφέρεται από το πλέγμα της γλουτένης στο άμυλο, αλλάζοντας τη φύση του πλέγματος και τροποποιώντας τις αλληλεπιδράσεις αμύλου-γλουτένης [105]. Εκτός αυτού, το νερό συμβάλλει στη σκληρότητα της ψίχας λόγω της πλαστικοποίησης που επιφέρει στη δομή της [143].

## **2.2 Σταθερότητα του άρτου**

Η σταθερότητα ενός συστήματος (τροφίμου) εξαρτάται από την τάξη των αντιδράσεων, φυσικών και χημικών, των διαφόρων συστατικών [144]. Μία βασική παράμετρος για τον προσδιορισμό της σταθερότητας του άρτου είναι το σημείο (θερμοκρασία) υαλώδους μεταπτώσεως (glass transition temperature ή  $T_g$ ) και η διακύμανσή του [145]. Η θερμοκρασία αυτή είναι ιδιότητα των άμορφων υλικών και αποτελεί τη μετάβαση από την ελαστική ιξώδη άμορφη στερεή μορφή σε μία υαλώδη εύθραυστη άμορφη στερεή μορφή. Σε μοριακό επίπεδο, ο υπολογισμός της  $T_g$  της ψίχας του άρτου περιγράφει τη θερμοκρασία όπου οι αλυσίδες των πολυμερών εμφανίζουν μικρότερη κινητικότητα συγκριτικά με τη θερμοκρασία όπου τα πολυμερή μεταβαίνουν από μία κρυσταλλική ή ημικρυσταλλική φάση σε μία στερεή άμορφη φάση [145]. Γενικότερα, η θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως στα πολυμερή περιγράφεται ως η θερμοκρασία στην οποία η ελεύθερη ενέργεια κατά Gibbs είναι κατάλληλη ώστε να υπερβεί την ενέργεια ενεργοποίησης των συνεργαστικών διαδικασιών των 50 ή παραπάνω τμημάτων της αλυσίδας [146].

Η  $T_g$  μπορεί να μετρηθεί με ποικίλες μεθόδους, όπως η διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC), η δυναμική μηχανική ανάλυση (DMA), η διηλεκτρική ανάλυση (DEA), η θερμομηχανική ανάλυση (TMA) και διάφορες φασματοσκοπικές μέθοδοι [144]. Το μεγάλο εύρος της θερμοκρασίας αυτής, περίπου 20°C, του λευκού άρτου φαίνεται να αντικατοπτρίζει την πολυπλοκότητα και την ετερογένεια του [147]. Τα πολυμερή του βρίσκονται σε διαφορετικές φυσικές καταστάσεις με τη γλουτένη να είναι σε άμορφη κατάσταση και το άμυλο σε μερικώς κρυσταλλική μορφή [148]. Λόγω της δυναμικής του συστήματος, που αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο άρτος τείνει να σχηματίσει μία οργανωμένη δομή (κρυσταλλική φάση) η οποία θα είναι πιο σταθερή. Ενδιάμεσα εμφανίζονται και ορισμένες “υποφάσεις” με διαφορετικές ιδιότητες, οι οποίες θα επηρεάσουν την τάξη των αντιδράσεων των διαφόρων αλλαγών που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το χρόνο.

Ο βαθμός και η κινητική των αντιδράσεων των διαφόρων συστατικών πρέπει, ακόμη, να προσδιοριστούν ώστε να κατανοηθούν οι μεταβολές στο σύστημα του άρτου που με τη σειρά τους οδηγούν στο μπαγιάτεμα. Όλα τα συστατικά (αλεύρι, νερό, ζάχαρη, αλάτι, μαγιά, πρόσθετα), καθώς και οι παράμετροι παρασκευής του άρτου πρέπει να μελετηθούν ως προς την επίδραση τους στην κατάσταση του συστήματος και τη μεταβολή των φάσεων, τη διάχυση, την κινητικότητα των μορίων και την τάξη των αντιδράσεων. Παράλληλα, πρέπει να μελετηθεί η επίδραση της  $T_g$  στο βαθμό των αντιδράσεων σε ένα σύστημα που περιέχει πρόσθετα, όπως η β-κυκλοδεξτρίνη, που ελέγχουν, επιταχύνουν ή επιβραδύνουν την αλλοίωση της ποιότητας του άρτου.

### **2.3 Μοριακή κινητικότητα και διεργασίες μεταφοράς**

Η συνήθης περιεκτικότητα του άρτου σε υγρασία, περίπου 38%, και, συγχρόνως, η θερμοκρασία αποθήκευσης του, περίπου 25°C, καθιστούν ευνοϊκές τις συνθήκες για ποικίλες αντιδράσεις που σχετίζονται με την αλλοίωση της ποιότητας του άρτου. Η φυσική κατάσταση των πολυμερών (υαλώδες στερεό ή ελαστικό υγρό) που υπάρχουν στον άρτο φαίνεται να επηρεάζουν τις ιδιότητες της διάχυσης, δηλαδή το πόσο γρήγορα τα μόρια θα κινηθούν μέσα στο πλέγμα το άρτου [144]. Οι ιδιότητες αυτές με τη σειρά τους, παρ' όλο που δεν έχουν μελετηθεί πλήρως, αναμένεται να επηρεάζουν την τάξη των αντιδράσεων σημαντικών μακροσκοπικών αλλαγών που παρατηρούνται κατά το μπαγιάτεμα του άρτου. Η μελέτη της κινητικότητας των πολυμερών και της σχέσης της με το μπαγιάτεμα βασίζεται στη μέτρηση της κινητικότητας των πρωτονίων με τη χρήση διαφόρων μεθόδων, όπως ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός [149]. Η κινητικότητα των πρωτονίων αποκαλύπτει την κατάσταση ισορροπίας των συστατικών που συνυπάρχουν στα συστήματα (τρόφιμα) σε κίνηση (υγρή φάση) και σε ακινησία (στερεή φάση) [149]. Παράλληλα, άλλες μέθοδοι, όπως η διηλεκτρική φασματοσκοπία, χρησιμοποιούνται για τη μελέτη μορίων με αργή κινητικότητα στην άμορφη κατάσταση ενός πολύπλοκου συστήματος και είναι δυνατό να εφαρμοστούν στη μελέτη της κινητικής κατά το μπαγιάτεμα του άρτου, που βρίσκεται συνήθως σε άμορφη κατάσταση [150]. Διηλεκτρικές και μηχανικές αναλύσεις κοινού άρτου του εμπορίου, αμύλου σιταριού και γλουτένης έδειξαν τις σημαντικές αλλαγές που παρατηρούνται στη μοριακή κινητικότητα των συστατικών τους ύστερα από εκτίμηση των αλλαγών στη θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως  $T_g$  [151].

Η μεταφορά της υγρασίας σε ένα στερεό μέσης περιεκτικότητας σε υγρασία, όπως ο άρτος, επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες συμπεριλαμβανομένης της διάχυσης του νερού και τη διαπερατότητα. Η διάχυση των διαφόρων συστατικών φαίνεται να κατέχει

σημαντικό ρόλο στην αλλοίωση της ποιότητας του άρτου κατά την αποθήκευσή του με χαρακτηριστικά παραδείγματα την απώλεια της υγρασίας και των χημικών ενώσεων που είναι υπεύθυνες για τη χαρακτηριστική γεύση. Άλλωστε, σε ένα σύνθετο στερεό υλικό που δε βρίσκεται σε ισορροπία και παρατηρούνται διαφορετικές συγκεντρώσεις υπάρχει η τάση εξισορρόπησης των συγκεντρώσεων μέσω διάχυσης. Και στην περίπτωση της υγρασίας, η τελευταία θα διαχυθεί από τις περιοχές με υψηλή υγρασία στις περιοχές με χαμηλή υγρασία [152]. Η διαπερατότητα είναι ανάλογη της διαμέτρου των πόρων και του κλάσματος του όγκου των πόρων και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί [152]. Απαιτείται η διεξαγωγή μελετών για την εύρεση των αποτελεσματικών συντελεστών διάχυσης και διαπερατότητας της ψίχας και της κόρας του ψωμιού προκειμένου να ενισχυθεί η κατανόηση των φαινομένων του μπαγιατέματος.

## **2.4 Μεταβολή της υφής**

Η απώλεια της μαλακής υφής της ψίχας αποτελεί συνάρτηση του χρόνου, της θερμοκρασίας και της διαμόρφωσης του προϊόντος. Σχετίζεται με τις αλλαγές στο περιεχόμενο άμυλο, όπως η επανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης, και αλλαγές στα άμορφα τμήματα του ζελατινοποιημένου αμύλου καθώς και με τις μοριακές συσχετίσεις των διαφόρων συστατικών (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια). Οι αλλαγές σε μοριακό επίπεδο φαίνεται να σχετίζονται με τις οργανοληπτικές ιδιότητες, αλλά και τις μηχανικές ιδιότητες της δομής του άρτου, όπως η σκληρότητα. Ποικίλες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στις αλλαγές αυτές χωρίς να έχουν οδηγηθεί σε ένα κοινό συμπέρασμα για την αιτία και την επίπτωση των διεργασιών που εμπλέκονται [72,105,137].

Ο μηχανισμός που έχει προταθεί για το μπαγιατέμα περιλαμβάνει δύο ανεξάρτητα γεγονότα. Το πρώτο λαμβάνει χώρα κατά τις πρώτες δύο μέρες της αποθήκευσης και σχετίζεται με τις αλλαγές στα πολυμερή του αμύλου, ενώ το δεύτερο σχετίζεται με τη μεταφορά του νερού από το πλέγμα της γλουτένης στο άμυλο και από τη ψίχα στην κόρα με αποτέλεσμα την απώλεια της χαρακτηριστικής τραγανής υφής της κόρας [143,153]. Το αποτέλεσμα αυτό εξαρτάται και από τη διαπερατότητα της κόρας σε υδρατμούς που μπορεί να μετριάσει το αποτέλεσμα χωρίς, όμως, να σταματήσει την απώλεια της υγρασίας [154]. Άλλωστε, οι αλλαγές στην κινητικότητα και την κατανομή του νερού επηρεάζουν τις ιδιότητες διάχυσης της κόρας και της ψίχας με την τελευταία να γίνεται ξηρή και σκληρή [72,135,155]. Γενικότερα, η έκπτωση της ποιότητας του φρέσκου ψωμιού όσον αφορά την υφή οφείλεται στην παλινόρθωση/επανακρυστάλλωση του αμύλου ιδίως των πλευρικών αλυσίδων της αμυλοπηκτίνης [156]. Αυτή με τη σειρά της

οδηγεί σε σκληρότερη και λιγότερο ελαστική ψίχα και πιο μαλακή κόρα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

Μελέτες για το μηχανισμό του μπαγιατέματος έχουν επικεντρωθεί και στο ένζυμο α-αμυλάση που μπορεί να αποδυναμώσει το πλέγμα του αμύλου, αλλά δεν προλαμβάνει την επανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης. Η τελευταία διαδικασία οδηγεί στην απομόνωση του νερού στους κρυστάλλους της αμυλοπηκτίνης με αποτέλεσμα τη μείωση του διαθέσιμου νερού στο πλέγμα της γλουτένης και αυξημένη σκληρότητα [156]. Από την άλλη πλευρά, η μαλτογονική α-αμυλάση (maltogenic από το βακτήριο *Bacillus* sp.) φαίνεται να περιορίζει την επανακρυστάλλωση και περισσότερο νερό παραμένει διαθέσιμο για το πλέγμα της γλουτένης διατηρώντας, έτσι, μία μαλακότερη ελαστική ψίχα [105]. Η ίδια μελέτη υποστηρίζει πως μόνο η επανακρυστάλλωση του αμύλου δεν εξηγεί το μηχανισμό πίσω από το μπαγιάτεμα, αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη οι αλληλεπιδράσεις αμύλου-γλουτένης. Επιπροσθέτως, οι Slade και Levine συσχέτισαν το βαθμό της επανακρυστάλλωσης με τη θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως (Tg) [157]. Η Tg για τον φρεσκοψημένο άρτο υπολογίζεται κοντά στη θερμοκρασία δωματίου και αυξάνεται στους 60°C σε ένα πλήρως παλινорθωμένο σύστημα.

Τέλος, οι Baik και Chinachoti (2000) [135] μελέτησαν την κατανομή της υγρασίας και τις μεταβολές των φάσεων σε σταρένιο άρτο, με ή χωρίς κόρα, που αποθηκεύτηκε σε ερμητικά κλειστή συσκευασία στους 25°C. Η περιεκτικότητα υγρασίας στη ψίχα μειώθηκε σημαντικά με τη μεγαλύτερη μείωση να παρατηρείται στο δείγμα με την κόρα. Το νερό που μπορεί να ψυχθεί (freezable) μειώθηκε, επίσης, στο δείγμα με την κόρα. Η αποθήκευση πέρα από τις επτά ημέρες κατέληξε σε μεγαλύτερη σκληρότητα και αυξημένη παλινόρθωση της αμυλοπηκτίνης στο δείγμα με την κόρα. Αυτό αποδόθηκε στη μεταφορά της υγρασίας από τη ψίχα στην κόρα. Η φασματοσκοπία ηλεκτρικής αντίστασης (Electrical impedance spectroscopy EIS) χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη των επιπτώσεων του μπαγιατέματος στις φυσικοχημικές ιδιότητες του άρτου [158]. Η θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως της κόρας επήλθε με το πέρασ 96 ωρών σε θερμοκρασία δωματίου και σε δείγματα με περιεκτικότητα υγρασίας μεγαλύτερη από 17%. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώθηκε και με τη χρήση της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης DSC.

## **2.6 Παράγοντες που αναστέλλουν το μπαγιάτεμα (anti-staling agents)**

Ένας σημαντικός αριθμός παραγόντων που αναστέλλουν το μπαγιάτεμα του άρτου είτε μεμονωμένα είτε συνεργαστικά χρησιμοποιούνται στην αρτοβιομηχανία αποφέροντας οικονομικό κέρδος αφού παρατείνουν το χρόνο ζωής των προϊόντων. Οι

βασικότεροι παράγοντες είναι επιφανειοδραστικά συστατικά ή γαλακτωματοποιητές και ένζυμα, όπως η μαλτογονική α-αμυλάση [159]. Εκτεταμένα έχει μελετηθεί η χρήση των γαλακτωματοποιητών που αλληλεπιδρούν με πολλά από τα συστατικά της ζύμης [160-162]. Μειώνουν την επιφανειακή τάση και αυξάνουν ή μειώνουν τις αλληλεπιδράσεις των μορίων με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση της ζύμης. Οι βασικές ιδιότητες των γαλακτωματοποιητών, γενικότερα, κατά τον κλιβανισμό του άρτου είναι η επιφανειακή δράση, η αλληλεπίδραση με τη γλουτένη, η συμπλοκοποίηση του αμύλου και ο σχηματισμός αφρού [162]. Η επιφανειακή δράση προκαλεί μείωση της επιφανειακής τάσης στη διεπιφάνεια λίπους/νερού βελτιώνοντας τη διασπορά του λίπους, αλλά και την απορρόφηση του νερού. Θεωρείται, ακόμη, πως οι γαλακτωματοποιητές διαμορφώνουν συμπλέγματα με τη γλουτένη αυξάνοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αλυσίδων των πρωτεϊνών, καθώς και ότι δρουν ως πλαστικοποιητές, αυξάνοντας την ολίσθηση των στρωμάτων των πρωτεϊνών κατά τη διέλευση του ενός πάνω από το άλλο [162]. Αναμένεται να προσκολλήσουν τις πολικές άκρες τους στις πρωτεΐνες και να προβάλλουν τις υδροφοβικές άκρες τους προς το εξωτερικό αποτρέποντας την προσκόλληση στα πολικά μόρια του αμύλου. Το φαινόμενο αυτό θα οδηγήσει σε αυξημένη ελαστικότητα της ζύμης και αυξημένο όγκο του τελικού προϊόντος. Επιπρόσθετα, η ζελατινοποίηση και η επανακρυστάλλωση του αμύλου μετριάζονται από την παρουσία των γαλακτωματοποιητών. Η συνολική επίδραση είναι η βελτίωση της μαλακότητας και γενικά της υφής της ψίχας. Τέλος, η σταθεροποίηση της δομής του αφρού στη ζύμη βελτιώνεται με την προσθήκη γαλακτωματοποιητών, η οποία οδηγεί σε βελτιωμένη συγκράτηση αερίου στη ζύμη [161,162].

Έχει μελετηθεί και η επίδραση της προσθήκης γλουτένης στο μπαγιάτεμα του άρτου. Συγκεκριμένα, η προσθήκη γλουτένης σε ποσοστό 15% (15 g γλουτένη/100 g αλεύρου) συμβάλλει στη διατήρηση της υφής της ψίχας κατά την αποθήκευση: χαμηλότερη σκληρότητα, διατήρηση ελαστικότητας και συνεκτικότητας. Με την παρουσία της γλουτένης, μία μεγαλύτερη ποσότητα νερού φαίνεται να είναι διαθέσιμη για την πλαστικοποίηση της δομής της ψίχας οδηγώντας σε καλύτερη πλαστικοποίηση και ένα μαλακότερο προϊόν [163]. Διατήρηση μαλακής ψίχας κατά την αποθήκευση φαίνεται να επιτυγχάνεται και με την προσθήκη μικρής ποσότητας ινών, που έχουν παραχθεί από τη φλούδα πατάτας, ενώ απαιτείται περαιτέρω μελέτη της χρήσης τους [164]. Επιπλέον, η χρήση προζυμίου φαίνεται να διατηρεί τις μηχανικές ιδιότητες του άρτου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά την αποθήκευση προστατεύοντας το προϊόν από το μπαγιάτεμα. Η δράση αυτή σχετίζεται με εξωπολυσακχαρίτες (EPS) που παράγονται από οξυγαλακτικά βακτήρια και επιμηκύνουν το χρόνο ζωής [165,166]. Το γαλακτικό οξύ και το υδροξείδιο του νατρίου μπορούν, ακόμη, να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση του pH



(≈5) του συστήματος η οποία έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο ρυθμό του μπαγιατέματος του άρτου [167].

Η χρήση διαφόρων υλικών, όπως το ασπράδι αυγού, το γάλα και το άμυλο αραβοσίτου, ως επικάλυψη του άρτου επιδρά μερικώς στο μπαγιατέμα. Πέρα από τη συμβολή τους στην εμφάνιση του προϊόντος, τα υλικά αυτά έχουν την ικανότητα να διατηρούν την υγρασία της ψίχας μειώνοντας το ρυθμό απώλειας της μαλακής υφής χωρίς να απαιτείται κάποια άλλη αλλαγή της συνταγής. Τα λίπη αρτοποιίας δε φαίνεται να έχουν θετική επίδραση ως επικαλύψεις, αλλά η προσθήκη τους στη συνταγή καθυστερεί την έκπτωση της ποιότητας της ψίχας [168].

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ποιοτική αξιολόγηση του άρτου**

#### **3.1 Χημική ανάλυση μακροθρεπτικών συστατικών**

##### **3.1.1 Προσδιορισμός της υγρασίας**

Το νερό συνιστά ένα από τα σημαντικότερα συστατικά πολλών τροφίμων, συμπεριλαμβανομένου και του άρτου καθορίζοντας αφενός την ποιότητα και αφετέρου τη σταθερότητα και τη διατηρησιμότητα. Ως υγρασία ορίζεται η ποσότητα νερού, η οποία έχει επικαθήσει ή προσροφηθεί από ένα σώμα χωρίς να έχει μοριακή ή χημική σύνδεση με αυτό και ο προσδιορισμός της είναι καίριας σημασίας κατά την επεξεργασία των τροφίμων και, κυρίως, κατά τον έλεγχο τους. Ο προσδιορισμός, άλλωστε, της υγρασίας αποτελεί προϋπόθεση για τον υπολογισμό της θρεπτικής αξίας του τροφίμου, την έκφραση των αποτελεσμάτων των αναλυτικών προσδιορισμών σε ενιαία βάση, καθώς και τη διατύπωση προδιαγραφών και νόμων σχετικά με τη σύσταση των τροφίμων. Έχει, ακόμη, και οικονομική σημασία αφού η απομάκρυνση της υγρασίας ενός τροφίμου οδηγεί στη ξηρά ουσία του [169]. Μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ποικίλων μεθόδων που εμφανίζουν, ωστόσο, δυσκολίες ως προς την ακρίβεια και την ταχύτητα των αποτελεσμάτων. Στα πλαίσια του ελέγχου της επεξεργασίας ενός τροφίμου και του αγορανομικού ελέγχου, τα βασικά κριτήρια με τα οποία επιλέγεται η μέθοδος προσδιορισμού είναι η ταχύτητα, η απλότητα και η επαναληψιμότητα. Η ακρίβεια της μεθόδου αποτελεί κύριο κριτήριο κατά τη μελέτη της διατηρησιμότητας και των βέλτιστων συνθηκών αποθήκευσης [170].

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον προσδιορισμό της υγρασίας ενός τροφίμου είναι η πτητικότητα του νερού, η διαλυτική του ικανότητα, οι ηλεκτρικές του ιδιότητες και οι

χημικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχει. Στα γεωργικά προϊόντα, όπως τα σιτηρά, ο προσδιορισμός πραγματοποιείται με την εκχύλιση με υγρό διαλύτη ή με ξήρανση σε φούρνο. Η δεύτερη μέθοδος προτιμάται λόγω ευκολίας και χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας. Το δείγμα του τροφίμου που μελετάται υπόκειται σε ξήρανση σε μία θερμοκρασία εντός του εύρους 70-105°C για ένα χρονικό διάστημα, που εξαρτάται από το ίδιο το τρόφιμο και την εφαρμόζουσα θερμοκρασία, έως ότου αποκτήσει ένα σταθερό βάρος. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον υπολογισμό της περιεκτικότητας υγρασίας με σχετική ακρίβεια και η διαφορά του βάρους του δείγματος, πριν και μετά την ξήρανση, στη θερμοκρασία και το χρόνο που απαιτείται για το εκάστοτε τρόφιμο, συνιστά την περιεχόμενη υγρασία του τροφίμου. Εφαρμόζεται στα γεωργικά προϊόντα σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO 712, 1985, καθώς και με άλλα πρότυπα AOAC, 1980 [171]. Τέλος, μέθοδοι που βασίζονται στη χρήση χημικών ουσιών και διαλυτών μπορούν να εφαρμοστούν για τον προσδιορισμό της υγρασίας των τροφίμων, όπως η μέθοδος Karl Fisher για την ανίχνευση ιχνών υγρασίας (1-3%).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η σωστή και ακριβής γνώση της περιεκτικότητας ενός τροφίμου σε υγρασία είναι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, καίριας σημασίας για τη βιομηχανία των τροφίμων. Υποεκτίμηση οδηγεί στη παραγωγή ενός προϊόντος με αυξημένο κίνδυνο ποιοτικής υποβάθμισης (εκκίνηση μικροβιολογικών και ενζυμικών αντιδράσεων λόγω υψηλότερης ενεργότητας νερού από την προσδιοριζόμενη) [171].

### **3.1.2 Προσδιορισμός της τέφρας**

Η τέφρα ορίζεται ως το απανθρακωμένο οργανικό υπόλειμμα μίας ουσίας ύστερα από την καύση της μαζί με τα τυχόν υπάρχοντα άκαυστα οξείδια μετάλλων και αμετάλλων και τα μη θερμιδικώς διασπώμενα άλατα. Διακρίνεται σε υδατοδιαλυτή τέφρα (διαλυτά οξείδια και άλατα) σε μη-υδατοδιαλυτή τέφρα (αδιάλυτα οξείδια, άλατα και απανθρακωμένα οργανικά συστατικά). Η τέφρα λαμβάνεται με καύση αφυδατωμένου τροφίμου στους 500-550°C σε κάμινο πύρωσης. Συνεπώς, στα υγρά και έφυγρα δείγματα προηγείται απομάκρυνση της υγρασίας σε ζέον υδατόλουτρο και ξήρανση στους 105°C σε φούρνο. Ο υπολογισμός της τέφρας των τροφίμων προκύπτει από την διαφορά βάρους κατά την καύση του εκάστοτε τροφίμου [172].

Κατά την καύση των τροφίμων, το νερό και τα πτητικά συστατικά εξατμίζονται, ενώ οι ενώσεις που παραμένουν και συνιστούν την τέφρα είναι τα οξείδια των μετάλλων και αμετάλλων, και τα μη θερμικώς διασπώμενα άλατα. Όσον αφορά τα τρόφιμα που είναι πλούσια σε λίπος πρέπει να θερμαίνονται συντηρητικά ώστε να μην προκληθεί ανάφλεξη

του λίπους που έχει ως αποτέλεσμα αρνητικό σφάλμα στον υπολογισμό της τέφρας, ενώ τα τρόφιμα πλούσια σε ζάχαρη πρέπει να προηγείται ο αφρισμός τους, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες.

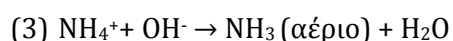
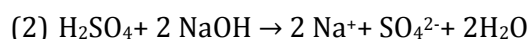
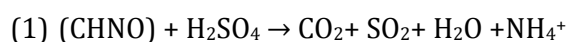
Τέλος, η τέφρα συνιστά κριτήριο εξευγενισμού αρκετών τροφίμων, όπως είναι η ζάχαρη και το αλεύρι και σε προϊόντα, όπως μαρμελάδες και πελτέδες, η τέφρα δείχνει το ποσοστό των φρούτων ή λαχανικών που περιέχονται. Η περιεκτικότητα της τέφρας ποικίλει ανάμεσα στα τρόφιμα και κυμαίνεται από 0% στη ζάχαρη, τα αβγά και την πλειονότητα των λιπών και ελαίων, μέχρι 5,8% στις ελιές [170].

### **3.1.3 Προσδιορισμός του αζώτου ολικών πρωτεϊνών**

Οι πρωτεΐνες που περιέχονται σε ένα τρόφιμο αποτελούν ένα από τα βασικότερα συστατικά του καθορίζοντας τη διατροφική του αξία σε μεγάλο βαθμό. Οι πρωτεΐνες αυτές σε συνδυασμό με τα τυχόν προϊόντα αποικοδόμησης και μεταβολισμού τους (πεπτίδια, ελεύθερα αμινοξέα, αμίνες, νουκλεϊνικά οξέα, νουκλεοτίδια, νουκλεοζίτες κ.ά.) συνιστούν το σύνολο των αζωτούχων συστατικών του τροφίμου [173]. Ο προσδιορισμός τους μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μεθόδων που βασίζονται στη χρωματομετρία και τη φασματομετρία ή με ηλεκτροφορητικές μεθόδους και παράλληλα ορισμένα αζωτούχα συστατικά μπορούν να προσδιοριστούν με τη χρήση ενζύμων, τη μέθοδο του φθορισμού και τη μέθοδο της υγρής χρωματογραφίας (HPLC). Η μέθοδος, όμως, που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για τον ποσοτικό προσδιορισμό του πρωτεϊνικού περιεχομένου βασίζεται στον προσδιορισμό του οργανικού αζώτου και τη χρήση ειδικών συντελεστών. Η μέθοδος περιλαμβάνει την καύση του αζώτου, το οποίο εν συνεχεία προσδιορίζεται ποσοτικά ως αμμωνία ή ως αέριο άζωτο (μέθοδος Kjeldahl ή μέθοδος Dumas, αντίστοιχα).

Συνηθέστερα, χρησιμοποιείται η μέθοδος Kjeldahl κατά την οποία η καύση του οργανικού αζώτου του τροφίμου πραγματοποιείται σε ζέον μείγμα πυκνού θειικού οξέος και θειικών αλάτων με τις θερμοκρασίες χώνευσης να κυμαίνονται από τους 340 στους 370°C. Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε θειικό αμμώνιο και έπειτα σε αμμωνιακά ιόντα (1). Κατά τη χώνευση διακρίνεται αρχικά ένα μαύρο μείγμα που αφρίζει και σταδιακά μετατρέπεται σε διαυγές με την ολοκλήρωση των αντιδράσεων. Το μείγμα παραμένει σε θερμοκρασία δωματίου πριν μεταφερθεί σε συσκευή απόσταξης όπου με την προσθήκη περίσσειας αλκάλειος (2) ουδετεροποιείται. Ακολουθεί η απόσταξη κατά την οποία τα αμμωνιακά ιόντα θα μετατραπούν σε αμμωνία (3) που μεταφέρεται σε κωνική φιάλη με γνωστή ποσότητα πρότυπου διαλύματος οξέος (4). Μέσω ογκομέτρησης (5) προσδιορίζεται η αμμωνία και, συνεπώς η συγκέντρωση των

αμμωνιακών ιόντων και του ολικού οργανικού αζώτου [174]. Το πρωτεϊνικό περιεχόμενο του τροφίμου υπολογίζεται με τη βοήθεια των συντελεστών μετατροπής του αζώτου σε πρωτεΐνη. Ο συνηθέστερος συντελεστής είναι το 6,25 λόγω του ότι η μέση περιεκτικότητα των καθαρών πρωτεϊνών σε άζωτο είναι 16%, ενώ ο συντελεστής μετατροπής για το αλεύρο σίτου και το ψωμί, αντιστοίχως, είναι 5,70. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:



Αξίζει, τέλος, να σημειωθεί πως ο προσδιορισμός του πρωτεϊνικού περιεχομένου ενός τροφίμου δε χρησιμοποιείται μόνο για τον υπολογισμό της θερμιδικής του αξίας. Συχνά πραγματοποιείται προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα και/ή γνησιότητα ενός τροφίμου. Οι αζωτούχες ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, για παράδειγμα, συμβάλλουν στη θρεπτική αξία των τροφίμων, αλλά και στο άρωμα και το χρώμα τους αποτελώντας δείκτη ωριμότητας ή αποσύνθεσης. Ανάλογα προσδιορίζονται οι ανόργανες αζωτούχες ενώσεις που παράγονται κατά την αποθήκευση του τροφίμου ή έχουν προστεθεί κατά την επεξεργασία του [170].

### 3.1.4 Εκχύλιση των ολικών λιποειδών

Η κατηγορία των λιποειδών περιλαμβάνει τις ενώσεις που είναι αδιάλυτες σε νερό και διαλυτές σε οργανικούς μη πολικούς διαλύτες. Διακρίνονται σε λίπη και έλαια με κριτήριο την κατάσταση τους σε θερμοκρασία δωματίου, στερεή ή υγρή αντίστοιχα, και σε ζωικές ή φυτικές λιπαρές ύλες ανάλογα με την προέλευση τους. Συνίσταται κυρίως από μη πολικές ενώσεις (τρι-, δι-, μονογλυκερίδια, στερόλες) και από ορισμένες πολικές ενώσεις (ελεύθερα λιπαρά οξέα, φωσφολιπίδια, σφιγγολιπίδια). Τα λιπίδια συχνά δεσμεύονται ομοιοπολικά σε υδατάνθρακες και πρωτεΐνες σχηματίζοντας τα γλυκολιπίδια και τις λιποπρωτεΐνες. Η δυνατότητα τους αυτή και η ικανότητα διαφόρων διαλυτών να διαλυτοποιούν συγκεκριμένες κατηγορίες λιπιδίων έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των εννοιών «εκχύλισμα ολικών λιποειδών» και «εκχυλίσμα λιποειδή». Οι

διαλύτες που εκχυλίζουν λιπίδια παρουσιάζουν υψηλή διαλυτότητα για όλες τις ενώσεις των λιπιδίων και να είναι αρκετά πολικοί για να επιτευχθεί η απομάκρυνση των λιπιδίων από τις πρωτεΐνες και τους υδατάνθρακες [175].

Η εκχύλιση αποτελεί τη βάση για την πλειοψηφία των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των τροφίμων σε λιπίδια [176]. Ο προσδιορισμός αυτός, όπως και ο προσδιορισμός του πρωτεϊνικού περιεχομένου, είναι απαραίτητος για την εκτίμηση της σύστασης και της θερμιδικής αξίας του τροφίμου. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι: η μέθοδος επαναλαμβανόμενης εκχύλισης με τη συσκευή Soxhlet, η μέθοδος εκχύλισης Bligh-Dyer, μέθοδοι βασισμένες στη φυγοκέντρωση και μέθοδοι βασισμένες στον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό [170].

Η μέθοδος της επαναλαμβανόμενης εκχύλισης είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη και η εκχύλιση επιτυγχάνεται με τη χρήση οργανικού διαλύτη, όπως το χλωροφόρμιο και ο αιθέρας. Εκτός από την εκχύλιση των λιποειδών, χρησιμοποιείται και για την παραλαβή ενός στερεού συστατικού από ένα μείγμα στερεών ουσιών με πολλές εφαρμογές στα τρόφιμα. Τα βασικά εξαρτήματα της συσκευής Soxhlet είναι η σφαιρική φιάλη ζέσης, η γυάλινη κυλινδρική φιάλη και ο κάθετος ψυκτήρας.

Η σφαιρική φιάλη ζέσης βρίσκεται στο κάτω μέρος της συσκευής και περιέχει τον οργανικό διαλύτη που έχει επιλεχθεί για την εκχύλιση. Η φιάλη θερμαίνεται με θερμομανδύα έως ότου ο διαλύτης φτάσει στο σημείο βρασμού του και αρχίσει η εξάτμισή του. Οι ατμοί μέσω πλευρικού σωλήνα, που συνδέει τη σφαιρική φιάλη με την κυλινδρική, φτάνουν στην κυλινδρική φιάλη, αφού προηγουμένως υγροποιηθούν στον κάθετο ψυκτήρα. Στην κυλινδρική φιάλη και, συγκεκριμένα, στο εσωτερικό ειδικού κυλινδρικού φίλτρου (φύσιγγα) έχει τοποθετεί το δείγμα του τροφίμου. Με την είσοδο των υγροποιημένων υδρατμών επιτυγχάνεται η πρώτη εκχύλιση του δείγματος. Το εκχύλισμα, π.χ. το λίπος του τροφίμου, μεταφέρεται μαζί με τον υγρό διαλύτη στην υποκείμενη σφαιρική φιάλη ζέσης μέσω δεύτερου πλευρικού σωλήνα σιφωνισμού όταν η στάθμη του διαλύτη ξεπεράσει το ύψος της φύσιγγας. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για αρκετές ώρες ανάλογα με το είδος του τροφίμου και δεδομένου ότι συνεχίζεται η επίδραση της θερμότητας και, συνεπώς ο βρασμός του διαλύτη. Με το τέλος των επαναλαμβανόμενων εκχυλίσεων πρέπει να έχει ληφθεί το σύνολο του περιεχόμενου λίπους του δείγματος. Η υποκείμενη σφαιρική φιάλη μεταφέρεται σε περιστρεφόμενο εξάτμιστήρα (rotary evaporator) ώστε να απομακρυνθεί ο διαλύτης και να ληφθεί το λίπος από την σφαιρική φιάλη με διάλυση του με μικρή ποσότητα νέου διαλύτη [172].

Η μέθοδος Bligh-Dyer επιτρέπει την εκχύλιση του συνόλου των λιποειδών, ουδέτερων και πολικών, από τα φυσικά προϊόντα (1-10 g φυσικού προϊόντος προς 60-100 mL τελικού μείγματος διαλυτών). Το μείγμα των διαλυτών αποτελείται από χλωροφόρμιο-

μεθανόλη-νερό σε αναλογία 1:2:0,8 συνιστώντας ένα μονοφασικό σύστημα. Οι δύο πρώτοι διαλύτες διαλύουν τα λιποειδή, ενώ η μεθανόλη έχει αποδεσμεύσει τα λιποειδή από τις λιποπρωτεΐνες λόγω της πολικότητάς της. Ταυτόχρονα, το νερό διαλύει τα υδατοδιαλυτά συστατικά του προϊόντος που εξετάζεται με αποτέλεσμα στο μονοφασικό σύστημα να περιέχονται τόσο τα λιποειδή όσο και τα υδατοδιαλυτά συστατικά. Στο επόμενο στάδιο προστίθεται στο σύστημα κατάλληλη ποσότητα χλωροφορμίου και νερού (1:1 ώστε η αρχική αναλογία να μετατραπεί σε 1:1:0,9) και μετατρέπεται σε διφασικό. Η άνω φάση αποτελείται από τη μεθανόλη, το νερό και τα υδατοδιαλυτά συστατικά και η κάτω φάση από το χλωροφόρμιο και τα λιποειδή. Επιτυγχάνεται, έτσι ο διαχωρισμός των δύο φάσεων και κατ' επέκταση των λιποειδών [172].

### 3.1.5 Προσδιορισμός των ακατέργαστων φυτικών ινών

Ως διαιτητικές φυτικές ίνες ορίζονται οι μη-αμυλούχοι πολυσακχαρίτες και η λιγνίνη και απαντώνται κατά κύριο λόγο στο κυτταρικό τοίχωμα των φυτικών κυττάρων. Διακρίνονται σε διαλυτές και αδιάλυτες, καθώς και σε ακατέργαστες και σε διαιτητικές φυτικές ίνες. Ως ακατέργαστες φυτικές ίνες ορίζονται τα μη πεπτόμενα οργανικά συστατικά ενός τροφίμου τα οποία αποτελούνται σε ποσοστό 97% από κυτταρίνη και λιγνίνη, ενώ το υπόλοιπο 3% από άλλους πολυσακχαρίτες αδιευκρίνιστης σύστασης, τα οποία όμως έχουν ως κοινή ιδιότητα ότι είναι αδιάλυτα στα αραιά ανόργανα οξέα και στα αραιά αλκάλια κάτω από καθορισμένες συνθήκες [172].

Ο προσδιορισμός των φυτικών ινών στα τρόφιμα είναι σημαντικός διότι η παρουσία τους μειώνει την ενεργειακή αξία του τροφίμου αφού δεν απορροφώνται από το λεπτό έντερο και, παράλληλα, η ισολογισμένη ποσότητα τους προσδίδει όγκο στο τρόφιμο. Σημειώνεται ότι υφίστανται πλήρη ή μερική ζύμωση από τους μικροοργανισμούς του παχέος εντέρου [177]. Ο προσδιορισμός τους πραγματοποιείται σε όλο και μεγαλύτερο αριθμό ειδών τροφίμων ύστερα από την αναγνώριση της ευεργετικής τους δράσης στην υγεία και την ανάπτυξη προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες. Για το λόγο αυτό πρέπει να επιτυγχάνεται με τη χρήση απλών μεθόδων και με ακρίβεια. Ποικίλες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό των φυτικών ινών, ενώ ευρέως χρησιμοποιείται η πρότυπη μέθοδος κατά AOAC, η οποία αναπτύχθηκε το 1988 από τον Prosky et al. και περιλαμβάνει συνδυασμό ενζυμικών και σταθμικών μεθόδων [178].

Η γενική μέθοδος προσδιορισμού των διαιτητικών ινών περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- i. Ομογενοποίηση, ξήρανση και ζύγιση του τροφίμου.

- ii. Απολίπανση, αποπρωτεΐνωση και διάσπαση αμύλου.
- iii. Διήθηση.
- iv. Παραλαβή ιζήματος που περιλαμβάνει το σύνολο των διαιτητικών ινών.

Η απολίπανση γίνεται στη συσκευή Soxhleht και η διάσπαση του αμύλου με διάφορες ενζυμικές μεθόδους [172].

Οι ακατέργαστες φυτικές ίνες είναι, όπως προαναφέρθηκε, αδιάλυτες στα αραιά ανόργανα οξέα και στα αραιά αλκάλια και στην ιδιότητά τους αυτή βασίζεται η μέθοδος προσδιορισμού Weende, η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση της συσκευής Dosi Fiber. Η χρήση της συσκευής αυτής οδηγεί σε σταθμικό προσδιορισμό των φυτικών ινών, μετά από διαλυτοποίηση όλων των συστατικών ενός κυτταρινούχου τροφίμου (π.χ. άρτος) σε θειικό οξύ και καυστικό κάλιο. Κατά το βρασμό με αραιό οξύ ( $H_2SO_4$ ) διασπώνται κυρίως οι πρωτεΐνες και οι αμυλούχοι πολυσακχαρίτες, ενώ με το αραιό αλκάλι (KOH) διασπώνται κυρίως τα λιπαρά προς ευδιάλυτη γλυκερίνη και σάπωνες. Οι ακατέργαστες φυτικές ίνες και τα ανόργανα συστατικά, δηλαδή η τέφρα, παραμένουν αδιάλυτα μετά τους διαδοχικούς βρασμούς. Τα αδιάλυτα αυτά συστατικά διηθούνται σε χωνευτήρι, ξηραίνονται στους  $105^{\circ}C$  και ζυγίζονται. Ακολουθεί καύση σε φούρνο πύρωσης από την οποία απομένει η τέφρα του δείγματος η οποία και ζυγίζεται. Η διαφορά των δύο ζυγίσεων οδηγεί στον υπολογισμό του ποσοστού των ακατέργαστων φυτικών ινών στο δείγμα και, συνεπώς, στο τρόφιμο [172].

### 3.2 Προσδιορισμός φυσικών ιδιοτήτων

Το πορώδες συνιστά μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους του άρτου και, συγκεκριμένα της ψίχας του διαμορφώνοντας σε μεγάλο βαθμό την υφή, τις μηχανικές ιδιότητες και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η υφή εξαρτάται από τη δομή των πόρων, την κατανομή των πόρων και το συνολικό πορώδες το οποίο επιδρά και στην αντίληψη των καταναλωτών σχετικά με την ποιότητα των προϊόντων. Επομένως, τόσο το ίδιο το πορώδες όσο και οι ιδιότητες που επηρεάζει καθορίζουν τις αντιλήψεις των καταναλωτών αναφορικά με τον ποιοτικό και αποδεκτό άρτο [179].

Η πορώδης δομή του άρτου και γενικότερα των προϊόντων αρτοποιίας αναπτύσσεται κατά τη χρονική διάρκεια που η ζύμη αφήνεται να ωριμάσει καθώς το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται δημιουργεί φυσαλίδες αέρα που με τη σειρά τους δεσμεύονται στο πλέγμα της γλουτένης. Αναπτύσσεται, ακόμη, και κατά το ψήσιμο όπου η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας δημιουργώντας πόρους μέσα στη δομή του στερεού. Η απομάκρυνση της υγρασίας μέσω εξάτμισης είναι υπεύθυνη και για τη δημιουργία των πόρων στα προϊόντα εξώθησης και ξήρανσης. Τα

προϊόντα αυτά εμφανίζουν μεγάλο πορώδες το οποίο είναι υπεύθυνο για την επιθυμητή τραγανή υφή και την θραυστότητά τους. Η πορώδης δομή, τέλος, χαρακτηρίζει και τα προϊόντα σε μορφή στερεών κόκκων, όπως οι σκόνες γάλακτος, ο στιγμιαίος καφές κ.ά.

Αντικειμενικές μέθοδοι αξιολόγησης της μικροδομής της ψίχας βασίζονται συνήθως στην ανάλυση εικόνας. Οι αρχές των μεθόδων βασίζονται με την σειρά τους στη μελέτη των μεμονωμένων πόρων και της θέσης τους σε μία φέτα (κάθετη διατομή). Οι προσεγγίσεις αυτές επιτρέπουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την ποσοτικοποίηση των πόρων των ψημένων προϊόντων και, κυρίως του άρτου και των ζυμωμένων προϊόντων. Μία από τις πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης μεθόδου για την μελέτη του πορώδους έγινε από τους Hodge and Cauvain, το 1973 [180]. Κάτω από προσεκτικά ελεγχόμενες συνθήκες μελάνι εκτυπωτή “απλώνονταν” πάνω στην επιφάνεια μίας κομμένης φέτας παντεσπανιού (sponge cake) και, εν συνεχεία, λαμβάνονταν το αποτύπωμα της πάνω σε μία γυάλινη πλάκα. Τα σημάδια του μελανιού μετρώνται με τη βοήθεια μικροσκοπίου όπου έχει προσαρμοστεί ένας εγκάρσιος μηχανοκίνητος μηχανισμός που διασφαλίζει την επαναληψιμότητα των μετρήσεων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν έδωσαν τη δυνατότητα εκτίμησης του μεγέθους των πόρων. Η πρόοδος της τεχνολογίας έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεθόδων που επιτρέπουν καλύτερη και πιο αντικειμενική αξιολόγηση της πορώδους δομής. Μεταξύ άλλων αναπτύχθηκαν οι εξής μέθοδοι που στηρίζονται και στον αντίστοιχο εξοπλισμό: AIB Crumb Scan [181] όπου η απεικόνιση της δομής γίνεται με σαρωτή εγγράφων και C-Cell από Calibre Control International όπου η απεικόνιση γίνεται με τη χρήση κάμερας [182]. Κατά κύριο λόγο, η μικροδομή μελετάται πλέον με τη μέθοδο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM) καθώς και με τη χρήση σύγχρονων εξελιγμένων σαρωτών και λογισμικών προγραμμάτων [95,183].



Συσκευή C-Cell [58].



Το πορώδες ( $\varepsilon$ ) ενός στερεού υλικού εκφράζει το κλάσμα όγκου του ελεύθερου χώρου ή αέρα στο υλικό και ορίζεται ως ο όγκος του αέρα ή του κενού όγκου προς το συνολικό όγκο δηλαδή  $\varepsilon = \frac{V_a}{V_{ολ}}$ , όπου  $V_a$  ο όγκος των κενών (πόρων) αέρα,  $V_{ολ}$  ο συνολικός όγκος του στερεού όπου συνυπολογίζεται και ο όγκος των κενών (πόρων) αέρα. Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, το πορώδες είναι καθαρός αριθμός μικρότερος της μονάδας. Ο συνολικός όγκος ( $V_{ολ}$ ) προσδιορίζεται μέσω των γεωμετρικών διαστάσεων του υλικού δεδομένου ότι είναι εφικτή η μέτρησή τους ή μέσω ογκομέτρησης, δηλαδή τη διαφορά όγκου που προκύπτει όταν το στερεό εμβαπτιστεί σε νερό ή άλλο αδρανές υλικό. Ο προσδιορισμός του καθαρού όγκου μπορεί να γίνει με κατάλληλο όργανο, όπως το στερεοπυκνόμετρο. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εισχώρηση αδρανούς αερίου μέσα στους πόρους του υλικού και την εκτόπιση του εγκλωβισμένου αέρα. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται είναι ο αέρας, το άζωτο και το ήλιο με προτιμότερο το τελευταίο λόγω της μικρής ατομικής διαμέτρου του. Παρατηρείται, έτσι, μεταβολή στη μερική πίεση του αδρανούς αερίου σε σχέση με τον πραγματικό (καθαρό) όγκο του δείγματος. Παράλληλα, η αξιολόγηση των δομικών ιδιοτήτων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της φαινόμενης ( $\rho_a$ ) και της πραγματικής ( $\rho_i$ ) πυκνότητας που συνδέονται με το πορώδες με τη σχέση  $\varepsilon = 1 - \rho_a / \rho_i$ . Σημειώνεται ότι η φαινόμενη πυκνότητα υπολογίζεται από τη σχέση  $\rho_\phi = \frac{m_\sigma}{V_{ολ}}$ , όπου  $m_\sigma$  η συνολική μάζα του στερεού συμπεριλαμβανομένης της μάζας της υγρασίας και  $V_{ολ}$  ο συνολικός όγκος, ενώ η πραγματική πυκνότητα υπολογίζεται από τη σχέση  $\rho_\pi = \frac{m_\sigma}{V_\sigma}$ , όπου  $V_\sigma$  ο καθαρός όγκος του υγρού συμπεριλαμβανομένου του όγκου υγρασίας [184].

### 3.3 Ανάλυση των χαρακτηριστικών υφής

Η υφή ορίζεται ως η αισθητήρια και λειτουργική εκδήλωση των δομικών, των μηχανικών και επιφανειακών ιδιοτήτων των τροφίμων και προσδιορίζεται με τις αισθήσεις της ακοής, της όρασης, της αφής και της κιναισθητικής. Η υφή ενός τροφίμου διαμορφώνει σε σημαντικό βαθμό την αντίληψη του καταναλωτή για την ποιότητα του [185]. Ακόμη, η υφή εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες που με τις σειρά τους εξαρτώνται από την εσωτερική μικροδομή και το πορώδες του άρτου και αξιολογείται εκτός των άλλων μέσω του δαγκώματος, της μάσησης και της αφής [58,179]. Ποικίλες άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων όπως συμπίεση, διάτμηση, ακουστικές διεργασίες, οργανοληπτικές δοκιμές [186]. Οπτικά η υφή ενός άρτου καθορίζεται από την εμφάνιση του προϊόντος και συγκεκριμένα από το

χρώμα της κόρας και τον όγκο έως την πορώδη δομή μίας φέτας. Η οπτική αξιολόγηση της υφής, μάλιστα, συνιστά το 20% της βαθμολογίας κατά τους περισσότερους ελέγχους αξιολόγησης της ποιότητας του άρτου [179]. Η γενικότερη και αντικειμενική αξιολόγηση της υφής πραγματοποιείται με ενόργανες μετρήσεις [187].

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνται με όργανα και μεθόδους που έχουν ως αποτέλεσμα τον ουσιαστικό προσδιορισμό των ιδιοτήτων της υφής του τροφίμου και, κατά κύριο λόγο επικεντρώνονται στις μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες [188]. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται μπορούν να ταξινομηθούν σε θεμελιώδεις, εμπειρικές και μιμητικές με τις δύο τελευταίες να χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον. Η αποτελεσματική, βέβαια, μέτρηση της υφής ενός τροφίμου επιτυγχάνεται με τη χρήση τόσο καταστρεπτικών όσο και μη καταστρεπτικών μεθόδων οι οποίες περιγράφονται παρακάτω [189].

### **3.3.1 Καταστρεπτικές μέθοδοι**

#### **➤ *Single-edge notched bend (SENB) test***

Η μέθοδος SENB προϋποθέτει τη χρήση δειγμάτων με συγκεκριμένες διαστάσεις, μήκος και πλάτος. Κατά τη μέθοδο αυτή δύναμη εφαρμόζεται με έναν τρίτο άκμονα από την κορυφή προς το κέντρο του δείγματος έως ότου αυτό σπάσει με την εγκοπή να γίνεται κατά πλάτος του δείγματος. Η ταχύτητα του τρίτου άκμονα είναι 2 mm/sec και η θραύση του δείγματος γίνεται με ελεγχόμενο τρόπο [190].

#### **➤ *Δοκιμασία κάμψεως 3 σημείων (3-point bending test)***

Η δοκιμασία κάμψεως τριών σημείων περιλαμβάνει την εφαρμογή δύναμης στο κέντρο του δείγματος με ένα αμόνι μέχρι το δείγμα να σπάσει. Η ταχύτητα κυμαίνεται από 1 mm/min έως 120 mm/min [189].

#### **➤ *Δοκιμασία πίεσης - χαλάρωσης (Stress Relaxation test)***

Η δοκιμασία αυτή εφαρμόζεται για τη μελέτη των ιδιοτήτων ημιστερεών τροφίμων, όπως το ζυμάρι, και κυρίως των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων [189].

#### **➤ *Δοκιμασία διατμητικής δύναμης Warner- Bratzler (Warner- Bratzler shear force test)***

Η δοκιμασία διατμητικής δύναμης χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για την ενόργανη μέτρηση της τρυφερότητας του κρέατος [191].

#### **➤ *Μιμητικές μέθοδοι***

Οι μέθοδοι αυτές μιμούνται τη διαδικασία μασήματος, ακολουθώντας τις κινήσεις του δαγκώματος ή της μάσησης και χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση των ιδιοτήτων της υφής, ενώ εντάσσονται στις καταστρεπτικές μεθόδους. Στηρίζονται στη χρήση οργάνων που προσομοιάζουν τη διαδικασία του μασήματος και πρόσφατα χρησιμοποιήθηκε σε μιμητικές μεθόδους ένα είδος τεχνητού σάλιου, το οποίο αποδεικνύεται αρκετά βοηθητικό στη μελέτη των ιδιοτήτων υφής τροφίμων με υψηλή περιεκτικότητα αμύλου [192].

➤ ***Συνδυασμός μηχανικών και ακουστικών μεθόδων***

Ο συνδυασμός μηχανικών και ακουστικών μεθόδων χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ευθραυστότητας των σκληρών και τραγανών τροφίμων καθώς συνοδεύεται από έναν χαρακτηριστικό ήχο. Χρησιμοποιούνται, συνήθως, μηχανικές συσκευές σε συνδυασμό με ανιχνευτή ακουστικής εκπομπής (AED, Acoustic emission detector) με αποτέλεσμα την ταυτόχρονη καταγραφή της μετατόπισης της δύναμης και των ηχητικών σημάτων. Καταγράφονται, έτσι, τα μέγιστα ακουστικά σήματα σε συνδυασμό με τη μέγιστη δύναμη που εφαρμόζεται. Η μέγιστη ηχητική συχνότητα, ο αριθμός των κορυφών του ήχου (sound peaks), το μήκος της καμπύλης του ήχου και η περιοχή κάτω από την καμπύλη συνιστούν χρήσιμες παραμέτρους για την αξιολόγηση της υφής. Ο ανιχνευτής AED έχει ενσωματωθεί στον αναλυτή υφής TA-XT plus, ο οποίος χρησιμοποιείται πλέον από την πλειοψηφία των ερευνητών [193].

➤ ***Δοκιμασία συμπίεσης (compression) και διάτρησης (puncture)***

Οι δοκιμασίες αυτές συνιστούν τις πιο διαδεδομένες μεθόδους μέτρησης των ιδιοτήτων υφής και εφαρμόζονται τόσο σε στερεά όσο και σε ημιστερεά τρόφιμα καθώς και σε ολόκληρα τρόφιμα ή δείγματά τους ανάλογα με το σκοπό της μελέτης. Βασίζονται στη χρήση ενός κυλινδρικού σχήματος διαμέτρου 10-150 mm στη δοκιμασία συμπίεσης και διάμετρο μικρότερη από 10 mm στη δοκιμασία διάτρησης. Στην πρώτη περίπτωση η ταχύτητα συμπίεσης υπολογίζεται στα 4 mm/s, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η ταχύτητα διάτρησης ποικίλει από 10-40 mm/s. Επιπλέον, το βάθος της διάτρησης ανέρχεται σε μερικά χιλιοστά ανάλογα το μέγεθος του δείγματος, ενώ η παραμόρφωση πραγματοποιείται με διείσδυση κατά 25, 50 ή 75% ανάλογα με τις μηχανικές ιδιότητές του. Τέλος, απαιτούνται τουλάχιστον πέντε επαναλήψεις ανά δείγμα και ανά μέτρηση για την ακρίβεια και την εγκυρότητα των μετρήσεων [189].

Η διπλή επαναλαμβανόμενη συμπίεση ενός δείγματος συνιστά τη δοκιμή ανάλυσης προφίλ υφής (TPA – Texture Profile Analysis), η οποία βασίζεται στη μίμηση της διαδικασίας της μάσησης. Εφαρμόζεται σε τρόφιμα που δεν παραμορφώνονται με την πρώτη συμπίεση και μέσω της δοκιμής αυτής μελετώνται εκτός των άλλων η

σκληρότητα, η συνεκτικότητα, η ελαστικότητα, η θραυστότητα, η κολλητικότητα, η μασητικότητα και η πλαστικότητα ενός τροφίμου [189]. Καίριας σημασίας μηχανικές ιδιότητες της υφής ενός τροφίμου θα αναλυθούν στην παράγραφο 3.3.3.

### **3.3.2 Μη καταστρεπτικές μέθοδοι**

Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι διαφυλάσσουν το δείγμα από την υποβάθμιση ή/και την καταστροφή κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, αλλά αδυνατούν να αξιολογήσουν όλες τις ιδιότητες της υφής όπως αυτές αξιολογούνται με τις καταστρεπτικές μεθόδους. Χρησιμοποιείται συνήθως συνδυασμός τέτοιων μηχανικών μεθόδων (στατική δυναμική παραμόρφωση, συμπίεση με το δάχτυλο, χρήση υπερήχων, οπτικές τεχνικές κ.ά.) ώστε να αξιολογηθούν αποτελεσματικότερα οι ιδιότητες της υφής καθώς και η κατάσταση και η ποιότητα ενός τροφίμου [194].

### **3.3.3 Χαρακτηριστικές μηχανικές ιδιότητες**

#### **I. Σκληρότητα (hardness)**

Η σκληρότητα ορίζεται ως η δύναμη που απαιτείται για να προκληθεί μία δεδομένη παραμόρφωση σε ένα τρόφιμο, ενώ οργανοληπτικά ορίζεται ως η δύναμη που απαιτείται για να συμπιεστεί ένα προϊόν από τους γομφίους, αναφερόμενοι σε στερεό τρόφιμο, και μεταξύ της γλώσσας και του ουρανίσκου, αναφερόμενοι σε ημιστερεό τρόφιμο [185]. Η δύναμη αυτή υπολογίζεται συνήθως από την καμπύλη παραμόρφωσης σε μία ανάλυση προφίλ υφής TPA και ισούται με το μέγιστο φορτίο που εφαρμόζεται κατά την πρώτη συμπίεση [190]. Εναλλακτικά υπολογίζεται από τη δύναμη (N) συναρτήσεως της απόστασης (mm) και εκφράζεται ως η επιφάνεια της περιοχής κάτω από την καμπύλη μέχρι μία δεδομένη απόσταση ή ως η κλίση της καμπύλης, όπως αυτή υπολογίζεται στην πρώτη κορυφή της [195].

Η σκληρότητα ενός τροφίμου επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες που σχετίζονται με το τρόφιμο, τον τρόπο παρασκευής του, αλλά και τις συνθήκες αποθήκευσης. Αλλαγές στα μακροθρεπτικά συστατικά, όπως οι υδατάνθρακες, τα λιπαρά και οι φυτικές ίνες, φαίνεται να επιδρούν σημαντικά στη σκληρότητα του τελικού προϊόντος είτε η αλλαγή αφορά την ποσότητα είτε το είδος του μακροθρεπτικού συστατικού [103,190,196,197]. Όσον αφορά τον τρόπο παρασκευής του τροφίμου και ειδικότερα του άρτου, η θερμοκρασία κλιβανισμού επιδρά κυρίως στον όγκο καρβελιού, ενώ ο χρόνος επιδρά στο βάρος καρβελιού, τη σκληρότητα και την πυκνότητα του

ψωμιού [198]. Οι συνθήκες αποθήκευσης επηρεάζουν την περιεχόμενη υγρασία του τροφίμου και οδηγούν σε μεταβολή της σκληρότητας του άρτου και γενικότερα της υφής του. Συγκεκριμένα, αύξηση της υγρασίας συνεπάγεται σημαντική μείωση της σκληρότητας [195]. Τέλος, το είδος του υλικού συσκευασίας επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την υφή του προϊόντος και τη διατήρηση της αρχικής του σκληρότητας [199].

## **II. Θραυστότητα (brittleness)**

Η θραυστότητα ορίζεται ως η δύναμη που χρειάζεται ένα υλικό για να σπάσει, περικλείοντας έτσι προϊόντα με μεγάλο βαθμό σκληρότητας και χαμηλή συνεκτικότητα ή ως η δύναμη με την οποία ένα δείγμα θρυμματίζεται, ραγίζει ή σπάει. Γενικότερα, η τάση ενός στερεού υλικού να καταρρέει απότομα μετά από μια πολύ μικρή παραμόρφωση ορίζεται ως θραυστότητα ή ευθραυστότητα (brittleness) [185]. Ο προσδιορισμός της ιδιότητας αυτής πραγματοποιείται με τη χρήση των δοκιμασιών συμπίεσης ή διάτρησης, καθώς, και τη δοκιμή ανάλυσης προφίλ υφής και διαφέρει ανάλογα με το είδος του τροφίμου [187,200].

Η θραυστότητα, όπως και η σκληρότητα, επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του τροφίμου, όπως το πορώδες στην περίπτωση του άρτου [201], τα συστατικά του τροφίμου και κυρίως την περιεκτικότητα των λιπαρών [196], τον τρόπο παρασκευής και τις συνθήκες αποθήκευσης. Σημειώνεται ότι ο κλιβανισμός καθορίζει την ανάπτυξη της θραυστότητας και της τραγανότητας του τροφίμου και αύξηση της διάρκειάς του συνεπάγεται αύξηση της θραυστότητας [202]. Τέλος, η υγρασία στο περιβάλλον αποθήκευσης, αλλά και ο χρόνος αποθήκευσης έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας του τροφίμου και κατ' επέκταση τη μείωση της θραυστότητας [187,195].

## **III. Συνεκτικότητα (cohesiveness)**

Η συνεκτικότητα ορίζεται ως η έκταση στην οποία ένα υλικό μπορεί να παραμορφωθεί προτού υποστεί θραύση ή ρήξη της δομής του ή ως ο βαθμός στον οποίο ένα υλικό μπορεί να συμπιεστεί από τα δόντια πριν να σπάσει [185]. Αποτελεί τον λόγο των επιφανειών περιοχή 1/περιοχή 2 ενός διαγράμματος ανάλυσης προφίλ υφής (TPA), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.1 [184].



Σχήμα 3.1

#### IV. Κολλητικότητα (Gumminess)

Η κολλητικότητα συνιστά την ενέργεια που απαιτείται για τη διαλυτοποίηση ενός ημιστερεού τροφίμου, ώστε να είναι έτοιμο προς κατάποση και αφορά τρόφιμα με μικρή σκληρότητα και μεγάλη συνεκτικότητα [185]. Προκύπτει, τέλος, από το γινόμενο της σκληρότητας και της συνεκτικότητας.

#### V. Μασητικότητα (Chewiness)

Η μασητικότητα ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για τη μάσηση ενός στερεού τροφίμου έως ότου να είναι δυνατή η κατάποσή του και προκύπτει από το γινόμενο της κολλητικότητας και της ελαστικότητας. Συχνά ορίζεται και ως ο χρόνος που απαιτείται για τη μάσηση μέχρι το τρόφιμο να μπορεί να καταποθεί, εφαρμόζοντας σταθερό ρυθμό δύναμης.

#### VI. Ελαστικότητα (Springiness)

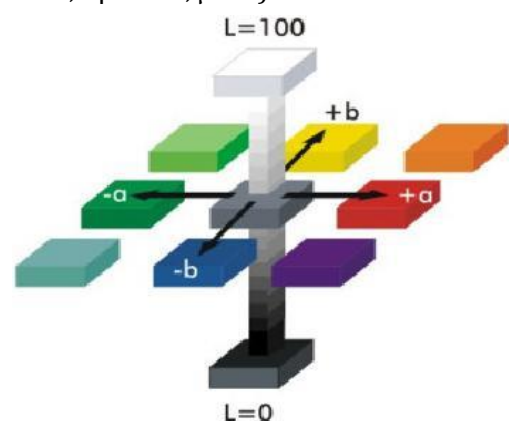
Η ελαστικότητα ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο ένα υλικό που έχει υποστεί παραμόρφωση επιστρέφει στην αρχική του δομή ύστερα από την επίδραση δύναμης παραμόρφωσης. Αναφορικά με τα τρόφιμα, η ελαστικότητα εκφράζει το βαθμό στον οποίο ένα προϊόν επανέρχεται στην αρχική του μορφή, μετά από τη συμπίεσή του ανάμεσα στα δόντια με το τέλος δηλαδή της εφαρμογής δύναμης. Υπολογίζεται, τέλος, από το λόγο μήκος 1/μήκος 2 σε ένα διάγραμμα ανάλυσης υφής (σχήμα 3.1) [185].

### 3.4 Αξιολόγηση του χρώματος

Εκτός από την υφή, ένας άλλος παράγοντας που καθορίζει την αντίληψη του καταναλωτή σχετικά με την ποιότητα ενός τροφίμου είναι το χρώμα του. Το χρώμα αν

και αποτελεί ένα χαρακτηριστικό φαινόμενο της φυσικής σχετίζεται στενά με τα τρόφιμα. Συγκεκριμένα σχετίζεται με τα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, την θρεπτική τους αξία, την υγιεινή τους κατάσταση, ενώ αντανακλά την συγκέντρωση μίας χρωστικής που συχνά αποτελεί δείκτη ποιότητας για το εκάστοτε τρόφιμο. Τα περισσότερα τρόφιμα, άλλωστε, είναι συνυφασμένα με ένα χαρακτηριστικό και αποδεκτό εύρος χρώματος [203].

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του χρώματος πραγματοποιείται με την όραση (του ανθρώπου), με όργανα όπως χρωματόμετρο, ή με υπολογιστική όραση (computer vision) και βασίζεται στην επιστήμη της χρωματομετρίας [204]. Έχουν διαμορφωθεί ποικίλα χρωματικά μοντέλα για την περιγραφή των χρωμάτων τα οποία διαφέρουν ως προς τη συμμετρία του χρώματος στο χώρο και το σύστημα των συντεταγμένων. Χαρακτηριστικά μοντέλα είναι τα Hunter L a b, CIE L\*a\*b\*, CIE XYZ κ.ά. με το RGB (κόκκινο, πράσινο και μπλε) να είναι το πιο δημοφιλές. Θεωρείται ότι το μάτι του ανθρώπου έχει τρεις υποδοχείς για την αντίληψη του χρώματος (κόκκινο, πράσινο, μπλε) και η αντίληψη των υπόλοιπων χρωμάτων προκύπτει από το συνδυασμό των προηγούμενων (CIE). Οι ποσότητες του κόκκινου, πράσινου και μπλε που απαιτούνται για να σχηματίσουν οποιοδήποτε συγκεκριμένο χρώμα, ονομάζονται τιμές κατά CIE και συμβολίζονται X, Y και Z, αντιστοίχως. Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από το μοντέλο CIE XYZ, που βασίζεται στην αρχή των τριών χρωμάτων και χρησιμοποιεί το χρωματικό διάγραμμα του διπλανού σχήματος για να ορίσει τα διάφορα χρώματα. Το Hunter Lab και το CIE L\*a\*b\* σχεδιάστηκαν ώστε να παρέχουν πιο ομοιόμορφες χρωματικές διαφορές σε σχέση με αυτές που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι [205].



Το CIELAB χρησιμοποιείται ευρέως για την αντικειμενική ποιοτική αξιολόγηση του χρώματος των τροφίμων και κάθε χρώμα περιγράφεται από τρεις συντεταγμένες, όπως και στο μοντέλο RGB. Οι τρεις συντεταγμένες αφορούν τους χαρακτήρες L,a,b, όπου το L περιγράφει τη φωτεινότητα της εικόνας και οι τιμές του κυμαίνονται από το 0 (μαύρο) έως το 100 (λευκό) και οι χαρακτήρες a και b αναφέρονται σε συντεταγμένες χρώματος [206]. Το a\* παίρνει είτε θετικές τιμές που αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου είτε αρνητικές τιμές που αφορούν αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του b\* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ αρνητικές τιμές τις αποχρώσεις του μπλε. Μέσω του χρώματος (C\*) που υπολογίζεται από τη σχέση (1) προσδιορίζεται η διαφορά μιας απόχρωσης σε σύγκριση με ένα γκρι χρώμα της ίδιας φωτεινότητας. Οι μεγαλύτερες τιμές χρώματος δηλώνουν μεγαλύτερη ένταση του χρώματος το οποίο

γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι [205]. Επιπρόσθετα, η συνολική χρωματική διαφορά ( $\Delta E^*$ ) δίνεται από τη σχέση (2) και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του μεγέθους της διαφοράς του χρώματος ανάμεσα στα δείγματα ελέγχου και τα αποθηκευμένα δείγματα. Τιμές μεγαλύτερες του τρία υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων, τιμές 1,5-3 υποδηλώνουν διακριτές διαφορές και, τέλος, τιμές μικρότερες του 1,5 υποδηλώνουν μικρές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Υπολογίζονται, ακόμη, η οπτική γωνία απόχρωσης (hue angle) , ο δείκτης λευκότητας (Whiteness Index) και ο δείκτης κίτρινου χρώματος (Yellowness Index) που δίνεται από τη σχέση (3) και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ποιοτικής υποβάθμισης των τροφίμων από το φως, διάφορες χημικές ουσίες και την επεξεργασία [207].

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \quad (2)$$

$$YI = \frac{142.86 b^*}{L^*} \quad (3)$$

Η μέτρηση του χρώματος πραγματοποιείται με ποικίλες μεθόδους, όπως η οπτική ανάλυση του χρώματος, η χρήση χρωματόμετρου ή φασματοφωτόμετρου και η υπολογιστική όραση. Η οπτική ανάλυση ή αλλιώς σύγκριση με πρότυπα πραγματοποιείται με τη βοήθεια της όρασης αποτελώντας υποκειμενική μέθοδο. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται παρατήρηση των δειγμάτων υπό ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού και το χρώμα του δείγματος συγκρίνεται με χρωματικά πρότυπα και γίνεται ο χαρακτηρισμός του βάσει καθορισμένου λεξιλογίου [208]. Η μέθοδος αυτή δεν είναι αρκετά αξιόπιστη και ακριβής με αποτέλεσμα, εφόσον είναι δυνατό, να πραγματοποιούνται ενόργανες μετρήσεις κατά τις οποίες το χρώμα εκφράζεται μέσω των συντεταγμένων χρώματος. Κατά κύριο λόγο η μέτρηση του χρώματος των τροφίμων πραγματοποιείται σε βιομηχανικό επίπεδο με τη χρήση χρωματόμετρου ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Μετράται το χρώμα των πρωτογενών πηγών ακτινοβολίας που εκπέμπουν φως και των δευτερογενών πηγών ακτινοβολίας που αντανακλούν ή μεταδίδουν το εξωτερικό φως. Το όργανο διαθέτει τρία φίλτρα αντίστοιχα των τρία κωνίων του ματιού. Ένα τριχρωματικό χρωματόμετρο έχει τρεις συνιστώσες, την πηγή φωτός, το συνδυασμό των φίλτρων που χρησιμοποιούνται για να τροποποιήσουν την κατανομή της ενέργειας του ανακλώμενου φωτός και τον φωτοηλεκτρικό ανιχνευτή που μετατρέπει το ανακλώμενο φως σε ηλεκτρικό σήμα. Χρησιμοποιούνται, τέλος, βαθμονομημένα πρότυπα με χρώματα παρόμοια με αυτά των δειγμάτων και οι τιμές κατά CIE X, Y και Z λαμβάνονται οπτικά [209]. Ακολουθεί η χρήση των φασματοφωτόμετρων κυρίως για τρόφιμα υγρής μορφής και σε ερευνητικό επίπεδο



στα οποία μετράται η ποσότητα του φωτός που αντανακλάται από την επιφάνεια του δείγματος (ανακλαστικότητα) ή την ποσότητα του φωτός που διαπερνά το δείγμα (διαπερατότητα) [205]. Τέλος, η υπολογιστική όραση βασίζεται στην ηλεκτρονική επεξεργασία και ανάλυση μίας ψηφιακής εικόνας και κατ' επέκταση την αξιολόγηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό του χρώματος. Η μέθοδος χρησιμοποιείται πλέον σε μεγάλο βαθμό λόγω της ταχύτητας, της αντικειμενικότητας και κυρίως λόγω του ότι είναι μη επεμβατική [204,205].

### **3.5 Μελέτη των θερμικών ιδιοτήτων**

#### **3.5.1 Εισαγωγή**

Η θερμική επεξεργασία του αμύλου έχει ως αποτέλεσμα τη ζελατινοποίησή του, ενώ η αποθήκευση εν συνεχεία οδηγεί στην παλινόρθωση του ζελατινοποιημένου αμύλου, φαινόμενο που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2. Η παλινόρθωση επηρεάζει, όπως είναι αναμενόμενο, την ποιότητα, την αποδοχή και το χρόνο ζωής των περισσότερων προϊόντων που περιέχουν άμυλο με βασικότερο τον άρτο καθώς είναι υπεύθυνη για το μπαγιάτευμα του [210,211]. Αποτελεί ένα φαινόμενο καίριας σημασίας για τη βιομηχανία τροφίμων και ποικίλες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τη μελέτη της παλινόρθωσης. Οι αλλαγές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων, που αποδίδονται στις αλλαγές του αμύλου ενός δείγματος τροφίμου ή ενός μοντέλου συστήματος αμύλου συνιστούν τη βάση αυτών των μεθόδων. Η επαρκής γνώση των ιδιοτήτων αυτών, αλλά και η πλήρης κατανόηση των μεθόδων και των περιορισμών τους αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την ορθή εξαγωγή και ερμηνεία των αποτελεσμάτων και του φαινομένου, αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και κατ' επέκταση των διαδικασιών που θα ακολουθηθούν είναι καίριας σημασίας προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Οι βασικότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της παλινόρθωσης του αμύλου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μακροσκοπικές και σε μοριακές τεχνικές. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι μέθοδοι στις οποίες παρακολουθούνται οι μεταβολές συγκεκριμένων φυσικών ιδιοτήτων, όπως μηχανικές αλλαγές ή αλλαγές της υφής, οι μέθοδοι που βασίζονται στη ρεολογία και στη σκέδαση του φωτός, η οργανοληπτική αξιολόγηση της υφής, η διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC), η θολωσιμετρία και η μέτρηση της συναίρεσης. Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι μέθοδοι που μελετούν τις αλλαγές στη διαμόρφωση των πολυμερών του αμύλου ή στην κινητικότητα των μορίων νερού, η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR), η περιθλασιμετρία ακτίνων X, οι μέθοδοι που βασίζονται στη δονητική φασματοσκοπία, όπως η φασματοσκοπία Raman, και η

φασματοσκοπία FTIR. Σε όλες σχεδόν τις μεθόδους, η χρήση της εξελιγμένης τεχνολογίας επιτρέπει την αυξημένη ανάλυση, ακρίβεια και ταχύτητα των τεχνικών, ενώ παράλληλα ενισχύει το φάσμα των δυνατοτήτων των μεθόδων.

### **3.5.2 Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC)**

Η διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης φαίνεται να χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για τη μελέτη της ζελατινοποίησης και της παλινόρθωσης το 1971 από τους Stevens&Elton [212]. Εφαρμόζεται έκτοτε από την πλειοψηφία των ερευνητών για την ποσοτικοποίηση της κρυστάλλωσης του αμύλου, τη μελέτη της παλινόρθωσης του αμύλου και τον προσδιορισμό της κινητικής της, καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την παλινόρθωση παρέχοντας τη δυνατότητα εξαγωγής χρήσιμων και βασικών πληροφοριών [213-218].

Είναι γνωστό ότι κάθε φορά που ένα υλικό υφίσταται κάποια μεταβολή στη φυσική του κατάσταση ή μετατρέπεται από μία κρυσταλλική μορφή σε άλλη ή συμμετέχει σε κάποια χημική αντίδραση, θερμότητα απορροφάται (ενδόθερμη) ή απελευθερώνεται (εξώθερμη). Στην αρχή αυτή βασίζεται και η μέθοδος DSC κατά την οποία η αλλαγή στην ενέργεια που εισάγεται στο δείγμα και το υλικό αναφοράς μετράται συναρτήσει της θερμοκρασίας καθώς και τα δύο υλικά υπόκεινται σε προγραμματισμένη θέρμανση ή ψύξη. Όταν λαμβάνει χώρα μία θερμική μετάπτωση, ενέργεια απορροφάται από το δείγμα και η ενέργεια αυτή αναπληρώνεται με αυξημένη είσοδο ενέργειας στο δείγμα ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασιακή ισορροπία. Καθώς η ενέργεια που εισάγεται στο δείγμα είναι ακριβώς ισοδύναμη σε μέγεθος με την ενέργεια που απορροφάται κατά τη μετάπτωση, μία καταγραφή των εξισορροπημένων ενεργειών αποδίδει μία άμεση θερμιδομετρική μέτρηση της ενεργειακής μετάπτωσης, που στη συνέχεια καταγράφεται ως μία κορυφή. Η περιοχή κάτω από την κορυφή είναι ανάλογη της αλλαγής της ενθαλπίας (H) και η κατεύθυνσή της υποδηλώνει αν το θερμικό γεγονός είναι ενδόθερμο ή εξώθερμο. Κατά την παλινόρθωση του αμύλου, ο προσδιορισμός της ενθαλπίας επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής της ενέργειας κατά την τήξη της αμυλοπηκτικής που έχει υποστεί επανακρυστάλλωση αλλά και τον προσδιορισμό των μεταπτώσεων της θερμοκρασίας του ενδόθερμου αυτού φαινομένου (Το αρχική θερμοκρασία, Τ<sub>p</sub> κορυφή και Τ<sub>c</sub> τελική θερμοκρασία).

Οι Colwell, Axford, Chamberlain & Elton (1969) [219] μελετώντας την παλινόρθωση του αμύλου εξήγαγαν το συμπέρασμα πως η παλινόρθωση συνιστά μία αναστρέψιμη θερμική αλλαγή και ότι η αποθήκευση πηκτών αμύλου σε χαμηλότερες θερμοκρασίες οδηγεί στο σχηματισμό κρυστάλλων αμύλου που λιώνουν σε μικρότερες θερμοκρασίες,

συμπέρασμα που επιβεβαιώθηκε και αργότερα με τη χρήση της DSC [218]. Παράλληλα, η χρήση της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης σε ποικίλες μελέτες επιβεβαίωσε τον καθοριστικό ρόλο της αμυλοπηκτικής στην παλινόρθωση του αμύλου [139,213,220,221].

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά τη μελέτης της παλινόρθωσης του αμύλου με τη χρήση της DSC είναι σχετικά απλή και δεν απαιτείται υψηλά εξειδικευμένο προσωπικό. Ο «πολτός» του δείγματος παρασκευάζεται απευθείας στο ειδικό σκεύος, συνήθως αλουμινίου, καθώς το νερό προστίθεται με τη βοήθεια μικροσύριγγας και ύστερα σφραγίζεται ερμητικά. Εναλλακτικά, το δείγμα μπορεί να παρασκευαστεί σε ξεχωριστό δοχείο, όπως μπουκάλι, και στη συνέχεια να τοποθετηθεί στο ειδικό σκεύος. Το δείγμα, βέβαια, και στους δύο τρόπους παρασκευής συστήνεται να παραμείνει σε θερμοκρασία δωματίου για μία έως δύο ώρες ή και περισσότερες προκειμένου να διασφαλιστεί η πλήρης ενυδάτωση των κόκκων αμύλου. Σε περίπτωση που η μελέτη περιλαμβάνει αποθήκευση των δειγμάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα, σε θερμοκρασία δωματίου ή υψηλότερη, είναι δυνατή η προσθήκη χημικών συντηρητικών, όπως αζίδιο του νατρίου, σε πολύ μικρές ποσότητες. Οι συνθήκες που επικρατούν για τη ζελατινοποίηση του αμύλου στο θερμιδόμετρο είναι ανάλογες των συνθηκών κατά το ψήσιμο παρά με τις συνθήκες κάποιου άλλου τρόπου μαγειρικής [222] και λόγω του ερμητικά κλειστού σκεύους λαμβάνει χώρα σε ελαφρώς αυξημένη πίεση (2-3 atm) [223]. Σημειώνεται ότι αν το σκεύος δεν είναι ερμητικά κλειστό τότε απομακρύνεται νερό με τη μορφή ατμών κατά τη θέρμανση με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής θερμοχωρητικότητας του δείγματος [223]. Ένα κενό δοχείο αναφοράς είναι απαραίτητο ώστε να εξισορροπηθεί, όσο το δυνατόν περισσότερο, η θερμοχωρητικότητα του δείγματος. Η θερμοκρασία κατά την εφαρμογή της μεθόδου κυμαίνεται από τους 30 έως τους 120°C με ρυθμό 5 ή 10°C ανά λεπτό. Συχνά η θέρμανση επαναλαμβάνεται για να εξασφαλιστεί η πλήρης ζελατινοποίηση του αμύλου. Ακολουθεί η έκθεση του δείγματος σε συνθήκες παλινόρθωσης με τον τρόπο θέρμανσης να παραμένει ίδιος και πραγματοποιούνται αναλύσεις σε καθορισμένες χρονικές στιγμές.

Η συγκέντρωση αμύλου του δείγματος πρέπει να είναι >20% (w/w) και φαίνεται να υπάρχει σημαντική συσχέτιση του βαθμού παλινόρθωσης με την αρχική συγκέντρωση [215,217,222]. Η Eliasson (1983) [224], μάλιστα, παρατήρησε ότι ο μέγιστος βαθμός παλινόρθωσης καταγράφηκε όταν η συγκέντρωση του αμύλου ήταν 55%. Οι τιμές της ενθαλπίας, ακόμη, που παρατηρούνται κατά την παλινόρθωση είναι συνήθως 60-80% χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές κατά τη ζελατινοποίηση και οι μεταπτώσεις της θερμοκρασίας ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ) είναι 10-26°C χαμηλότερες από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες ζελατινοποίησης των αμυλοκόκκων [225-227]. Το τελευταίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η φύση των κρυστάλλων που σχηματίζονται κατά την παλινόρθωση διαφέρει από τη

φύση των αρχικών αμυλοκόκκων. Η δομή των αμυλοκόκκων που έχουν υποστεί επανακρυστάλλωση εξαρτάται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης και, συγκεκριμένα, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία αποθήκευσης, εντός του εύρους 5-50°C, τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία μετάπτωσης πιθανά λόγω της συσχέτισης της θερμοκρασίας με την κρυστάλλωση των πολυμερών [213,215,218]. Χαμηλή θερμοκρασία επιτρέπει το σχηματισμό κρυστάλλων με ατελή δομή που απαιτούν χαμηλότερη θερμοκρασία  $T_m$  [210].

Αξίζει, τέλος, να επισημανθούν τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης για τη μελέτη της παλινόρθωσης του αμύλου τα οποία έχουν ήδη καταγραφεί από τον Nakazawa και τους συνεργάτες το 1985 [218]:

- Εφαρμόζεται σε μεγάλο εύρος περιεκτικότητας νερού.
- Επιτρέπει τον άμεσο προσδιορισμό της ενέργειας που απαιτείται για την τήξη του παλινορθωμένου αμύλου.
- Το ερμητικό κλείσιμο εμποδίζει τις μεταβολές του περιεχόμενου νερού.
- Απαιτεί μικρό χρόνο διεξαγωγής και μη εξειδικευμένο προσωπικό.
- Αποτελέσματα εξάγονται με μικρές ποσότητες δείγματος της τάξης των 5-10 mg.

Το τελευταίο, βέβαια, προϋποθέτει ότι τα δείγματα που χρησιμοποιούνται για τις αναλύσεις είναι αντιπροσωπευτικά. Η μέθοδος, ακόμη, προϋποθέτει ότι τα δείγματα δεν είναι αραιά. Επισημαίνεται ότι η DCS έχει υψηλό αρχικό κόστος και τρέχοντα έξοδα και, συγχρόνως, περιορισμένη ευαισθησία.

### **3.6 Αξιολόγηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών**

#### **3.6.1 Γενικά**

Η αποδοχή και η επιλογή ενός τροφίμου από τον καταναλωτή καθορίζεται ως επί το πλείστον από τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά τα οποία διαμορφώνονται από τις ιδιότητες του τροφίμου, όπως η εμφάνιση, η γεύση, το άρωμα και οι ακουστικές του ιδιότητες. Παράλληλα, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και κατ' επέκταση η αποδοχή τους επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες ανάμεσα στους οποίους διακρίνεται η αλληλεπίδραση των παραπάνω ιδιοτήτων, η ευχαρίστηση που προκαλεί η κατανάλωση του τροφίμου, τα γνωρίσματα του ίδιου του καταναλωτή, όπως τα πολιτισμικά και θρησκευτικά χαρακτηριστικά του, καθώς και η φυσιολογική του κατάσταση, η αποδοχή

παρόμοιων τροφίμων, οι προσδοκίες και οι συνθήκες του οργανοληπτικού ελέγχου. Ο οργανοληπτικός έλεγχος των νέων προϊόντων αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι των διαδικασιών της βιομηχανίας τροφίμων και η συμβολή του στην αποδοχή ή μη ενός νέου τροφίμου είναι καθοριστική [228].

Κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο αξιολογείται η απόκριση του ατόμου/δοκιμαστή στα διάφορα ερεθίσματα που λαμβάνει από το τρόφιμο τόσο μέσω της όρασης (εμφάνισης του τροφίμου) και της οσμής (άρωμα του τροφίμου) όσο και μέσω της επαφής του με το στόμα (υφή του τροφίμου) και τη γεύση/επίγευση του. Τα ερεθίσματα αυτά καταλήγουν με τη μορφή νευρικών σημάτων στον εγκέφαλο όπου επεξεργάζονται και ερμηνεύονται οδηγώντας σε μία συγκεκριμένη απόκριση είτε υποκειμενική, όπως «Μου αρέσει», είτε αντικειμενική, όπως «είναι αλμυρό». Η απόκριση, επομένως, είναι αποτέλεσμα των διαφόρων αισθήσεων και της αλληλεπίδρασής τους με την αντίληψη της γεύσης να αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα [229].

Η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και η εκτίμηση της αποδοχής ενός τροφίμου συνιστούν μία δύσκολη διαδικασία που βασίζεται σε αρχές της ψυχολογίας και σε συμπεριφοριστικά μοντέλα [228]. Ποικίλες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την διεξαγωγή οργανοληπτικών ελέγχων με ακρίβεια και αξιοπιστία που εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από την επιλογή των δοκιμαστών, τις συνθήκες διεξαγωγής του ελέγχου, το μέγεθος του δείγματος, αλλά και τη σωστή επεξεργασία και εξαγωγή των συμπερασμάτων. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι οι δοκιμές διαφοροποίησης, οι περιγραφικές δοκιμές αλλά και συναισθηματικές μέθοδοι [230].

### **3.6.2 Δοκιμές διαφοροποίησης**

Οι δοκιμές διαφοροποίησης (discrimination test) αποτελούν αναλυτικές δοκιμές που διεξάγονται προκειμένου να γίνει σύγκριση των δειγμάτων ή/και να αξιολογηθεί η ικανότητα των δοκιμαστών. Διακρίνονται στη δοκιμή διαφοροποίησης κατά ζεύγη, τη δοκιμή κατάταξης, τη δοκιμή “δύο από τα πέντε” και τη δοκιμή “Α-όχι Α”.

Η πρώτη δοκιμή περιλαμβάνει τον εντοπισμό διαφορών μεταξύ ενός ζεύγους δειγμάτων από τους δοκιμαστές ή την αναγνώριση του δείγματος από το ζεύγος που είναι πανομοιότυπο με το δείγμα αναφοράς (δοκιμή duo-trio). Εναλλακτικά, ο δοκιμαστής καλείται να διακρίνει το δείγμα που διαφέρει από τα υπόλοιπα δύο που είναι πανομοιότυπα (τριγωνική δοκιμή). Η δοκιμή της κατάταξης περιλαμβάνει τη συγκριτική κατάταξη τουλάχιστον τριών δειγμάτων ύστερα από αξιολόγηση της έντασης ενός μόνο οργανοληπτικού χαρακτηριστικού. Η δοκιμή “δύο από τα πέντε” περιλαμβάνει την

κατηγοριοποίηση πέντε δειγμάτων σε δύο κατηγορίες, δύο και τρία πανομοιότυπα δείγματα. Τέλος, η δοκιμή "Α- όχι Α" περιλαμβάνει τη διάκριση των δειγμάτων Α από το σύνολο των δειγμάτων ύστερα από την εκπαίδευση των δοκιμαστών προκειμένου να αναγνωρίζουν το δείγμα Α [231,232].

### 3.6.3 Περιγραφικές δοκιμές

Οι περιγραφικές δοκιμές χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων καθώς και για τον ποσοτικό τους προσδιορισμό από εξειδικευμένους δοκιμαστές. Κατά τις δοκιμές αυτές, η αξιολόγηση του τροφίμου βασίζεται σε όλες τις αισθήσεις προκειμένου να είναι πλήρης. Οι περιγραφικές δοκιμές περιλαμβάνουν τις δοκιμές διαβάθμισης και την περιγραφική ανάλυση. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στις δοκιμές κατάταξης σε κλίμακα κατά τις οποίες τα δείγματα αξιολογούνται είτε όλα μαζί είτε με σειρά. Η κλίμακα μπορεί να χρησιμοποιεί νούμερα ή ειδικό λεξιλόγιο για την περιγραφή της έντασης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που κατατάσσονται σε αύξουσα ή φθίνουσα σειρά. Ένα παράδειγμα ειδικού λεξιλογίου για τον περιγραφικό χαρακτηρισμό των αισθητηριακών γνωρισμάτων του άρτου απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα (3.6). Στη δεύτερη κατηγορία εμπίπτουν η ανάλυση κατατομής της γεύσης, η ανάλυση κατατομής της υφής και η ποσοτική περιγραφική ανάλυση [233].

**Πίνακας 3.6** Λεξιλόγιο για τον χαρακτηρισμό των αισθητηριακών γνωρισμάτων που αναπτύχθηκε από πάνελ ειδικών [123].

| Γνώρισμα                          | Ορισμός                                                                                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Μυρωδιά</b>                    |                                                                                                             |
| Κόρα-φρεσκοψημένη                 | Χαμηλή έως υψηλή.                                                                                           |
| Κόρα-μισοψημένη                   | Χαμηλή έως υψηλή.                                                                                           |
| Ψίχα                              | Τυπική μυρωδιά ζύμης με μαγιά.                                                                              |
| Φρεσκάδα                          | Βαθμός αρώματος φρεσκάδας της ψίχας.                                                                        |
| <b>Εμφάνιση</b>                   |                                                                                                             |
| Πυκνότητα                         | Χαμηλή έως υψηλή.                                                                                           |
| Αντίσταση της κόρας               | Χαμηλή έως υψηλή, ο βαθμός στον οποίο σπάει η κόρα.                                                         |
| Ξηρότητα της ψίχας                | Ο βαθμός στον οποίο έχει ξεραθεί η ψίχα. Απώλεια της υγρασίας.                                              |
| Ελαστικότητα/μαλακότητα της ψίχας | Χαμηλή έως υψηλή. Ο βαθμός στον οποίο η ψίχα επανέρχεται στο αρχικό ύψος ύστερα από συμπίεση με το δάχτυλο. |

|                             |                                                                   |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Υφή (κατά τη μάσηση)</b> |                                                                   |
| Ευθρυπτότητα                | Ο βαθμός στον οποίο η ψίχα σχηματίζει θρύμματα στο στόμα.         |
| Μαλακή                      | Ο βαθμός στον οποίο η ψίχα είναι μαλακή κατά τη μάσηση.           |
| Στεγνή                      | Ο βαθμός στον οποίο δημιουργείται ξερή αίσθηση στο στόμα.         |
| Συνεκτικότητα               | Ζυμαρώδης, σχηματίζει μία μπάλα.                                  |
| Προσκολληση                 | Κολλάει στο στόμα.                                                |
| <b>Γεύση</b>                |                                                                   |
| Μαγιά                       | Γεύση χαρακτηριστική της ζύμωσης της μαγιάς.                      |
| Μπαγιάτικη                  | Ο βαθμός στον οποίο εμφανίζεται μία μπαγιάτικη γεύση.             |
| Γλυκιά                      | Χαρακτηριστική γεύση που οφείλεται στα σάκχαρα.                   |
| Αλμυρή                      | Χαρακτηριστική γεύση που οφείλεται στο αλάτι.                     |
| Ξινή                        | Χαρακτηριστική γεύση που οφείλεται στο γαλακτικό και κιτρικό οξύ. |
| Πικρή                       | Γεύση που σχετίζεται με την καφεΐνη και την κινίνη.               |
| Προζύμι                     | Χαρακτηριστική γεύση προζυμιού.                                   |
| Στυφή                       | Στεγνή και τραχειά αίσθηση στο στόμα.                             |

### 3.6.4 Συναισθηματικές μέθοδοι

Οι συναισθηματικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τις μεθόδους όπου εκτιμώνται οι παράγοντες που διαμορφώνουν την αποδοχή και κατ' επέκταση την πιθανή προτίμηση ενός προϊόντος. Συνοπτικά διακρίνονται η δοκιμή προτίμησης κατά ζεύγη κατά την οποία επιλέγεται ένα από τα δύο δείγματα, η δοκιμή κατάταξης των δειγμάτων βάση προτίμησης και η δοκιμή διαβάθμισης των δειγμάτων με τη χρήση κλίμακας. Η συνηθέστερη κλίμακα διαβάθμισης είναι η κλίμακα αρεστότητας των εννέα σημείων με το ένα να δηλώνει τη μη αρεστότητα και το εννέα την υπερβολική αρεστότητα ενός τροφίμου. Η κλίμακα αυτή αποτελεί μία ευρέως χρησιμοποιούμενη ηδονική κλίμακα παρ' όλο που δεν είναι πλήρως αξιόπιστη καθώς ο προσδιορισμός των τιμών 1 και 9 είναι αρκετά δύσκολος, ενώ η επιλογή των ενδιάμεσων βαθμίδων μπορεί να μην ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματική ένταση του χαρακτηριστικού αλλά να επιλέγεται προσεγγιστικά [234].

### 3.6.5 Διεξαγωγή του οργανοληπτικού ελέγχου

Ο οργανοληπτικός έλεγχος λαμβάνει χώρα σε ειδικές αίθουσες δοκιμών όπου κάθε δοκιμαστής έχει έναν ατομικό χώρο και αναπαυτικό κάθισμα προκειμένου να προσαρμοστεί και να συγκεντρωθεί άμεσα στο περιβάλλον. Η προετοιμασία των

δειγμάτων πρέπει να έχει προηγηθεί και σε διαφορετικό χώρο από το χώρο των δοκιμών. Η αίθουσα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, όπως ο αερισμός και η απουσία άλλων οσμών και καπνού, η μέτρια θερμοκρασία και η αποφυγή ακραίων μεταβολών της, η ησυχία και η απουσία θορύβων, ο ελεγχόμενος φωτισμός και η καθαριότητα του χώρου [231].

Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιείται είτε από εξαιρετικά εκπαιδευμένους δοκιμαστές ή από εκπαιδευμένες μικρές ομάδες είτε από μεγάλες ομάδες δοκιμαστών/καταναλωτών. Η αξιολόγηση ενός προϊόντος από τους τελευταίους αντανakλά σε μεγάλο βαθμό και την αποδοχή του από το ευρύ κοινό, ενώ οι εκπαιδευμένοι δοκιμαστές λειτουργούν ως μέρος του ποιοτικού ελέγχου του τροφίμου. Μπορούν, ακόμη, να εκτιμήσουν πιθανές αλλοιώσεις ή πιθανότητες βελτίωσης. Η εκπαίδευση των δοκιμαστών καθορίζει την ικανότητά τους να αξιολογούν το προϊόν με αντικειμενικότητα, ακρίβεια και συνέπεια ώστε ο οργανοληπτικός έλεγχος να είναι αξιόπιστος. Η ικανότητά τους εξαρτάται, βέβαια, και από τα γνωρίσματά τους, όπως το μορφωτικό επίπεδο, αλλά και τη συναισθηματική τους κατάσταση. Η εκπαίδευση περιλαμβάνει την εξοικείωση των δοκιμαστών με τις μεθόδους των οργανοληπτικών δοκιμών, την ανάπτυξη και την όξινση των οργανοληπτικών τους ικανοτήτων και, τέλος, τη μνήμη τους. Αξίζει να σημειωθεί πως η εκπαίδευση στοχεύει και στην αμεροληψία των δοκιμαστών [170].

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σκοπός**

Ο άρτος, όπως είναι ευρέως γνωστό, συνιστά αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής των περισσότερων λαών παγκοσμίως ήδη από τα προϊστορικά και αρχαία χρόνια. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ραγδαία αύξηση των ποσοστών ποικίλων ασθενειών που σχετίζονται με τη διατροφή, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης τύπου II, με αποτέλεσμα να δίνεται μεγάλη έμφαση στην παρασκευή λειτουργικών τροφίμων με ευεργετικές επιδράσεις στον οργανισμό. Δεδομένου ότι ο άρτος καταναλώνεται ημερησίως φαίνεται να αποτελεί την ιδανική βάση για την παραγωγή λειτουργικών προϊόντων τα οποία ο καταναλωτής μπορεί εύκολα να εντάξει στα πλαίσια μίας καθημερινής ισορροπημένης διατροφής.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρασκευή εμπλουτισμένων προϊόντων άρτου και η μελέτη της επίδρασης των προστιθέμενων συστατικών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες του άρτου. Η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε με δοκιμές χαρακτηριστικών και δοκιμές αρέσκειας προκειμένου να επιτευχθεί η ακριβής και αξιόπιστη αξιολόγηση των



προϊόντων. Πραγματοποιήθηκε, επίσης, αξιολόγηση των προϊόντων ως προς τα μακροθρεπτικά τους συστατικά. Τα νέα προϊόντα που αναπτύχθηκαν και παρασκευάστηκαν ήταν τα εξής: i) λευκός άρτος σίτου (δείγμα αναφοράς), (ii) λευκός άρτος σίτου με μαγιά μύρας, (iii) άρτος ολικής σίτου, (iv) άρτος ολικής σίτου με μαγιά μύρας και (v) άρτος ολικής άλεσης με β-γλυκάνες. Στη συνέχεια έλαβαν χώρα τα παρακάτω πειράματα:

- Χημική ανάλυση των μακροθρεπτικών συστατικών όλων των δειγμάτων άρτου.
- Αξιολόγηση των φυσικών ιδιοτήτων με έμφαση στον προσδιορισμό του πορώδους με στερεοπυκνόμετρο Quantacrome SPV-3 (Quantachrome Instruments, FL, USA).
- Ανάλυση υφής των δειγμάτων με αναλυτή υφής (TA-TX2i, Texture Analyzer, Stable Microsystems Ltd) και εφαρμογή της δοκιμής της διπλής επαναλαμβανόμενης συμπίεσης (TPA, Texture Profile Analyzer).
- Μελέτη των θερμικών ιδιοτήτων των δειγμάτων με τη χρήση της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC) και τη συσκευή Pyris 6000 DSC (Perkin Elmer Inc, Waltham, Massachusetts, USA).
- Μέτρηση του χρώματος με τη χρήση χρωματόμετρου MiniScan XE Plus (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA).
- Οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων.

## **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Μεθοδολογία

### 5.1 Παρασκευή άρτων

Τα προϊόντα παρασκευάστηκαν στις εγκαταστάσεις της εταιρείας ELBISCO στο Πικέρμι Αττικής ύστερα από μία σειρά δοκιμαστικών παραγωγών προκειμένου η εταιρεία να καταλήξει στις κατάλληλες συνταγές για την παρασκευή προϊόντων με βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά αντάξια ενός προϊόντος υψηλών προδιαγραφών, αλλά και την παρασκευή προϊόντων με λειτουργικό χαρακτήρα. Τα προϊόντα των δοκιμών κρίθηκαν ως προς τη σύσταση τους σε λειτουργικά συστατικά καθώς και τις ρεολογικές ιδιότητες των ζυμαριών και παρασκευάζονταν σε εργαστηριακή κλίμακα. Οι τελικές συνταγές των προϊόντων είναι οι εξής:

**Λευκός άρτος σίτου με ή χωρίς την προσθήκη μαγιάς μύρας.**

| Συστατικά          | Περιεκτικότητα |         |
|--------------------|----------------|---------|
| Α' ύλες            | %              | %       |
| Λευκό αλεύρι σίτου | 100            | 100     |
| Β' ύλες            | %              | %       |
| Νερό               | 51-54          | 51-54   |
| Μαγιά πιεστή       | 4-6            | 4-6     |
| Αλάτι              | 1,6-2,1        | 1,6-2,1 |
| Φυτικά λιπαρά      | 3-5            | 3-5     |
| Γλυκαντική ύλη     | 2,0-3,5        | 2,0-3,5 |
| Γαλακτοματοποιητής | 1-2            | 1-2     |
| Μαγιά μύρας        | -              | 0,3-0,7 |

**Άρτος σίτου ολικής άλεσης με ή χωρίς την προσθήκη μαγιάς μύρας.**

| Συστατικά                   | Περιεκτικότητα |         |
|-----------------------------|----------------|---------|
| Α' ύλες                     | %              | %       |
| Αλεύρι ολικής σίτου-σικάλης | 95-96          | 95-96   |
| Γλουτένη                    | 4-5            | 4-5     |
| Β' ύλες                     | %              | %       |
| Νερό                        | 64-67          | 64-67   |
| Μαγιά                       | 3,7-4,2        | 3,7-4,2 |

|                     |         |         |
|---------------------|---------|---------|
| Αλάτι               | 1,6-2,1 | 1,6-2,1 |
| Φυτικά λιπαρά       | 3-6     | 3-6     |
| Γλυκαντική ύλη      | 2,0-3,5 | 2,0-3,5 |
| Γαλακτοματοποιητής  | 1-2     | 1-2     |
| Βυνοποιημένο αλεύρο | 1-2     | 1-2     |
| Μαγιά μύρας         | -       | 0,2-0,6 |

**Άρτος σίτου ολικής άλεσης με αλεύρα σίκαλης-κριθαιού, φύτρο και έλαιο φύτρου σιταριού.**

| Συστατικά                   | Περιεκτικότητα |
|-----------------------------|----------------|
| <b>Α' ύλες</b>              | <b>%</b>       |
| Αλεύρι ολικής σίτου-σίκαλης | 37-40          |
| Αλεύρι λευκό σίτου          | 32-36          |
| Αλεύρι κριθαιού             | 6-9            |
| Γλουτένη                    | 14-17          |
| Φύτρο σιταριού              | 2-5            |
| <b>Β' ύλες</b>              | <b>%</b>       |
| Νερό                        | 97-102         |
| Μαγιά                       | 7-9            |
| β-γλυκάνες                  | 2-5            |
| Έλαιο φύτρου                | 12-16          |
| Αλάτι                       | 1,6-2,1        |
| Φυτικά λιπαρά               | 3-6            |
| Γλυκαντική ύλη              | 2,0-3,5        |
| Γαλακτοματοποιητής          | 1-2            |
| Βυνοποιημένο αλεύρο         | 0,03-0,05      |

### 5.1.1 Διαδικασία παραγωγής

Η παραγωγή ξεκινά ήδη από την επιλογή και την προμήθεια των πρώτων υλών, καθώς και την αποθήκευση τους σε κατάλληλους χώρους. Ακολουθεί μια σειρά διαδοχικών σταδίων, ενώ από την αρχή της παραγωγικής διαδικασίας εφαρμόζονται οι αρχές αυστηρών και αξιόπιστων συστημάτων διασφάλισης ποιότητας. Η εφαρμογή

αυτών των αρχών και ο πλήρης έλεγχος των σταδίων καθιστά δυνατή την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων υψηλών προδιαγραφών.

Οι πρώτες ύλες, ανάλογα με το επιθυμητό παραγόμενο προϊόν, παραλαμβάνονται από τους χώρους αποθήκευσής τους και αναμειγνύονται χειροκίνητα ή αυτοματοποιημένα και το ζυμάρι που σχηματίζεται ζυμώνεται σε ειδικό ζυμωτήριο της γραμμής παραγωγής. Βασικοί παράμετροι κατά το στάδιο του ζυμώματος αποτελούν ο χρόνος και η θερμοκρασία. Ο βέλτιστος χρόνος ζύμωσης προκειμένου να διατηρηθούν και οι βέλτιστες ιδιότητες του ζυμαριού καθορίστηκε στα:

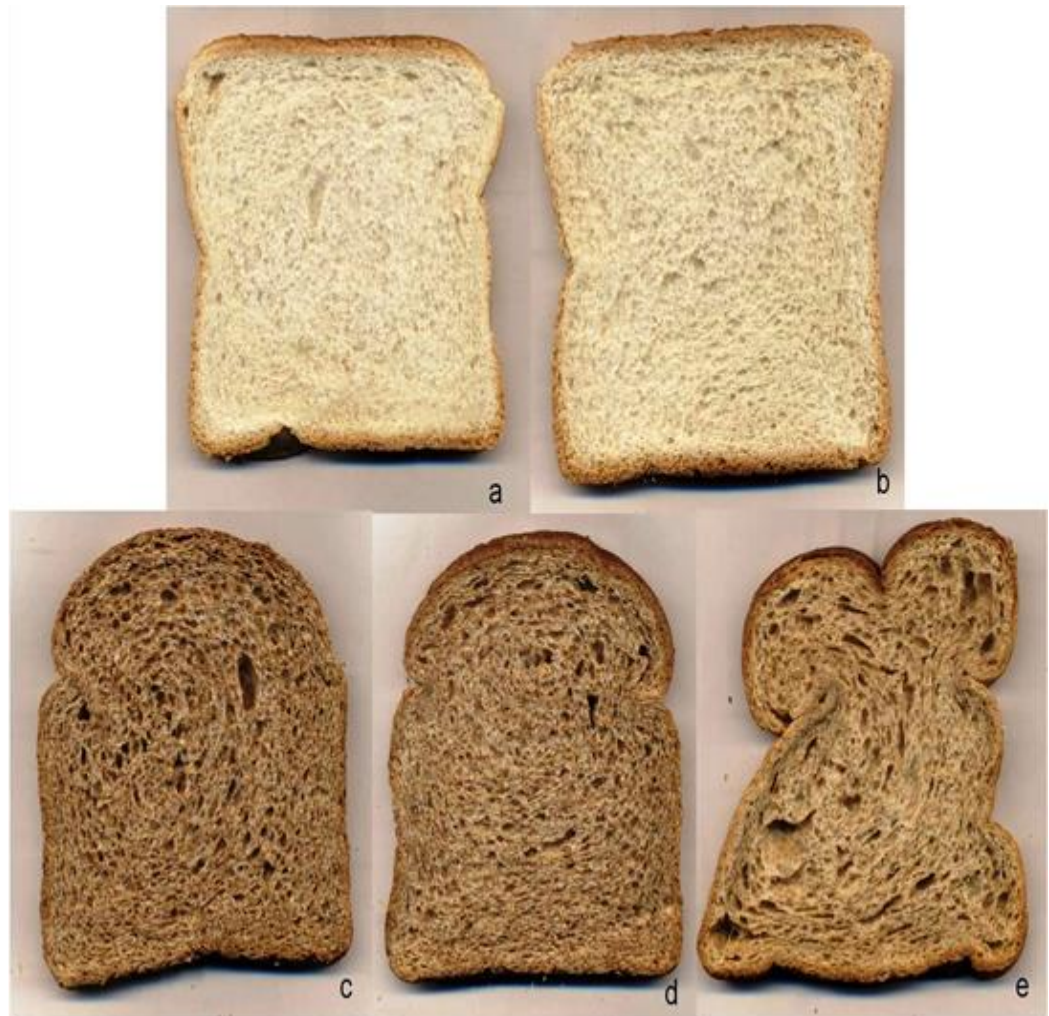
- 225 sec για το λευκό άρτο σίτου με ή χωρίς μαγιά,
- 220 sec για τον άρτο ολικής άλεσης με ή χωρίς μαγιά,
- 215 sec για τον άρτο ολικής άλεσης με β-γλυκάνες.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία, κυμάνθηκε από τους 28°C έως τους 32°C ανάλογα με το δείγμα και τον τύπο αλεύρου που χρησιμοποιήθηκε. Το ζυμάρι τεμαχίζεται σε μικρότερα τεμάχια και ακολουθεί η πρώτη ωρίμανση του σε κατάλληλες και ελεγχόμενες συνθήκες. Στη συνέχεια, κάθε τεμάχιο ζυμαριού τοποθετείται σε ειδική φόρμα και οι φόρμες αφήνονται σε χώρο ωρίμανσης όπου επικρατούσαν οι ακόλουθες συνθήκες:

|                                      | Διάρκεια | Θερμοκρασία | Υγρασία |
|--------------------------------------|----------|-------------|---------|
| Λευκός άρτος σίτου με ή χωρίς μαγιά  | 55-60'   | 38-40°C     | 78-80%  |
| Άρτος ολικής άλεσης με ή χωρίς μαγιά | 50-60'   | 37-39°C     | 72-78%  |
| Άρτος ολικής άλεσης με β-γλυκάνες    | 45-50'   | 37-39°C     | 72-78%  |

Ο κλιβανισμός πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες που κυμάνθηκαν από τους 205-275°C και διήρκεσε 28-30' για τους άρτους σίτου και 30-33' για τους άρτους ολικής. Τα τελικά προϊόντα είχαν τις ακόλουθες υγρασίες: 35-37% (άρτος σίτου με ή χωρίς μαγιά μπίρας), 39-42% (άρτος ολικής με ή χωρίς μαγιά μπίρας) και 40-42% (άρτος ολικής με β-γλυκάνες). Τα τελευταία στάδια της παραγωγικής διαδικασίας είναι ο τεμαχισμός των άρτων, η συσκευασία, η παστερίωση και η εκ νέου συσκευασία των προϊόντων που θα αποθηκευτούν σε κατάλληλες συνθήκες έως ότου διανεμηθούν στην αγορά. Τα

λειτουργικά προϊόντα άρτου που παρασκευάστηκαν απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα:



a. Άρτος λευκός σίτου, b. Άρτος λευκός σίτου με μαγιά μπίρας, c. Άρτος ολικής σίτου χωρίς μαγιά μπίρας, d. Άρτος ολικής σίτου με μαγιά μπίρας, e. Άρτος ολικής με β-γλυκάνες

## 5.2 Χημική ανάλυση μακροθρεπτικών συστατικών

### 5.2.1 Προσδιορισμός της υγρασίας των δειγμάτων

#### Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της υγρασίας που περιέχεται σε δείγματα ψωμιού και ο ποσοτικός προσδιορισμός της.

#### Υλικά και όργανα

- Ομογενοποιημένα δείγματα

- Αλουμινένια δισκάκια
- Ζυγός ακριβείας OHAUS (ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων)
- Φούρνος ( $105 \pm 2^\circ\text{C}$ )
- Λαβίδα πύρωσης

### **Μεθοδολογία**

Η υγρασία του δείγματος προσδιορίζεται με υπολογισμό της διαφοράς του βάρους του πριν και μετά από θέρμανση στους  $105^\circ\text{C}$  για 24 ώρες σε συμβατικό φούρνο. Ο χρόνος που απαιτείται για την ξήρανση των δειγμάτων προσδιορίστηκε πειραματικά καταγράφοντας ζυγίσεις για 48 ώρες και αντιστοιχεί στην τροποποίηση της πρότυπης μεθόδου κατά AOAC (AOAC 935.29).

### **Εκτέλεση**

- I. Ζυγίζεται ο περιέκτης (g).
- II. Στον περιέκτη προστίθενται 1-2 g δείγματος ψωμιού.
- III. Ο περιέκτης με το δείγμα τοποθετείται στο πυριαντήριο στους  $105^\circ\text{C}$  επί 24 ώρες.
- IV. Μεταφέρεται ο περιέκτης με το δείγμα με λαβίδα πύρωσης σε ξηραντήριο όπου παραμένει περίπου 15'.
- V. Ζυγίζεται εκ νέου ο περιέκτης με το δείγμα, μετά την ξήρανση (ύστερα από την απώλεια υγρασίας).
- VI. Η περιεχόμενη υγρασία (%) υπολογίζεται από τον τύπο :  $\% \text{Υγρασία} = [(W_3 - W_2) / (W_2 - W_1)] * 100\%$ , όπου  $W_1$ : το βάρος του περιέκτη (g),  $W_2$ : το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (πριν την ξήρανση) (g), και  $W_3$ : το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (μετά την ξήρανση) (g).

## **5.2.2 Προσδιορισμός της τέφρας των δειγμάτων**

### **Σκοπός**

Ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος είναι ο προσδιορισμός της τέφρας που περιέχεται στα διαφορετικά είδη ψωμιών.

### **Υλικά και όργανα**

- Ομογενοποιημένα δείγματα
- Χωνευτήρια πορσελάνης
- Ζυγός ακριβείας OHAUS (ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων)

- Κλίβανος (550°C)
- Λαβίδα πύρωσης

### **Μεθοδολογία**

Το απανθρακωμένο οργανικό υπόλειμμα μίας ουσίας έπειτα από καύση της μαζί με τα τυχόν υπάρχοντα άκαυστα οξείδια μετάλλων και αμετάλλων και τα μη θερμικώς διασπώμενα άλατα χαρακτηρίζεται ως τέφρα. Διακρίνονται δύο μορφές τέφρας: η υδατοδιαλυτή τέφρα δηλαδή τα διαλυτά οξείδια και άλατα και η μη-υδατοδιαλυτή τέφρα δηλαδή τα αδιάλυτα οξείδια και άλατα και τα απανθρακωμένα θρεπτικά συστατικά. Η τέφρα λαμβάνεται με καύση του δείγματος του τροφίμου στους 500-550°C σε κλίβανο (πυριαντήριο).

### **Εκτέλεση**

- I. Σε ζυγό ακριβείας ζυγίζονται 1-2 g ψωμιού και το δείγμα τοποθετείται σε χωνευτήριο πορσελάνης.
- II. Το χωνευτήριο με το δείγμα τοποθετείται στον κλίβανο (550°C) όπου αποτεφρώνεται.
- III. Το χωνευτήριο με το δείγμα τοποθετείται σε ξηραντήρα όπου παραμένει για περίπου 15 min και κατόπιν ζυγίζεται.
- IV. Από τη διαφορά των δύο ζυγίσεων υπολογίζεται η τέφρα (%) των άρτων. Χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση: % Τέφρα =  $(W_3 - W_1) / W_2 \cdot 100\%$ , όπου  $W_1$  = το βάρος του χωνευτηρίου,  $W_2$  = το βάρος του δείγματος πριν την τοποθέτηση στον κλίβανο και  $W_3$  = το βάρος της τέφρας του δείγματος συν του χωνευτηρίου.

### **5.2.3 Προσδιορισμός αζώτου ολικών πρωτεϊνών- Μέθοδος Kjeldahl**

#### **Σκοπός**

Ο έμμεσος ποσοτικός προσδιορισμός των συνολικών πρωτεϊνών ενός δείγματος τροφίμου, π.χ. ψωμιού, με άμεσο προσδιορισμό του συνολικού αζώτου των πρωτεϊνών σε συσκευή Kjeldahl.

#### **Όργανα**

- Συσκευή Kjeldahl, με τμήματα:
  - πέψης πρωτεϊνών
  - απόσταξης με υδρατμούς αμμωνίας



- Ζυγός ακριβείας OHAUS
- Ποτήρια ζέσεως 100 mL
- Ύαλοι ωρολογίου
- Προχοΐδα 50 mL
- Κωνικές φιάλες 250 mL
- Σιφώνια 25 mL
- Πυράγγρα

### **Αντιδραστήρια**

- Ταμπλέτες Kjeldahl ( $K_2SO_4$ ,  $Cu_2SO_4$ )
- $H_2SO_4$  πυκνό (95 % w/w)
- NaOH 33% w/V
- HCl 0.5 N
- NaOH 0.5 N
- Ερυθρό μεθυλίου (ΕΜ, δείκτης)

### **Μεθοδολογία**

Μία συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος (~1 g) θερμαίνεται με πυκνό  $H_2SO_4$ , όπου το άζωτο των πρωτεϊνών μετατρέπεται σε αμμωνιακά άλατα. Τα ιόντα  $NH_4^+$  των αλάτων μετατρέπονται σε  $NH_3$  με την επίδραση διαλύματος αλκάλεως NaOH 33% και η πτητική  $NH_3$  αποσπάζεται με υδρατμούς στη συσκευή απόσταξης. Το σύνολο της εξουδετερώνεται με γνωστή περίσσεια διαλύματος υδροχλωρικού οξέος συγκέντρωσης 0,5 N. Η περίσσεια του οξέος ογκομετρείται με διάλυμα βάσης NaOH 0,5 N και από την κατανάλωση κατά την ογκομέτρηση προσδιορίζεται η αποσταχθείσα ποσότητα  $NH_3$  και συνεπώς το άζωτο των πρωτεϊνών. Τέλος, με χρήση ειδικού συντελεστή προσδιορίζεται υπολογιστικά η συνολική ποσότητα των πρωτεϊνών του δείγματος. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι :

- Άζωτο πρωτεϊνών (N/Pr) από δείγμα (σε g) +  $H_2SO_4 \rightarrow 2NH_4^+$ ,  $SO_4^{2-}$
- $(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O + 2NH_3 \uparrow$
- $NH_3 + HCl (V \text{ mL}, 0,5 \text{ N}) \rightarrow NH_4Cl (+ \text{ περίσσεια } HCl 0,5 \text{ N})$
- $HCl (0,5 \text{ N}) \text{ περίσσεια} + \alpha \text{ mL NaOH } (0,5N) \rightarrow NaCl + H_2O$

### **Εκτέλεση**

- I. Ζυγίζονται (~1 g) από κάθε δείγμα και τοποθετούνται στο φούρνο στους 105°C για μία ώρα, ώστε να αφυγρανωθούν. Στη συνέχεια, μεταφέρονται σε σωλήνες της συσκευής πέψης Kjeldahl όπου προστίθεται μια ταμπλέτα ( $K_2SO_4$ ,  $Cu_2SO_4$ ).
- II. Προστίθενται 25 mL πυκνού  $H_2SO_4$  με σιφώνιο ακριβείας στον σωλήνα Kjeldahl, ο οποίος έπειτα τοποθετείται στη συσκευή πέψης Kjeldahl και θερμαίνεται έως ότου εκλυθούν οι ατμοί που στην συνέχεια δεσμεύονται από την συσκευή δέσμευσης ατμών. Η πέψη του δείγματος συνεχίζεται επί ~60 min, έως ότου το διάλυμα πέψης γίνει τελείως διαυγές, με χρώμα πράσινο ανοιχτό.
- III. Προστίθενται 40-50 mL απεσταγμένο νερό με ογκομετρικό κύλινδρο και ο σωλήνας Kjeldahl τοποθετείται στην συσκευή απόσταξης.
- IV. Στην έξοδο των ατμών της συσκευής απόσταξης τοποθετείται κωνική φιάλη των 250 mL στην οποία έχουν προστεθεί 25 mL HCl (0,5 N) και 3-4 σταγόνες δείκτη EM καθώς και 25-50 mL απεσταγμένο νερό.
- V. Προστίθενται 60 mL διαλύματος NaOH 33% στον σωλήνα Kjeldahl (μέχρι την αλλαγή του χρώματος του διαλύματος σε σκούρο πράσινο).
- VI. Πραγματοποιείται η απόσταξη επί 4 min και συλλέγεται το απόσταγμα της  $NH_3$  στην κωνική φιάλη με την περίσσεια του διαλύματος HCl 0,5 N, η οποία πρέπει να διατηρεί αμετάβλητο το ερυθρό χρώμα του δείκτη.
- VII. Η κωνική φιάλη με την περίσσεια του διαλύματος HCl 0,5 N ογκομετρείται με διάλυμα NaOH 0,5 N μέχρι να αλλάξει το χρώμα του δείκτη από ερυθρό σε κίτρινο.
- VIII. Ο υπολογισμός των % N (άζωτο) και %Pr (πρωτεΐνες) του δείγματος δίνονται από τις σχέσεις :

$$\% N = (V_1 - V_2) (0,7/W) \text{ και } \%Pr = \%N * c ,$$

όπου  $V_1 = 25$  mL, ο όγκος του HCl 0,5 N στην κωνική φιάλη,  $V_2$ : τα mL του NaOH 0,5 N που καταναλώθηκαν από την προχοΐδα, w: το βάρος του δείγματος (g), 0,7 ο συντελεστής μετατροπής της  $NH_3$  σε N (άζωτο) και c είναι ο συντελεστής μετατροπής του αζώτου σε πρωτεΐνη (όπου c για άλευρα και ζυμαρικά= 5,7).

#### 5.2.4 Εκχύλιση ολικών λιποειδών- Μέθοδος Soxhlet

##### Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι η παραλαβή των λιπαρών υλών του ψωμιού με τη μέθοδο της επαναλαμβανόμενης εκχύλισης σε συσκευή Soxhlet και ο ποσοτικός προσδιορισμός της % περιεκτικότητάς τους στο αρχικό προϊόν.

### **Υλικά και όργανα**

- Ομογενοποιημένα δείγματα
- Συσκευή Soxhlet
- Συσκευή περιστροφικού εξατμιστήρα (rotary evaporator)
- Φύσιγγες εκχύλισης
- Υδρόφοβο βαμβάκι
- Ζυγός ακριβείας OHAUS
- Ογκομετρικός κύλινδρος 500 mL
- Πετρελαϊκός αιθέρας
- Πέτρες βρασμού

### **Μεθοδολογία**

Η μέθοδος της επαναλαμβανόμενης εκχύλισης πραγματοποιείται με τη χρήση της συσκευής Soxhlet κατά την οποία πραγματοποιείται εκχύλιση του λίπους με οργανικό διαλύτη και, συγκεκριμένα, με πετρελαϊκό αιθέρα. Η απόσταξη του διαλύτη με σκοπό την απομόνωση του λίπους πραγματοποιείται με περιστροφικό εξατμιστήρα (rotary evaporator).

### **Εκτέλεση**

- I. Ζυγίζονται με ακρίβεια 5 g δείγματος (λεπτοτεμαχισμένο) και τοποθετούνται σε φύσιγγα εκχύλισης. Η άνω επιφάνεια του δείγματος καλύπτεται με υδρόφοβο βαμβάκι και στη συνέχεια οι φύσιγγες τοποθετούνται μέσα στους υάλινους εκχυλιστήρες της συσκευής Soxhlet.
- II. Ζυγίζεται με ακρίβεια, ο κλασματήρας (σφαιρική φιάλη ζέσεως των 500 mL) μέσα στον οποίο έχουν τοποθετηθεί 2-3 πέτρες βρασμού και προστίθενται ~ 300mL πετρελαϊκού αιθέρα (Σ.Ζ. 50-60°C) με ογκομετρικό κύλινδρο.
- III. Ο κλασματήρας τοποθετείται στην ειδική υποδοχή της συσκευής Soxhlet και λαμβάνουν χώρα διαδοχικά η απόσταξη, εκχύλισης και επαναρροή (reflux) του διαλύτη.
- IV. Μετά το πέρας των 16 ωρών εκχύλισης, ο κλασματήρας, αφού αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος, τοποθετείται στον περιστροφικό εξατμιστήρα (rotary evaporator), προκειμένου να απομακρυνθεί με απόσταξη ο διαλύτης.
- V. Όταν εξατμιστεί ο πετρελαϊκός αιθέρας, ο κλασματήρας ζυγίζεται εκ νέου στον ζυγό που προζυγίστηκε.
- VI. Υπολογίζουμε την % περιεκτικότητα του δείγματος σε λιπαρά με βάση τη σχέση:

$\% \text{ Λίπος} = [(W_2 - W_1) / W_3] * 100\%$ , όπου  $W_1$  το βάρος του κλασματήρα και των πετρών βρασμού, πριν την εκχύλιση (g),  $W_2$ : το βάρος του κλασματήρα και των πετρών βρασμού, μετά την εκχύλιση και απόσταξη (g) και  $W_3$  το βάρος του δείγματος (g).

## **5.2.5 Προσδιορισμός λοιπών συστατικών των δειγμάτων**

### **5.2.5.1 Προσδιορισμός των φυτικών ινών**

#### **Σκοπός**

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ολικών, διαλυτών και αδιάλυτων φυτικών ινών στα δείγματα των λειτουργικών προϊόντων άρτου με την ενζυμική-σταθμική μέθοδο AOAC 991.43.

#### **Υλικά και όργανα**

- Ογκομετρικοί κύλινδροι 400 mL
- Χωνευτήρια διήθησης
- Υδατόλουτρο
- Ζυγός ακριβείας OHAUS
- Φούρνος ( $105-130 \pm 3^\circ\text{C}$ )
- Κλίβανος ( $525 \pm 5^\circ\text{C}$ )
- Ξηραντήρας
- Πεχάμετρο
- Πιπέτες 100-300  $\mu\text{L}$ , 5 mL
- Υδροβολείς
- Ράβδοι ανάδευσης

#### **Αντιδραστήρια**

- Διάλυμα αιθανόλης 95% και 78%
- Διάλυμα θερμοανθεκτικής  $\alpha$ -αμυλάσης
- Διάλυμα πρωτεάσης 50 mg/mL
- Διάλυμα αμυλογλυκοζιδάσης
- MES [2-(N-Morpholino)ethanesulphonic acid]
- TRIS [Tris(hydroxymethyl)aminomethane]
- Ρυθμιστικό διάλυμα MES-TRIS (pH 8,2 στους  $24^\circ\text{C}$ )
- Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος 0,561 N

## **Μεθοδολογία**

Κατά τη μέθοδο AOAC 991.43 λαμβάνει χώρα ενζυμική υδρόλυση των φυτικών ινών με την οποία επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των ολικών, διαλυτών και αδιάλυτων φυτικών ινών. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται σε επακόλουθες ενζυμικές πέψεις δύο δειγμάτων ενός αποξηραμένου τροφίμου, του οποίου έχει προηγουμένως αφαιρεθεί το περιεχόμενο λίπος εάν ξεπερνά το 10% της συνολικής σύστασης, με α-αμυλάση, πρωτεάση και αμυλογλυκοζιδάση υπό σταθερή θέρμανση ώστε να απομακρυνθούν το άμυλο και οι πρωτεΐνες. Για τον προσδιορισμό του συνόλου των φυτικών ινών, το προϊόν των πέψεων κατεργάζεται με αλκοόλη ώστε να κατακρημνιστούν οι διαλυτές φυτικές ίνες, διηθείται και το κατάλοιπο των συνολικών φυτικών ινών υφίσταται πλύση με αλκοόλη και ακετόνη, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Όσον αφορά τις διαλυτές και αδιάλυτες φυτικές ίνες, το προϊόν των πέψεων διηθείται και το υπόλειμμα, που συνίσταται από τις αδιάλυτες φυτικές ίνες, υφίσταται πλύση με ζεστό νερό, ξηραίνεται και κατόπιν ζυγίζεται. Το διήθημα που προέκυψε αναμειγνύεται με το προϊόν της πλύσης και εν συνεχεία οι διαλυτές φυτικές ίνες κατακρημνίζονται με την προσθήκη αλκοόλης, διηθούνται, ξηραίνονται και ζυγίζονται.

## **Εκτέλεση**

### **Προετοιμασία δειγμάτων**

- I. Τα δείγματα των άρτων για τις μετρήσεις προετοιμάζονται με τη μέθοδο 985.29E.
- II. Για κάθε ένα από τα πέντε προϊόντα άρτου ζυγίζονται δύο δείγματα βάρους  $1.000 \pm 0.005$  g.
- III. Τα δείγματα τοποθετούνται σε ογκομετρικούς κυλίνδρους και προστίθενται σε κάθε κύλινδρο 40 mL ρυθμιστικού διαλύματος MES-TRIS και επιτυγχάνεται ομογενοποίηση με τη βοήθεια μεταλλικού αναδευτήρα.
- IV. Προστίθενται σε κάθε κύλινδρο 50  $\mu$ L α-αμυλάσης και αφού καλυφθούν με αλουμινόχαρτο τα δείγματα επωάζονται σε υδατόλουτρο 95-100°C για 15' υπό συνεχή ανάδευση.
- V. Τα δείγματα αφήνονται να κρυώσουν έως τους 60°C και τα τοιχώματα των κυλίνδρων ξεπλένονται με 10 mL απιονισμένο νερό.
- VI. Προστίθενται σε κάθε κύλινδρο 100  $\mu$ L πρωτεάσης και αφού καλυφθούν με αλουμινόχαρτο επωάζονται σε υδατόλουτρο στους  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  για 30' υπό συνεχή ανάδευση.

- VII. Τα δείγματα απομακρύνονται από το υδατόλουτρο και προστίθενται 5 mL HCl και αναμειγνύονται. Ελέγχεται το pH των δειγμάτων και με τη βοήθεια διαλυμάτων HCl 1 N και NaOH 1 N προσαρμόζεται στο 4,0-4,7 σε θερμοκρασία 60°C.
- VIII. Προστίθενται σε κάθε κύλινδρο 300  $\mu$ L αμυλογλυκοζιδάσης και αφού καλυφθούν με αλουμινόχαρτο επωάζονται σε υδατόλουτρο στους 60 $\pm$ 1°C για 30' υπό συνεχή ανάδευση.

#### Προσδιορισμός των φυτικών ινών

- I. Σε υδατόλουτρο στους 60°C, προστίθενται 225 mL διαλύματος αιθανόλης 95%. Τα δείγματα απομακρύνονται από το υδατόλουτρο, καλύπτονται με αλουμινόχαρτο και αφήνονται για 1h σε θερμοκρασία δωματίου.
- II. Τα δείγματα διηθούνται με τη βοήθεια των χωνευτηρίων, ενώ τα τοιχώματα του κυλίνδρου ξεπλένονται με διάλυμα αιθανόλης 78% ώστε να μεταφερθεί όλο το δείγμα στο χωνευτήριο.
- III. Το υπόλειμμα που παραμένει στο χωνευτήριο ξεπλένεται δύο φορές με 15 mL αιθανόλης 78%, αιθανόλης 95% και ακετόνης και τα χωνευτήρια τοποθετούνται σε φούρνο στους 105°C καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας.
- IV. Τα χωνευτήρια τοποθετούνται σε ξηραντήρα για 1h και έπειτα ζυγίζονται.
- V. Το βάρος του υπολείμματος που συνιστά το σύνολο των φυτικών ινών προκύπτει από την παραπάνω ζύγιση αφού αφαιρεθεί το βάρος του χωνευτηρίου.
- VI. Το δεύτερο δείγμα από κάθε προϊόν χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των πρωτεϊνών με τη μέθοδο 960.52 και τον προσδιορισμό της τέφρας τοποθετώντας το δείγμα σε κλίβανο 525°C για 5h.

#### **5.2.5.2 Προσδιορισμός σακχάρων και νατρίου**

Ο προσδιορισμός των περιεχόμενων σακχάρων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της Αέριας Χρωματογραφίας με ανιχνευτή ιοντισμού φλόγας (GC-FID) και ο προσδιορισμός του περιεχόμενου νατρίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της Φλογοφωτομετρίας (flame emission). Τέλος, ο προσδιορισμός της θερμιδικής αξίας των δειγμάτων άρτου πραγματοποιήθηκε υπολογιστικά.

### **5.3 Ανάλυση των χαρακτηριστικών υφής των δειγμάτων**

#### **Σκοπός**

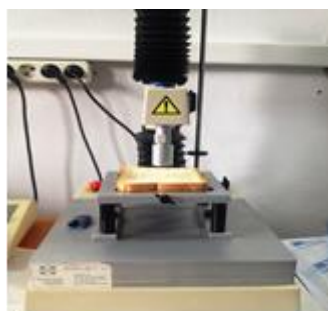
Σκοπός του πειράματος είναι η αξιολόγηση των μηχανικών ιδιοτήτων και συγκεκριμένα των παραμέτρων υφής των εξεταζόμενων δειγμάτων άρτου.

### **Υλικά και όργανα**

- Δείγματα άρτου
- Αναλυτής Υφής (TA-XT2i Texture Analyzer, Stable Micro Systems Ltd., Haslemere, UK)
- Δοκίμιο συμπίεσης των 25 mm (P/25 Cylinder probe)

### **Μεθοδολογία**

Οι μηχανικές ιδιότητες των πέντε δειγμάτων άρτου προσδιορίστηκαν με τη χρήση αναλυτή υφής (TA-XT2i Texture Analyzer, Stable Micro Systems Ltd) ο οποίος συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή που διαθέτει το πρόγραμμα Texture Expert (εικόνα 5.3) . Συγκεκριμένα, μία φέτα ίδιου μεγέθους και ίδιου πάχους από κάθε δείγμα τοποθετείται στον αναλυτή υφής και εφαρμόζεται η δοκιμή διπλής επαναλαμβανόμενης συμπίεσης (TPA, Texture Profile Analyzer).



**Εικόνα 5.3 Ανάλυση προφίλ υφής**

Η συμπίεση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με το δοκίμιο των 25 mm (P/25 Cylinder probe) έως το 50% του πάχους τους (~10-11 mm), με ταχύτητα (test speed) ίση με 1 mm/s. Οι ταχύτητες καθόδου (pre-test) και ανόδου (post test) του δοκιμίου συμπίεσης πριν και μετά την δοκιμή της διπλής επαναλαμβανόμενης συμπίεσης ορίστηκε σε 2 και 1 mm/s, αντιστοίχως. Στο τέλος κάθε δοκιμασίας προκύπτει ένα τυπικό διάγραμμα TPA όπου καταγράφεται η μεταβολή της δύναμης συμπίεσης (N) συναρτήσει του χρόνου (s) ή της απόστασης (mm) και διακρίνεται μια καμπύλη με δύο θετικές και δύο αρνητικές κορυφές που παριστάνει τη μεταβολή της ασκούμενης δύναμης, καθώς το δοκίμιο εισχωρεί και επανέρχεται στην αρχική του θέση για δύο διαδοχικές συμπίεσεις (Σχήμα 3.1).

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.3.3, σε μία ανάλυση προφίλ υφής (TPA) η σκληρότητα αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή της καμπύλης δύναμης-παραμόρφωσης ή δύναμης χρόνου, κατά τη πρώτη συμπίεση και η θραυστότητα αντιστοιχεί στην πρώτη

διακριτή κορυφή που εμφανίζεται στη καμπύλη, ως αποτέλεσμα της κατάρρευσης της δομής. Ακόμη, η συνεκτικότητα προκύπτει από το λόγο του εμβαδού της πρώτης καμπύλης παραμόρφωσης προς το εμβαδόν της δεύτερης (περιοχή1/περιοχή2) και η ελαστικότητα προκύπτει από το λόγο των μηκών της πρώτης προς τη δεύτερη καμπύλη, που οριοθετείται από την αρχή της καμπύλης μέχρι το μέγιστο σημείο της (μήκος1/μήκος2). Τέλος, η κολλητικότητα ισούται με το γινόμενο της συνεκτικότητας επί της σκληρότητας και η μασητικότητα υπολογίζεται από το γινόμενο της κολλητικότητας επί την ελαστικότητα.

#### 5.4 Προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων των δειγμάτων

##### Σκοπός

Ο σκοπός της άσκησης αυτής είναι ο συγκριτικός προσδιορισμός του πορώδους στα διάφορα είδη άρτου καθώς και ο προσδιορισμός των γεωμετρικών διαστάσεων (διάμετρος και πάχος) και της πυκνότητας (φαινόμενης και πραγματικής) των δειγμάτων.

##### Υλικά και όργανα

- Φέτες συγκεκριμένων διαστάσεων από κάθε δείγμα.
- Στερεοπυκνόμετρο Quantachrome SPV-3 (Quantachrome Instruments, FL, USA).



**Στερεοπυκνόμετρο Quantachrome**

##### Μεθοδολογία

Η φαινόμενη πυκνότητα προσδιορίσθηκε από τη μάζα και τις γεωμετρικές διαστάσεις των δειγμάτων, θεωρώντας ότι έχουν παραλληλόγραμμο σχήμα. Η φαινόμενη πυκνότητα εκφράζεται από την εξίσωση:

$$\rho_a = \frac{m}{V_t}$$



όπου  $m$  είναι η μάζα του δείγματος (g) και  $V_t$  είναι ο υπολογιζόμενος όγκος (cm<sup>3</sup>). Η πραγματική πυκνότητα των δειγμάτων προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\rho_t = \frac{m}{V_s}$$

όπου  $m$  είναι η μάζα του δείγματος (g) και  $V_s$  είναι ο πραγματικός όγκος (cm<sup>3</sup>).

Ο πραγματικός όγκος των δειγμάτων υπολογίζεται με τη χρήση του στερεοπυκνόμετρου με ακρίβεια 0.001 cm<sup>3</sup> και θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν κλειστοί πόροι στο δείγμα. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου είναι η εισχώρηση αδρανούς αερίου (He) μέσα στους πόρους του υλικού και η εκτόπιση του εγκλωβισμένου αέρα και βασίζεται στη μέτρηση της πίεσης που ασκείται από το ήλιο στο θάλαμο μέτρησης σε σχέση προς το θάλαμο αναφοράς και στο νόμο των τέλει αερίων. Ακόμη, για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε κυψελίδα micro. Ο πραγματικός όγκος υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$V_s = V_c + V_R \cdot \left[ \frac{P_1}{P_2} - 1 \right] \quad (1)$$

όπου  $V_c$  και  $V_R$  είναι οι σταθερές του οργάνου και  $P_1$ ,  $P_2$  οι πιέσεις στο κελί αναφοράς και στο κελί μέτρησης, αντίστοιχα, που καταγράφονται στις ενδείξεις του οργάνου. Οι όγκοι  $V_c$  και  $V_R$  προσδιορίστηκαν από τη βαθμονόμηση του οργάνου, με χρήση μεταλλικών σφαιρών γνωστής διαμέτρου, για την κυψελίδα micro. Το πορώδες των δειγμάτων προσδιορίστηκε από τους όγκους των δειγμάτων με την εξίσωση:

$$\varepsilon = V_a / V_t \quad (2)$$

όπου  $V_a$  ο όγκος των κενών (πόρων) αέρα και  $V_t$  ο συνολικός υπολογιζόμενος όγκος.

### **Εκτέλεση**

- I. Κόβονται τα δείγματα του άρτου σε παραλληλόγραμμα, και στη συνέχεια προσδιορίζεται ο συνολικός τους όγκος  $V_{ολ}$  ( $V_t$ ) σε cm<sup>3</sup>, με μέτρηση των γεωμετρικών τους διαστάσεων.
- II. Θεωρώντας ότι το σχήμα των δειγμάτων είναι παραλληλόγραμμο, ο συνολικός τους όγκος υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο  $V_{ολ} = \alpha * \beta * \gamma$ , όπου  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  οι τρεις διαστάσεις του παραλληλόγραμμου.

- III. Αρχικά, γίνεται έκπλυση των θαλάμων αναφοράς και μέτρησης του στερεοπυκνόμετρου με αέριο ήλιο, ώστε να καθαριστεί από τυχόν ακαθαρσίες, σκόνη ή σωματίδια που έχουν επικαθίσει στους θαλάμους μέτρησης και αναφοράς, ή στις μεταξύ τους συνδέσεις.
- IV. Τοποθετούμε το δείγμα στον κατάλληλο υποδοχέα, βιδώνουμε το καπάκι και λαμβάνουμε τις πιέσεις  $P_1$  και  $P_2$ , οι οποίες καταγράφονται στην οθόνη του στερεοπυκνόμετρου.
- V. Υπολογίζεται ο πραγματικός όγκος  $V_s$  με τον τύπο (1) και ο όγκος των κενών  $V_a$  από τον τύπο  $V_t = V_s + V_a$ .
- VI. Το πορώδες υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (2).
- VII. Για κάθε δείγμα η τιμή του πορώδους αντιστοιχεί στο μέσο όρο πέντε μετρήσεων για κάθε επανάληψη.

## 5.5 Αξιολόγηση του χρώματος των δειγμάτων

### Σκοπός

Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος είναι η αξιολόγηση των χρωματικών παραμέτρων  $L$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  των διαφόρων τύπων άρτου με τη χρήση του χρωματόμετρου.

### Υλικά και όργανα

- Δείγματα με σχετικά λεία επιφάνεια
- Λευκό χαρτί
- Χρωματόμετρο MiniScan XE Plus (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA)

### Μεθοδολογία

Το χρώμα των δειγμάτων αξιολογήθηκε με το χρωματόμετρο MiniScan XE Plus (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA, USA). Ειδικότερα, κατά τη συγκεκριμένη μέτρηση προσδιορίζονται οι χρωματικές παράμετροι  $L^*a^*b^*$ , όπου  $L$  η φωτεινότητα που δείχνει τη διαφορά μαύρου – άσπρου (κλίμακα 0-100),  $a$  η χρωματική θέση μεταξύ του κόκκινου και του συμπληρωματικού του πράσινου (κλίμακα -100 έως +100) και τέλος  $b$  η χρωματική θέση ανάμεσα στο μπλε και το κίτρινο (κλίμακα -100 έως +100).

## **Εκτέλεση**

- I. Το δείγμα τοποθετείται πάνω σε λευκό χαρτί και στη συνέχεια τοποθετούμε το χρωματόμετρο έτσι ώστε να εφάπτεται στο δείγμα και λαμβάνουμε τις χρωματικές μετρήσεις των δειγμάτων. Η κάθε μέτρηση αποτελεί τη μέση τιμή τριών διαδοχικών λήψεων από το χρωματόμετρο.
- II. Σε κάθε δείγμα λαμβάνονται τρεις μετρήσεις σε διαφορετικές περιοχές του και για κάθε προϊόν εξετάζονται δέκα διαφορετικά δείγματα. Από το σύνολο των μετρήσεων για κάθε προϊόν, υπολογίζουμε τις μέσες τιμές των παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ .

## **5.6 Προσδιορισμός των θερμικών ιδιοτήτων των δειγμάτων**

### **Σκοπός**

Ο προσδιορισμός των θερμικών μεταπτώσεων του αμύλου και συγκεκριμένα του σημείου τήξης της αμυλοπηκτίνης ( $T_m$ ) με τη χρήση της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (DSC) προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιοτική υποβάθμιση των προϊόντων άρτου κατά την αποθήκευση.

### **Υλικά και όργανα**

- Λυοφιλιωμένα δείγματα από κάθε προϊόν άρτου (1<sup>η</sup> και 15<sup>η</sup> μέρα αποθήκευσης).
- Πρέσα συμπίεσης.
- Συσκευή διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης Pyris 6000 DSC (Perkin Elmer Inc, Waltham, Massachusetts, USA).
- Καψύλλια αλουμινίου με καπάκια (pans & covers)



Pyris 6000 DSC και πρέσα συμπίεσης

### **Μεθοδολογία και εκτέλεση**

Λυοφιλωμένα δείγματα (5-10 mg) τοποθετούνται σε καψύλλια αλουμινίου (50  $\mu$ L, Perkin-Elmer) με τη βοήθεια πρέσας και τα καψύλλια σφραγίζονται ερμητικά. Τα καψύλλια τοποθετούνται στη συσκευή DSC όπου επικρατούν συνθήκες αδρανούς ατμόσφαιρας με τη χρήση αέριου άζωτου με ρυθμό ροής 20 mL/min. Τα δείγματα θερμαίνονται από τη θερμοκρασία των 40 έως 200°C, με ρυθμό 10°C/min και λαμβάνεται το θερμογράφημα. Με τη βοήθεια του θερμογραφήματος προσδιορίζεται η έναρξη (onset), το μέσο (midpoint) και το καταληκτικό σημείο (endpoint) καθώς και η ενθαλπία -  $\Delta H$  (J/g) των κορυφών που εμφανίστηκαν και αντιστοιχούν στη θερμοκρασία τήξεως των σχηματισμένων κρυστάλλων της αμυλοπηκτίνης. Όλα τα αποτελέσματα είναι ο μέσος όρος τουλάχιστον δύο επαναλήψεων. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων γίνεται με χρήση του λογισμικού Pyris Software, ενώ η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα SPSS (SPSS 20 for Windows, Chicago, IL, USA) με παραμετρικούς (One way ANOVA) ή μη παραμετρικούς ελέγχους

## **5.7 Οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων**

### **Σκοπός**

Σκοπός της οργανοληπτικής αξιολόγησης είναι η αποτίμηση της αρεστότητας των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων από τους καταναλωτές και η αντικειμενική βαθμολόγηση των ζητούμενων χαρακτηριστικών (σκληρότητα, θραυστότητα, χρώμα).

### **Υλικά και όργανα**

- Δείγματα κατάλληλα σερβιρισμένα
- Φυλλάδιο οργανοληπτικού ελέγχου
- Βοηθητικό φυλλάδιο

### **Μεθοδολογία**

Η οργανοληπτική εξέταση για την εκτίμηση της αποδοχής των διαφορετικών δειγμάτων άρτου πραγματοποιήθηκε με οργανοληπτικές δοκιμές χαρακτηριστικών και

δοκιμές αρεσκείας από 15 εκπαιδευμένους δοκιμαστές, στις εγκαταστάσεις της ELBISCO. Κριτήρια επιλογής των δοκιμαστών ήταν η κατανάλωση άρτου τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα και η επιλογή τους να συμμετέχουν στην αξιολόγηση. Ο χώρος διεξαγωγής ήταν μία αίθουσα συνεδριάσεων που πληρούσε τις προδιαγραφές που απαιτούνται: λευκοί τοίχοι και λευκή τράπεζα και επαρκής ομοιόμορφος φωτισμός. Ο χώρος, ακόμη, πρέπει να έχει σταθερή θερμοκρασία και σχετική υγρασία ώστε να διασφαλίζεται η άνετη παραμονή των δοκιμαστών κατά την οργανοληπτική εξέταση, ενώ θα πρέπει να είναι μονωμένος από εξωτερικούς θορύβους και απαλλαγμένος από οσμές. Η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων περιλάμβανε την τοποθέτηση των δειγμάτων σε διαφανείς πλαστικές σακούλες, κατάλληλες για τρόφιμα, τα οποία σερβίρονταν στους δοκιμαστές με τυχαία σειρά και πάνω σε κάθε συσκευασία είχε αναγραφεί ένας τυχαίος τριψήφιος κωδικός.

Η δοκιμασία χαρακτηριστικών απαιτούσε την βαθμολόγηση των χαρακτηριστικών των δειγμάτων, όπως υφή (π.χ. σκληρότητα, ελαστικότητα), γεύση, χρώμα, οσμή κ.ά., σύμφωνα με 9βάθμια κλίμακα όπου το 1 αντιστοιχούσε σε "μη αντιληπτή" και το 9 σε "υπέρμετρα αντιληπτή" ένταση χαρακτηριστικού. Η δοκιμή αρεσκείας περιλάμβανε βαθμολόγηση της γενικής αποδοχής των δειγμάτων σύμφωνα με την 9βάθμια ηδονική κλίμακα, με εύρος από 1 (απαράδεκτο προϊόν) μέχρι 9 (υπερβολικά αρεστό προϊόν). Τα προϊόντα θεωρήθηκαν αποδεκτά όταν η μέση βαθμολογία τους ήταν πάνω από 6, ενώ τα φυλλάδια που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση του οργανοληπτικού ελέγχου παρατίθενται στο Παράρτημα. Τέλος, η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα SPSS (SPSS 20 for Windows, Chicago, IL, USA) με παραμετρικούς (One way ANOVA) ή μη παραμετρικούς ελέγχους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Αποτελέσματα και συζήτηση αποτελεσμάτων

### 6.1 Χημική ανάλυση μακροθρεπτικών συστατικών

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα νέα προϊόντα άρτου καθώς και οι μέθοδοι προσδιορισμού που εφαρμόστηκαν.

| Προσδιοριζόμενη παράμετρος          | Μέθοδος                     | Λευκός άρτος σίτου | Λευκός άρτος σίτου με μαγιά μύρας | Άρτος ολικής σίτου | Άρτος ολικής άλεσης με μαγιά μύρας | Άρτος ολικής με β-γλυκάνες |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Υγρασία & πτητικές ουσίες (g/100 g) | Κώδικας Τροφίμων & Ποτών Γ1 | 33,3 ± 0,4         | 31,9 ± 0,4                        | 38,2 ± 0,4         | 34,7 ± 0,4                         | 45,3 ± 0,5                 |
| Τέφρα (g/100 g)                     | Κωδ.Τρ.Ποτ.Γ2               | 1,8 ± 0,1          | 1,8 ± 0,1                         | 2,2 ± 0,1          | 2,2 ± 0,1                          | 1,9 ± 0,1                  |
| Άζωτο ολικό (g N/100 g)             | ISO 1871                    | 1,48±0,09          | 1,36±0,08                         | 2,06±0,11          | 2,25±0,11                          | 1,85 ± 0,10                |
| Πρωτεΐνες (g/100 g)                 | N x 6,25                    | 9,2 ± 0,6          | 8,5 ± 0,5                         | 12,9 ± 0,7         | 14,1 ± 0,7                         | 11,6 ± 0,6                 |
| Λιπαρά ολικά (g/100 g)              | Soxhlet                     | 3,5 ± 0,4          | 3,6 ± 0,4                         | 4,6 ± 0,5          | 4,8 ± 0,5                          | 4,3 ± 0,4                  |
| Λιπαρά κορεσμένα (g/100 g)          | ISO 5508                    | 1,8 ± 0,2          | 1,9 ± 0,2                         | 2,3 ± 0,3          | 2,4 ± 0,3                          | 1,9 ± 0,2                  |
| Λιπαρά μονοακόρεστα (g/100 g)       | ISO 5508                    | 0,9 ± 0,1          | 1,0 ± 0,1                         | 1,2 ± 0,1          | 1,3 ± 0,1                          | 1,1 ± 0,1                  |

|                                                     |                                                           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Λιπαρά<br/>πολυακόρεστα<br/>(g/100 g)</b>        | <i>ISO 5508</i>                                           | 0,8 ± 0,1 | 0,7 ± 0,1 | 1,1 ± 0,1 | 1,1 ± 0,1 | 1,3 ± 0,1 |
| <b>Διαιτητικές ίνες<br/>ολικές (g/100 g)</b>        | <i>AOAC 991.43</i>                                        | 2,1 ± 0,2 | 3,3 ± 0,3 | 7,6 ± 0,8 | 8,6 ± 0,9 | 6,7 ± 0,7 |
| <b>Διαιτητικές ίνες<br/>διαλυτές (g/100<br/>g)</b>  | <i>AOAC 991.43</i>                                        | 0,2       | 1,7       | 0,4       | 1,5       | 2,1       |
| <b>Διαιτητικές ίνες<br/>αδιάλυτες<br/>(g/100 g)</b> | <i>AOAC 991.43</i>                                        | 2,0       | 1,6       | 7,3       | 7,1       | 4,6       |
| <b>Αφομοιώσιμοι<br/>υδατάνθρακες<br/>(g/100 g)</b>  | <i>0.118</i><br><i>βασισμένη σε</i><br><i>AOAC 991.43</i> | 50,1      | 50,9      | 34,5      | 35,6      | 30,2      |
| <b>Σάκχαρα ολικά<br/>(g/100 g)</b>                  | <i>GC-FID</i>                                             | 4,3 ± 0,6 | 3,9 ± 0,6 | 2,6 ± 0,4 | 2,2 ± 0,3 | 3,0 ± 0,5 |
| <b>Ενέργεια<br/>(kcal/ 100 g)</b>                   | <i>Υπολογιστικά</i>                                       | 273       | 277       | 246       | 259       | 219       |
| <b>Ενέργεια<br/>(KJ/100 g)</b>                      | <i>Υπολογιστικά</i>                                       | 1154      | 1169      | 1037      | 1091      | 923       |
| <b>Νάτριο<br/>(mg Na/100 g)</b>                     | <i>0.514</i>                                              | 490 ± 50  | 520 ± 50  | 430 ± 40  | 600 ± 60  | 480 ± 50  |
| <b>Αλάτι (g/100 g)</b>                              | <i>Na x 2,5</i>                                           | 1,2 ± 0,1 | 1,3 ± 0,1 | 1,1 ± 0,1 | 1,5 ± 0,2 | 1,2 ± 0,1 |

Δεδομένου ότι ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η ανάπτυξη εμπλουτισμένων λειτουργικών προϊόντων άρτου, δίνεται έμφαση στην περιεκτικότητά τους σε διαιτητικές ίνες τόσο στο σύνολο τους όσο και σε διαλυτές και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι ο λευκός άρτος σίτου, δείγμα αναφοράς, περιέχει τη μικρότερη συγκέντρωση ολικών διαιτητικών ινών, όπως ήταν αναμενόμενο. Ο εμπλουτισμός του λευκού σίτου με μαγιά μύρας οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών διαιτητικών ινών και κυρίως των διαλυτών φυτικών ινών από 0,2 g/100 g προϊόντος σε 1,7 g/100 g. Αντίστοιχη αύξηση παρατηρείται και κατά την προσθήκη μαγιάς μύρας στον άρτο σίτου ολικής άλεσης με τον εμπλουτισμένο άρτο ολικής να εμφανίζει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα ολικών διαιτητικών ινών συγκριτικά με όλα τα δείγματα. Η προσθήκη μαγιάς μύρας και σε αυτή την περίπτωση οδήγησε σε αύξηση

των διαλυτών φυτικών ινών από 0,4 g/100 g στον άρτο ολικής άλεσης σε 1,5 g/100 g στον εμπλουτισμένο άρτο ολικής άλεσης. Τέλος, ο άρτος ολικής που εμπλουτίστηκε με άλευρο κριθαριού, φύτρο σταριού, έλαιο φύτρου και β-γλυκάνες εμφανίζει μικρότερη περιεκτικότητα ολικών διαιτητικών ινών σε σύγκριση με τον άρτο σίτου ολικής, αλλά εμφανίζει σημαντική αύξηση των διαλυτών διαιτητικών ινών από 0,4 g/100 g στα 2,1 g/100 g, ενώ η συγκέντρωση αυτή συνιστά τη μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυτών ινών μεταξύ όλων των δειγμάτων. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση αδιάλυτων φυτικών ινών εμφανίζεται στον άρτο σίτου ολικής άλεσης.

Ο ρόλος των διαιτητικών ινών στην υγεία είναι αδιαμφισβήτητος με τις διαλυτές διαιτητικές ίνες να σχετίζονται με τη μείωση της αύξησης των μεταγευματικών επιπέδων γλυκόζης, τον καλύτερο γλυκαιμικό έλεγχο και τη μείωση των επιπέδων τόσο της ολικής χοληστερόλης όσο και τις LDL χοληστερόλης, ενώ οι αδιάλυτες φυτικές ίνες σχετίζονται με την ομαλή λειτουργία του παχέος εντέρου καθώς και την πρόληψη διαφόρων νοσημάτων, όπως τα εκκολπώματα και ο καρκίνος του παχέος εντέρου [100,101]. Ακόμη, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία (Regulation (EC) 1924/2006, 2006) ένας άρτος χαρακτηρίζεται ως προϊόν πλούσιο σε φυτικές ίνες και, συνεπώς επιδρά θετικά στη φυσιολογία του οργανισμού, όταν περιέχει τουλάχιστον 6 g φυτικές ίνες ανά 100 g προϊόντος με αποτέλεσμα τα τρία προϊόντα ολικής άλεσης της μελέτης να φέρουν τον τίτλο «πλούσιο σε φυτικές ίνες». Όσον αφορά, τέλος, το ενεργειακό περιεχόμενο των νέων προϊόντων, ο λευκός άρτος σίτου με μαγιά μπύρας φαίνεται να αποδίδει τις περισσότερες θερμίδες (277 kcal/100 g) και ο άρτος ολικής με β-γλυκάνες τις λιγότερες θερμίδες (219 kcal/100 g).

## 6.2 Ανάλυση των χαρακτηριστικών υφής

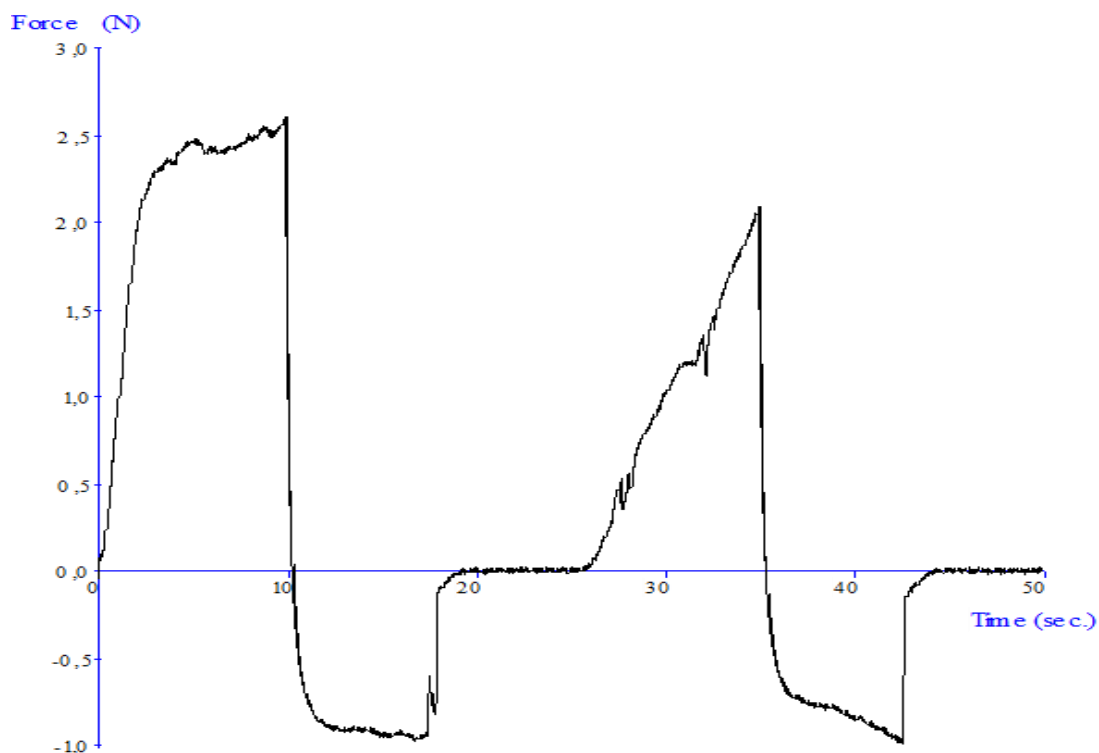
Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων των χαρακτηριστικών υφής των νέων προϊόντων άρτου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα και αποτελούν το μέσο όρο τουλάχιστον εφτά επαναλήψεων. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα SPSS (SPSS 20 for Windows, Chicago, IL, USA) με παραμετρικούς (One way ANOVA) ή μη παραμετρικούς ελέγχους. Ακόμη, παρατίθεται ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα που προέκυψε από τη δοκιμή της ανάλυσης προφίλ υφής (TPA) των προϊόντων.



| <i>Προϊόν/Παράμετροι υφής</i>              | Λευκός άρτος σίτου      | Λευκός άρτος σίτου με μαγιά μπύρας | Άρτος ολικής σίτου      | Άρτος ολικής άλεσης με μαγιά μπύρας | Άρτος ολικής με β-γλυκάνες |
|--------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <b>Πάχος δείγματος(mm)</b>                 | 11,41±0,16              | 10,63±0,24 <sup>a</sup>            | 11,18±0,33              | 11,19±0,21                          | 11,42±0,21                 |
| <b>Σκληρότητα (N)</b>                      | 1,67±0,15 <sup>b</sup>  | 0,94±0,14 <sup>a</sup>             | 1,95±0,17 <sup>c</sup>  | 2,31±0,16 <sup>d</sup>              | 3,13±0,20 <sup>e</sup>     |
| <b>Περιοχή 1ου κύκλου (N*s)</b>            | 6,21±0,58 <sup>b</sup>  | 3,45±0,56 <sup>a</sup>             | 7,46±0,92 <sup>bc</sup> | 8,42±0,95 <sup>c</sup>              | 10,78±1,00 <sup>d</sup>    |
| <b>Περιοχή 2ου κύκλου (N*s)</b>            | 4,57±0,33 <sup>b</sup>  | 2,80±0,44 <sup>a</sup>             | 5,40±0,92 <sup>bc</sup> | 6,24±0,95 <sup>c</sup>              | 7,91±1,00 <sup>d</sup>     |
| <b>Περιοχή μέχρι την 1η μέγιστη κορυφή</b> | 4,94±0,46 <sup>b</sup>  | 2,41±0,40 <sup>a</sup>             | 5,86±0,79 <sup>bc</sup> | 6,52±0,78 <sup>c</sup>              | 8,78±0,94 <sup>d</sup>     |
| <b>Συνεκτικότητα</b>                       | 0,74±0,02 <sup>a</sup>  | 0,81±0,02 <sup>b</sup>             | 0,73±0,03 <sup>a</sup>  | 0,74±0,03 <sup>a</sup>              | 0,74±0,06 <sup>a</sup>     |
| <b>Ελαστικότητα (s)</b>                    | 0,97±0,03 <sup>a</sup>  | 1,00±0,03 <sup>b</sup>             | 0,98±0,02 <sup>ab</sup> | 0,98±0,01 <sup>ab</sup>             | 0,99±0,01 <sup>ab</sup>    |
| <b>Κομμιώδης υφή</b>                       | 1,23±0,09 <sup>b</sup>  | 0,76±0,11 <sup>a</sup>             | 1,41±0,09 <sup>b</sup>  | 1,72±0,10 <sup>c</sup>              | 2,31±0,21 <sup>d</sup>     |
| <b>Μασητικότητα (N*mm)</b>                 | 1,19±0,10 <sup>b</sup>  | 0,77±0,10 <sup>a</sup>             | 1,38±0,09 <sup>b</sup>  | 1,68±0,11 <sup>c</sup>              | 2,27±0,20 <sup>d</sup>     |
| <b>Άμεση ελαστικότητα (ανθεκτικότητα)</b>  | 0,29±0,04 <sup>ab</sup> | 0,34±0,08 <sup>ab</sup>            | 0,27±0,06 <sup>a</sup>  | 0,36±0,03 <sup>b</sup>              | 0,32±0,04 <sup>ab</sup>    |

Πεζοί λατινικοί χαρακτήρες αφορούν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις εξεταζόμενες παραμέτρους υφής μεταξύ των εξεταζόμενων δειγμάτων άρτου, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Τυπικό διάγραμμα TPA των δειγμάτων άρτου.



Η στατιστική ανάλυση των παραμέτρων υφής έδειξε ότι η σκληρότητα διαφοροποιήθηκε στατιστικά σημαντικά μεταξύ και των πέντε προϊόντων άρτου. Ο εμπλουτισμένος άρτος σίτου με μαγιά μπύρας εμφάνισε τη μικρότερη τιμή σκληρότητας και ακολούθησαν με αύξουσα σειρά ο λευκός άρτος σίτου, ο άρτος ολικής άλεσης, ο άρτος ολικής με μαγιά μπύρας και ο άρτος ολικής με προσθήκη β-γλυκανών, ενώ αντίστοιχη τάση εμφάνισε και η μασητικότητα και η κομμώδης υφή. Η υποκατάσταση, άλλωστε, του σιταλεύρου με αλεύρι ολικής άλεσης φαίνεται να ευθύνεται για την αύξηση της σκληρότητας των αντίστοιχων προϊόντων άρτου [235]. Η προσθήκη, ακόμη, β-γλυκανών οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας της ψίχας, όπως φάνηκε και στη μελέτη των Skendi et al. (2010) [110], πιθανά λόγω της ενδυνάμωσης του πλέγματος γλουτένης όπου εγκλωβίζονται οι κυψελίδες αέρα [236]. Η συνεκτικότητα του λευκού άρτου με μαγιά μπύρας διέφερε στατιστικά σημαντικά από τα υπόλοιπα προϊόντα άρτου τα οποία δε παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Τέλος, στατιστικές σημαντικές διαφορές εντοπίστηκαν μεταξύ του λευκού άρτου σίτου και του λευκού άρτου με μαγιά μπύρας αναφορικά με την ελαστικότητα των άρτων, καθώς και μεταξύ του άρτου ολικής άλεσης και του άρτου ολικής άλεσης με μαγιά μπύρας αναφορικά με την ανθεκτικότητά τους.

### 6.3 Προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικών (δομικών) ιδιοτήτων των νέων προϊόντων άρτου. Οι τιμές του πορώδους αποτελούν το μέσο όρο πέντε μετρήσεων για κάθε δείγμα. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα SPSS (SPSS 20 for Windows, Chicago, IL, USA) με παραμετρικούς (One way ANOVA) ή μη παραμετρικούς ελέγχους.

| Δείγμα                                                    | Λευκός<br>άρτος σίτου    | Λευκός<br>άρτος σίτου<br>με μαγιά<br>μπύρας | Άρτος<br>ολικής<br>σίτου | Άρτος<br>ολικής<br>άλεσης με<br>μαγιά<br>μπύρας | Άρτος<br>ολικής με β-<br>γλυκάνες |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Πραγματική<br>πυκνότητα,<br>$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,372±0,054              | 1,401±0,120                                 | 1,567±0,037              | 1,506±0,144                                     | 1,510±0,257                       |
| Φαινόμενη<br>πυκνότητα,<br>$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )  | 0,199±0,008 <sup>a</sup> | 0,198±0,019 <sup>a</sup>                    | 0,300±0,026 <sup>b</sup> | 0,266±0,018 <sup>bc</sup>                       | 0,259±0,020 <sup>c</sup>          |
| Πορώδες, $\varepsilon$                                    | 0,855±0,009              | 0,858±0,020                                 | 0,817±0,029              | 0,851±0,060                                     | 0,826±0,025                       |

Πεζοί λατινικοί εκθέτες αφορούν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις φυσικές ιδιότητες μεταξύ των εξεταζόμενων δειγμάτων άρτου, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των μετρήσεων των φυσικών ιδιοτήτων προκύπτει ότι το πορώδες ( $\varepsilon$ ) των πέντε δειγμάτων άρτου, αλλά και η πραγματική πυκνότητα δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίζονται στη φαινόμενη πυκνότητα και, συγκεκριμένα διαφέρει η πυκνότητα των άρτων σίτου με ή χωρίς προσθήκη μαγιάς μπύρας από την πυκνότητα των υπόλοιπων δειγμάτων άρτου. Ακόμη, η φαινόμενη πυκνότητα του άρτου ολικής σίτου διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τη φαινόμενη πυκνότητα του άρτου με την προσθήκη β-γλυκανών.

Η φαινομενική πυκνότητα φαίνεται να μειώνεται σημαντικά κατά το ψήσιμο του άρτου λόγω αύξησης του όγκου και εξαίμησης του νερού, ενώ φαίνεται να ποικίλει μεταξύ των προϊόντων αρτοποιίας καθώς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με κυριότερους τη χημική σύσταση και την υγρασία του προϊόντος [237]. Η χημική σύσταση διαφέρει μεταξύ των άρτων και, κυρίως όταν διαφοροποιείται το αλεύρο (σίτου, ολικής

σίτου-σίκαλης) και η υγρασία διαφέρει μεταξύ των άρτων λόγω της προσθήκης φυτικών ινών που συγκρατούν περισσότερο νερό αυξάνοντας την υγρασία με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη μάζα των δειγμάτων αυτών και κατ' επέκταση μεγαλύτερη τιμή φαινόμενης πυκνότητας.

#### 6.4 Αξιολόγηση του χρώματος

Οι χρωματικοί παράμετροι των δειγμάτων όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις με τη βοήθεια του χρωματόμετρου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα SPSS (SPSS 20 for Windows, Chicago, IL, USA) με παραμετρικούς (One way ANOVA) ή μη παραμετρικούς ελέγχους.

| Δείγμα/Παράμετρος | Λευκός άρτος σίτου      | Λευκός άρτος σίτου με μαγιά μπύρας | Άρτος ολικής σίτου      | Άρτος ολικής άλεσης με μαγιά μπύρας | Άρτος ολικής με β-γλυκάνες |
|-------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <b>L</b>          | 81,07±1,36 <sup>a</sup> | 80,76±0,80 <sup>a</sup>            | 58,33±1,45 <sup>b</sup> | 58,49±1,63 <sup>b</sup>             | 59,98±1,08 <sup>b</sup>    |
| <b>a*</b>         | 0,88±0,22 <sup>a</sup>  | 1,49±0,14 <sup>a</sup>             | 7,38±0,26 <sup>b</sup>  | 7,33±0,35 <sup>b</sup>              | 6,97±0,23 <sup>b</sup>     |
| <b>b*</b>         | 18,89±1,15 <sup>a</sup> | 18,33±0,46 <sup>a</sup>            | 22,32±0,48 <sup>b</sup> | 22,46±0,58 <sup>b</sup>             | 23,95±4,25 <sup>c</sup>    |

Πεζοί λατινικοί χαρακτήρες αφορούν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις αξιολογούμενες χρωματικές παραμέτρους μεταξύ των διαφορετικών δειγμάτων άρτου, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων των χρωματικών παραμέτρων των δειγμάτων άρτου υπέδειξε την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ του λευκού άρτου σίτου με ή χωρίς προσθήκη μαγιάς μπύρας και του άρτου ολικής άλεσης με ή χωρίς προσθήκη μαγιάς μπύρας καθώς και με την προσθήκη β-γλυκάνης όσον αφορά τις χρωματικές παραμέτρους L και a\*. Η χρωματική παράμετρος b\* διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ του λευκού άρτου με ή χωρίς μαγιά μπύρας, του άρτου ολικής με ή χωρίς μαγιά μπύρας και του άρτου ολικής με β-γλυκάνες. Τα αποτελέσματα αυτά συμπίπτουν με τα αποτελέσματα αντίστοιχης μελέτης όπου αντικατέστησαν κατά 60% το αλεύρι σίτου με αλεύρι ολικής-σίκαλης και με αλεύρι ολικής-κριθариού. Η παράμετρος L μειώθηκε σημαντικά με το δείγμα από αλεύρι ολικής-σίκαλης να εμφανίζει τη πιο σκουρόχρωμη κόρα. Παράλληλα, οι χρωματικοί παράμετροι a\* και b\* διέφεραν μεταξύ του δείγματος αναφοράς και των άλλων δειγμάτων και μάλιστα ήταν σημαντικά υψηλότερες [238]. Οι β-γλυκάνες φαίνεται, άλλωστε, να μειώνουν ιδιαίτερα τη φωτεινότητα ύστερα από προσθήκη τους σε δείγματα άρτου σύμφωνα και με τη μελέτη

των Skendi et al. (2010) [110] και των Sabanis et al. (2009) [239]. Γενικότερα, οι φυτικές ίνες που περιέχονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο αλεύρι ολικής, το αλεύρι σίκαλης, το οποίο περιέχει μέρος του φύτρου και του πίτουρου λόγω δύσκολου διαχωρισμού από το ενδοσπέρμιο κατά την άλεση και το αλεύρι κριθαριού, το οποίο περιέχει επιπροσθέτως ορατά θραύσματα πίτουρου, ευθύνονται για το σκούρο χρώμα των αντίστοιχων προϊόντων το οποίο είναι πλέον οργανοληπτικά αποδεκτό και ταυτίζεται ως επί το πλείστον με την υγιεινή διατροφικά επιλογή [22,32].

## 6.5 Προσδιορισμός των θερμικών ιδιοτήτων

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι θερμοκρασίες έναρξης ( $T_o$ ), μέσου ( $T_m$ ), λήξης ( $T_e$ ) καθώς και οι αντίστοιχες ενθαλπίες ( $\Delta H$ ) τήξης της αμυλοπηκτίνης για όλα τα εξεταζόμενα δείγματα άρτου όπως αυτές προέκυψαν με τη χρήση της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης DSC.

| Δείγμα                |                 | Λευκός άρτος σίτου      | Λευκός άρτος σίτου με μαγιά μύρας | Άρτος ολικής σίτου       | Άρτος ολικής άλεσης με μαγιά μύρας | Άρτος ολικής με β-γλυκάνες |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1 <sup>η</sup> ημέρα  | $T_o$           | 60,5±0,3                | 61,4±0,3                          | 62,1±0,0                 | 61,9±0,4                           | 64,4±0,1                   |
|                       | $T_m$           | 63,2±0,1                | 65,1±1,1                          | 66,5±0,5                 | 66,2±0,8                           | 67,8±1,4                   |
|                       | $T_e$           | 66,2±0,1                | 68,8±0,7                          | 70,3±0,9                 | 69,7±1,1                           | 70,6±1,3                   |
|                       | $\Delta H(J/g)$ | 0,248±0,08 <sup>a</sup> | 0,365±0,02 <sup>ab</sup>          | 0,350±0,01 <sup>ab</sup> | 0,447±0,03 <sup>b</sup>            | 0,343±0,06 <sup>ab</sup>   |
| 15 <sup>η</sup> ημέρα | $T_o$           | 63,5±0,8                | 60,8±0,0                          | 61,7±0,2                 | 61,8±0,5                           | 64,7±1,1                   |
|                       | $T_m$           | 67,9±0,6                | 64,9±0,4                          | 66,0±0,6                 | 66,4±0,8                           | 68,8±1,2                   |
|                       | $T_e$           | 70,9±0,8                | 68,4±0,4                          | 70,3±1,4                 | 70,2±0,9                           | 71,4±0,7                   |
|                       | $\Delta H(J/g)$ | 0,452±0,07 <sup>a</sup> | 0,597±0,08 <sup>b</sup>           | 0,645±0,05 <sup>b</sup>  | 0,633±0,03 <sup>b</sup>            | 1,109±0,02 <sup>c</sup>    |

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της ενθαλπίας υπέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του δείγματος αναφοράς και του άρτου ολικής άλεσης με μαγιά μύρας. Η διαφορά αυτή οφείλεται πιθανά σε διαφορετικούς χειρισμούς των προϊόντων κατά την παρασκευή και δε θεωρούνται αξιοσημείωτες σε αυτό το στάδιο (1<sup>η</sup> ημέρα). Από την άλλη πλευρά, η ποιοτική υποβάθμιση του άρτου γνωστή και ως μπαγιατέμα οφείλεται κατά κύριο λόγο στην επανακρυστάλλωση της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης ή, αλλιώς, την παλινόρθωση του αμύλου, όπως έχει προαναφερθεί [138]. Ο προσδιορισμός της ενθαλπίας επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό της μεταβολής της ενέργειας κατά την τήξη της αμυλοπηκτίνης που έχει υποστεί επανακρυστάλλωση [164]. Παρατηρώντας την αύξηση των τιμών της ενθαλπίας όλων των δειγμάτων άρτου διαπιστώνεται η ποιοτική τους υποβάθμιση με το πέρασ των 15 ημερών. Η αύξηση αυτή των τιμών, που κυμάνθηκαν από 0.452 έως 1.109 J/g συνάδει με τα αποτελέσματα διαφόρων μελετών που επικεντρώθηκαν στην παλινόρθωση του αμύλου του άρτου, όπως μεταξύ άλλων οι μελέτες των Ronda et al. (2014) [142], Ronda et al. (2011) [240], Primo-Martin et al. (2007) [241], Ribotta et al. (2007) [242], Yezbick et al. (2013) [243]. Στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίζονται μεταξύ του δείγματος αναφοράς και του εμπλουτισμένου λευκού άρτου που δε διαφέρει στατιστικά σημαντικά από τον άρτο ολικής άλεσης και τον αντίστοιχο εμπλουτισμένο άρτο ολικής. Η αξιοσημείωτη, όμως, διαφορά παρατηρείται στην τιμή της ενθαλπίας του άρτου με β-γλυκάνες που διαφέρει σημαντικά από τα υπόλοιπα προϊόντα και εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή ενθαλπίας και συνεπώς το μεγαλύτερο βαθμό υποβάθμισης. Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα αντίστοιχης μελέτης των Katina et al. (2006) [244] που μελέτησαν το ρυθμό της παλινόρθωσης σε προϊόντα άρτου πλούσια σε φυτικές ίνες. Γενικότερα, τα προϊόντα άρτου με β-γλυκάνες εμφανίζουν μικρότερη απώλεια υγρασίας κατά την αποθήκευση από τον κοινό άρτο [110] και η ικανότητα των φυτικών ινών να συγκρατούν αποτελεσματικότερα το περιεχόμενο νερό ευθύνεται για την καθυστέρηση του μπαγιατέματος των αντίστοιχων προϊόντων άρτου [106]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ποσότητα των β-γλυκανών που έχει προστεθεί στον άρτο ολικής πιθανά δεν επαρκεί ώστε να επιφέρει το αντίστοιχο αποτέλεσμα. Επιπρόσθετως, υπάρχουν αντικρουόμενα δεδομένα για το ρόλο των μεγαλομορίων, όπως οι φυτικές ίνες, στο φαινόμενο της επανακρυστάλλωσης του αμύλου η οποία επιταχύνεται ή επιβραδύνεται με την παρουσία τους. Οι β-γλυκάνες πιθανά δρουν ως μόρια εκκινητές και ως πυρήνες του κρυστάλλου της αμυλοπηκτίνης που διαμορφώνεται κατά το πολύπλοκο αυτό φαινόμενο. Τέλος, παρατηρείται ότι η αύξηση της ενθαλπίας κατά το διάστημα των 15 ημερών στο λευκό άρτο αναφοράς και τον άρτο ολικής άλεσης είναι μεγαλύτερη από την αύξηση της ενθαλπίας των αντίστοιχων άρτων εμπλουτισμένων με τη μαγιά μύρας.

Ενδεικτικά η ενθαλπία του λευκού άρτου αυξάνεται κατά 82,3% εντός των 15 ημερών, ενώ η ενθαλπία του λευκού άρτου με μαγιά μύρας αυξάνεται κατά 63,6% στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Ποικίλοι παράγοντες, όπως οι γαλακτωματοποιητές και το προζύμι, έχουν μελετηθεί και αναγνωρίζεται ως ανασταλτικοί παράγοντες του μπαγιατέματος. Ανάλογες μελέτες πρέπει να διεξαχθούν για να διαπιστωθεί η συμβολή της μαγιάς μύρας στο σύνθετο φαινόμενο του μπαγιατέματος.

## 6.6 Οργανοληπτική εξέταση

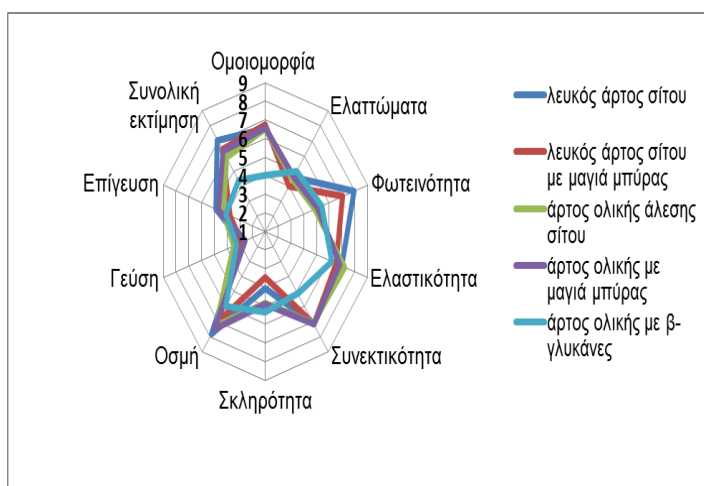
Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής εξέτασης των πέντε δειγμάτων άρτου και η στατιστική επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SPSS (SPSS 20 for Windows, Chicago, IL, USA) με παραμετρικούς (One way ANOVA) ή μη παραμετρικούς ελέγχους (Kruskal-Wallis). Ακόμη, παρατίθεται ένα αραχνοειδές γράφημα με τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και αρεσκείας των δειγμάτων άρτου, συναρτήσει της σύστασης τους και τα αποτελέσματα των μη παραμετρικών ελέγχων για ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

| Δείγμα/Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά |               | Λευκός άρτος σίτου     | Λευκός άρτος σίτου με μαγιά μύρας | Άρτος ολικής σίτου      | Άρτος ολικής άλεσης με μαγιά μύρας | Άρτος ολικής με β-γλυκάνες |
|-------------------------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Εμφάνιση                            | Ομοιομορφία   | 6,53±1,68              | 6,73±1,71                         | 6,53±0,74               | 6,60±0,99                          | 4,00±2,17 <sup>a</sup>     |
|                                     | Ελαττώματα    | 4,58±2,15              | 4,00±2,17                         | 4,47±1,88               | 4,60±1,64                          | 5,00±2,62 <sup>a</sup>     |
| Χρώμα                               | Φωτεινότητα   | 7,93±0,62 <sup>a</sup> | 7,07±0,80 <sup>a</sup>            | 4,87±1,51 <sup>b</sup>  | 5,07±1,79 <sup>b</sup>             | 5,40±1,96 <sup>b</sup>     |
| Υφή                                 | Ελαστικότητα  | 7,00±1,13              | 6,53±1,36                         | 7,20±1,26               | 6,80±1,66                          | 6,20±2,21                  |
|                                     | Συνεκτικότητα | 7,13±1,13              | 7,13±1,30                         | 7,07±1,33               | 7,13±1,30                          | 5,13±1,77 <sup>a</sup>     |
|                                     | Σκληρότητα    | 4,07±2,25              | 3,47±1,46                         | 4,87±1,81               | 4,93±2,40                          | 5,33±2,23                  |
| Οσμή                                | Κανονική      | 7,79±0,97 <sup>a</sup> | 6,93±1,21 <sup>ab</sup>           | 7,29±1,14 <sup>ab</sup> | 7,50±0,76 <sup>ab</sup>            | 6,00±1,62 <sup>b</sup>     |
|                                     | Άλλη          | 2,00                   | 2,67±1,15                         | 3,80±1,30               | 3,20±2,17                          | 3,25±2,50                  |
| Γεύση                               | Αλμυρή        | 2,87±1,13 <sup>a</sup> | 2,86±1,61                         | 3,50±1,83               | 2,58±1,16                          | 3,23±1,54                  |
|                                     | Πικρή         | 1,45±0,69              | 2,00±1,41                         | 2,54±1,33               | 2,20±1,69                          | 2,15±0,90                  |

|                              |                     |                        |                        |                         |                         |                         |
|------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                              | Ξινή, στυφή<br>κ.ά. | 2,00±1,15 <sup>a</sup> | 3,20±2,04 <sup>b</sup> | 3,00±1,58 <sup>ab</sup> | 2,80±1,40 <sup>ab</sup> | 3,11±1,62 <sup>ab</sup> |
| <b>Επίγευση</b>              |                     | 4,90±2,77              | 3,75±2,01              | 4,25±1,06               | 4,67±1,67               | 4,08±2,23               |
| <b>Συνολική<br/>εκτίμηση</b> |                     | 7,07±0,96              | 6,47±1,41              | 5,93±1,16               | 6,33±0,98               | 4,40±1,96 <sup>a</sup>  |

Πεζοί λατινικοί εκθέτες αφορούν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα αξιολογούμενα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά μεταξύ των εξεταζόμενων δειγμάτων άρτου, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

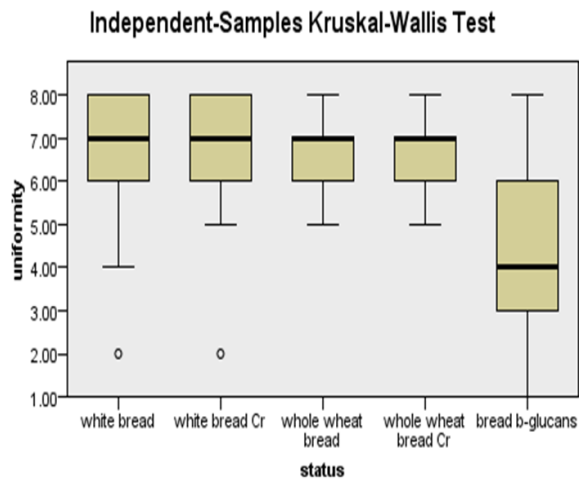
Ύστερα από μελέτη των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης των αξιολογούμενων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των πέντε δειγμάτων άρτου προκύπτει ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στη συνολική εκτίμηση και επομένως την αρεστότητα των προϊόντων με εξαίρεση τον άρτο με την προσθήκη των β-γλυκανών που



βαθμολογήθηκε με 4,4 στην 9βαθμια κλίμακα. Η χαμηλότερη προτίμηση των καταναλωτών για ένα προϊόν άρτου στο οποίο μέρος του σιτάλευρου έχει υποκατασταθεί από αλεύρι κριθαριού αποδεικνύεται και από τις μελέτες των Rodbotten et al. (2015) και Koletta et al. (2014) [122,238]. Επιπροσθέτως, ο άρτος με την προσθήκη β-γλυκανών διέφερε στατιστικά σημαντικά από τα υπόλοιπα δείγματα, που δε διέφεραν ιδιαίτερα μεταξύ τους, όσον αφορά την ομοιομορφία και τα ελαττώματα και κατ' επέκταση την εμφάνισή του. Η υφή των δειγμάτων άρτου και, συγκεκριμένα, η ελαστικότητα και η σκληρότητα δε διέφερε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των δειγμάτων, ενώ η συνεκτικότητα του άρτου με την προσθήκη των β-γλυκανών παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα. Σχετικά με τη γεύση των προϊόντων, ο λευκός άρτος σίτου υπερίσχυσε ως προς την αλμυρή γεύση διαφέροντας σημαντικά από τα άλλα δείγματα και ο λευκός άρτος σίτου με προσθήκη μαγιάς μπίρας υπερίσχυσε ως προς τη ξινή γεύση. Η επίγευση των δειγμάτων δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές, ενώ η οσμή τους εμφάνισε σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ του άρτου σίτου και του άρτου με τις β-γλυκάνες. Η φωτεινότητα, τέλος, παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών τύπων άρτου, δηλαδή του λευκού άρτου με ή χωρίς προσθήκη μαγιάς

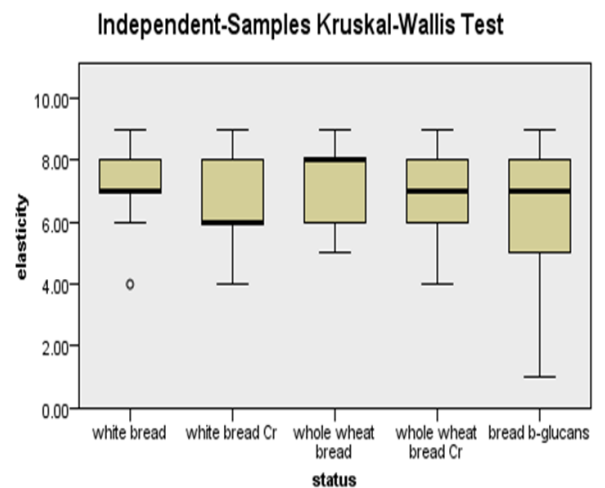


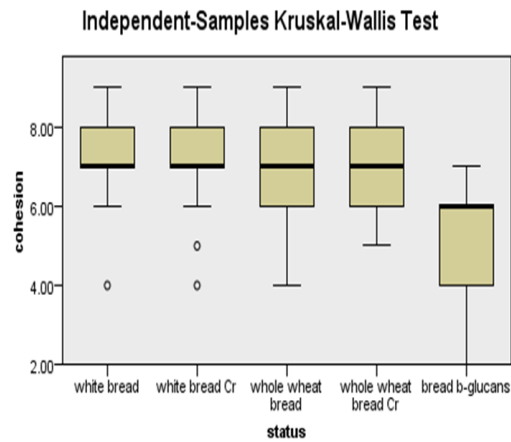
μπύρας και του άρτου ολικής με ή χωρίς προσθήκη μαγιά μύρας ή με προσθήκη β-γλυκανών, συμπίπτοντας και με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των προϊόντων με το χρωματόμετρο.



Μη παραμετρικός έλεγχος της ομοιομορφίας που διαφέρει στατιστικά σημαντικά στο δείγμα με τις β-γλυκάνες.

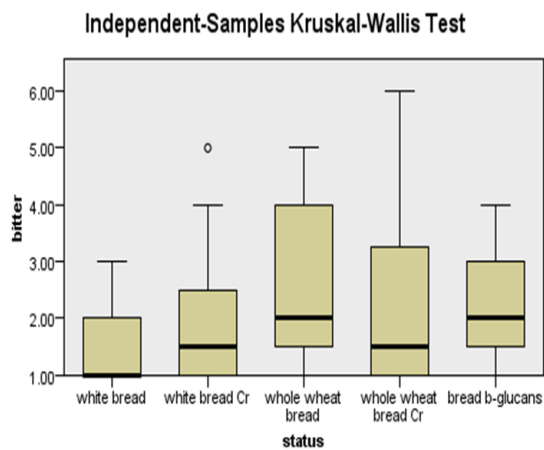
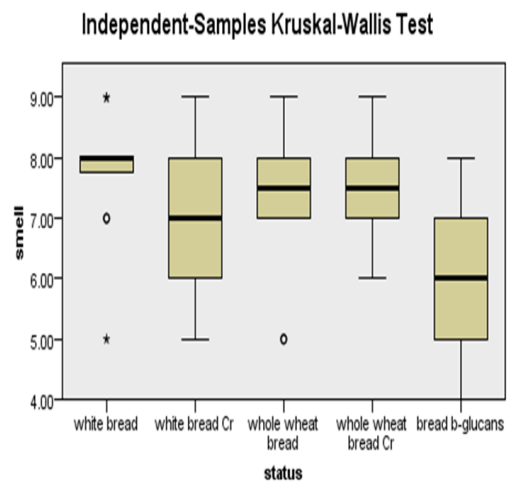
Μη παραμετρικός έλεγχος της ελαστικότητας που δε διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των δειγμάτων.





Μη παραμετρικός έλεγχος της συνεκτικότητας που διαφέρει στατιστικά σημαντικά στο δείγμα με τις β-γλυκάνες.

Μη παραμετρικός έλεγχος της οσμής που διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ του λευκού άρτου και του άρτου με β-γλυκάνες.



Μη παραμετρικός έλεγχος της πικρής γεύσης που δε διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των δειγμάτων.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΑΡΤΟΥ

Δοκιμή: Δοκιμή Ποσοτική περιγραφική

Ονοματεπώνυμο:

Ημερομηνία:

| Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά |                                 | Δείγματα |  |  |  |  |
|------------------------------|---------------------------------|----------|--|--|--|--|
|                              |                                 |          |  |  |  |  |
| Εμφάνιση                     | Ομοιομορφία                     |          |  |  |  |  |
|                              | Ελαττώματα (π.χ. μεγάλοι πόροι) |          |  |  |  |  |
| Χρώμα                        | Φωτεινότητα                     |          |  |  |  |  |
| Υφή στο στόμα                | Ελαστικότητα                    |          |  |  |  |  |
|                              | Συνεκτικότητα                   |          |  |  |  |  |
|                              | Σκληρότητα                      |          |  |  |  |  |
| Οσμή                         | Κανονική                        |          |  |  |  |  |

|                   |                          |  |  |  |  |  |
|-------------------|--------------------------|--|--|--|--|--|
|                   | Άλλη                     |  |  |  |  |  |
| Γεύση             | Γλυκιά                   |  |  |  |  |  |
|                   | Πικρή                    |  |  |  |  |  |
|                   | Άλλη (Ξινή, Στυφή, κ.ά.) |  |  |  |  |  |
| Επίγευση          |                          |  |  |  |  |  |
| Συνολική εκτίμηση |                          |  |  |  |  |  |
| Παρατηρήσεις:     |                          |  |  |  |  |  |

\* Βαθμολογήστε τα δείγματα ως προς την ένταση του χαρακτηριστικού με κλίμακα 1-9

(1: μη αντιληπτό, 5:αντιληπτό, 9: υπέρμετρα αντιληπτό)

\*\* Βαθμολογήστε τα δείγματα ως προς τη συνολική εκτίμηση με κλίμακα 1-9

(1: απαράδεκτο, 5:ούτε αρεστό ούτε μη αρεστό, 9: υπερβολικά αρεστό)

### ***Βοηθητικό έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου άρτου***

*Ορισμοί:*

#### **1. Ελαστικότητα**

Ως ελαστικότητα ορίζεται η ικανότητα του δείγματος να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση(μη παραμορφωμένη) μετά την απομάκρυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης παραμόρφωσης(πίεση με το δάκτυλο).

#### **2. Συνεκτικότητα**

Ως συνεκτικότητα ορίζεται το μέγεθος της έκτασης της παραμόρφωσης που μπορεί να υποστεί το δείγμα κατά τη μάσηση, πριν υποστεί ρήξη στη δομή του (κόψιμο με χέρι).

#### **3. Σκληρότητα**

Ως σκληρότητα ορίζεται η δύναμη που απαιτείται κατά το πρώτο δάγκωμα του δείγματος.

***Σύνολο δειγμάτων: 5***

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνόγλωσση

74. Dietlind Hanrieder, U.B., Joachim Beck, *Τρόφιμα:είδη,ποιότητα, εμπόριο*. 2008: Εκδόσεις ΙΩΝ.
170. Πολυχρονιάδου – Αληχανίδου, Α., *Ανάλυση Τροφίμων*. 1994: Εκδόσεις Γαργατάνης.
172. Ανδρικόπουλος, Ν., *Ανάλυση Τροφίμων, Θεωρία μεθοδολογίας-οργανολογίας και εργαστηριακές ασκήσεις*. 2010: Εκδόσεις Μπιστικέα.
184. Ζόγκζας, Π.Ν., *Εργαστηριακές ασκήσεις μηχανικής τροφίμων II*. 2012, TEI Αθήνας.
234. Τσάκνης, Ι., *Εργαστηριακές ασκήσεις οργανοληπτικού ελέγχου*. 2012: TEI Αθήνας.

### Ξενόγλωσση

1. Edwards, W.P., *The science of Bakery Products*. 2007: RSC Publishing.
2. Marquart, J., McIntosh, Reicks & Poutanen, *Whole grains and health*. Ames, IA, 2007.
3. Healthgrain Forum, 2011.
4. Slavin J., Tucker M., Harriman C., and Jonnalagaddaet S.S., *Whole grains: Definitions, dietary recommendations and health benefits*. Cereals Foods World 2013. **58**(4): p. 191-198.
5. Fardet A., *New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole- grain cereals: what is beyond fiber?*. Nutrition Research Reviews 2010. **23**(1): p. 65-134.
6. Liu C., Liu L., Li L., Hao C., Zheng X., Bian K., Zhang J., Wang X., *Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making*. LWT - Food Science and Technology, 2014. **62**: p. 310-318.
7. Dexter, J.E., and Sarkar, A.K., *Wheat: Dry Milling*. In: *Encyclopedia of Grain Science*. 2004: p. 363-375.
8. Posner, S. Elieser, Hibbs, N. Arthur, *Wheat Flour Milling*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN. , 2005.
9. Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P., *Food Chemistry, 3rd Revised Edition*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York, 2004.
10. Posner, S. Elieser, *Principles of Milling*, in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 2003. p. 3980-3986.
11. Y. Hui, *Bakery Products:Science and Technology*, Blackwell Publishing, 2006.

12. Pareyt, B., Delcour, A. Jan, *The Role of Wheat Flour Constituents, Sugar, and Fat in Low Moisture Cereal Based Products: A review on Sugar-Snap Cookies*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2008. **48**: p. 824-839.
13. Giannou, V., Kessoglou, V., Tzia, C., *Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough*. Trends in Food Science and Technology, 2003. **14**: p. 99-108.
14. Lauterbach, S., Albrecht A. Julie, *Functions of Baking Ingredients*, University of Nebraska, 1994.
15. Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K., Delcour, A. Jan, *Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality*. Trends in Food Science & Technology, 2005. **16**: p. 12-30.
16. Lindhauer, M.G., Dreisoerner, J., *Rye*, in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2003. p. 5027-5031.
17. Kamal-Eldin, A., Åman, P., Zhang, J.X., Bach Knudsen, K.E., Poutanen, K., *Rye Bread and other Rye Products*. Technology of Functional Cereal Products, 2008, UK: Woodhead Publishing Limited.
18. Gasiorowski H., *Rye. Chemistry and technology*. Poznan: PWRiL, 1994.
19. Buksa K., Nowotna A., Praznik W., Gambus H., Ziobro R. and Krawontka J., *The role of pentosans and starch in baking of wholemeal rye bread*. Food Research International, 2010. **43**: p. 2045-2051.
20. Bushuk W., *Rye: production, chemistry, and technology*. 2nd ed. 2001, St. Paul, Minnesota: AAOCC.
21. Anonymous, Nutrition Journal, 2009. (8): p. 42.
22. Baik, B., Ullrich, S.E., *Barley for food: characteristics, improvement, and renewed interest*, J. Cereal Sci. , 2008. **48**: p. 233-242.
23. Newman, C.W., Newman, R.K., *A brief history of barley foods*. Cereal Foods World, 2006. **51**: p. 4-7.
24. AbuMweis, S.S., Jew, S., Ames, N.P., *Beta-glucan from barley and its lipid-lowering capacity: a meta-analysis of randomized, controlled trials*. Eur. J. Clin. Nutr., 2010. **64**: p. 1472-1480.
25. Behall, K.M., Scholfield, D.J., Hallfrisch, J., *Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women*. Am. J. Clin. Nutr. , 2004. **80**: p. 1185-1190.
26. Newman, R.K., Lewis, S.E., Newman, C.W., Boik, R.J., Ramage, R.T., *Hypercholesterolemic effect of barley foods on healthy men*. Nutr. Reports Int. , 1989. **39**: p. 749-760.
27. Cavarello, A., Empilli, S., Brighteni, F., Stanca, M., *High (1-3, 1-4)- $\beta$ -glucan barley fractions in bread making and their effects on human glucaemic response*. J. Cereal Sci., 2002. **39**: p. 59-66.

28. Izydorczyk, M.S., Storsley, J., Labossiere, D., MacGregor, A.W., Rossnagel, B.G., *Variation in total and soluble b-glucan content in hulless barley: effects of thermal, physical, and enzymic treatments*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000. **48**: p. 982-989.
29. Quinde, Z., Ullrich, S.E., Baik, B.K., *Genotypic variation in colour and discolouration potential of barley-based food products*. Cereal Chemistry, 2004. **81**: p. 752-758.
30. Gupta, M., Bawa, A.S., Semwal, A.D., *Effect of barley flour Blending on functional, baking and organoleptic characteristics of high fiber rusks*. Journal of Food Processing and Preservation, 2011. **35**: p. 46-63.
31. Qureshi, A.A., Qureshi, N., Wright, J.J.K., Shen, Z., Kramer, G., Gapor, A., Chong, Y.H., Dewitt, G., Ong, A.S.H., Peterson, D.M., Bradlow, B.A., *Lowering serum cholesterol in hypercholesterolemic humans by tocotrienols (palmvitee)*. American Journal of Clinical Nutrition, 1991. **53**: p. 1021-1026.
32. Edney, M.J., Rossnagel, B.G., Endo, Y., Ozawa, S., Brophy, M., *Pearling quality of Canadian barley varieties and their potential uses as rice extenders*. Journal of Cereal Science, 2002. **36**: p. 295-305.
33. Dhingra, S., Jood, S., *Effect of flour blending on functional, baking and organoleptic characteristics of bread*. International Journal of Food Science & Technology, 2004. **39**: p. 213-222.
34. Velu V., Nagender A., Prabhakara Rao G.P., Rao G.D., *Dry milling characteristics of microwave dried maize grains (Zea mays L.)*. Journal of Food Engineering, 2006. **74**(1): p. 30-36.
35. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008. **56**(21): p. 9918-26.
36. Marco, C., Rosell, C., *Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads* European Food and Technology 2008. **227**(4): p. 1205-1213.
37. Han, H.M., Cho, J. H., Kang, H. W., Koh, B. K., *Rice varieties in relation to rice bread quality* Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012. **92**(7): p. 1462-1467.
38. Yu, S., Ma, Y., Menager, L., Sun, D.W., *Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars*. Food and Bioprocess Technology, 2012. **5**(2): p. 626-637.
39. Park, C., Kim, Y., Park, K., Kim, B., *Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures*. Journal of Stored Products Research, 2012. **48**: p. 25-29.
40. Esther de la Heraa, Gomez M., Rosella M. Christina, *Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties*. Carbohydrate Polymers, 2013. **98**(1): p. 421-427.



41. Guha, M., Ali, S. Z., *Changes in rheological properties of rice flour during extrusion cooking*. Journal of Texture Studies, 2011. **42**(6): p. 451-458.
42. Ji-Myoung Kim, Ji-Young Song, Mlashick Shin, *Physicochemical properties of high amylose rice starches purified from Korean cultivars*. Starch, 2010. **62**(5): p. 262-268.
43. Weaver, G.L., *A miller's perspective on the impact of health claims*. Nutrition Today, 2001. **36**: p. 115-118.
44. *Wholegrains Food Fact Sheet*. The British Dietetic Association, 2013.
45. Kent, N.L., Evers, A.D., *Kent's Technology of Cereals*. 4th ed. 1994, Oxford: Pergamon Press.
46. Prabhasankar, P., Haridas Rao, P., *Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour*. European Food Research and Technology, 2001. **213**(6): p. 465-469.
47. Doblado- Maldonado, A.F., Pike, O.A., Sweley, J.C., Rose, D.J., *Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage*. Journal of Cereal Science, 2012. **56**: p. 119-126.
48. Ziegler, E., Greer, E.N., *Wheat flour milling*, in *Wheat Chemistry and Technology*, Pomeranz Y., Editor. 1971: St. Paul. p. 134-143.
49. NEVO, Dutch Food Composition Database, 2013.
50. Collado-Fernandez, M., *Bread*, in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 2003. p. 627-637.
51. Shewry, P.R., Halford, N.G., Belton, P.S., Tatham, A.S., *The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2002. **357**: p. 133-142.
52. Van der Borgh, A., Goesaert, H., Veraverbeke, W.S., Delcour, J.A., *Fractionation of wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved*. Journal of Cereal Science, 2005. **41**: p. 221-237.
53. Tester, R.F., Debon, S. J. J., *Annealing of starch—A review*. International Journal of Biological Macromolecules, 2000. **27**: p. 1-12.
54. Hug-Iten, S., Handschin, S., Conde-Petit, B., Escher, F., *Changes in starch microstructure on baking and staling of wheat bread*. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie, 1999. **32**: p. 255-260.
55. Gan, Z., Ellis, P.R., Schofield, J.D., *Mini review: Gas cell stabilization and gas* 1995.
56. Papantoniou, E., Hammond, E.W., Tsiami, A.A., Scriven, F., Gordon, M.H., Schofield, J.D., *Effects of Endogenous Flour Lipids on the Quality of Semisweet Biscuits*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003. **51**: p. 1057-1063.
57. Paryet, B., Finnie, S.M., Putseys, J.A., Delcour, J.A., *Lipids in breadmaking: Sources, interactions, and impact on bread quality*. Journal of Cereal Science, 2011. **54**: p. 266-279.

58. Cauvain, S.P., Young, L.S., *Baked Products : Science, Technology and Practice*. 2006, Blackwell, UK.
59. Mondal, A., Datta, A.K., *Bread baking – A review*. Journal of Food Engineering, 2008. **86**: p. 465-474.
60. Stauffer, C.E., *Fats and Oils in Bakery Products*. Sixth Edition ed. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 2005.
61. Ghotra, B.S., Dyal, S.D., Narine, S.S., *Lipid shortenings: a review*. Food Research International, 2002. **35**: p. 1015-1048.
62. Campbell, G., *New mixing technology for the food industry*. Food Technology International Europe, 1995: p. 119-122.
63. Campbell, G., Shah, P., *Entrainment and disentrainment of air during bread dough mixing, and their effect on scale-up of dough mixers*. Bubbles in Food, ed. G. Campbell, Webb, C., Pandiella, S.S., Niranjan, K. 1999, St Paul, Minnesota, USA.: American Association of Cereal Chemists.
64. Cauvain P. Stanley, Young S. Linda, *Baked Products: Science, Technology and Practice*. 2006, BakeTran, High Wycombe, Bucks, UK: Blackwell Publishing.
65. Dobraszczyk, B.J., Campbell, G., Gan, Z., *Bread—a unique food*. Cereals and Cereal Products: Technology and Chemistry, ed. B.J. Dobraszczyk, Dendy, D.A.V. 2000, USA: Aspen Publishers.
66. Wehrle, K., Grau, H., Arendt, E.K., *Effects of lactic acid, acetic acid and table salt on fundamental rheological properties of wheat dough*. Cereal Chemistry, 1997. **74**: p. 739-744.
67. Cauvain, P. Stanley, *Bread making: Improving Quality*. 2000, UK: Woodhead Publishing Limited.
68. Collado-Fernandez, M., *Dough Fermentation*, in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 2003. p. 650-654.
69. Brennan, J.G., *Food Processing Handbook*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, 2006.
70. Marsh, D., *Mixing and dough processing*. Technology of Breadmaking, ed. Cauvain P. S. and Young S. L. 1998, London: Blackie Academic & Professional.
71. Cauvain P. Stanley, Young S. Linda, *Baking Problems Solved*, 2001. Cambridge: Woodhead Publishing.
72. Cauvain P. Stanley, Young S. Linda, *Effects of water upon textural properties and their changes during storage*, in *Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects*, ed. Young S. and Cauvain, L., 2000, Blackwell Science: Oxford.
73. Purlis, E., *Browning development in bakery products – A review*. Journal of Food Engineering, 2010. **99**: p. 239-249.

74. Hanrieder Dietlind, Berges Ulrike, Beck Joachim, *Τρόφιμα:είδη, ποιότητα, εμπόριο*. 2008: Εκδόσεις ΙΩΝ.
75. Fasano A., Catassi C., *Celiac disease*. N Engl J Med, 2012. **367**: p. 2419-26.
76. Lionetti E., Catassi C., *Co-localization of gluten consumption and HLA-DQ2 and -DQ8 genotypes, a clue to the history of celiac disease*. Dig Liver Disease, 2014. **46**(12): p. 1057-1063.
77. Moore M. Michelle, Schober J. Tilman, Dockery Peter, and Arendt K. Elke, *Textural Comparisons of Gluten-Free and Wheat-Based Doughs, Batters, and Breads* Cereal Chemistry, 2004. **81**(5): p. 567-575.
78. Mustalathi K., Catassi C., Reaunanen A., Fabiani E., Heier M., McMillan S., Murray L., Metzger M.H., Gasparin M., Bravi E., Maki M., *The prevalence of CD in Europe: results of a centralized, international mass screening project*. Ann Med, 2010. **42**: p. 587-95.
79. White, L.E., Merrick, V. M., Bannerman, E., Russell, R. K., Basude, D., Henderson, P., Wilson, D. C., Gillett, P. M., *The rising incidence of celiac disease in Scotland*. Pediatrics, 2013. **132**(4): p. e924-31.
80. Volta U., Caio G., Giorgio De R., Henriksen C., Skodje G., Lundin E.K., *Non-celiac gluten sensitivity: A work-in-progress entity in the spectrum of wheat-related disorders*. Clinical Gastroenterology, 2015. **29**(3): p. 477-491.
81. Murray, J.A., *The widening spectrum of celiac disease*. American Journal Clin. Nutr., 1999. **69**: p. 354-365.
82. Fasano, A., and Catassi, C., *Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: An evolving spectrum*. Gastroenterology, 2001. **120**: p. 636-651.
83. Kasarda, D.D., *Grains in relation to celiac disease*. Cereal Foods World, 2001. **46**: p. 209-210.
84. Lovis, L.J., *Alternatives to wheat flour in baked goods*. Cereal Foods World, 2003. **48**: p. 61-63.
85. Ylimaki, G., Hawrysh, Z.J., Hardin, R.T., and Thomson, A.B.R., *Response surface methodology in the development of rice flour yeast breads: Sensory evaluation*. J. Food Sci. , 1991. **5**: p. 751-759.
86. Gallagher, E., Gormley, T.R., Arendt, E.K., *Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products*. Trends in Food Science & Technology, 2004. **15**: p. 143-152.
87. Sciarini, L.S., Ribotta, D.P., Leon, A.E., Perez, G.T., *Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality*. Food and Bioprocess Technology, 2010. **3**: p. 577-585.
88. Thompson, T., Dennis, M., Higgins, L.A., Lee, A.R., Sharrett, M.K., *Gluten-free diet survey: are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods?* Journal of Human Nutrition and Dietetics, 2005. **18**: p. 163-169.

89. Schoenlechner, R., Mandala, I., Kiskini, A., Kostaropoulos, A., Berghofer, E., *Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten-free bread containing amaranth*. International Journal of Food Science & Technology, 2010. **45**: p. 661-669.
90. Tobrica, A., Hadnaoiev, M., Dapcevic, T., *Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour*. Food Hydrocolloids, 2010. **24**: p. 626-632.
91. Sabanis, D., Tzia, C., *Selected structural characteristics of HPMC-containing gluten free bread: a response surface methodology study for optimizing quality*. International Journal of Food Properties, 2011. **14**: p. 417-431.
92. Nunes, B. Maria Helena, Moore, M. Michelle, Ryan, A.M. Liam, Arendt, K. Elke, *Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters*. European Food Research and Technology, 2009. **228**: p. 633-642.
93. Ziobro R., Witczak T., Juszczak L., Korus J., *Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristics*. Food Hydrocolloids 2013. **32**: p. 213-220.
94. Gómez M., Moraleja A., Oliete B., Ruiz E., Caballero A. Pedro, *Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes*. LWT - Food Science and Technology, 2010. **43**(1): p. 33-38.
95. Ziobro R., Korus J., Juszczak L., Witczak T., *Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread*. Journal of Food Engineering, 2013. **116**: p. 21-27.
96. Houben A., Höchstötter A., Becker T., *Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview*. European Food Research and Technology, 2012. **235**(2): p. 195-208.
97. *Codex Alimentarius*. 2009.
98. Lattimer, J.M., Haub, M.D., *Effects of dietary fiber and its components on metabolic health*. Nutrients, 2010. **2**: p. 1266-1289.
99. Papathanasopoulos, A., Camilleri, M., *Dietary fiber supplements: effects in obesity and metabolic syndrome and relationship to gastrointestinal functions*. Gastroenterology, 2010. **138**: p. 65-72.
100. Ktenioudaki, A., Gallagher, E., *Recent advances in the development of high-fibre baked products*. Trends in Food Science & Technology, 2012. **28**(1): p. 4-14.
101. Pereira, M.A., Ludwig, D.S., *Dietary fiber and body-weight regulation. Observations and mechanisms*. Pediatric Clinics of North America, 2001. **48**: p. 969-80.
102. Bhatti, R.S., *Physicochemical and functional (breadmaking) properties of hull-less barley fractions*. Cereal Chemistry, 1986. **63**(1): p. 31-35.

103. Wang, J., Rosella, M.C., De Barbera, B.C., *Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality*. Food Chemistry, 2002. **79**: p. 221-226.
104. Santos, E., Rosell, C.M., Collar, C., *Retrogradation kinetics of high fibre wheat flour blends: a calorimetric approach*. Cereal Chemistry, 2008. **85**(4): p. 450-458.
105. Gray, J.A., Bemiller, J.N., *Bread staling: molecular basis and control*. Food Science and Food Safety, 2003. **2**(1): p. 1-21.
106. Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C.A., Caballero, A.P., Apesteguia, A., *Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality*. Eur. Food Res. Technol., 2003. **216**: p. 51-56.
107. Khoury, D.E., Cuda, C., Luhovyy, B.L., Anderson, G.H., *Beta Glucan: Health Benefits in Obesity and Metabolic Syndrome*. Journal of Nutrition and Metabolism, 2012.
108. Bourdon, I., Yokoyama, W., Davis, P., Hudson, C., Backus, R., Richter, D., Knuckles, B., Schneeman, B. O., *Postprandial lipid, glucose, insulin, and cholecystokinin responses in men fed barley pasta enriched with beta-glucan*. Am J Clin Nutr, 1999. **69**(1): p. 55-63.
109. Wang, L., Miller, R.A., Hosney, R.C., *Effects of (1-3)(1-4)-beta-glucans of wheat flour on breadmaking*. Cereal Chemistry, 1998. **75**(5): p. 629-633.
110. Skendi, A., Billiaderis, G.C., Papageorgiou, M., Izydorczyk, M.S., *Effects of two barley b-glucan isolates on wheat flour dough and bread properties*. Food Chemistry, 2010. **119**: p. 1159-1167.
111. Seyer, M.E., Gelinas, P., *Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread*. International Journal of Food Science & Technology, 2009. **44**: p. 688-693.
112. Kerch, G., Glonin, A., Zicans, J., Merijs Meri, R., *A DSC study of the effect of bread making methods on bound water content and redistribution in chitosan enriched bread*. J Therm Anal Calorim, 2012. **108**: p. 185-189.
113. Juszczak, L., Witczak, T., Ziobro, R., Korus, J., Cieslik, E., Witczak, M., *Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough*. Carbohydrate Polymers, 2012. **90**: p. 353-360.
114. Praznik, W., Cieslik, E., Filipiak-Florkiewicz, A., *Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: Composition and application in bread*. Nahrung/Food, 2002. **45**: p. 151-157.
115. Meyer, D., Bayarri, S., Tarrega, A., Costell, E., *Inulin as a texture modifier in dairy products*. Food Hydrocolloids, 2011. **25**: p. 1881-1890.
116. He, F.J., MacGregor, G.A., *Reducing salt in foods*, ed. D. Kilcast&F.Angus. 2007: Woodhead Publishing.

117. EFSA, *Opinion of the scientific panel on dietetic products, nutrition and allergies on a request from the commission related to the tolerable upper intake level of sodium*. The EFSA Journal, 2005. **209**: p. 1-26.
118. Becerra-Tomas, N., Guasch-Ferre, M., Quilez, J., Merino, J., Ferre, R., Diaz-Lopez, A., Bullo, M., Hernandez-Alonso, P., Palau-Galindo, A., Salas-Salvado, J., *Effect of Functional Bread Rich in Potassium, gamma-Aminobutyric Acid and Angiotensin-Converting Enzyme Inhibitors on Blood Pressure, Glucose Metabolism and Endothelial Function: A Double-blind Randomized Crossover Clinical Trial*. Medicine (Baltimore), 2015. **94**(46): p. e1807.
119. FSAI, *Salt and health: review of the scientific evidence and recommendations for public policy in Ireland*. 2005.
120. Commission of the European Communities, *Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on nutrition and health claims made on foods*. COM, 2003. **424**.
121. Miller, R.A., Hosney, R.C., *Role of salt in baking*. CFW, 2008. **53**: p. 4-6.
122. Rodbotten M., Tomic O., Holtekjolen A.K., Grini I.S., Lea P., Granli B.S., Grimsby S., Sahlstrom S., *Barley Bread with normal and low content of salt; sensory profile and consumer preference in five European countries*. Journal of Cereal Science, 2015. **64**: p. 176-182.
123. Lynch E.J., Bello D.F., Sheehan E.M., Kashman K.D., Arendt E.K., *Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics*. Food Research International, 2009. **42**: p. 885-891.
124. He, H., Hosney, R.C., *Changes in bread firmness and moisture during long-term storage*. Cereal Chemistry, 1990. **67**: p. 603-605.
125. Hefnawy, T.M., El-Shourbagy, G.A., Ramadan, M.F., *Impact of adding chickpea (Cicer arietinum L.) flour to wheat flour on the rheological properties of toast bread*. International Food Research Journal, 2012. **19**(2): p. 521-525.
126. Berrios J. De J., Morales P., Cámara M., Sánchez-Mata M.C., *Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours*. Food Research International, 2010. **43**: p. 531-536.
127. Idriss, M., Ahmed, A.R., Senge, B., *Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blend*. Journal Food Science Technology, 2012. **36**: p. 196-202.
128. Onoja, U.S., Odo, G.E., Dibua, U.M.E., Eze, J.I., *Physico-chemical properties, energy, mineral, vitamin and sensory evaluation of wheat-based bread supplemented with legume, root, tuber and plantain flour*. Glob J Pure Appl Science, 2011. **17**(3): p. 319-327.
129. Fenn, D., Lukow, O.M., Humphreys, D.G., Fields, P.G., Boye, J.I., *Wheat-legume composite flour quality*. International Journal Food Prop, 2010. **13**: p. 381-393.

130. Zafar A. Tasleem, Al-Hassawi Fatima, Al-Khulaifi Fatima, Al-Rayyes Ghanima, Waslien Carol, Huffman G. Fatma, *Organoleptic and glycemic properties of chickpea-wheat composite breads*. J Food Sci Technol, 2013.
131. Chlopicka, J., Pasko, P., Gorinstein, S., Jebryas, A., Zagrodzki, P., *Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads*. LWT - Food Science and Technology, 2012. **46**: p. 548-555.
132. Hoyer Clifford, Jr. & Ross F. Carolyn, *Total Phenolic Content, Consumer Acceptance, and Instrumental Analysis of Bread Made with Grape Seed Flour*. Journal of Food Science 2011. **76**: p. 428-436.
133. Sathivel Subramaniam, Ram K. Ahalya., Espinoza Luis, King Joan, Cueto Rafael and Solval M. Kevin, *Application of Honey Powder in Bread and its Effect on Bread Characteristics*. Food Processing and Technology, 2013. **4**(11): p. 1-9.
134. Rayas-Duarte, P., Mulvaney, S., *Bread staling* 2012, Woodhead Publishing Limited: USA.
135. Baik, M.Y. and Chinachoti, P., *Moisture redistribution and phase transitions during bread staling*. Cereal Chemistry, 2000. **77**: p. 484-8.
136. Eliasson, Ann Charlotte., Larsson, K., *Bread*, in *Cereals in Breadmaking. A Molecular Colloidal Approach.*, A. C. Eliasson, Larsson, K., Editor. 1993, Marcel Dekker: New York. p. 325-363.
137. Chinachoti, P., Vodovotz, Y., *Bread staling*. 2001, Florida.
138. Zobel, H.F., Kulp, K., *The staling Mechanism*, in *Baked Goods Freshness: Technology, Evaluation and Inhibition of Staling*, R.E. Hebeda, Zobel, H.F., Editor. 1996, Marcel Dekker: New York. p. 1-64.
139. Miles, M.J., Morris, V.J., Orford, P.D., Ring, S.G., *The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch*. Carbohydrate Research, 1985. **135**: p. 271-281.
140. Keetels, C.J., Oostergetel, G.T., Vliet van, T., *Retrogradation of amylopectin in concentrated starch gels*. Carbohydrate Polymers, 1996. **30**: p. 61-64.
141. Curti, E., Carini, E., Tribuzio, G., Vittadini, E., *Effect of bran on bread staling: Physico-chemical characterization and molecular mobility*. Journal of Cereal Science, 2015. **65**: p. 25-30.
142. Ronda, F., Quilez, J., Pando, V., Roos, H.Y., *Fermentation time and fiber effects on recrystallization of starch components and staling of bread from frozen part-baked bread*. Journal of Engineering, 2014. **131**: p. 116-123.
143. Hug-Iten, S., Conde-Petit, B., Escher, F., *Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes*. Cereal Chemistry, 2003. **80**: p. 654-661.

144. Roos, Y.M. & Lievomen, S. M., *State transitions and reaction rates in concentrated food systems*, in *Engineering and Food for the 21st Century*, J. Welti-Chanes, Barbosa-Canovas, G. V. and Aguilera, J. M. , Editor. 2002, CRC Press.
145. Slade, L. and Levine, H., *Food polymer science approach to studies on freshness and shelf-life of foods*, in *Freshness and ShelfLife of Foods*, K.R. Cadwallader, H. Weenen, Editor. 2003, ACS: Washington.
146. Cowie, J.M.G., *The amorphous phase*, in *Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials*, J.M.G. Cowie Editor. 1991, CRC Press.
147. Buera, M.P., Jouppila, K., Roos, H. Y. and Chirife, J., *Differential scanning calorimetry glass transition temperatures of white bread and mold growth in the putative glassy state*. Cereal Chemistry, 1998. **75**: p. 64-9.
148. Le Meste, M., Huang, V. T., Panama, J., Anderson, G. and Lentz, R., *Glass transition of bread*. Cereal Foods World, 1992. **37**: p. 264-7.
149. Ruan, R.R. and Chen, P.L., *Nuclear magnetic resonance techniques*, in *Bread Staling*, Chinachoti P., Yodovotz Y., Editor. 2001, CRC Press LLC
150. Moura Ramos, J.J., Correia, N. T. and Diogo, H.P., *TSDC as a tool to study slow molecular mobility in condensed complex systems*. Journal of Non-Crystalline Solids, 2006. **352**: p. 4753-7.
151. Huang, V.T., Haynes, L., Levine, H. and Slade, L., *Glass transitions in starch, gluten and bread as measured with dielectric spectroscopy and TMA methods*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 1996. **47**: p. 1289-98.
152. Walstra, P., *Physical chemistry of foods*. 2003, New York.
153. Purna, G., Shivananda, K., Miller, A.R, Seib, A.P., Graybosch, A.R., and Shi, Y.C., *Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours*. Journal of Cereal Science 2011. **54**: p. 37-43.
154. Hirte, A., Hamer, R.J., Meinders, M.B.J. and Primo-Martin, C., *Permeability of crust is key to crispness retention* Journal of Cereal Science, 2010. **52**: p. 129-35.
155. Lodi, A., Abduljalil, A.M. and Vodovotz, Y. , *Characterization of water distribution in bread during storage using magnetic resonance imaging*. Magnetic Resonance Imaging, 2007. **25**: p. 1449-58.
156. Goesaert, H., Slade, L., Levine, H. and Delcour, J. A., *Amylases and bread firming – an integrated view*. Journal of Cereal Science 2009. **50**: p. 345-52.
157. Slade, L. and Levine, H., *Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety*. Crit Rev Food Sci Nutri 1991. **30**: p. 115-360.



158. Bhatt, C. and Nagaraju, J., *Studies on electrical properties of wheat bread as a function of moisture content during storage*. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2009. **4**: p. 61-6.
159. Amigo M. Jose, Alvarez del Olmo A., Engelsen M. Merete, Lundkvist H., Engelsen B. Søren, *Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic  $\alpha$ -amylases. Part 1: Spatial distribution and kinetic modeling of hardness and resilience*. Food Chemistry, 2016.
160. Knightly, W.H., *Surfactants*, in *Baked Goods Freshness*, Hebeda, R. E. and Zobel, H. F., Editor. 1996, Marcel Dekker, Inc.: New York
161. Whitehurst, R.J., *Emulsifiers in Food Technology* 2004, Oxford Backwell Publishing Ltd.
162. Popper, L., *Flour treatment*, in *Future of Flour. A Compendium of Flour Improvement*, L. Popper, Shafer, W. and Freund, W., Editor. 2006, Dumme: AgriMedia GmbH
163. Curti, E., Carini E., Tribuzio, G., Vittadini, E., *Bread staling: Effect of gluten on physico-chemical properties and molecular mobility*. LTW - Food Science and Technology, 2014. **59**: p. 418-425.
164. Curti, E., Carini, E., Diantom, A., Vittadini, E., *The use of potato fibre to improve bread physico-chemical properties during storage*. Food Chemistry, 2016. **195**: p. 64-70.
165. Torrieri, E., Pepe, O., Ventrino, V., Masi, P., Cavella, S., *Effect of sourdough at different concentrations on quality and shelf life of bread*. LTW - Food Science and Technology, 2014. **56**: p. 508-516.
166. Saikia, D. and Sit, N., *Effect of using sourdough and frozen dough for preparation of breads on quality, shelf life and staling*. American Journal of Food Technology, 2014. **9**(4): p. 223-230.
167. Jekle, M., Becker, T., *Effects of Acidification, Sodium Chloride, and Moisture Levels on Wheat Dough: II. Modeling of Bread Texture and Staling Kinetics*. Food Biophysics, 2012. **7**: p. 200-208.
168. Chin, N.L., Abdullah, R., Yusof, Y.A., *Glazing effects on bread crust and crumb staling during storage*. Journal of Texture Studies, 2011. **42**: p. 459-467.
169. Pomeranz, Y., Meloan, C.E., *Food Analysis: Theory and Practice*. 3rd ed. 2000: Aspen Publishers, Inc.
170. Πολυχρονιάδου – Αληχανίδου, Α., *Ανάλυση Τροφίμων*. 1994: Εκδόσεις Γαργατάνης.
171. Karathanos, T. Vaios, *Determination of water content of dried fruits by drying kinetics*. Journal of Food Engineering, 1999. **39**: p. 337-344.
172. Ανδρικόπουλος, Ν., *Ανάλυση Τροφίμων, Θεωρία μεθοδολογίας-οργανολογίας και εργαστηριακές ασκήσεις*. 2010: Εκδόσεις Μπιστικέα.
173. Salo – Väänänen, P.P., Koivistoinen, P.E., *Determination of protein in foods: comparison of net protein and crude protein ( $N \times 6.25$ ) values*. Food Chemistry, 1996. **57**: p. 27-31.

174. Egli, H., *Kjeldahl Guide*. 2008, Switzerland: BÜCHI Labortechnik AG.
175. Smedes, F., Askland, T.K., *Revisiting the development of the Bligh and Dyer total lipid determination*. Marine Pollution Bulletin, 1999. **38**: p. 193-201.
176. Manirakiza, P., Covaci, A., Schepens, P., *Comparative Study on Total Lipid Determination using Soxhlet, Roese-Gottlieb, Bligh & Dyer, and Modified Bligh & Dyer Extraction Methods*. Journal of Food Composition and Analysis, 2001. **14**: p. 93-100.
177. Vries, de J.W., *On defining dietary fibre*. Proceedings of the Nutrition Society,, 2003. **62**: p. 37-43.
178. Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T. F., DeVries, J. W., Furda, I., *Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study*. Journal of Association of Official Analytical Chemists, 1988. **71**: p. 1017-1023.
179. Scanlon, M. & Zghal, M., *Bread properties and crumb structure*. Food Research International, 2001. **34**(10): p. 841-864.
180. Hodge, D.G. and Cauvain, S.P., *Sponge cake technology: Effect of level of emulsifier when using a planetary mixer*. 1973: Chipping Campden.
181. Rogers, D.E., Day, D.D. and Olewnik, M.C., *Development of an objective crumb-grain measurement*. Cereal Foods World, 1995. **40**(7): p. 498-501.
182. Whitworth, M.B., Cauvain, S.P. and Cliffe, D., *Measurement of bread cell structure by image analysis*, in *Using Cereal Science and Technology for the Benefit of Consumers*, S.P. Cauvain, S.E. Salmon and L.S. Young, Editor. 2005, Woodhead Publishing: Cambridge. p. 193-98.
183. Shivananda K., Purna G., Miller R., Seib A.P., Graybosch R., Yong-Cheng Shi, *Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours*. Journal of Cereal Science, 2011. **54**: p. 37-43.
184. Ζόγκζας, Π.Ν., *Εργαστηριακές ασκήσεις μηχανικής τροφίμων II*. 2012, ΤΕΙ Αθήνας.
185. Szczesniak, A., *Texture is a sensory property*. Food Quality and Preference, 2002. **13**(4): p. 215-225.
186. Van Vliet, T., Primo-Martin, C., *Interplay between product characteristics, oral physiology and texture perception of cellular brittle foods*. Journal of Texture Studies, 2011. **42**: p. 82-94.
187. Valles Pamies, B., Roudaut, G., Dacremont, C., Le Meste, M., Mitchell, J.R., *Understanding the texture of low moisture cereal products: Mechanical and sensory measurements of crispness*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000. **80**: p. 1679-1685.
188. Foegeding, E.A., Çakır, E., & Koç, H., *Using dairy ingredients to alter texture of foods: Implications based on oral processing considerations*. International Dairy Journal, 2010. **20**: p. 562-570.

189. Chen, L., Opara, U.L., *Texture measurement approaches in fresh and processed foods – A review*. Food Research International, 2013. **51**: p. 823-835.
190. Kim, E.H.J., Corrigan, V.K., Wilson, A.J., Waters, I.R., Hedderley, D.I., Morgenstern, M.P., *Fundamental fracture properties associated with sensory hardness of brittle solid foods*. Journal of Texture Studies, 2012. **43**: p. 49-62.
191. Destefanis, G., Brugiapaglia, A., Barge, M.T., Dal Molin, E., *Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force*. Meat Science, 2008. **78**(3): p. 153-156.
192. Chung, C., Degner, B., & McClements, D. J., *Instrumental mastication assay for texture assessment of semi-solid foods: Combined cyclic squeezing flow and shear viscometry*. Food Research International, 2012. **49**: p. 161-169.
193. Taniwaki, M., Kohyama, K., *Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer*. Journal of Food Engineering, 2012. **112**: p. 268-273.
194. Huang, M., & Lu, R., *Apple mealiness detection using hyperspectral scattering technique*. Postharvest Biology and Technology, 2010. **58**: p. 168-175.
195. Ahmad, F., Rehman, S., Mushtaq, Z., *Impact of Xylitol on Physicochemical and Sensory Parameters of Rusks*. World Applied Sciences Journal, 2012. **20**: p. 1287-1292.
196. Laguna, L., Varela, P., Salvador, A., Fiszman, S., *A new sensory tool to analyse the oral trajectory of biscuits with different fat and fibre contents*. Food Research International, 2013. **51**: p. 544-553.
197. Kamel, B.S., *Creaming, emulsions, and emulsifiers*, in *The science of cookie and cracker production*, H. Faridi, Editor. 1994, Chaman & Hall: New York.
198. Shittu, T.A., Raji, A.O., Sanni, L.O., *Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf*. Food Research International, 2007. **40**: p. 280-290.
199. Piga, A., Catzeddu, P., Farris, S., Roggio, T., Sanguinetti, A., Scano, E., *Texture evolution of "Amaretti" cookies during storage*. European Food Research and Technology, 2005. **221**: p. 387-391.
200. Peleg, M., *On fundamental issues in texture evaluation and texturization – A view*. Food Hydrocolloids, 2006. **20**: p. 405-414.
201. Roudaut, G., Dacremont, C., Vallès Pàmies, B., Colas B., Le Meste, M., *Crispness: A critical review on sensory and material science approaches*. Trends in Food Science and Technology, 2002. **6**(7): p. 217-227.

202. Piazza, L., Masi, P., *Development of crispness in cookies during baking in an industrial oven*. Cereal Chemistry, 1997. **74**: p. 135-140.
203. Nisha, P., Singhal, R. S., Pandit, A. B., *Kinetic modelling of colour degradation in tomato puree (Lycopersicon esculentum L.)*. Food and Bioprocess Technology, 2011. **4**: p. 781-787.
204. Wu, D., Sun, D.W., *Colour measurements by computer vision for food quality – a review*. Trends in Food Science & Technology, 2013. **29**: p. 5-20.
205. Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, A.J., *Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review*. Food Bioprocess Technology, 2013. **6**: p. 36-60.
206. Granato, D., Masson, M.L., *Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach*. Ciencia e Tecnologia de Alimentos, 2010. **30**: p. 1090-1096.
207. Rhim, J., Wu, Y., Weller, C., Schnepf, M., *Physical characteristics of a composite film of soy protein isolate and propyleneglycol alginate*. Journal of Food Science, 1999. **64**: p. 149-152.
208. Meléndez-Martínez, A., Vicario, I., & Heredia, F., *Instrumental measurement of orange juice colour: a review*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005. **85**(6): p. 894-901.
209. Oliveira, A.C.M., Balaban, M.O., *Comparison of a colorimeter with a machine vision system in measuring color of Gulf of Mexico sturgeon fillets*. Applied Engineering in Agriculture, 2006. **22**: p. 583-587.
210. Biliaderis, G. C., *The structure and interactions of starch with food constituents*. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 1991. **69**: p. 60-78.
211. Kulp, K., & Ponte, J. G., *Staling of white pan bread: fundamental causes*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1981. **15**: p. 1-48.
212. Stevens, D.J., & Elton, G.A.H., *Thermal properties of starch/ water system. I. Measurement of heat of gelatinization by differential scanning calorimetry*. Starch/Stärke, 1971. **23**: p. 8-11.
213. Eliasson, Ann Charlotte, *Retrogradation of starch as measured by differential scanning calorimetry*, in *New approaches to research on cereal carbohydrates*, L.M. R. D. Hill, Editor. 1985, Elsevier Science Publishers: Amsterdam, Netherlands. p. 93-98.
214. Fearn, T., & Russell, P. C., *A kinetic study of bread staling by differential scanning calorimetry. The effect of loaf specific volume*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1982. **33**: p. 537-548.
215. Jang, J.K., & Pyun, Y. R., *Effect of moisture level on the crystallinity of wheat starch aged at different temperatures*. Starch/ Stärke, 1997. **49**: p. 272-277.

216. León, A., Durán, E. & Benedito de Barber, C., *A new approach to study starch changes occurring in the dough-baking process and during bread storage*. Zeitschrift-fuer-Lebensmittel-Untersuchung-und-Forschung, 1997. **204**: p. 316-320.
217. Longton, J., & LeGrys, G.A., *Differential scanning calorimetry studies on the crystallinity of ageing wheat starch gels*. Starch/ Stärke, 1981. **33**: p. 410-414.
218. Nakazawa, F., Noguchi, S., & Takahashi, J., *Retrogradation of gelatinized potato starch studied by differential scanning calorimetry*. Agricultural and Biological Chemistry, 1985. **49**(4): p. 953-957.
219. Colwell, K.H., Axford, D.W.E., Chamberlain, N., & Elton, G.A.H., *Effect of storage temperature on the ageing of concentrated wheat starch gels*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1969. **20**: p. 550-555.
220. Russell, P.L., *The ageing of gels from starches of different amylose/amylopectin content studied by differential scanning calorimetry*. Journal of Cereal Science, 1987. **6**: p. 147-158.
221. Eliasson, Ann Charlotte, & Ljunger, G., *Interactions between amylopectin and lipid additives during retrogradation in a model system*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1988. **44**: p. 353-361.
222. Jacobson, M.R., & BeMiller, J. N., *Method for determining the rate and extent of accelerated starch retrogradation*. Cereal Chemistry, 1998. **75**(1): p. 22-29.
223. Schiraldi, A., Piazza, L., & Riva, M., *Bread staling: a calorimetric approach*. Cereal Chemistry, 1996. **73**(1): p. 32-39.
224. Eliasson, Ann Charlotte, *Differential scanning calorimetry studies on wheat starch gluten mixtures. II. Effect of gluten and sodium stearyl lactylate on starch crystallization during ageing of wheat starch gels*. Journal of Cereal Science, 1983. **1**(3): p. 207-213.
225. Baker, L.A., & Rayas-Duarte, P., *Freeze-thaw stability of amaranth starch and the effects of salt and sugars*. Cereal Chemistry, 1998. **75**(3): p. 301-303.
226. White, P.J., Abbas, I.R., & Johnson, L.A., *Freeze-thaw stability and refrigerated-storage retrogradation of starches*. Starch/ Starke, 1989. **41**(5): p. 176-180.
227. Yuan, R.C., Thompson, D.B., & Boyer, C.D., *Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wx-containing genotypes in two inbred lines*. Cereal Chemistry, 1993. **70**(1): p. 81-89.
228. Murray, J.M., Baxter, I.A., *Food Acceptability and Sensory Evaluation*, in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 2003. p. 5130-5136.

229. Civille, V.G., Oftedal, N.K., *Sensory evaluation techniques — Make “good for you” taste “good”*. Physiology and Behavior, 2012. **107**: p. 598-605.
230. Stone, H., Bleibaum, R.N., Thomas, H.A., *Sensory evaluation Practices*. Fourth ed. Food Science and Technology. 2012: International Series, Elsevier Inc.
231. International Organization for Standardization, ISO6658, *Sensory analysis – Methodology- General guidance*. Second ed. 2005.
232. Lawless, H.T., Heymann, H., *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. Second ed. 2010, New York: Springer Science + Business Media, LLC.
233. Stone, H., Sidel, J.L., *Sensory Evaluation/ Descriptive analysis*, in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 2003. p. 5152-5161.
234. Τσάκνης, Ι., *Εργαστηριακές ασκήσεις οργανοληπτικού ελέγχου*, 2012: ΤΕΙ Αθήνας.
235. Purna, G., Miller, R.A., Seib, A.P., Graybosch R.A., Shi, Y.C., *Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours*. Journal of Cereal Science, 2011. 54:37-43.
236. Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C., *Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality*. Food Hydrocolloids, 2001. 15(1) :75–81.
237. B. Zanoni, C. Peri, R. Gianotti. *Determination of the thermal diffusivity of bread as a function of porosity*. Journal of Food Engineering, 1995. 26:497-510.
238. Koletta, P., Irakli, M., Papageorgiou, M., Skendi, A., *Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours*. Journal of Cereal Science, 2014. 60:561-568.
239. Sabanis D., Lebesi D., Tzia C., *Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread*. Food Science and Technology, 2009. 42:1380-1389.
240. Ronda F., Caballero A.P., Quilez J., Roos H.Y., *Staling of frozen partly and fully baked breads. Study of the combined effect of amylopectin recrystallization and water content on bread firmness*. Journal of Cereal Science, 2011. 53:97-103.
241. Primo-Martin, C., Nieuwenhuijzen, H.N., Hamer, J.R., Vliet, T., *Crystallinity changes in wheat starch during the bread-making process: Starch crystallinity in the bread crust*. Journal of Cereal Science, 2007. 45:219-226.
242. Ribotta D.P., Bail L.A., *Thermo-physical assessment of bread during staling*. Food Science and Technology, 2007. 40:879-884.
243. Yezbick, G., Ahn-Jarvis, J., Schwartz, S.J., Vodovotz, Y., *Physicochemical Characterization and Sensory Analysis of Yeast-leavened and Sourdough Soy Breads*. Journal of Food Science, 2013. 78:1487-1494.

244. Katina, K., Salmenkallio-Martilla, M., Partanen, R., Forssell, P., Autio, K., *Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. Food Science and Technology*, 2006. 39(5):479-491.