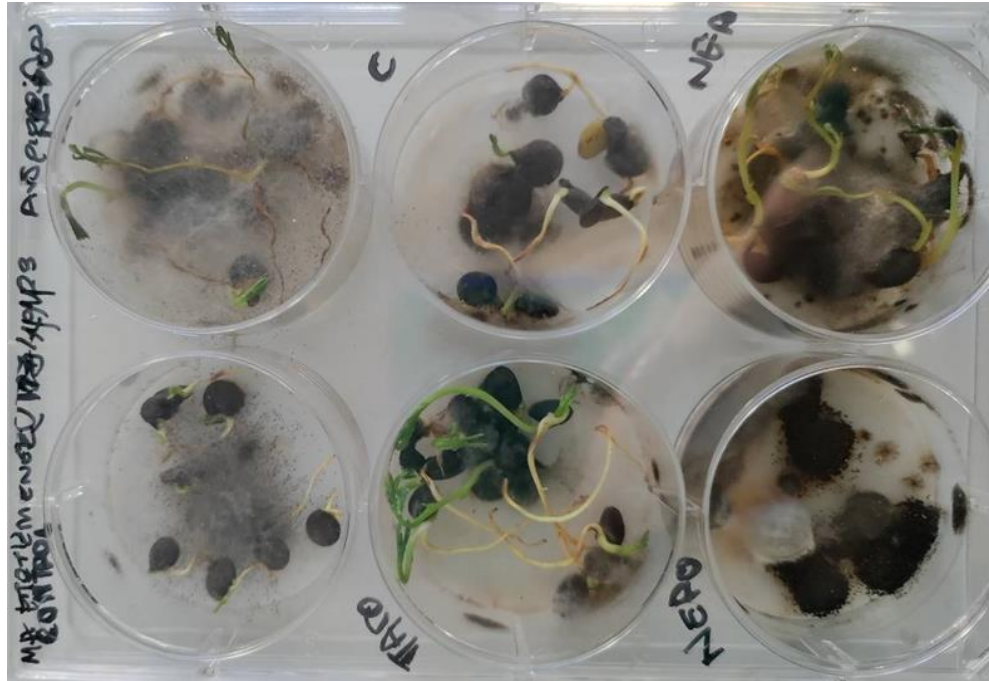


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πτυχιακή εργασία

της φοιτήτριας

του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Ανδριοπούλου Νικολέττα του Νεκταρίου

Επιβλέπων καθηγητής:

Αναστασόπουλος Ηλίας

Αριθμός Μητρώου: **3020151**

Θέμα:

**Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας στην Κατάψυξη Σπόρων Φακής
με την Χρήση Παγοπυρήνων**

|

Λάρισα, Ιούνιος 2024

Θέμα: Μείωση Κατανάλωσης Ενέργειας στην Κατάψυξη Σπόρων Φακής με την Χρήση Παγοπυρήνων

Θέμα στα Αγγλικά: Reducing Energy Consumption in Freezing Lentil Seeds with the Use of Ice Nucleators

Φοιτήτρια: Ανδριοπούλου Νικολέττα του Νεκταρίου

Επιβλέπων καθηγητής: Αναστασόπουλος Ηλίας

Τριμελής επιτροπή:

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, είναι η μελέτη της επίδρασης που έχουν οι παγοπυρήνες στην κατάψυξη σπόρων φακής. Η επιλογή του συγκεκριμένου όσπριου έγινε με βάση τη συχνή κατανάλωση που παρατηρείται από τις οικογένειες, το χαμηλό κόστος αγοράς, αλλά και το αυξημένο ενδιαφέρον που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια όσον αφορά τα κατεψυγμένα τρόφιμα.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν 8 πειραματικές διαδικασίες, κατά τις οποίες πραγματοποιούνταν οι απαραίτητες τροποποιήσεις κάθε φορά.

Τέλος μετά την ολοκλήρωση κάθε πειράματος ξεχωριστά, ακολουθούσε ανάλυση των αποτελεσμάτων με την χρήση λογισμικού.

Abstract

The purpose of this thesis is to study the effect of icenucleators on the freezing of lentil seeds. The choice of this legume was made based on the frequent consumption observed by families, the low cost of purchase and also the increased interest observed in recent years regarding frozen foods.

To achieve this goal, 8 experimental procedures were designed and carried out, during which the necessary modifications were made each time.

Finally, after the completion of each experiment separately, the results were analyzed using software.

Όπως προαναφέρθηκε, στην παρούσα πτυχιακή εργασία σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν πειραματικές διαδικασίες με σκοπό τη μελέτη της επίδραση που έχει ο ορυκτός παγοπυρήνας με κωδικό όνομα Nuc-T στην κατάψυξη σπόρων φακής

Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στις ιδιότητες και φάσεις του νερού, καθώς και τον ρόλο του στην βιολογία

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται θεωρητική ανάλυση των όρων της κρυσταλλοποίησης, της παγοπυρήνωσης και των παγοπυρήνων, καθώς και τα χαρακτηριστικά και τη μορφολογία του πάγου

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα μειονεκτήματά και τα πλεονεκτήματα της κατάψυξης τροφίμων με μια σύντομη αναφορά στους διαφορετικούς τύπους καταψυκτών και την εξέλιξη της βιομηχανίας των κατεψυγμένων τροφίμων

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά η καλλιέργεια, θρεπτική αξία και βραστικότητα της φακής

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές διαδικασίες, καθώς και τα πρωτοκόλλα που ακολουθήθηκαν για την κάθε πειραματική διαδικασία ξεχωριστά.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών μέσω φωτογραφιών και γραφικών παραστάσεων

Στο Κεφάλαιο 7 αναφέρονται τυχόν προβλήματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων, αναλύονται και επισημαίνονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα που αντλήθηκαν από τα πειράματα και παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντικό σχεδιασμό

Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 καταγράφεται η βιβλιογραφία και οι αναφορές στις πηγές όπου αντλήθηκαν τα παραπάνω στοιχεία.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	6
1.1	Ιδιότητες του νερού	6
1.2	Ρόλος του νερού στην βιολογία	9
1.3	Φάσεις νερού	10
1.4	Ποικιλότητα νερού στους οργανισμούς	12
Κεφάλαιο 2	Κρυσταλλοποίηση	14
2.1	Κρυσταλλοποίηση	14
2.2	Η πάγοπυρήνωση	15
2.3	Ομοιογενής παγοπυρήνωση	17
2.4	Ετερογενής παγοπυρήνωση	17
2.5	Παγοπρωτεΐνες / Ice nucleating proteins (INPs)	18
2.5.1	Βιολογικοί παγοπυρήνες	19
2.5.2	Ορυκτοί παγοπυρήνες	19
2.6	Περίοδος κρυσταλλοποίησης	20
2.7	Ανάπτυξη πάγων	21
2.8	Μέγεθος πάγων	22
2.8.1	Μορφολογία	23
2.9	Ψύξη και δομή κυττάρου	24
Κεφάλαιο 3	Κατάψυξη	26
3.1	Κατάψυξη τροφίμων	26
3.2	Πλεονεκτήματα	26
3.3	Μειονεκτήματα	27
3.3.1	Αλλαγές ποιότητας στα τρόφιμα	27
3.3.2	Φυσικές αλλαγές	28
3.3.3	Χημικές αλλαγές	28
3.4	Καταψύκτες	30
3.5	Μέγεθος της αγοράς των κατεψυγμένων τροφίμων	37
Κεφάλαιο 4	Φακές	39

4.1 Φακές	39	
4.2 Καλλιέργεια.....	40	
4.3 Θρεπτική αξία	42	
4.4 Αποθήκευση.....	43	
4.5 Βραστικότητα Φακής.....	44	
4.6 Βράσιμο και επίπεδα γ-τοκοφερόλης	44	
4.7 Όσπρια και κατάψυξη	44	
Κεφάλαιο 5 Υλικά και μέθοδοι – πειραματική διαδικασία.....	45	
5.1 Υλικά.....	45	
5.2 Πειραματική διαδικασία	48	
Κεφάλαιο 6	Αποτελέσματα	56
Κεφάλαιο 7	Συζήτηση.....	64
Κεφάλαιο 8	Βιβλιογραφία	66
Εικόνα 1.1 Οι ιδιότητες του νερού	8	
Εικόνα 3.1 Διάγραμμα κρυσταλλοποίησης	15	
Εικόνα 4 Απεικόνιση του σχηματισμού πάγου, των παγοπυρήνων και των εφαρμογών τους στην κατάψυξη τροφίμων	25	
Εικόνα 3.5.1 Εκτιμώμενο μέγεθος αγοράς κατεψυγμένων τροφίμων παγκοσμίως μέχρι το 2032	37	
Εικόνα 6.1.1 Δείγματα αμέσως μετά την διαδικασία του παγώματος.....	57	
Εικόνα 6.5 8 Διάγραμμα θερμοκρασίας παγωμάτων όλων των δειγμάτων.....	62	

1.1 Ιδιότητες του νερού

Πολλές και μοναδικές ιδιότητες απαραίτητες για τη διατήρηση της ζωής διαθέτει το νερό, καθώς αποτελεί περίπου το 70% του κυτταροπλάσματος. Κάτι που το καθιστά αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το νερό είναι η μόνη ουσία που υπάρχει φυσικά και στις τρεις καταστάσεις—στερεό, υγρό και αέριο—στην επιφάνεια της Γης. Χρησιμεύει ως κρίσιμο μέσο για τις μεταβολικές διεργασίες, διατηρώντας την οξεοβασική ισορροπία και διευκολύνοντας τις ενζυμικές λειτουργίες. Επιπλέον, το νερό είναι απαραίτητο στις αντιδράσεις συμπύκνωσης, διαδραματίζοντας ζωτικό ρόλο στην αναβολική σύνθεση οργανικών. Η μοναδικότητα του νερού ως υγρό πηγάζει από την ικανότητά του να σχηματίζει τρισδιάστατα μοριακά δίκτυα μέσω αμοιβαίων δεσμών υδρογόνου. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε μόριο νερού έχει τέσσερα κλασματικά φορτία διατεταγμένα σε τετραεδρική γεωμετρία: δύο θετικά φορτία στα άτομα υδρογόνου και δύο αρνητικά φορτία στα ζεύγη ηλεκτρονίων του ατόμου οξυγόνου. Συγκεκριμένα, ένα μόριο νερού είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, καθώς ο αριθμός των θετικά φορτισμένων πρωτονίων ταιριάζει με τον αριθμό των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων στα άτομα του. Σε ένα μόριο νερού, κάθε άτομο υδρογόνου συνδέεται με το άτομο οξυγόνου μέσω ενός ομοιοπολικού δεσμού (Wiggins, 1990). Όταν το υδρογόνο συνδέεται με το οξυγόνο, σχηματίζει ένα ασύμμετρο μόριο που χαρακτηρίζεται από ένα μερικό θετικό φορτίο στη μία πλευρά και ένα μερικό αρνητικό φορτίο από την άλλη (Sargen, 2019). Αυτό συμβαίνει επειδή το κοινό ηλεκτρόνιο μεταξύ των ατόμων υδρογόνου και οξυγόνου είναι πιο πιθανό να βρεθεί πιο κοντά στο άτομο οξυγόνου παρά στο άτομο του υδρογόνου. Αυτή η χωρική διάταξη επιτρέπει σε κάθε μόριο νερού να δημιουργήσει έως και τέσσερις δεσμούς υδρογόνου με γειτονικά μόρια, ενώ η διαφορά φορτίου ονομάζεται πολικότητα και υπαγορεύει πώς αλληλοεπιδρά το νερό με άλλα μόρια (Sargen, 2019).

Λόγω της αρχής ότι τα αντίθετα φορτία έλκονται, το νερό αλληλοεπιδρά πιο αποτελεσματικά με άλλα πολικά μόρια. Κάθε μόριο νερού διαθέτει τόσο αρνητικά, όσο και θετικά φορτία, επιτρέποντάς του να προσελκύει και να σχηματίζει σχετικά ισχυρούς δεσμούς με άλλα πολικά μόρια, συμπεριλαμβανομένων άλλων μορίων νερού. Κατά συνέπεια, το θετικό άτομο υδρογόνου ενός μορίου νερού συνδέεται με το αρνητικό άτομο οξυγόνου ενός γειτονικού μορίου, του οποίου τα υδρογόνα, με τη σειρά τους, έλκονται στο επόμενο άτομο οξυγόνου, δημιουργώντας ένα συνεχές δίκτυο συνδέσεων. Είναι σημαντικό ότι αυτός ο δεσμός έχει ως αποτέλεσμα τα μόρια του νερού να προσκολλώνται μεταξύ τους.

Ανάλογα με την πολικότητα, ορισμένα μόρια αποτελούνται από ιόντα ή αντίθετα φορτισμένα σωματίδια. Τα πολικά μόρια παρουσιάζουν μια τάση να αλληλοεπιδρούν με ανόμοια πολικά μόρια, όπως αποδεικνύεται από την ικανότητα του νερού να προκαλεί τη διάλυση άλλων πολικών ενώσεων. Αυτό το φαινόμενο διευκολύνει τη διασπορά ιόντων και διαλυτών ουσιών μέσα σε ένα διάλυμα, μια σημαντική διαδικασία για τη λειτουργικότητα του κυτταροπλάσματος ενός κυττάρου (Wiggins, 1990).

Το νερό διαλύει περαιτέρω αυτές τις ιοντικές ενώσεις μέσω της αλληλεπίδρασής του με θετικά και αρνητικά φορτισμένα σωματίδια. Λόγω της πολικής φύσης του, το νερό διαλύει εύκολα ιόντα, καθώς τα πολικά μόρια τοποθετούνται γύρω από ιόντα, αντισταθμίζοντας εν μέρει τα φορτία. Κατά συνέπεια, θετικά και αρνητικά ιόντα μπορούν να συνυπάρχουν ως διακριτές οντότητες μέσα σε ένα αραιωμένο διάλυμα χωρίς να σχηματίζουν ζεύγη ιόντων (Wiggins, 1990).

Επιπλέον, Το νερό παρουσιάζει τέσσερις θεμελιώδεις ιδιότητες:

- θερμικές ιδιότητες,
- την ικανότητά του να λειτουργεί ως γενικός διαλύτης,
- συνοχή και
- προσρόφηση.

Αυτές οι ιδιότητες είναι ζωτικής σημασίας για την υποστήριξη διαφόρων διαδικασιών ζωής και ενδιαιτημάτων για όλους σχεδόν τους οργανισμούς.

Το νερό παρουσιάζει αξιοσημείωτα θερμικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της υψηλής ειδικής θερμοχωρητικότητας και της σημαντικής λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης. Το τελευταίο χαρακτηριστικό συνεπάγεται από το γεγονός ότι το νερό απαιτεί σημαντική ενέργεια για να μεταβεί σε κατάσταση ατμού, λειτουργώντας έτσι ως ψυκτικό μέσο για τη θερμορύθμιση των θηλαστικών μέσω της εφίδρωσης. Αντίθετα, η υψηλή ειδική θερμική του ικανότητα απαιτεί σημαντική ποσότητα ενέργειας για να μεταβάλει την κατάστασή του, καθιστώντας το σταθερό βίοτοπο για υδρόβιους οργανισμούς (Ball, 2017).

Η ικανότητα του νερού να διαλύει ένα ευρύ φάσμα μορίων του αποδίδει τον τίτλο του «καθολικού διαλύτη», καθιστώντας το απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής. Αυτό το χαρακτηριστικό υπογραμμίζει τη βαθιά σημασία του στις βιολογικές διεργασίες, όπου χρησιμεύει ως κρίσιμος διαλύτης που διευκολύνει τη μεταφορά και τη χρήση ουσιών, όπως το οξυγόνο και τα θρεπτικά συστατικά μέσα στα κύτταρα. Τα υγρά όπως το αίμα, που έχουν κύρια βάση το νερό, διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη μεταφορά μορίων στους απαιτούμενους προορισμούς τους,

αποτελώντας παράδειγμα του κεντρικού ρόλου του νερού στη διευκόλυνση βασικών διεργασιών όπως η μεταφορά οξυγόνου από το αναπνευστικό σύστημα (Sargen, 2019).

Τέλος, η προσρόφηση αναφέρεται στο φαινόμενο όπου τα μόρια νερού έλκονται από άλλα πολικά μόρια, με αποτέλεσμα την προσκόλλησή τους. Αυτό το χαρακτηριστικό αποκτά σημασία στη μεταφορά νερού μέσα στο ξύλωμα, όπου το νερό διευκολύνει την ανοδική κίνηση του νερού που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της φωτοσύνθεσης στα φύλλα, συμβάλλοντας έτσι στη βιωσιμότητα του φυτού (Ball, 2017).

Property	Attributes	Significance
Thermal	Extensive hydrogen bonding means water can absorb a lot of heat before changing state	Water is an excellent coolant (e.g. sweat) Water is a good medium for metabolic reactions (absorbs heat from exothermic reactions)
Cohesive	Dipolarity means water will stick to other water molecules (via H-bonds)	Water has a high surface tension, allowing small organisms to move on its surface (e.g. Basilisk lizard)
Adhesive	Dipolarity means water will stick to surfaces that are polar or charged	Water can move via capillary action against gravity (e.g. water can move up the xylem via transpiration)
Solvent	Dipolarity means water can dissolve molecules that are polar or charged	Water is a good transport medium (e.g. the blood system can transport soluble materials in its plasma)
Density	Water is less dense as a solid than as a liquid (maximum density ~ 4°C)	Ice floats on water (prevents oceans from freezing as ice layer prevents exposure to cold temperatures)
Transparency	Water is transparent to visible spectrum	Aquatic plants can undergo photosynthesis

Εικόνα 1.1 Οι ιδιότητες του νερού

1.2 Ρόλος του νερού στην βιολογία

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στη βιολογία, εξαιτίας της ικανότητας να διατηρεί το σχήμα και την ακεραιότητα των κυττάρων. Μέσα σε πολλά κύτταρα, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αποτελούν το ανθρώπινο σώμα, το νερό παράγει εσωτερική πίεση που εξουδετερώνει τις εξωτερικές δυνάμεις. Επιπλέον ακόμη και ορισμένα φυτά, ικανά να διατηρούν την κυτταρική τους δομή χωρίς νερό, εξακολουθούν να βασίζονται σε αυτό για την επιβίωσή τους. Ακόμη, διευκολύνει την ακριβή διαμόρφωση των κυττάρων σε μοριακό επίπεδο. Συγκεκριμένα, η συμβολή του νερού επεκτείνεται στο σχηματισμό κυτταρικών μεμβρανών, όπου ένα σημαντικό μέρος του, περιορίζεται μερικώς στο κυτταρόπλασμα (Ball, 2017).

Οι κυτταρικές μεμβράνες αποτελούνται κυρίως από μια διπλοστιβάδα μορίων φωσφολιπιδίων. Παρόμοια με το νερό, τα φωσφολιπίδια παρουσιάζουν διπλή φύση, που περιλαμβάνει ένα πολικό "κεφάλι" και μια μη πολική "ουρά". Κατά συνέπεια, οι πολικές κεφαλές αλληλοεπιδρούν ευνοϊκά με το νερό, ενώ οι μη πολικές ουρές τείνουν να απωθούν το νερό και να συνδέονται μεταξύ τους. Αναζητώντας ευνοϊκές αλληλεπιδράσεις, τα φωσφολιπίδια οργανώνονται αυθόρμητα σε διπλές στιβάδες, με τις πολικές κεφαλές τους προσανατολισμένες προς τα έξω προς το περιβάλλον νερό και τις μη πολικές ουρές τους στραμμένες προς τα μέσα, αποφεύγοντας έτσι το νερό. Αυτή η διαμόρφωση διπλής στιβάδας περιβάλλει τα κύτταρα και ρυθμίζει επιλεκτικά τη διέλευση των ουσιών, επιτρέποντας την είσοδο και έξοδο βασικών μορίων όπως άλατα και θρεπτικά συστατικά. Οι ισχυρές αλληλεπιδράσεις που διέπουν το σχηματισμό της μεμβράνης εξασφαλίζουν την αντοχή της στη διάσπαση. Χωρίς νερό, η δομική ακεραιότητα των κυτταρικών μεμβρανών θα διακυβευόταν, μειώνοντας την ικανότητά τους να διατηρούν το εσωτερικό περιβάλλον, που είναι απαραίτητο για την κυτταρική λειτουργία, συμπεριλαμβανομένης της κατακράτησης ζωτικών μορίων μέσα στο κύτταρο και του αποκλεισμού επιβλαβών ουσιών.

Εκτός από την επιρροή στην κυτταρική μορφολογία, το νερό επηρεάζει τη διαμόρφωση βασικών κυτταρικών συστατικών, όπως το DNA και οι πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες, που συντίθενται ως επιμήκεις αλυσίδες αμινοξέων, απαιτούν αναδίπλωση για να εκπληρώσουν τους λειτουργικούς τους ρόλους. Το νερό ενορχηστρώνει αυτή τη διαδικασία αναδίπλωσης, διευκολύνοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών τύπων αμινοξέων, εξασφαλίζοντας έτσι τη σωστή διαμόρφωση πρωτεϊνών. Λειτουργικά, οι πρωτεΐνες χρησιμεύουν ως δομικά στοιχεία, υποδοχείς σηματοδότησης και καταλύτες για κυτταρικές αντιδράσεις, ενσωματώνοντας τον βασικό μηχανισμό των κυτταρικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της συστολής των μυών, της ενδοκυτταρικής επικοινωνίας και του μεταβολισμού των θρεπτικών ουσιών. Η δομική

ακεραιότητα των πρωτεϊνών είναι υψίστης σημασίας για την εκτέλεση αυτών των λειτουργιών. Οποιαδήποτε απόκλιση στο σχήμα τους θα έθετε σε κίνδυνο την κυτταρική βιωσιμότητα. Ομοίως, η σωστή διαμόρφωση του DNA είναι επιτακτική ανάγκη για την ακριβή αποκωδικοποίηση των γενετικών οδηγιών. Οι πρωτεΐνες δέσμευσης DNA απαιτούν συγκεκριμένα κωδικόνια DNA για να ξεκινήσουν διαδικασίες μεταγραφής ή αντιγραφής. Τα μόρια του νερού οργανώνονται γύρω από κλώνους DNA, διατηρώντας τη χαρακτηριστική διπλή ελικοειδή δομή. Χωρίς αυτή τη δομική διάταξη, τα κύτταρα θα ήταν ανίκανα να εκτελέσουν πιστά τη γενετική αποκωδικοποίηση, εμποδίζοντας έτσι κρίσιμες διεργασίες όπως η ανάπτυξη, η αναπαραγωγή και, τελικά, η επιβίωση (Sargen, 2019).

Τέλος, το νερό αποτελεί υπόβαθρο σε πολυάριθμες κυτταρικές χημικές αντιδράσεις που εμπλέκονται στη σύνθεση και την αποικοδόμηση ζωτικών συστατικών, όπως αυτά στη φωτοσύνθεση. Επίσης, χρησιμεύει ως κρίσιμος ρυθμιστής, προστατεύοντας τα κύτταρα από τις επιβλαβείς επιδράσεις των όξινων και βασικών περιβαλλόντων. Οι ουσίες με υψηλή οξύτητα ή αλκαλικότητα ενέχουν σημαντικούς κινδύνους, καθώς μπορούν να διαβρώσουν ακόμη και τα πιο ανθεκτικά υλικά είτε απελευθερώνοντας, είτε απορροφώντας περίσσεια ιόντων υδρογόνου από το περιβάλλον τους. Η μεταβολή της συγκέντρωσης θετικά φορτισμένων ιόντων υδρογόνου διαταράσσει τις μοριακές δομές. Ωστόσο, το νερό παρουσιάζει μια μοναδική ικανότητα να προστατεύει τις πρωτεΐνες από τις επιπτώσεις των οξέων και των βάσεων, ενεργώντας τόσο ως οξύ, όσο και ως βάση. Αυτή η προσαρμοστικότητα δίνει τη δυνατότητα στο νερό να εξουδετερώνει τις δραστικές διακυμάνσεις του pH που προκαλούνται από όξινες ή βασικές ουσίες (Sargen, 2019).

1.3 Φάσεις νερού

Ο πάγος: Τα δομικά σωματίδια του νερού βρίσκονται στενά μεταξύ τους και συνδέονται σε ένα άκαμπτο μοτίβο, έτσι ώστε να μην μπορούν να κινηθούν το ένα πέρα από το άλλο. Όπως και άλλα στερεά, ο πάγος δεν παίρνει το σχήμα του δοχείου του, καθώς δεν διαστέλλεται για να γεμίσει το δοχείο του.

Το νερό: Τα δομικά σωματίδια του νερού απέχουν το ένα από το άλλο και κινούνται πολύ γρήγορα και ελεύθερα. Όπως και άλλα υγρά, το νερό παίρνει το σχήμα του δοχείου του, ενώ παράλληλα δεν διαστέλλεται για να γεμίσει το δοχείο του.

Οι υδρατμοί: Τα δομικά σωματίδια βρίσκονται πολύ μακριά το ένα από τα άλλα και κινούνται με μεγάλες ταχύτητες προς τυχαίες κατευθύνσεις. Όπως και άλλα αέρια, οι υδρατμοί παίρνουν το σχήμα του δοχείου τους και επεκτείνονται για να γεμίσουν το δοχείο τους.

Ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, το νερό αλλάζει την μορφή του με μια σειρά διαδικασιών.

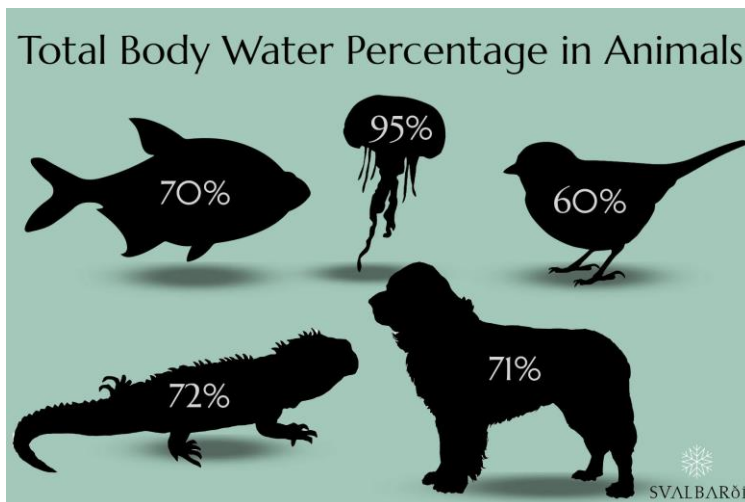
- Συγκεκριμένα η διαδικασία αλλαγής από στερεό σε υγρό, λόγω προσθήκης θερμότητας ονομάζεται τήξη.
- Η διαδικασία αλλαγής από στερεό σε αέριο, χωρίς διέλευση από την υγρή φάση, λόγω προσθήκης θερμότητας, ονομάζεται εξάχνωση.
- Η διαδικασία αλλαγής από ένα υγρό σε ένα στερεό, λόγω απώλειας θερμότητας, ονομάζεται κατάψυξη.
- Η διαδικασία αλλαγής από υγρό σε αέριο, λόγω προσθήκης θερμότητας, ονομάζεται εξάτμιση.
- Η διαδικασία αλλαγής από αέριο σε υγρό, λόγω απώλειας θερμότητα, ονομάζεται συμπύκνωση.
- Τέλος η διαδικασία αλλαγής από αέριο σε στερεό χωρίς διέλευση από την υγρή φάση, λόγω απώλειας θερμότητας, ονομάζεται εναπόθεση.

1.4 Ποικιλότητα νερού στους οργανισμούς

Ζώα

Το ποσοστό νερού στα ζωικά σώματα τείνει να είναι υψηλότερο από το ανθρώπινο σώμα. Τα περισσότερα ζώα έχουν ποσοστό συνολικού νερού σώματος έως 70%, με ορισμένες σαφείς ακραίες τιμές:

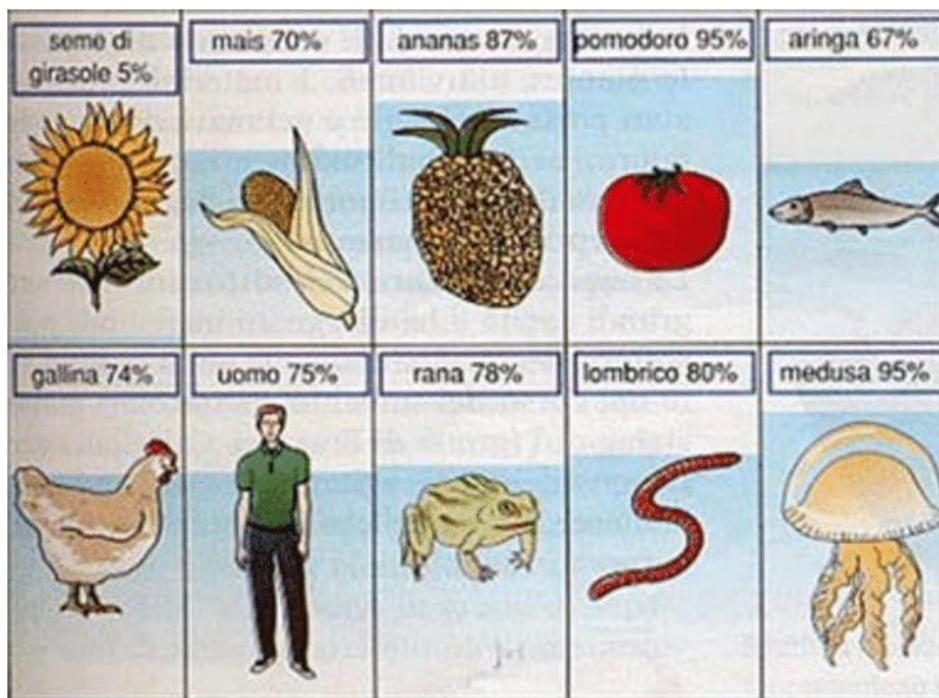
- Ενήλικα θηλαστικά: 71% για σκύλους και γάτες, 74% για χοίρους, 76% για ποντίκια και 73% για αρουραίους και κουνέλια.
- Ψάρια: Το ποσοστό νερού κυμαίνεται στο 70%, ενώ κατ' εξαίρεση μια μέδουσα περιέχει 95,6% νερό.
- Ερπετά: Το ποσοστό βρίσκεται αρκετά κοντά στο μέσο όρο του 72%. Ωστόσο τα φίδια, είχαν κατά μέσο όρο μόνο 65%.
- Πτηνά: Τα ενήλικα πουλιά σχεδόν όλων των μεγεθών έχουν συνολικό νερό σώματος περίπου 60%, ενώ τα νεαρά πουλιά περιέχουν έως και 80% νερό.



Εικόνα 1.4 Ποσοστό νερού σε διάφορα ζώα

Φυτά

Η περιεκτικότητα σε νερό στα φυτά και τα φύλλα τους μπορεί να ποικίλει ευρέως ανάλογα με το είδος, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το συγκεκριμένο μέρος του φυτού. Κατά μέσο όρο, τα φυτά αποτελούνται από περίπου 80-90% νερό. Τα φύλλα περιέχουν γενικά υψηλό ποσοστό νερού, συχνά μεταξύ 70-95%. Τα νεαρά, φρέσκα φύλλα τείνουν να έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό σε σύγκριση με τα παλαιότερα φύλλα.



Εικόνα 1.5 Ποσοστό νερού σε διάφορους οργανισμούς

2.1 Κρυσταλλοποίηση

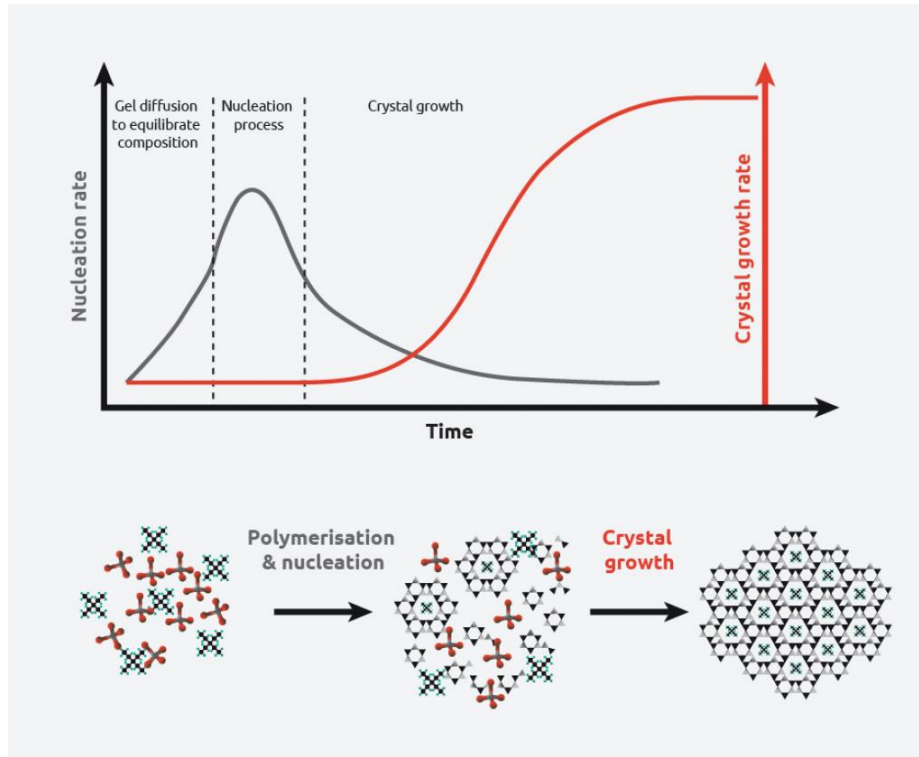
Η κατάψυξη ξεχωρίζει ως μια ευρέως αποδεκτή και αποτελεσματική τεχνική για τη συντήρηση των τροφίμων, που χαρακτηρίζεται από τρεις διακριτές φάσεις: αρχική ψύξη στο σημείο πήξης (στάδιο προψύξης ή ψύξης), εξάλειψη της λανθάνουσας θερμότητας κρυστάλλωσης (στάδιο μετάβασης φάσης) και επακόλουθη ψύξη στην καθορισμένη θερμοκρασία αποθήκευσης (στάδιο σκλήρυνσης).

Το βασικό τμήμα μετάβασης φάσης της κατάψυξης περιλαμβάνει τη μετατροπή του νερού σε πάγο μέσω κρυστάλλωσης, υπαγορεύοντας ουσιαστικά την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και την τελική ποιότητα του κατεψυγμένου αντικειμένου. Στο πλαίσιο της κατάψυξης των ιστών, ο σχηματισμός μεγάλων εξωκυτταρικών κρυστάλλων πάγου προκαλεί σημαντική βλάβη των ιστών. Αντίθετα, η παραγωγή λεπτών κρυστάλλων, ομοιόμορφα κατανεμημένων τόσο ενδοκυτταρικά, όσο και εξωκυτταρικά, συμβάλλει στην ανώτερη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος ελαχιστοποιώντας τη βλάβη αυτή (Kiani και Sun, 2011).

Όπως προαναφέρθηκε, η διαδικασία κατάψυξης των τροφίμων περιλαμβάνει τρεις διακριτές φάσεις: αρχική προψύξη για την εξάλειψη της υπολειμματικής θερμότητας και τη μείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος, επακόλουθη απομάκρυνση της λανθάνουσας θερμότητας για τη μετάβαση του νερού σε παγοκρυστάλλους και συνεχή ψύξη πέρα από το σημείο πήξης για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας αποθήκευσης. Μέσα στη δεύτερη φάση, συμβαίνει η παγοκρυστάλλωση, ένα φαινόμενο που περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες που σχετίζονται με το σχηματισμό μιας δομής κρυσταλλικού πλέγματος. Η κρυστάλλωση αντιπροσωπεύει ένα κεντρικό θερμοφυσικό φαινόμενο όπου μια ουσία καθιζάνει λόγω είτε υπερβολικής ψύξης, είτε κορεσμού. Αυτή η περίπλοκη διαδικασία εκτυλίσσεται σε δύο κύρια διαδοχικά στάδια: την παγοπυρήνωση και την ανάπτυξη κρυστάλλων, των οποίων η αλληλεπίδραση υπαγορεύει τα χαρακτηριστικά των κρυστάλλων που προκύπτουν, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους, της κατανομής και της μορφολογίας τους (Zhu, Zhou και Sun, 2019).

Συνήθως, όταν ένα δείγμα νερού ψύχεται, δεν καταψύχεται στους 0°C. Εάν το νερό είναι καθαρό, μπορεί να υπερψυχθεί σε θερμοκρασίες κοντά στους -40 ° C πριν από την κατάψυξη. Το υπερψυγμένο νερό, βρίσκεται σε μετασταθή κατάσταση. Για να συμβεί ο σχηματισμός πάγου, τα μόρια του νερού πρέπει να συγκεντρωθούν σε ένα μοτίβο που μοιάζει με πάγο και αυτό το σύμπλεγμα πρέπει να φτάσει σε ένα κρίσιμο μέγεθος. Μόλις επιτευχθεί το κρίσιμο μέγεθος, ο πάγος θα εξαπλωθεί γρήγορα μέσω του υπερψυγμένου νερού (Sargen, 2019)

Πολλές μεταβλητές επηρεάζουν τη γένεση και τη διαστολή των παγοκρυστάλλων, όπως η συγκέντρωση, η θερμοκρασία, οι ακαθαρσίες, η μεταφορά μάζας και θερμότητας εντός του συστήματος και τα διακριτικά χαρακτηριστικά του υλικού που προορίζεται για κρυστάλλωση. Αυτοί οι παράγοντες απαιτούν προσοχή κατά την εμπλοκή με τη διαδικασία κρυστάλλωσης. (Kiani και Sun, 2011).



Εικόνα 2.1 Διάγραμμα κρυσταλλοποίησης

2.2 Η πάγοπυρήνωση

Η παγοπυρήνωση στην φύση προκαλείται όταν τα φυτά έρχονται αντιμέτωπα με έντονες θερμοκρασίες, κυρίως δηλαδή την άνοιξη, όταν ο ασυνήθιστα ψυχρός καιρός καταστρέφει το φύλλωμα των φυτών. Η παγοπυρήνωση επηρεάζει πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της κρυσταλλοποίησης τροφίμων, ιστών, και βλαστικών κυττάρων. Αυτή η διαδικασία έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ιατρική, τη μηχανική τροφίμων, την ορνιθολογία, τη βιολογία και πολλά άλλα (Maeda, 2021). Η παγοπυρήνωση αποτελεί βασική παράμετρο για τη βελτιστοποίηση των βιομηχανικών διεργασιών που σχετίζονται με την κατάψυξη, επηρεάζεται, όμως, από διάφορους παράγοντες όπως ακαθαρσίες, επιφανειακές ιδιότητες κ.λπ., που γενικά δεν μπορούν εύκολα να παρακολουθούνται και να χειρίζονται. (Kiani και Sun, 2011).

Η διαδικασία δημιουργίας παγοπυρήνων συμβαίνει όταν σχηματίζονται μικρά έμβρυα παγοκρυστάλλων σε πρωτεΐνες μεμβράνες που λειτουργούν ως θέσεις παγοπυρήνωσης. Η παγοπυρήνωση αντιπροσωπεύει τη δημιουργία εξαγωνικών κρυστάλλων πάγου από μόρια νερού

σε υγρή ή αέρια φάση. Αρχικά, οι μοριακές συγκρούσεις οδηγούν στο σχηματισμό άμορφων συμπλεγμάτων, τα οποία στη συνέχεια συσσωρεύονται περαιτέρω μέσω συγκρούσεων (Zhu, Zhou and Sun, 2019). Αυτές οι συσσωρεύσεις διευκολύνουν την σταδιακή ευθυγράμμιση των μορίων του νερού, γεγονός που προάγει την κατάψυξη και οδηγεί στο σχηματισμό παγοκρυστάλλων. Όταν σχηματίζονται οι παγοκρύσταλλοι τα φυτά επιβαρύνονται με πολλαπλές επιπτώσεις στην ανάπτυξη και καταστροφή των ιστών. Η βασική φάση παγοπυρήνωσης χαρακτηρίζεται από τη γένεση νέων κρυστάλλων και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε: πρωτογενή παγοπυρήνωση, που συμβαίνει σε διάλυμα χωρίς κρυστάλλους, και δευτερογενή παγοπυρήνωση, που παρατηρείται εν παρουσία προϋπαρχόντων κρυστάλλων και προκύπτει από τη θραύση των μητρικών κρυστάλλων, τη θραύση λόγω σύγκρουσης κρυστάλλων και την απομάκρυνση ημιδιατεταγμένων επιφανειακών στρωμάτων.

Η πρωτογενής παγοπυρήνωση κατηγοριοποιείται περαιτέρω σε ομοιογενή παγοπυρήνωση, όπου δεν υπάρχουν ούτε στερεά ξένα σωματίδια ούτε παγοκρύσταλλοι, και σε ετερογενή παγοπυρήνωση, όπου ενσωματώνονται ξένα σωματίδια. (Kiani και Sun, 2011). Αν και οι δύο διαφορετικοί τύποι παγοπυρήνωσης έχουν ομοιότητες στον μηχανισμό τους, οι θερμοδυναμικές ιδιότητες που υφίσταται η παγοπυρήνωση και ο ρυθμός παγοπυρήνωσης είναι διαφορετικοί.

Η πιθανότητα εμφάνισης παγοπυρήνωσης επηρεάζεται από την κινητήρια δύναμη, η οποία είναι η διαφορά στο χημικό δυναμικό μεταξύ της σταθερής και της μετασταθερής φάσης. Η παγοπυρήνωση συμβαίνει κάτω από το σημείο τήξης για κατάψυξη, κάτω από το σημείο βρασμού για συμπύκνωση ή πάνω από το σημείο βρασμού για βρασμό. Καθώς το σύστημα γίνεται πιο υποψυγμένο, υπερψυγμένο ή υπερθερμασμένο, η διαφορά χημικού δυναμικού αυξάνεται, ενισχύοντας έτσι την κινητήρια δύναμη για παγοπυρήνωση. Κατά συνέπεια, μεγαλύτερη υποψύξη, υπερψύξη ή υπερθέρμανση έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη πιθανότητα παγοπυρήνωσης (Maeda, 2021). Ο πρωταρχικός παράγοντας, δηλαδή, που επηρεάζει το σχηματισμό μιας κρυσταλλικής φάσης από διαλύματα υγρών και αερίων, είναι η επίτευξη υπερκορεσμού ή υπερψύξης εντός του συστήματος. Στην πρωτογενή παγοπυρήνωση, ιδιαίτερα σε ομοιογενείς περιπτώσεις, η υπερψύξη συνήθως αποδεικνύεται απαραίτητη.

Ο ρυθμός πυρήνωσης εκφράζεται ως προϊόν δύο παραγόντων: ενός κινητικού παράγοντα και ενός θερμοδυναμικού παράγοντα. Ο κινητικός παράγοντας αντιπροσωπεύει τη συχνότητα των προσπαθειών του συστήματος να πραγματοποιήσει παγοπυρήνωση, οδηγούμενη από την κινητικότητα των μονομερών μορίων σε υπερψυγμένη κατάσταση. Ο θερμοδυναμικός παράγοντας αντικατοπτρίζει την πιθανότητα να παρέχεται αρκετή ελεύθερη ενέργεια για να ξεπεραστεί το φράγμα ενεργοποίησης, οδηγώντας σε επιτυχή παγοπυρήνωση (Maeda, 2021).

2.3 Ομοιογενής παγοπυρήνωση

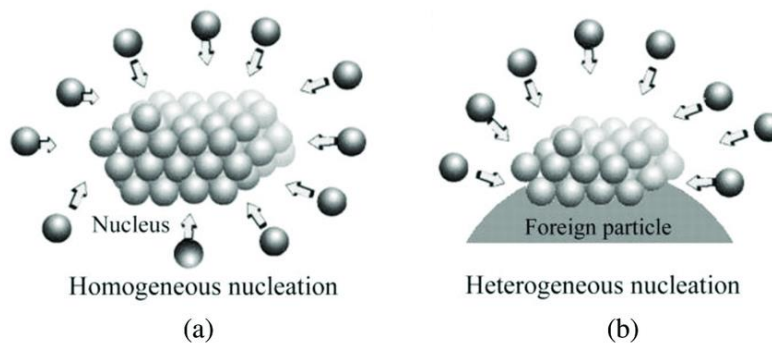
Η βιολογική παγοπυρήνωση παρατηρήθηκε αρχικά, όταν ερευνητές στην ατμοσφαιρική επιστήμη και την παθολογία των φυτών ανακάλυψαν την εμφάνισή της. Οι επιστήμονες ερευνούσαν το έδαφος και τα φυτά ως πιθανές πηγές ατμοσφαιρικών παγοπυρήνων, ενώ οι φυτοπαθολόγοι μελετούσαν παράγοντες που συμβάλλουν στη ζημιά από τον παγετό στις καλλιέργειες (Georgakopoulos, 2021).

Στην ομοιογενή παγοπυρήνωση τα μόρια νερού τείνουν να σχηματίζουν συσσωματώματα, που μοιάζουν με πάγο λόγω της ηλεκτροστατικής έλξης μεταξύ των πολικών τμημάτων τους. Καθώς η θερμοκρασία μειώνεται και η θερμική κίνηση των μορίων του νερού επιβραδύνεται, η τάση αυτών των μορίων να συσσωρευτούν εντείνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ενός ταχέως αυξανόμενου σχηματισμού ενός μεγάλου συμπλέγματος μορίων. Η ομοιογενής παγοπυρήνωση συμβαίνει σε ένα σύστημα υπερκαθαρού νερού, το οποίο συνήθως παρατηρείται γύρω στους 233 K με πειραματικές έρευνες (Georgakopoulos, 2021).

2.4 Ετερογενής παγοπυρήνωση

Όταν η συσσωμάτωση των μορίων του νερού διευκολύνεται από μια ουσία διαφορετική από το ίδιο το νερό, ονομάζεται ετερογενής παγοπυρήνωση. Οι ουσίες που προάγουν το σχηματισμό ενός αρχικού «κρυστάλλου εμβρύου» είναι γνωστές ως παγοπυρήνες.

Η κατάψυξη που ξεκινά από παγοπυρήνες συμβαίνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με την ομοιογενή παγοπυρήνωση, με μερικούς από τους μεγαλύτερους βιολογικούς παγοπυρήνες να είναι ικανοί να προκαλέσουν κατάψυξη σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όσο -21°C . Αυτοί οι παγοπυρήνες μπορεί να είναι είτε ανόργανες, είτε οργανικές ουσίες, με πρωτεϊνούχα φύση (Maeda, 2021).



Εικόνα 2.4 Ομοιογενής και ετερογενής παγοπυρήνωση

2.5 Παγοπρωτεΐνες / Ice nucleating proteins (INPs)

Οι πρώτες INP απομονώθηκαν από φυτά, που έχουν υποστεί βλάβη από παγετό, γεγονός που υποδηλώνει ότι η παραγωγή παγοπυρήνων παρέχει ένα προσαρμοστικό πλεονέκτημα προκαλώντας πρόσβαση σε θρεπτικά συστατικά από το φυτό, μέσω της βλάβης των ιστών. Οι παγοπυρήνες μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο στη ψυχρής ανθεκτικότητας των οργανισμών, καθώς είναι ικανοί να προσαρμόζονται (Lundheim, 2002).

Οι INP μπορούν να ξεκινήσουν ετερογενή παγοπυρήνωση σε υψηλές θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν. Γενικά, οι INPs έχουν εντοπιστεί σε πολυάριθμα ενεργά παγοπυρηνωτικά βακτήρια (INA) τα οποία είναι, επιφυτικά και παθογόνα. Οι παγοπυρηνικές βακτηριακές πρωτεΐνες αποτελούν ομάδα πρωτεϊνών, που βρίσκονται σε αρνητικά κατά Gram βακτήρια, διευκολύνοντας την έναρξη του σχηματισμού πάγου σε θερμοκρασίες άνω των $-^{\circ}\text{C}$. Αυτές οι πρωτεΐνες βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης και έχουν εμπλακεί στην πρόκληση τραυματισμού από παγετό σε πολλά είδη φυτών (Lundheim, 2002).

Το χαρακτηρισμένο *Pseudomonas (P.) syringae* είναι ένα από τα πιο αποτελεσματικά βακτήρια INA που μπορούν να προκαλέσουν παγοπυρήνωση σε θερμοκρασίες τόσο υψηλές όσο 2°C ., το οποίο επίσης, βρέθηκε στην εξωτερική κυτταρική μεμβράνη των βακτηρίων όπου σχημάτισαν μεγάλα συσσωματώματα και ενήργησαν ως παγοπυρήνες. Το *Pseudomonas syringae*, διαθέτει εξαιρετικά αποτελεσματικούς παγοπυρήνες, που ξεκινούν το σχηματισμό πάγου στις επιφάνειες διαφόρων φρούτων και φυτών. Αυτή η διαδικασία κατάψυξης προκαλεί βλάβη στα επιθηλιακά κύτταρα, εκθέτοντας τα θρεπτικά συστατικά εντός των υποκειμένων φυτικών ιστών στα βακτήρια. Αυτοί οι παγοπυρήνες βρίσκονται στην εξωτερική μεμβράνη των βακτηρίων και προκαλούν παγοπυρήνωση σε θερμοκρασίες ελαφρώς κάτω από 0°C (Maeda, 2021). Η πρωτεΐνη InaZ που προέρχεται από το *P. syringae* γίνεται το εκτενώς μελετημένο μοντέλο παγοπυρήνωσης που βασίζεται σε πρωτεΐνες.

Ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο οι INA διευκολύνουν την παγοπυρήνωση παραμένει ασαφής. Ωστόσο, εικάζεται ότι οι INA οργανώνουν μόρια νερού σε μια διάταξη που μοιάζει με πάγο, σχηματίζοντας συσσωματώματα αρκετά μεγάλα, ώστε να ξεκινήσει η παγοπυρήνωση σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Για να επιτευχθεί αυτή η οργάνωση, οι INA πιθανότατα έχουν μακρές αλληλουχίες θετικά ή αρνητικά φορτισμένων ομάδων, που επηρεάζουν το χωρικό προσανατολισμό των μορίων νερού μέσω έλξης ή απώθησης. Η πρωτεϊνική υπομονάδα των INAs μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές, με δύο περιοχές να παρουσιάζουν επαναλαμβανόμενες αλληλουχίες υπολειμμάτων 48, 16 και 8 αμινοξέων. Επιπλέον, οι INAs περιέχουν φωσφατιδυλινοσιτόλη (PI), η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την παγοπυρηνοποιητική τους δραστηριότητα (Lundheim, 2002).

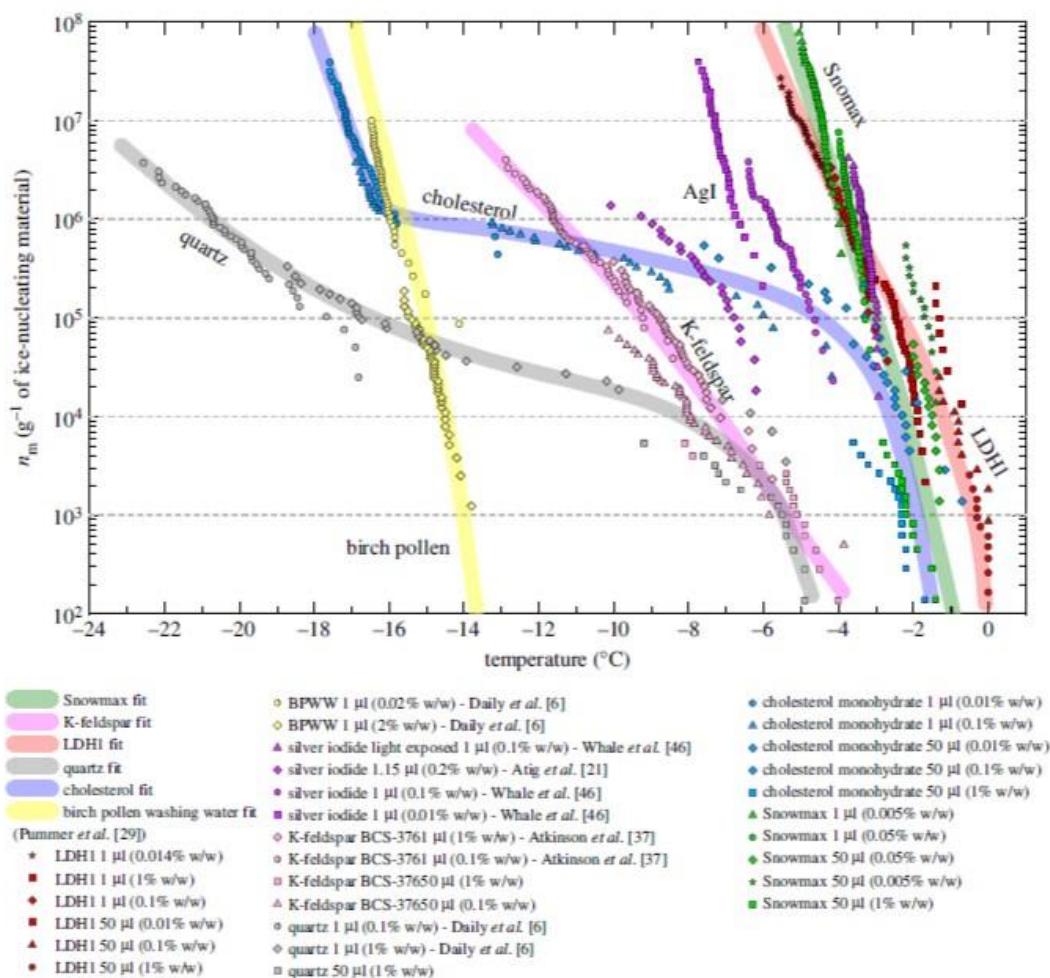
Η θερμοκρασία παγοπυρήνωσης επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος των INA. Υψηλότερες θερμοκρασίες παγοπυρήνωσης απαιτούν INAs με μοριακές μάζες αρκετών χιλιάδων kilodaltons (kDa). Τα βακτήρια ικανά για παγοπυρήνωση σε θερμοκρασίες άνω των 22°C διαθέτουν INAs με μοριακή μάζα περίπου 20.000 kDa. (Maeda, 2021). Παγοπυρήνες χαμηλού μοριακού βάρους μπορούν επίσης να σταθεροποιήσουν μεμβράνες και πρωτεΐνες σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, που προκαλούνται από το σχηματισμό πάγου (Lundheim, 2002).

2.5.1 Βιολογικοί παγοπυρήνες

Οι βιολογικοί INAs είναι συνήθως πρωτεΐνες ή λιποπρωτεΐνες, που σχηματίζουν μεγάλα συσσωματώματα για να επιτύχουν υψηλή παγοπυρηνική δραστηριότητα. Η θερμοκρασία παγοπυρήνωσης αυτών των βιολογικών INAs επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας και της ποσότητας των INA, καθώς και της ωσμωτικότητας του υγρού στο οποίο βρίσκονται (Georgakopoulos, 2021).

2.5.2. Ορυκτοί παγοπυρήνες

Τα ορυκτά σωματίδια, συμπεριλαμβανομένης μιας ποικιλίας αργίλου και χαλαζία, παρέχουν ενεργές επιφάνειες για ετερογενή παγοπυρήνωση, όπου οι υδρατμοί μεταβαίνουν απευθείας στον πάγο. Η αποτελεσματικότητα αυτών των ορυκτών ως παγοπυρήνες διέπεται σε μεγάλο βαθμό από τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Για παράδειγμα, το feldspars, και συγκεκριμένα το κάλιο feldspar (K-feldspar), παρουσιάζει υψηλή δραστηριότητα παγοπυρήνωσης λόγω των μικροδομικών χαρακτηριστικών του που προάγουν την αποτελεσματική διάταξη των μορίων νερού σε μια δομή που μοιάζει με πάγο. Οι ορυκτοί παγοπυρήνες προέρχονται τόσο από φυσικές πηγές, όπως η σκόνη της ερήμου, η ηφαιστειακή τέφρα και τα βιογενή υλικά, όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών εκπομπών και των γεωργικών πρακτικών. Η γεωγραφική και χρονική κατανομή αυτών των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι πολύπλοκη, επηρεάζοντας την περιφερειακή δυναμική του κλίματος και τα καιρικά πρότυπα. Ο ρόλος τους εκτείνεται πέρα από τις μετεωρολογικές επιπτώσεις, επηρεάζοντας τον υδρολογικό κύκλο μέσω της επίδρασής τους στον τύπο των βροχοπτώσεων. Προηγμένες αναλυτικές τεχνικές, όπως η ηλεκτρονική μικροσκοπία και η φασματοσκοπία, χρησιμοποιούνται για την αποσαφήνιση των μηχανισμών παγοπυρήνωσης σε μοριακό επίπεδο, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις επιφανειακές τους ιδιότητες και την αλληλεπίδρασή τους με τους ατμοσφαιρικούς υδρατμούς (Daily et al., 2023).



Εικόνα 2.5 Διάγραμμα όλων των τύπων παγοπυρήνων

2.6 Περίοδος κρυσταλλοποίησης

Η διαδικασία μετατροπής του νερού σε πάγο μπορεί να σπάσει τη δομή των κυττάρων και να προκαλέσει σημαντική απώλεια στάγδην κατά την απόψυξη. Ο ρυθμός απόψυξης, το μέγεθος και η κατανομή των παγοκρυστάλλων, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους σχετίζονται στενά με την απώλεια στάγδην. Επιπλέον, η κατάψυξη του νερού μειώνει την περιεκτικότητα σε ελεύθερο νερό, προκαλώντας μεγάλη συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας, κάτι που επηρεάζει τις βιοχημικές αντιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο (Kiani και Sun, 2011).

Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, η θερμοκρασία και η σταθερότητα της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι δύο τυπικοί παράγοντες, που επηρεάζουν την αλλαγή μεγέθους και την

ανακατανομή των κρυστάλλων πάγου, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω ζημιά στη δομή των τροφίμων. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία κατάψυξης, τόσο πιο αργός είναι ο ρυθμός μετανάστευσης των μορίων νερού. Εάν η θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή, θα είναι δύσκολο για τα μόρια νερού να συσσωρευτούν σε μεγάλους παγοκρυστάλλους. Επιπλέον, η αύξηση του μεγέθους της διακύμανσης θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της ισοδύναμης διαμέτρου των παγοκρυστάλλων. Μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί την τήξη μικρών παγοκρυστάλλων. Με τη μείωση της θερμοκρασίας, οι λιωμένοι παγοκρύσταλλοι συσσωρεύονται εκ νέου στους μεγάλους παγοκρυστάλλους, σχηματίζοντας έτσι ακόμη μεγαλύτερους παγοκρυστάλλους. Καθώς οι μεγάλοι κρύσταλλοι πάγου μπορεί να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα των τροφίμων, μια σταθερή και αποτελεσματική κατάσταση κρυσόντηρησης είναι σημαντική για την ποιότητα των τροφίμων (Zhu, Zhou και Sun, 2019).

2.7 Ανάπτυξη πάγων

Οι κύριες θεωρίες που χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν το φαινόμενο της ανάπτυξης κρυστάλλων περιλαμβάνουν την επιφανειακή ενέργεια, το στρώμα προσρόφησης και τις θεωρίες διάχυσης-αντίδρασης (Zhu, Zhou και Sun, 2019).

- Η θεωρία της επιφανειακής ενέργειας βασίζεται στο γεγονός ότι η πιο σταθερή κατάσταση ενός σταγονιδίου και ομοίως ενός κρυστάλλου σε ισορροπία με το περιβάλλον του σε σταθερή θερμοκρασία και πίεση επιτυγχάνεται όταν η επιφανειακή του ενέργεια, και επομένως το εμβαδόν του, είναι ελάχιστο. Επομένως, οι ρυθμοί ανάπτυξης των κρυσταλλικών επιφανειών είναι ανάλογοι με τις επιφανειακές τους ενέργειες.
- Σύμφωνα με τη θεωρία του στρώματος προσρόφησης ακολουθείται μια σταδιακή συσσώρευση ενός στρώματος μέσω του κρυστάλλου.
- Η θεωρία διάχυσης-αντίδρασης υποθέτει ότι ο ρυθμός ανάπτυξης κρυστάλλων θεωρείται συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ της συγκέντρωσης στη στερεά επιφάνεια και στο μεγαλύτερο μέρος του διαλύματος. ⁽¹⁴⁾

Οι παραπάνω θεωρίες περιγράφουν κυρίως την εναπόθεση μιας διαλυμένης ουσίας από ένα μείγμα, δηλαδή ένα διάλυμα.

Υπάρχουν δύο παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ανάπτυξης κρυστάλλων πάγου: η μεταφορά θερμότητας και η μεταφορά μάζας. Κατά τη διάρκεια της παγοκρυστάλλωσης, απελευθερώνεται λανθάνουσα θερμότητα, οδηγώντας σε μείωση της ελεύθερης ενέργειας της διεπαφής στερεού-υγρού και στο σχηματισμό ενός βαθμού υπερσυσπείρωσης. Αφού σχηματιστεί ο σταθερός

πυρήνας, μόρια μεγαλύτερα από το κρίσιμο μέγεθος συγκεντρώνονται όλα σε κρυστάλλους ορατού μεγέθους.

Εκτός αυτού, η μαζική μεταφορά είναι επίσης ένα σημαντικό μέρος για τη ρύθμιση του ποσοστού παγώματος. Μόλις αρχίσει η ανάπτυξη των κρυστάλλων, τα μόρια συνεχίζουν να διαχέονται και να συσσωρεύονται στη διεπαφή στερεού-υγρού, δηλαδή, μόρια νερού κινούνται στην επιφάνεια των πυρήνων, ενώ ταυτόχρονα τα διαλυμένα μόρια διαχέονται σε άλλα μέρη. Αυτή η διαδικασία συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη παγοκρυστάλλων και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων διατροφής.

Η προσαύξηση αναφέρεται στη συγχώνευση κρυστάλλων σε γειτονικές περιοχές για να σχηματίσουν έναν μεγαλύτερο κρύσταλλο, ο οποίος συμβαίνει κυρίως στο αρχικό στάδιο της ανακρυστάλλωσης. Επηρεαζόμενο σε μεγάλο βαθμό από τη μείωση της θερμοκρασίας, το υγρό που παράγεται από την τήξη μικρών παγοκρυστάλλων ρέει στους μεγάλους και ανακρυσταλλώνεται, προκαλώντας τελικά την εξαφάνιση μικρών παγοκρυστάλλων. Στην ανακρυστάλλωση επιφανειακής ισομάζας, η κρυσταλλική επιφάνεια θα γίνει ομαλότερη και ευκρινέστερη για να φτάσει σε θερμοδυναμικά σταθερή κατάσταση (Zhu, Zhou και Sun, 2019).

2.8 Μέγεθος πάγων

Το μέγεθος και η κατανομή των παγοκρυστάλλων είναι μια σημαντική ιδιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων, που έχουν μελετηθεί ευρέως. Η μοντελοποίηση του μεγέθους των παγοκρυστάλλων και η σύνδεσή του με διαφορετικές παραμέτρους επεξεργασίας υπήρξε ένας από τους κύριους τομείς έρευνας. Οι προσεγγίσεις μοντελοποίησης για το μέγεθος των παγοκρυστάλλων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει εξισώσεις που συσχετίζουν το ρυθμό ψύξης με το μέγεθος των παγοκρυστάλλων και η δεύτερη αποτελείται από την εφαρμογή αρχών μεταφοράς μάζας για την πρόβλεψη του μεγέθους των παγοκρυστάλλων (Libbrecht, 2017).

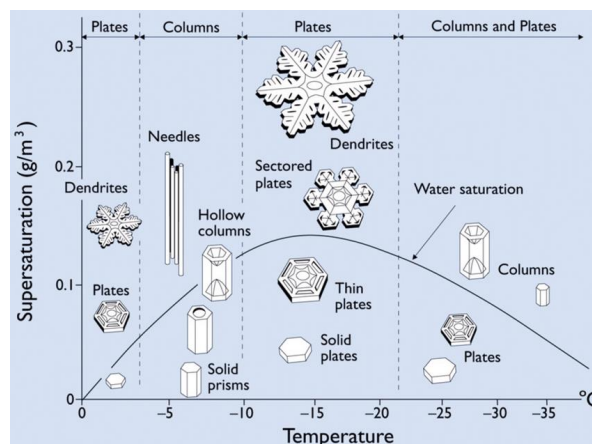
Ο ρυθμός απομάκρυνσης της θερμότητας από ένα προϊόν κατά τη διάρκεια του σταδίου αλλαγής φάσης των διαδικασιών κατάψυξης, είναι γνωστό ότι επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος των παγοκρυστάλλων. Στην πραγματικότητα, η κρίσιμη ζώνη κρυστάλλωσης νερού στα τρόφιμα, από περίπου -1°C έως -8°C που συμβαίνει κατά την περίοδο αλλαγής φάσης είναι η ζώνη μέγιστου σχηματισμού των κρυστάλλων. Αυτή η ζώνη καθορίζει τα κρυσταλλικά χαρακτηριστικά των κατεψυγμένων τροφίμων. Το μέγεθος, η μορφολογία και η θέση των παγοκρυστάλλων, ο ρυθμός

πήξης και επομένως η απόδοση κατάψυξης συνδέονται άμεσα με το χρόνο που απαιτείται για να περάσει αυτή η ζώνη, η οποία είναι γνωστή ως ο χρόνος πήξης (Kiani και Sun, 2011).

2.8.1 Μορφολογία

Η μορφολογία του πάγου είναι επίσης σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τόσο την αποτελεσματικότητα κατάψυξης, όσο και την ποιότητα των κατεψυγμένων τροφίμων και καθορίζεται από τις συνθήκες κατάψυξης. Σε χαμηλούς βαθμούς υπερψύξης δημιουργούνται κρύσταλλοι με μορφή δίσκου έτσι ώστε τα μόρια του νερού να τοποθετούνται στις εξαγωνικές μονάδες. Από την άλλη, οι υψηλότεροι ρυθμοί ψύξης και οι μεγαλύτεροι βαθμοί υπερψύξης επηρεάζουν τη μορφολογία των παγοκρυστάλλων και προκαλούν την αλλαγή της μορφολογίας τους σε άλλες μορφές όπως ο δενδρίτης, και τα αιμοπετάλια (Libbrecht, 2017).

Ωστόσο, η μόνη μορφή παγοκρυστάλλου που έχει σημασία στην ατμοσφαιρική πίεση στα περισσότερα τρόφιμα είναι η εξαγωνική μονάδα κρυστάλλωσης ή «κανονικός δενδρίτης». Η μορφολογία του δενδρίτη ορίζεται από ημιτονοειδείς διαταραχές στη διεπαφή στερεού-υγρού. Το μήκος κύματος αυτών των διαταραχών εξαρτάται από το ρυθμό ανάπτυξης κρυστάλλων, την κλίση θερμοκρασίας στην παγωμένη περιοχή και τον βαθμό υπερψύξης. Υπάρχει ένα μήκος κύματος που οδηγεί στο σχηματισμό σταθερών δενδριτών. Κάτω από αυτό το κρίσιμο μήκος κύματος, οι διαταραχές εξαφανίζονται. Αυτό το όριο είναι γνωστό ως όριο μορφολογικής σταθερότητας και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του μεγέθους των κρυστάλλων σε σχέση με την κατάψυξη (Kiani και Sun, 2011).



Εικόνα 2.8 Μορφολογία πάγου με βάση την θερμοκρασία

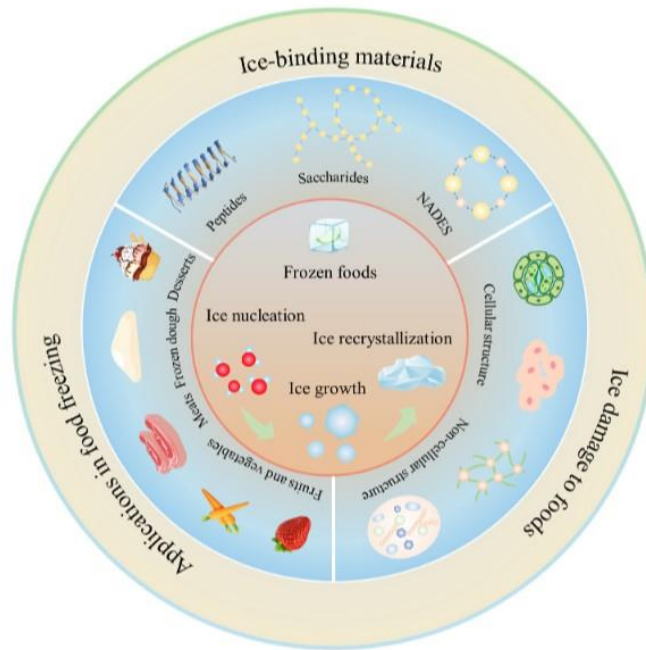
2.9 Ψύξη και δομή κυττάρου

Το νερό αντιπροσωπεύει το 60-80% της συνολικής μυϊκής μάζας και πάνω από το 90% του φυτικού ιστού, ενεργώντας ως βασική σύνθεση των τροφίμων. Η κατάψυξη προκαλεί σημαντική αύξηση της οσμωτικής πίεσης λόγω της συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας. Εντός ενός κυττάρου, η ψύξη παρουσιάζεται τόσο στα εξωκυτταρικά, όσο και στα ενδοκυτταρικά διαμερίσματα. Τυπικά, η εξωκυτταρική ψύξη προηγείται της ενδοκυτταρικής ψύξης, με αποτέλεσμα τα ενδοκυτταρικοί διαμερίσματα να παραμένουν ακατάψυκτα και να υποβάλλονται σε υπερψύξη. Κατά συνέπεια, προκύπτει μια αξιοσημείωτη διαφορά στην οσμωτική πίεση μεταξύ εξωκυτταρικού και ενδοκυτταρικού περιβάλλοντος, προκαλώντας κίνηση του νερού από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του κυττάρου, ένα φαινόμενο γνωστό ως οσμωτική αφυδάτωση. Η παρατεταμένη αφυδάτωση ενισχύει τη βιωσιμότητα των κυττάρων, ενώ αντιστρόφως, η ενδοκυτταρική ψύξη επισπεύδει τον κυτταρικό θάνατο θέτοντας σε κίνδυνο την ακεραιότητα της πλασματικής μεμβράνης (Schafer και Driessen, 2018). Επιπροσθέτως, παρουσιάζει περιορισμένη αποτελεσματικότητα στην άμβλυση των βλαβών, που προκαλούνται από την κατάψυξη, τόσο όσον αφορά την κυτταρική δομή, όσο και τις ρεολογικές ιδιότητες, καθώς η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από τον συγκεκριμένο τύπο φυτικού ιστού που εμπλέκεται. Αυτή η διακύμανση στη συμπεριφορά του κυττάρου πριν και μετά την κατάψυξη οφείλεται στις διαφορετικές ανοχές ψύξης, που παρατηρούνται στους φυτικούς και ζωικούς ιστούς.

Κατά τη διαδικασία της κατάψυξης, το νερό υφίσταται διαστολή, οδηγώντας στο σχηματισμό παγοκρυστάλλων που μπορούν να σπάσουν τα κυτταρικά τοιχώματα μέσα στα τρόφιμα. Κατά συνέπεια, η υφή των αποψυγμένων τροφίμων γίνεται σημαντικά πιο μαλακή σε σύγκριση με την ωμή τους κατάσταση, ιδιαίτερα εμφανής στα τρόφιμα που συνήθως καταναλώνονται άψητα. Αντίθετα, τα προϊόντα που έχουν προψηθεί πριν από την κατανάλωση μπορεί να παρουσιάσουν λιγότερο έντονες αλλοιώσεις υφής μετά την απόψυξη, καθώς το μαγείρεμα μαλακώνει εγγενώς τις κυτταρικές δομές. Παράλληλα, ορισμένες ενώσεις μπορεί να υποβαθμιστούν ή να αλλάξουν συγκέντρωση κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και της απόψυξης, οδηγώντας σε αλλοιώσεις στη γεύση και την οσμή (Schafer και Driessen, 2018). Ενώ αυτή η αλλοίωση μπορεί να φαίνεται ανησυχητική, δεν σημαίνει απαραίτητα αρνητικές επιπτώσεις στη θρεπτική του αξία.

Κατά την απόψυξη, το κυτταρικό νερό απελευθερώνεται από τις σπασμένες κυτταρικές μεμβράνες, με αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας και την πιθανή βλάβη στη δομή του τροφίμου (deve, 2021). Επιπλέον, ο ρυθμός με τον οποίο παγώνουν τα τρόφιμα μπορεί να επηρεάσει την ποιότητά τους. Η βραδύτερη κατάψυξη μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερους παγοκρυστάλλους, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερη ζημιά στη δομή του τροφίμου και να οδηγήσουν σε μια χειρότερη υφή κατά την απόψυξη.

Στο πλαίσιο των κατεψυγμένων τροφίμων, οι μεταβολές στη σύνθεση εμφανίζονται κυρίως στην περιεκτικότητα σε άμυλο και πηκτίνη. Η κατάψυξη επηρεάζει σημαντικά τη γέλη αμύλου-νερού, προκαλώντας την κατάψυξη του νερού και τον διαχωρισμό του από τη δομή της γέλης. Για να αποκατασταθεί η αρχική υφή του τροφίμου μετά την απόψυξη, καθίσταται αναγκαία η αναπλήρωση του χαμένου νερού από το άμυλο, τις πρωτεΐνες και ανάλογα μόρια μέσω διαδικασιών τήξης πάγου. Παρ' όλ' αυτά, η συγκέντρωση ηλεκτρολυτών κατά τη διάρκεια της κατάψυξης έχει ως αποτέλεσμα τα υδρόφιλα κολλοειδή να χάνουν την ικανότητά τους να απορροφούν το νερό (deve, 2021).



Εικόνα 3 Απεικόνιση του σχηματισμού πάγου, των παγοπυρήνων και των εφαρμογών τους στην κατάψυξη τροφίμων

Η ενσωμάτωση παγοπυρήνων μπορεί να αποτρέψει τη ζημιά από τον πάγο και να διατηρήσει την ποιότητα των τροφίμων. Τα κύτταρα των φρούτων και των λαχανικών προστατεύονται από κυτταρικά τοιχώματα και μεμβράνες, παρέχοντας μια άκαμπτη δομή έναντι μηχανικών βλαβών. Παρά τη φυσική προστατευτική δομή, η ικανότητα των φυτικών κυττάρων να αντιστέκονται στη βλάβη του προκαλεί ο πάγος δεν είναι ικανοποιητική. Τα ένζυμα αλληλεπιδρούν με την πηκτίνη και την ημικυτταρίνη και επιταχύνουν την κατάρρευση της μικροδομής, η οποία προκαλεί μαλακή σπογγώδη δομή και απώλεια θρεπτικών συστατικών. Η προσθήκη παγοπυρήνων έχει αποδειχθεί ότι είναι σε θέση να ρυθμίσει τις ιδιότητες των κρυστάλλων πάγου στους ιστούς και να βελτιώσει την ποιότητα των φρούτων και των λαχανικών. Ενώ, έχει παρατηρηθεί ότι με την πραγματοποίηση προεπεξεργασίας με παγοπυρήνες, διατηρήθηκε η καλύτερη υφή των κατεψυγμένων λαχανικών ακόμη και μετά από αποθήκευση 13 ημερών στους 0 ° C (Sun, Zhu and Sun, 2023).

3.1 Κατάψυξη τροφίμων

Η κατάψυξη επιτυγχάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας των τροφίμων έως ότου το νερό, που αυτά περιέχουν, στερεοποιηθεί σε παγοκρυστάλλους. Αυτοί οι παγοκρύσταλλοι αναστέλλουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών και επιβραδύνουν την ενζυματική δραστηριότητα, που είναι πρωταρχικές αιτίες αλλοίωσης των τροφίμων. Με την κατάψυξη των τροφίμων, σταματάνε οι βιολογικές διεργασίες, διατηρώντας έτσι τη φρεσκάδα και την ποιότητά τους (Primacella, 2023). Η κατάψυξη είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους συντήρησης των τροφίμων, καθώς ακόμη και σε τυπικές θερμοκρασίες οικιακής κατάψυξης, υπάρχει αξιοσημείωτη μείωση της δραστηριότητας του νερού και αύξηση της οσμωτικής πίεσης (Miyawaki, 2018).

3.2 Πλεονεκτήματα

Η διαδικασία κατάψυξης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στη διατήρηση του θρεπτικού περιεχομένου των τροφίμων, διασφαλίζοντας ότι οι βιταμίνες, τα μέταλλα και άλλα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά διατηρούνται σε καλύτερες συνθήκες σε σύγκριση με άλλες μεθόδους συντήρησης. Στη βιομηχανία τροφίμων, η κυρίαρχη μέθοδος συντήρησης τροφίμων περιλαμβάνει ταχεία κατάψυξη μετά την προεπεξεργασία, τεχνική που εξασφαλίζει τη βέλτιστη συντήρηση θρεπτικών συστατικών και μετριάζει τη σπατάλη τροφίμων. Κατά συνέπεια, η κυτταρική δομή της τροφής παραμένει άθικτη, διασφαλίζοντας έτσι και το θρεπτικό περιεχόμενό της. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης στρατηγικής όχι μόνο επεκτείνει τη φρεσκάδα των τροφίμων, αλλά διευκολύνει στη διαχείριση των μερίδων. Ως αποτέλεσμα, οι καταναλωτές μπορούν να προμηθεύονται μεγαλύτερες ποσότητες προϊόντων και να τα αποθηκεύουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να ανησυχούν για αλλοίωση (Innerbody, 2023.).

Παράλληλα προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για τον προγραμματισμό και την προετοιμασία γευμάτων. Οι επιλογές κατεψυγμένων γευμάτων προσφέρουν μια βολική εναλλακτική λύση για άτομα με περιορισμένο χρόνο και πόρους για την προετοιμασία παραδοσιακών πιάτων. Καθώς η ζήτηση για κατεψυγμένα τρόφιμα συνεχίζει να αυξάνεται, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα επιλογών γευμάτων που περιλαμβάνουν διάφορες τοπικές κουζίνες και γεύσεις (Innerbody, 2023.). Με την αποθήκευση προμαγειρεμένων γευμάτων στην κατάψυξη, ο χρόνος που δαπανάται στο μαγείρεμα μειώνεται σημαντικά, επιτρέποντας την κατανάλωση θρεπτικών τροφίμων οποιαδήποτε εποχή του χρόνου.

Τα κατεψυγμένα τρόφιμα παρουσιάζουν αντίστοιχο θρεπτικό περιεχόμενο με τα φρέσκα, τα οποία δεν έχουν υποστεί διαδικασία καταψύξεως. Συγκεκριμένα, τα επίπεδα φυλλικού οξέος, βιταμίνης Α και βιταμίνης C παρατηρούνται να είναι υψηλότερα στα κατεψυγμένα τρόφιμα από ό,τι στα μη κατεψυγμένα τρόφιμα. Επιπλέον, τα κατεψυγμένα προϊόντα, ιδιαίτερα εκείνα που επισημαίνονται ως βιολογικά, προσφέρουν μειωμένη έκθεση σε τεχνητά συντηρητικά.

Διάφοροι είναι οι παράγοντες, που επηρεάζουν τη διαδικασία κατάψυξης και την ποιότητα των κατεψυγμένων τροφίμων. Κρίσιμο ρόλο διαδραματίζει η θερμοκρασία στην οποία καταψύχονται τα τρόφιμα. Η κατάψυξη σε θερμοκρασίες κάτω από 0 ° C οδηγεί στον επιθυμητό σχηματισμό των μικρών κρυστάλλων πάγου. Ο ρυθμός με τον οποίο τα τρόφιμα παγώνουν επηρεάζει την ποιότητά τους και με την προηγμένη τεχνική της ταχείας κατάψυξης τα τρόφιμα καταψύχονται γρήγορα σε καταψύκτες με χαμηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικρότεροι κρύσταλλοι πάγου, οι οποίοι ελαχιστοποιούν τη βλάβη στην κυτταρική δομή και διατηρούν καλύτερα την υφή και τη γεύση των τροφίμων.

3.3 Μειονεκτήματα

3.3.1 Αλλαγές ποιότητας στα τρόφιμα

Για να διατηρηθεί η διατροφική ποιότητα στα κατεψυγμένα φρούτα και λαχανικά είναι απαραίτητο να ακολουθούνται οι οδηγίες για την προεπεξεργασία των λαχανικών, να αποθηκεύεται το κατεψυγμένο προϊόν στους 0 βαθμούς C και να χρησιμοποιείται εντός των προτεινόμενων χρόνων αποθήκευσης.

Η κατάψυξη αποτρέπει αποτελεσματικά τη ζημιά από παράγοντες, που συνήθως προκαλούν αλλοιώσεις σε θερμοκρασία δωματίου. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η κατάψυξη δεν βελτιώνει την ποιότητα ορισμένων προϊόντων και δεν μπορεί να διατηρήσει πλήρως την ποιότητά τους, καθώς κάποια υποβάθμιση θα συμβεί ακόμη και σε κατεψυγμένη αποθήκευση (Alsailawi, Mustafa Mudhafar και Abdulasool, 2020). Συνολικά, η μείωση της ποιότητας των κατεψυγμένων τροφίμων μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, ένας από τους οποίους είναι οι αλλαγές όγκου που σχετίζονται με τον μετασχηματισμό υγρού-στερεού, όπως η μετατόπιση του νερού κατά τη διάρκεια αργής κατάψυξης εντός του προϊόντος.

Στην τυπική εμπορική ψυκτική αποθήκευση, τα τρόφιμα δεν καταψύχονται εξ ολοκλήρου και ενδέχεται να εμφανιστούν σταδιακές χημικές και φυσικές αλλαγές, ο ρυθμός των οποίων, επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης και τον τύπο του προϊόντος. Γενικά, καθώς η θερμοκρασία αποθήκευσης μειώνεται, ο ρυθμός αποδόμησης επιβραδύνεται. Για αυτό, παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στους ρυθμούς αποικοδόμησης ανάλογα με τους τύπους

προϊόντων, που αποθηκεύονται σε ψυκτικές αποθήκες (H. A. Alsailawi, Mustafa Mudhafar and M. M. Abdulrasool, 2020). Οι βιολογικές αλλαγές σταματούν στους -80°C . Ωστόσο, πολλές εμπορικές εγκαταστάσεις ψυκτικής αποθήκευσης δεν διατηρούν αυτή τη θερμοκρασία, πράγμα που οδηγεί στην μη κατάλληλη διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων κατά τη διάρκεια της τυπικής εμπορικής αποθήκευσης.

3.3.2 Φυσικές αλλαγές

Η εξωκυτταρική κρυστάλλωση κατά τη διάρκεια κατάψυξης χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να αποδοθεί σε δύο παράγοντες: είτε το σημείο πήξης του προϊόντος ξεπερνά αυτό των ενδοκυτταρικών συστατικών, είτε υπάρχει ανεπαρκής παρουσία υλικού για ετερογενή παγοπυρήνωση εντός των ενδοκυτταρικών στοιχείων. Έτσι εξαιτίας της εξάντλησης της υγρασίας στο περιεχόμενο του τροφίμου, παρατηρείται η ξήρανση του. Επιπλέον, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αποθήκευσης συμβάλλουν στην απώλεια βάρους και θέτουν σε κίνδυνο την ποιότητα των κατεψυγμένων τροφίμων, οδηγώντας σε ανεπιθύμητες αλλοιώσεις στην εμφάνισή τους. Αυτές οι μεταβολές της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με την ξήρανση, μπορούν επίσης να βλάψουν την εμφάνιση και το χρώμα, αυξάνοντας παράλληλα την ευαισθησία στη τάγγιση (Alsailawi, Mustafa Mudhafar και Abdulrasool, 2020).

3.3.3 Χημικές αλλαγές

Τα φρέσκα προϊόντα περιέχουν χημικές ενώσεις που ονομάζονται ένζυμα, τα οποία προκαλούν απώλεια χρώματος και θρεπτικών ουσιών, αλλαγές γεύσης και χρώματος στα κατεψυγμένα τρόφιμα. (Schafer και Driessen, 2018).

Προκειμένου να διασφαλιστεί η διατροφική ασφάλεια όσων αφορά τα κατεψυγμένα τρόφιμα, η προσθήκη ασκορβικού οξέος αποδεικνύεται απαραίτητη. Για παράδειγμα, τα κατεψυγμένα φρούτα και λαχανικά μπορούν να διατηρήσουν αποτελεσματικά την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά όταν αποθηκεύονται σε θερμοκρασίες κάτω των -18°C ή όταν υποβάλλονται σε τεχνικές συντήρησης, που τα προστατεύουν από τυχών περιβαλλοντικές καταπονήσεις που μπορεί να προκύψουν κατά τη διαμετακόμιση από τους προμηθευτές, στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης και, τελικά, στον καταναλωτή. Επιπλέον, για τον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων της οξειδωσης, η οποία μπορεί να προκαλέσει τόσο φυσικές, όσο και χημικές αλλοιώσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές μεθοδολογίες, όπως η έκθεση σε τροποποιημένα αέρια περιβάλλοντα. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν την επιφάνεια των κατεψυγμένων αντικειμένων από την έκθεση σε οξυγόνο. Επιπλέον, οι θερμικές επεξεργασίες πριν από την κατάψυξη, όπως το βράσιμο, προσφέρουν ένα μέσο ελέγχου της ενζυμικής δραστηριότητας, εμποδίζοντας έτσι τις οξειδωτικές διεργασίες, που θα μπορούσαν να επισπεύσουν την υποβάθμιση (Alsailawi, Mustafa Mudhafar και Abdulrasool, 2020).

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι συγκεκριμένες χημικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένων των ενζυματικών δραστηριοτήτων, παρουσιάζουν επιταχυνόμενους ρυθμούς σε θερμοκρασίες κάτω από τους 0ο, δηλαδή η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της ταχύτητας χημικής αντίδρασης. Συνήθως, οι ρυθμοί αντίδρασης κλιμακώνονται καθώς οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από το 0 και κορυφώνονται γύρω από το ευτηκτικό σημείο. Στη συνέχεια, καθώς οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από αυτό το σημείο, το νερό που δεσμεύεται από πρωτεΐνες παραμένει παγωμένο, προκαλώντας μείωση των ρυθμών αντίδρασης, παρόμοια με εκείνους που παρατηρούνται κοντά στις θερμοκρασίες κατάψυξης. Κατά συνέπεια, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι ο μέγιστος ρυθμός αντίδρασης δεν συμπίπτει απαραίτητα με τα ευτηκτικά τελικά σημεία εντός των βιολογικών συστημάτων.

Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, οι διαλυμένες ουσίες γίνονται πλήρως κορεσμένες για να εξασφαλιστεί η σύνδεση υγρών με τις πρωτεΐνες. Ως εκ τούτου, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα, ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες δεν εγγυώνται τη διατήρηση της ποιότητας των κατεψυγμένων τροφίμων (Alsailawi, Mustafa Mudhafar και Abdulrasool, 2020).

3.4 Καταψύκτες

Ανάλογα με την χρήση τους, τον τρόπο σχεδιασμού, τον τρόπο ψύξης και την θερμοκρασία που είναι ικανοί να φτάσουν, οι καταψύκτες χωρίζονται σε αυτές τις κύριες κατηγορίες:



Εικόνα 3.4.1 Forced air cooler

- **Forced air coolers:**

Είναι συσκευές σχεδιασμένες για την ψύξη του αέρα μέσω της χρήσης ανεμιστήρα ή φυσητήρα. Αυτοί οι ψύκτες απομακρύνουν γρήγορα τη θερμότητα από φρέσκα προϊόντα δημιουργώντας μια διαφορά πίεσης μεταξύ των προϊόντων



Εικόνα 3.4.2 Vacuum freeze dryer

- **Vacuum freeze dryer:**

Επίσης γνωστός ως λυοφιλοποιητής, χρησιμοποιείται για τη συντήρηση ευπαθών τροφίμων αφαιρώντας νερό από αυτά μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται λυοφιλοποίηση. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως στις βιομηχανίες φαρμάκων, βιοτεχνολογίας, τροφίμων και καλλυντικών για τη διατήρηση ενός ευρέος φάσματος προϊόντων.



Εικόνα 3.4.3 Tube ice machine

- **Tube ice machines**

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή κυλινδρικού πάγου. Αυτά τα μηχανήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας τροφίμων, της αλιείας και της υγειονομικής περίθαλψης.



Εικόνα 3.4.4 Flake ice machine

- **Flake ice machines:**

Είναι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν νιφάδες πάγου, ένα είδος πάγου που χαρακτηρίζεται από τα λεπτά, επίπεδα και ακανόνιστου σχήματος κομμάτια του. Αυτή η μορφή πάγου χρησιμοποιείται συνήθως σε διάφορες βιομηχανίες λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων της.



Εικόνα 3.4.5 Block ice machine

- **Block ice machines:**

Είναι σχεδιασμένοι για την παραγωγή μεγάλων όγκων πάγου, συνήθως για εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις. Αυτά τα μηχανήματα είναι απαραίτητα σε βιομηχανίες όπου η διατήρηση μεγάλων ποσοτήτων πάγου είναι ζωτικής σημασίας, όπως η αλιεία, η επεξεργασία τροφίμων, η ψύξη σκυροδέματος και οι υπηρεσίες εκδηλώσεων.



Εικόνα 3.4.6 Vacuum cooler

- **Vacuum coolers:**

Είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ταχεία ψύξη των προϊόντων, ειδικά των φυλλωδών λαχανικών, των λουλουδιών και ορισμένων προϊόντων διατροφής. Αυτή η μέθοδος ψύξης βασίζεται στις αρχές της εξάτμισης και της μείωσης της πίεσης.



Εικόνα 3.4.7 Walk-in Καταψύκτες

- **Walk-In Καταψύκτες:**

Μεγάλοι, κλειστοί αποθηκευτικοί χώροι που επιτρέπουν στο προσωπικό να μπαίνει μέσα. Χρησιμοποιείται σε εστιατόρια, σούπερ μάρκετ και μονάδες επεξεργασίας τροφίμων και για αποθήκευση.



Εικόνα 3.4.8 Blast freezer

- **Blast freezer:**

Καταψύκτες που μειώνουν γρήγορα τη θερμοκρασία των προϊόντων για τη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας. Χρησιμοποιείται για γρήγορη κατάψυξη τροφίμων, όπως θαλασσινά, κρέας και αρτοσκευάσματα.



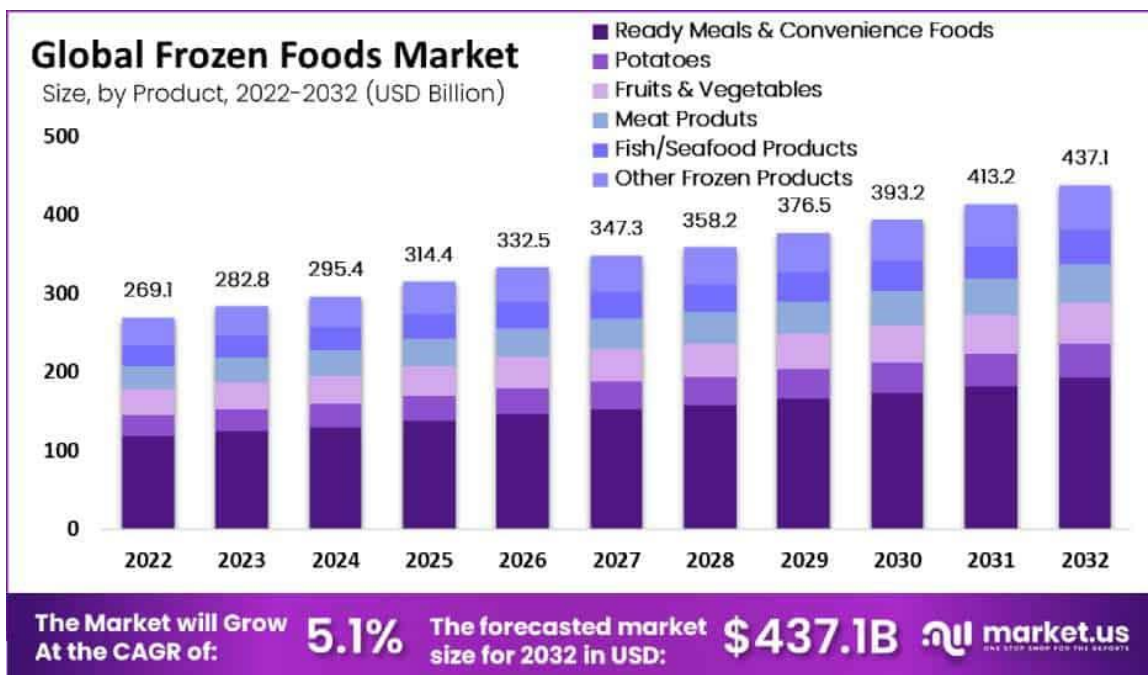
Εικόνα 3.4.9 Εργαστηριακός καταψύκτης

- **Εργαστηριακοί καταψύκτες**

Καταψύκτες σχεδιασμένοι για ακριβή έλεγχο θερμοκρασίας, συχνά φτάνοντας σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται σε ερευνητικούς και ιατρικούς τομείς για βιολογικά δείγματα, φαρμακευτικά προϊόντα και χημικές ουσίες και έχουν την δυνατότητα να φτάσουν εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες (έως -86°C).

3.5 Μέγεθος της αγοράς των κατεψυγμένων τροφίμων

Η παγκόσμια αγορά κατεψυγμένων τροφίμων προβλέπεται να αυξηθεί με CAGR 5,1% από το 2023 έως το 2033, επεκτείνοντας από εκτιμώμενη αξία 281 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2023 σε 460,8 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το τέλος του 2033.



Εικόνα 3.5.1 4 Εκτιμώμενο μέγεθος αγοράς κατεψυγμένων τροφίμων παγκοσμίως μέχρι το 2032

Τα φρούτα και τα λαχανικά, οι πατάτες, τα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα έτοιμα γεύματα και τα έτοιμα φαγητά, τα προϊόντα κρέατος, τα θαλασσινά και άλλα κατεψυγμένα προϊόντα αποτελούν την κατάτμηση της αγοράς με βάση τα προϊόντα. Η κατηγορία των έτοιμων γευμάτων & έτοιμων φαγητών κυριάρχησε στην παγκόσμια αγορά κατεψυγμένων τροφίμων το 2022 με μερίδιο αγοράς 44%, ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας εξάπλωσης της νόσου COVID-19. Οι καταναλωτές έσπευσαν να κάνουν αγορές της τελευταίας στιγμής, γεγονός που βοήθησε θετικά την αγορά κατεψυγμένων τροφίμων. Η αυξανόμενη ζήτηση για κατεψυγμένα τρόφιμα από τις αναπτυσσόμενες χώρες είναι η κύρια αιτία της αύξησης του CAGR. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο συνεχώς μεταβαλλόμενος σύγχρονος τρόπος ζωής των ανθρώπων έχει δημιουργήσει αύξηση στην κατανάλωση κατεψυγμένων τροφίμων σε όλο τον κόσμο. Τα τρόφιμα που είναι κατεψυγμένα μπορούν να παρασκευαστούν γρήγορα και εύκολα και περιέχουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, κάτι που αποτελεί σημαντικό παράγοντα της ανάπτυξης των βιομηχανιών κατεψυγμένων τροφίμων (Research, 2023).



Εικόνα 3.5.2 Αγορά κατεψυγμένων τροφίμων ανά ήπειρο

4.1 Φακές

Το επιστημονικό όνομα της φακής είναι *Lens culinaris* (L.) Medik. subsp. *Culinaris*. Ανήκει στο βασίλειο των φυτών, στην συνομοταξία των αγγειοσπέρμων, στην τάξη Fabales και στην οικογένεια των οσπρίων. Η φακή είναι ετήσιο διπλοειδές φυτό και έχει μία λεπτή πασσαλώδη ρίζα από την οποία εκφύονται ινώδεις πλάγιες ρίζες.

Οι τύποι του ριζικό συστήματος διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

- πλούσια διακλαδιζόμενο, επιφανειακό,
- περιορισμένα, διακλαδιζόμενη, κύρια πασσαλώδη ρίζα που εισχωρεί σε βάθος και
- ενδιάμεσος τύπος.

Η μορφή του ριζικού συστήματος εξαρτάται από το γενότυπο και από τις εδαφικές συνθήκες των περιοχών, όπου οι γενότυποι αυτοί εξελίχθηκαν. Στην κύρια ρίζα σχηματίζονται φυμάτια συνεχούς ανάπτυξης, με σχήμα επίμηκες ωοειδές, αλλά και στρογγυλό. Οι βλαστοί είναι λεπτοί, αδύνατοι και έχουν γωνιώδη περιφέρεια με ραβδώσεις. Το ύψος του φυτού κυμαίνεται από 25 έως 75 cm, και εξαρτάται από το γενότυπο και από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες ανάπτυξης.

Τα φύλλα είναι πτερωτά, ο αριθμός των φυλλαρίων κάθε φύλλου εξαρτάται από το γενότυπο και μπορεί να φθάσει τα 7-8 ζεύγη. Τα φυλλάρια έχουν στενό ελλειπτικό σχήμα και το μήκος τους κυμαίνεται ποικίλλει από 1 έως 3 cm. Έχει μικρά άνθη, τα οποία βρίσκονται μεμονωμένα ή σε ομάδες τω 2-3 ανθέων.



Εικόνα 4.1 Μορφολογία φυτού φακής

4.2 Καλλιέργεια

Η φακή είναι ένα από τα κυριότερα όσπρια και καλλιεργείται κυρίως στις ημίξηρες περιοχές του κόσμου. Οι ποικιλίες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος του σπόρου:

- μεγαλόσπερμες, με σπόρους διαμέτρου 6-9 mm και
- μικρόσπερμες, με σπόρους διαμέτρου 2-6 mm.
- Στη Ελλάδα παρατηρείται μία ενδιάμεση κατηγορία (μεσόσπερμες)

Η φακή (*Lens culinaris*) καλλιεργείται σε περιοχές που έχουν ήπιους σχετικά χειμώνες, όπως η μεσόγειος. Η σπορά της γίνεται κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, ενώ η συγκομιδή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, διότι δεν αντέχει στους χειμερινούς μήνες. Το νεαρό φυτό της φακής είναι πιο ανεκτικό, αλλά τελικά μπορεί και να ξεραθεί εάν αυτές οι συνθήκες επαναλαμβάνονται κάθε χρόνο. Γενικά έχει σημειωθεί πως οι φακές αρχίζουν να παθαίνουν ζημιές σε θερμοκρασίες $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ και χαμηλότερα. Επίσης, η φακή είναι ανθεκτική στις υψηλές θερμοκρασίες και την ξηρασία, καθώς δεν την ευνοεί η περίσσεια εδαφικής υγρασίας (Γιαννοπολίτης, Δαμανάκης και Πασπάτης, 1980)

Η φακή δεν αντέχει την οξύτητα και την αλατότητα του εδάφους γι' αυτό καλλιεργείται σε εδάφη με $\text{pH}=5,65$ ως ελάχιστη αποδεκτή τιμή.

Οι φακές, κατηγοριοποιούνται κυρίως σε δύο τύπους: ολόκληρες πράσινες και καφέ, και σε κόκκινες αποφλοιωμένες φακές. Ενώ οι ολόκληρες φακές συχνά ενσωματώνονται σε σαλάτες,

απαιτούν μεγαλύτερη διάρκεια μαγειρέματος σε σύγκριση με τις χωρισμένες φακές. Η διαδικασία αποφλοιώσης, μειώνει την αντιοξειδωτική τους ικανότητα και βελτιώνει τη γεύση, εμπλουτίζοντας το κόκκινο ή πράσινο χρώμα και μειώνοντας το χρόνο μαγειρέματος (Siva, Thavarajah και Thavarajah, 2018).



Εικόνα 4.2 Δύο κατηγορίες σπόρων φακής

Ανεξάρτητα από το αν είναι ολόκληροι ή χωρισμένοι, οι σπόροι φακής διαθέτουν σημαντική διάρκεια ζωής, έως και 12 μήνες, παρόμοια με άλλα όσπρια.

4.3 Θρεπτική αξία

Οι φακές περιέχουν χαμηλά επίπεδα σε λιπαρά και είναι πλούσια σε υδατάνθρακες και πρωτεΐνες. Οι φακές περιέχουν βασικά μέταλλα όπως σίδηρο (Fe), ψευδάργυρο (Zn) και σελήνιο (Se), ενώ αποτελούν σημαντική πηγή πρεβιοτικών υδατανθράκων, συμπεριλαμβανομένων των αλκοολών σακχάρων, των ολιγοσακχαριτών της οικογένειας ραφινόζης (RFO), των φρουκτοολιγοσακχαριτών (FOS) και του ανθεκτικού αμύλου (RS). Αυτοί οι χαμηλής πέψης υδατάνθρακες συμβάλλουν θετικά στην υγεία ρυθμίζοντας το μικροβίωμα του εντέρου.

Οι τεχνικές επεξεργασίας τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της αποφλοιώσης, του διαχωρισμού και του μαγειρέματος, μπορούν να επηρεάσουν τις συγκεντρώσεις πρεβιοτικών υδατανθράκων, προσφέροντας έτσι πιθανά οφέλη για την υγεία (Siva, Thavarajah και Thavarajah, 2018).

Διάφοροι τύποι φακής εμφανίζουν διαφορές τόσο στο χρώμα των σπόρων, όσο και στο θρεπτικό περιεχόμενό τους. Τα διαφορετικά χρώματα της φακής υποδεικνύουν την παρουσία διαφόρων ανθοκυανινών, καθεμία από τις οποίες παρέχει μοναδικά αντιοξειδωτικά οφέλη. (Ali, Butt και Hasnain, 2023).

Η ενσωμάτωση οσπρίων όπως οι φακές στη διατροφή των ανθρώπων έχει συνδεθεί με διάφορα οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του γλυκαιμικού δείκτη σε άτομα με διαβήτη, αλλά και της αρνητικής συσχέτισης με την παχυσαρκία, ενισχύοντας παράλληλα την απόκριση του ανοσοποιητικού συστήματος.

Οι ασθένειες που σχετίζονται με την υπερβολική αντιδραστική παραγωγή οξυγόνου ή ειδών αζώτου, μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τα ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά συστατικά, οδηγώντας σε βλάβη των ιστών. Τα αντιοξειδωτικά διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην καταπολέμηση αυτού του στρες, στην απομάκρυνση των ROS / RNS και στη διατήρηση των ενδογενών αντιοξειδωτικών αμυντικών συστημάτων. Οι τοκοφερόλες, λιποδιαλυτές ενώσεις που είναι άφθονες στα φρούτα, τα λαχανικά και τα όσπρια, παρουσιάζουν ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες, θωρακίζοντας τον οργανισμό ενάντια στις βλάβες που προκαλούνται από το στρες.

Οι φακές συνήθως υποβάλλονται σε διάφορες μεθόδους επεξεργασίας πριν από την κατανάλωσή τους, όπως ο ατμός, το μούλιασμα και το βράσιμο, που ενισχύουν την πεπτικότητα, την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών και μεταβάλλουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες.

Η επεξεργασία των σπόρων φακής μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε παραδοσιακές και σύγχρονες μεθόδους, με βάση την πολυπλοκότητα των σταδίων επεξεργασίας και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Οι παραδοσιακές μέθοδοι χρησιμοποιούν απλές τεχνολογίες και εξοπλισμό κατάλληλο για οικιακή χρήση, ενώ η σύγχρονη επεξεργασία περιλαμβάνει πιο εξελιγμένες

διαδικασίες και εξοπλισμό βιομηχανικού επιπέδου. Οι φακές μπορούν να καταναλωθούν ως φρέσκα λαχανικά ή μετά από την ξήρανση τους για να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους. (Annon, Ma και Boye, 2014).

Οι χαμηλές συγκεντρώσεις υδατανθράκων φακής υφίστανται αλλαγές μετά την επεξεργασία και το μαγείρεμα για μικρό χρονικό διάστημα (Siva, Thavarajah και Thavarajah, 2018).

ΕΝΕΡΓΕΙΑ (Kcal/KJ)	297/ 1264
ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ (gr)	48.8
ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ (gr)	24.3
ΛΙΠΙΔΙΑ (gr)	1.9
ΦΥΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (gr)	13
ΣΙΔΗΡΟΣ/Fe (mg)	11.1
ΦΩΣΦΟΡΟΣ/P (mg)	350
ΑΣΒΕΣΤΙΟ/Ca (mg)	71

Εικόνα 4.3 Θρεπτική αξία φακής

4.4 Αποθήκευση

Η αποθήκευση της φακής πρέπει να γίνεται σε θερμοκρασίες των 20-23ο C και η σχετική υγρασία του χώρου να μην είναι αυξημένη. Η αποθήκευση της γίνεται σε όσο το δυνατό πιο αεροστεγώς μεγάλα σακιά που τοποθετούνται στις αποθήκες (Γιαννοπολίτης, Δαμανάκης και Πασπάτης, 1980) .

4.5 Βραστικότητα Φακής

Η βραστικότητα και η γεύση της φακής επηρεάζεται από το περιβάλλον όπου αναπτύσσεται το φυτό, την διατροφή του φυτού και από το στάδιο ωριμάνσεώς της κατά τη συγκομιδή. Η φακή φαίνεται να επηρεάζεται από την παρουσία αδιάλυτων πηκτινικών ουσιών στο μεσοτοίχιο των κυτταρικών τοιχωμάτων. Όταν το έδαφος είναι πλούσιο σε ασβέστιο (Ca) και μαγνήσιο (Mg) ή καλίου (K) και νατρίου (Na) σχηματίζονται στο μεσοτοίχιο των κυτταρικών τοιχωμάτων ποσότητες ασβεστούχων και μαγνησιούχων πηκτινικών ενώσεων (Γιαννοπολίτης, Δαμανάκης και Πασπάτης, 1980) .

4.6 Βράσιμο και επίπεδα γ-τοκοφερόλης

Η ανάλυση των ωμών και φρεσκομαγειρεμένων φακών αποκάλυψε μια αξιοσημείωτη επίδραση του βρασμού στα επίπεδα άλφα και γ-τοκοφερόλης, με σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την ποικιλία φακής. Ο βρασμός οδηγεί σε μείωση της περιεκτικότητας σε γ-τοκοφερόλη, ενώ αυξάνεται η περιεκτικότητα σε α-τοκοφερόλη (Jené and Munné-Bosch, 2023).

Οι ωμές φακές παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερα επίπεδα γ-τοκοφερόλης σε σύγκριση με τις μαγειρεμένες και κονσερβοποιημένες φακές. Επιπλέον, λόγω της σταθερά χαμηλότερης παρουσίας α-τοκοφερόλης σε σχέση με τη γ-τοκοφερόλη, οι αλλαγές στα επίπεδα τοκοφερόλης, που προκύπτουν από την επεξεργασία επηρέασαν κυρίως την περιεκτικότητα σε γ-τοκοφερόλη. Παρά την παρατηρούμενη αύξηση της περιεκτικότητας σε α-τοκοφερόλη με το μαγείρεμα, η διαδικασία, μείωσε σημαντικά την περιεκτικότητα σε γ-τοκοφερόλη. Τα ποσοστά κατάψυξης, από την άλλη πλευρά, ποικίλλουν ευρέως, κυμαινόμενα από 0,2 έως 100 cm/h στους εμπορικού καταψύκτες (Jené και Munné-Bosch, 2023).

4.7 Όσπρια και κατάψυξη

Υπάρχει μια αναπτυσσόμενη αγορά για κατεψυγμένα προψημένα όσπρια, τόσο για οικιακή χρήση, όσο και για υπηρεσίες εστίασης. Η αγορά των προψημένων κατεψυγμένων οσπρίων επεκτείνεται, προσφέροντας ευκολία, καθώς μπορούν να θερμανθούν γρήγορα στην εστία μαγειρέματος ή στο φούρνο μικροκυμάτων. Τα όσπρια ταχείας κατάψυξης ταξινομούνται ως έτοιμα προς χρήση, ξαναζεσταμένα και σερβιρισμένα τρόφιμα. Αυτά τα όσπρια ζεματίζονται ή μαγειρεύονται πριν από τη γρήγορη κατάψυξη, γεγονός που βοηθά στη διατήρηση των φυσικών και θρεπτικών ιδιοτήτων τους. (Annor, Ma και Boye, 2014)

Κεφάλαιο 5 Υλικά και μέθοδοι – πειραματική διαδικασία

Τα πειράματα σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε:

- Να μελετηθεί η επιρροή που έχει ο παγοπυρήνας στους σπόρους φακής σε σύγκριση με σπόρους που είχαν εμβαπτιστεί σε νερό και σε σπόρους που είχαν εμβαπτιστεί σε νερό με vortex και να γίνει διπλή επανάληψη του πειράματος μόνο σε μη ενυδατωμένους σπόρους φακής
- Να αποφευχθούν τυχόν παγώματα, που μπορεί να προκύπτουν από διάφορους μικροοργανισμούς, οι οποίοι μπορεί να ήρθαν σε επαφή με τους σπόρους κατά τη διάρκεια του πειράματος.
- Να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που είχαν οι σπόροι φακής που είχαν εμβαπτιστεί σε νερό με παγοπυρήνα και οι σπόροι φακής που είχαν εμβαπτιστεί σε νερό με νωπό χόμα.
- Να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από σπόρους φακής που συλλέχθηκαν από δύο διαφορετικές εταιρίες και είχαν εμβαπτιστεί σε νερό με παγοπυρήνα

5.1 Υλικά

Φακές

Το όσπριο που επιλέχθηκε για μελέτη ήταν σπόροι φακής (*Lens culinaris*). Όλες οι φακές που χρησιμοποιήθηκαν έχουν υποστεί μια σειρά προ-κατεργασιών, έτσι ώστε να έχουν συσκευαστεί μόνο ακέραιοι, ώριμοι και μη συρρικνωμένοι κόκκοι, οι οποίοι έχουν απαλλαχθεί πλήρως από τυχόν παθογόνους οργανισμούς, ξένη πρόσμιξη και επικίνδυνες ασθένειες. Αφ' ότου ολοκληρωθούν αυτές οι διεργασίες μοιράζονται σε γνωστά σούπερ μάρκετ στην Ελλάδα, όπου και διατηρούνται σε θερμοκρασία δωματίου. Στον χώρο του εργαστηρίου επελέγησαν τυχαίες μικροποσότητες και ακολουθούσε η έναρξη της πειραματικής διαδικασίας.

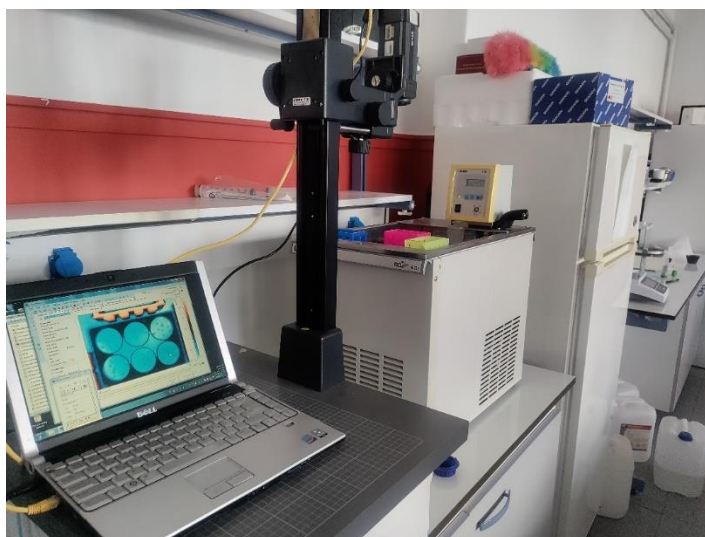
Αναλυτικές μέθοδοι

Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μέθοδοι μέτρησης:

Μέτρηση θερμικού προφίλ:

Πλατφόρμα συλλογής δεδομένων

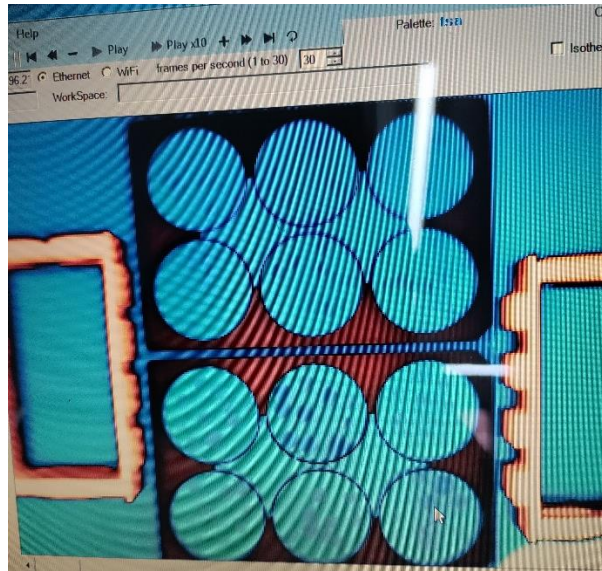
Η πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία αποτελείται από τέσσερα κύρια μέρη. Το αλκοολόλουτρο και το υγρό ψύξης, το οποίο στην περίπτωση μας ήταν η βιοαιθανόλη και κυκλοφορούσε καθ' όλη τη διάρκεια του παγώματος. Μια θερμική κάμερα, που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της θερμοκρασίας και τέλος, ένας υπολογιστής, που ήταν συνδεδεμένος με την κάμερα και συλλέγει όλες τις πληροφορίες. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε πλάκες κυτταροκαλλιέργειας, που επέπλεαν στο υγρό ψύξης με τη χρήση πλαστικών στηριγμάτων. Η θερμοκρασία του αλκοολόλουτρου μειωνόταν με σταθερό ρυθμό ψύξης από τον -1°C στους -25°C .



Εικόνα 5.1.1 Εγκατάσταση συλλογής των δεδομένων

Λογισμικό για τη συλλογή δεδομένων

Το λογισμικό μThermalizer χρησιμοποιεί ένα ειδικό δίκτυο 96 σημείων, το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί, ώστε να ταιριάζει ακριβώς στις διαστάσεις της μικροπλάκας από διάφορες οπτικές γωνίες. Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να μετρήσει τη θερμοκρασία οποιουδήποτε σημείου της μικροπλάκας, ενώ παράλληλα εξάγει τα θερμικά δεδομένα σε μορφή MS Excel. (Zaragotas et al 2016)



Εικόνα 5.1.2 Λογισμικό συλλογής δεδομένων

Ορυκτός παγοπυρήνας

Για την πραγματοποίηση των πειραματικών διαδικασιών χρησιμοποιήθηκε ακριβείς ποσότητα παγοπυρήνα με κωδικό όνομα Nuc-T, ο οποίος αντικατέστησε τον ορυκτό παγοπυρήνα feldspar.

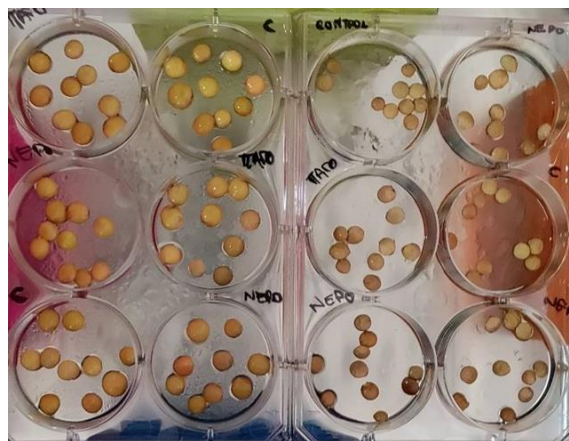
5.2 Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία με ενυδατωμένες και μη φακές

Για την πειραματική διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν ψιλές φακές εισαγωγής από την εταιρία Νώμα και αριθμό παρτίδας το L.230609 020. Λήφθηκαν δείγματα τόσο από ενυδατωμένους σπόρους, που είχαν υποστεί ενυδάτωση με νερό για 9 ώρες πριν την πραγματοποίηση του πειράματος, όσο και από ξηρούς σπόρους φακής. Συνολικά συλλέχθηκαν 120 σπόροι φακής, εκ των οποίων οι 60 ήταν ενυδατωμένοι και οι άλλοι 60 ξηροί. Έτσι για το πρώτο πείραμα υπήρχαν δύο επαναλήψεις -μια για τους ξηρούς σπόρους και μια για τους ενυδατωμένους-, όπου επαναλαμβάνονταν τα ίδια βήματα και για τις δύο περιπτώσεις. Ακολούθησε ο διαχωρισμός των σπόρων σε τρεις υποκατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής για την κάθε επανάληψη:

- Μη ενυδατωμένες: 20 σπόροι φακής με νερό Θεόνη (vortex), 20 σπόροι φακής (control) και 20 σπόροι φακής με παγοπυρήνα.
- Ενυδατωμένες: 20 σπόροι φακής με νερό Θεόνη (vortex), 20 σπόροι φακής (control) και 20 σπόροι φακής με παγοπυρήνα.

Η διαδικασία ξεκίνησε με την προσθήκη 15ml νερού Θεόνη σε ένα σωληνάριο Falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Στην συνέχεια είκοσι από τους ενυδατωμένους σπόρους εισήχθησαν στο σωλήνα falcon και μετά από ένα λεπτό μεταφέρθηκαν, αφότου χωρίστηκαν σε δύο ίσες ποσότητες, σε δύο διαφορετικά πηγάδια μιας βαρας πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Αμέσως μετά ζυγίστηκε μια ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα, με ζυγαριά ακριβείας και διαλύθηκε σε 15 ml νερού Θεόνη με την χρήση αναδευτήρα vortex. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, εισήχθησαν 20 ενυδατωμένοι σπόροι φακής στο σωλήνα falcon για διάστημα ενός λεπτού και μεταφέρθηκαν σε δύο άλλα διαφορετικά πηγάδια της βαρας πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Τέλος τοποθετήθηκαν οι 20 ενυδατωμένοι σπόροι που απομένουν στα δύο τελευταία πηγάδια της πλάκας ως control. Η διαδικασία επαναλήφθηκε ακριβώς η ίδια και για τους 60 ξηρούς σπόρους φακής.



Εικόνα 5.2.1 Πειραματική διαδικασία με ενυδατωμένες και μη φακές

Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους σπόρους φακής

Για την διεξαγωγή της πρώτης επανάληψης του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε καινούριο πακέτο σπόρων ψιλής φακής από την εταιρεία ΩΜΕΓΑ ΑΒΕΕ με αριθμό παρτίδας το L 2513249. Συλλέχθηκαν και ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας τρία ίσα δείγματα ξηρών σπόρων φακής, εκ των οποίων το κάθε ένα είχε βάρος 0.56 γραμμάρια. Στην συνέχεια τα δείγματα χωρίστηκαν σε τρεις υποκατηγορίες, όπου το ένα θα δρούσε ως control, το δεύτερο θα εμβαπτιζόταν με νερό Θεόνη και το τρίτο θα εμβαπτιζόταν με νερό Θεόνη με παγοπυρήνα.

Πραγματοποιήθηκε απολύμανση σε όλα τα δείγματα πριν αυτά εμβαπτιστούν. Για την απολύμανση χρησιμοποιήθηκαν 10 ml βιοαιθανόλης 40% στα οποία έγινε ανάδευση με το κάθε δείγμα ξεχωριστά για περίπου 30 δευτερόλεπτα. Αφότου η ανάδευση ολοκληρώθηκε αφαιρέθηκε η βιοαιθανόλη με την βοήθεια μιας πιπέτας και στην θέση της προστέθηκαν 10 ml νερό Θεόνη, στα οποία έχει προστεθεί μια σταγόνα χλωρίνης. Αμέσως μετά την απομάκρυνση του διαλύματος από τα δείγματα, έγιναν 3 ξεπλύματα με νερό Θεόνη για την πλήρη αφαίρεση της χλωρίνης από αυτά.

Μόλις η διαδικασία απολύμανσης ολοκληρώθηκε, τοποθετήθηκαν ξηροί σπόροι φακής από το πρώτο δείγμα στην πρώτη, τέταρτη, έβδομη και δέκατη στήλη της πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Αμέσως μετά ζυγίστηκε μια ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας, που διαλύθηκε σε 15 ml νερού Θεόνη με τη χρήση αναδευτήρα vortex. Εισήχθη το δεύτερο δείγμα στον σωλήνα falcon για διάστημα δύο λεπτών και μεταφέρθηκαν προσεκτικά ο κάθε σπόρος ξεχωριστά στη δεύτερη, πέμπτη, όγδοη και εντέκατη στήλη της πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Τέλος προστέθηκαν 15ml νερού Θεόνη σε ένα σωληνάριο Falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Έπειτα, ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, το τρίτο δείγμα τοποθετήθηκε στο σωλήνα falcon και μετά από διάστημα δύο λεπτών μεταφέρθηκε ο κάθε σπόρος ξεχωριστά στην τρίτη, έκτη, ένατη και δωδέκατη στήλη της πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Για τη γρηγορότερη ανάδειξη αποτελεσμάτων προστέθηκαν 100 ml νερού Θεόνη σε κάθε σπόρο, ενώ παράλληλα προστέθηκαν 150 ml στην τελευταία σειρά της πλάκας.



Εικόνα 5.2.2 Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους σπόρους φακής

Πειραματική διαδικασία με μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

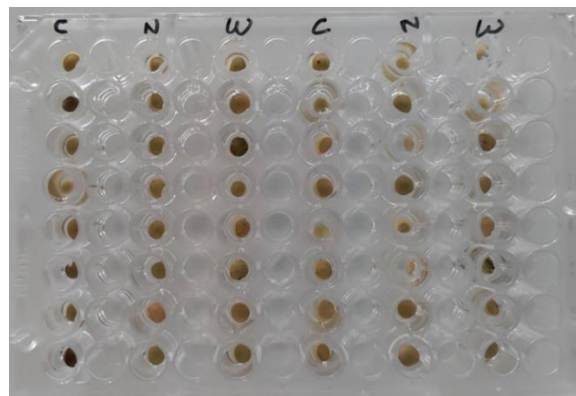
Για τη δεύτερη επανάληψη της πειραματικής διαδικασίας, συλλέχθηκαν και ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας δείγματα ξηρών σπόρων ψιλής φακής από την εταιρεία ΩΜΕΓΑ ΑΒΕΕ με αριθμό παρτίδας το L 2513249, εκ των οποίων το κάθε ένα είχε βάρος 0.5 γραμμάρια. Στην συνέχεια τα δείγματα χωρίστηκαν σε τρεις υποκατηγορίες, όπου το ένα θα δρούσε ως control, το δεύτερο θα εμβαπτιζονταν με νερό Θεόνη και το τρίτο θα εμβαπτιζονταν με νερό Θεόνη με παγοπυρήνα.

Όπως και στην προηγούμενη επανάληψη πραγματοποιήθηκε απολύμανση σε όλα τα δείγματα πριν αυτά εμβαπτιστούν με την ίδια μεθοδολογία.

Μόλις η διαδικασία απολύμανσης ολοκληρώθηκε για όλα τα δείγματα, τοποθετήθηκαν ξηροί σπόροι φακής από το πρώτο δείγμα στην πρώτη και έβδομη στήλη της πλάκας κυτταροκαλλιέργειας.

Αμέσως μετά ζυγίστηκε μια ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακρίβειας, που διαλύθηκε σε 15 ml νερού Θεόνη με τη χρήση αναδευτήρα vortex. Εισάχθηκε το δεύτερο δείγμα στο σωλήνα falcon για διάστημα δύο λεπτών και μεταφέρθηκαν προσεκτικά ο κάθε σπόρος ξεχωριστά στην τρίτη και ένατη στήλη της πλάκας κυτταροκαλλιέργειας.

Τέλος προστέθηκαν 15ml νερού Θεόνη σε σωληνάριο Falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Έπειτα, ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, το τρίτο δείγμα τοποθετήθηκε στο σωλήνα falcon και μετά από διάστημα δύο λεπτών μεταφέρθηκε ο κάθε σπόρος ξεχωριστά στην πέμπτη και εντέκατη στήλη της πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Για τη γρηγορότερη ανάδειξη αποτελεσμάτων προστέθηκαν 100 ml νερού Θεόνη σε κάθε σπόρο, ενώ παράλληλα προστέθηκαν 150 ml στην τελευταία σειρά της πλάκας για καλύτερη σύγκριση αποτελεσμάτων.



Εικόνα 5.2.3 Πειραματική διαδικασία με μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

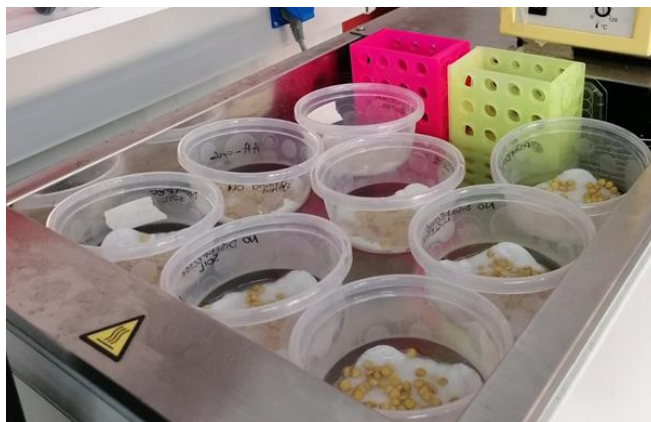
Για την τρίτη επανάληψη λήφθηκαν τέσσερα ισοδύναμα δείγματα σπόρων ψιλής φακής από την εταιρεία ΩΜΕΓΑ ΑΒΕΕ με αριθμό παρτίδας το L 2513249 και κατανεμήθηκαν στις εξής τέσσερις κατηγορίες: σπόροι φακής ενυδατωμένοι με νερό Θεόνη, σπόροι φακής ενυδατωμένοι με νερό Θεόνη και παγοπυρήνα, ξηροί σπόροι φακής και τέλος, σπόροι φακής ενυδατωμένοι με νερό Θεόνη και νωπό χώμα μετά από βροχή.

Κάθε δείγμα υποβλήθηκε σε ατομική απολύμανση με ανάδευση σε 10 ml βιοαιθανόλης 40% για περίπου 30 δευτερόλεπτα, ακολουθούμενη από αφαίρεση με πιπέτα, όπως και στις προηγούμενες επαναλήψεις. , ενώ παράλληλα καθαρίζονται και απολυμαίνονται τα πλαστικά μολάκια, που θα χρησιμοποιηθούν για τα παγώματα και τοποθετήθηκαν κυκλικά βαμβάκια στο κέντρο με 2 ml νερού Θεόνη.

Σε σωλήνα falcon των 30 ml προστέθηκαν 15 ml νερού Θεόνη με 0.5 g χώματος,- που είχε συλλεχθεί λίγα λεπτά νωρίτερα από την διεξαγωγή του πειράματος-, και πραγματοποιήθηκε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Στην συνέχεια ένα από τα τέσσερα δείγματα τοποθετήθηκε στο σωλήνα και μετά από δύο λεπτά, μεταφέρθηκε σε ένα από τα μολάκια.

Αμέσως μετά ζυγίστηκε ακριβής ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα, χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας, ενώ διαλύθηκε σε 15 ml νερού Θεόνη με την χρήση αναδευτήρα vortex. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, εισήχθη ένα άλλο δείγμα σπόρων φακής στον σωλήνα falcon για ένα λεπτό και μεταφέρθηκαν στο δεύτερο μολάκι.

Για το τρίτο δείγμα, προστέθηκαν 15 ml νερού Θεόνη σε σωληνάριο Falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Μετά από 2 λεπτά μεταφέρθηκαν στο τρίτο μολάκι. Τέλος προστέθηκε το δείγμα, που απέμεινε σαν control στο τέταρτο και τελευταίο μολάκι.



Εικόνα 5.2.4 Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

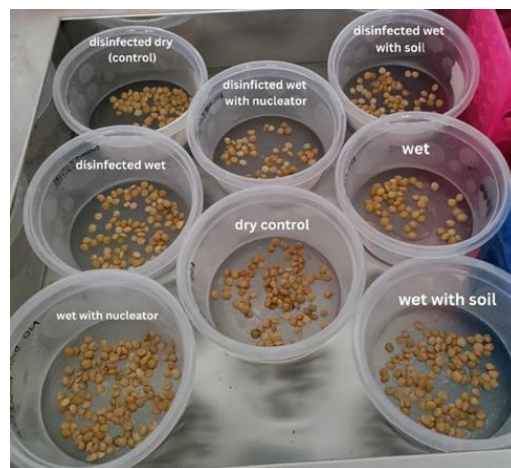
Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

Για την τέταρτη επανάληψη λήφθηκαν τέσσερα δείγματα 30-40 σπόρων ψιλής φακής από την εταιρεία ΩΜΕΓΑ ΑΒΕΕ με αριθμό παρτίδας το L 2513249 και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά μπολ διαμέτρου 10 x 10. Κατανεμήθηκαν στις εξής τέσσερις κατηγορίες: σπόροι φακής ενυδατωμένοι με νερό Θεόνη, σπόροι φακής ενυδατωμένοι με νερό Θεόνη και παγοπυρήνα, ξηροί σπόροι φακής και τέλος, σπόροι φακής ενυδατωμένοι με νερό Θεόνη και νωπό χώμα μετά από βροχή.

Αφότου αποστειρωθούν τα δείγματα, καθαρίζονται και απολυμαίνονται τα πλαστικά μπολάκια, που θα χρησιμοποιηθούν για τα παγώματα.

Σε σωλήνα falcon των 30 ml προστέθηκαν 15 ml νερού Θεόνη με 0.5g χώματος -που είχε συλλεχθεί λίγα λεπτά νωρίτερα από την διεξαγωγή του πειράματος- και πραγματοποιήθηκε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Στη συνέχεια ένα από τα τέσσερα δείγματα τοποθετήθηκε στο σωλήνα και μετά από διάστημα δύο λεπτών, μεταφέρθηκε σε ένα από τα μπολάκια. Αμέσως μετά ζυγίστηκε ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα, χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας και διαλύθηκε σε 15 ml νερού Θεόνη με την χρήση αναδευτήρα vortex. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, εισήχθη ένα άλλο δείγμα σπόρων φακής στο σωλήνα falcon για διάστημα ενός λεπτού και μεταφέρθηκαν στο δεύτερο μπολάκι. Για το τρίτο δείγμα, προστέθηκαν 15 ml νερού Θεόνη σε σωληνάριο falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Μετά από 2 λεπτά μεταφέρθηκαν στο τρίτο μπολάκι. Τέλος προστέθηκε το δείγμα που απέμεινε σαν control στο τέταρτο και τελευταίο μπολάκι.

Αφότου ολοκληρώθηκαν τα παγώματα τοποθετήθηκαν βρεγμένα βαμβάκια σε αλουμινένια χαρτάκια, πάνω στα οποία, τοποθετήθηκαν οι σπόροι από κάθε δείγμα και περιτυλίχθηκαν με διαφάνεια για να κρατηθεί η υγρασία.



Εικόνα 5.2.5 Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

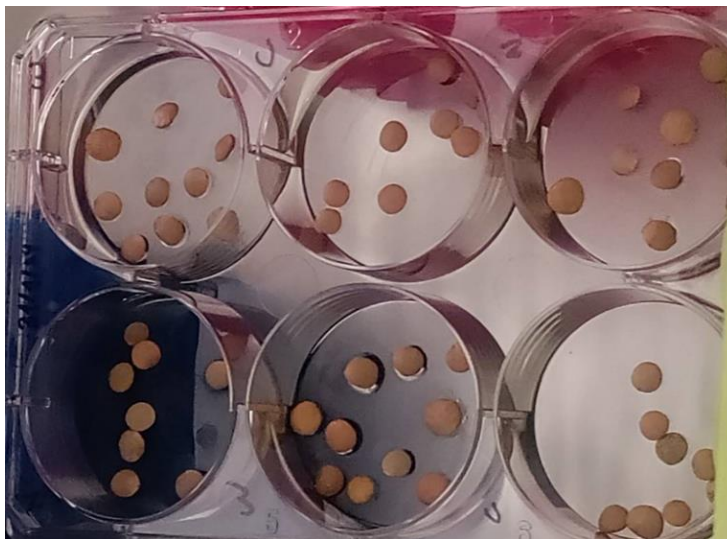
Πειραματική διαδικασία με μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

Για την πέμπτη επανάληψη χρησιμοποιήθηκε μόνο δείγμα ξηρής φακής παραγωγής της εταιρείας ΩΜΕΓΑ Α.Β.Ε..Ε, με τόπο παραγωγής την Καλαμάτα. Συλλέχθηκαν 60 σπόροι ξηρής φακής, οι οποίοι διαχωρίστηκαν σε 20 σπόρους φακής με νερό Θεόνη (vortex), 20 σπόρους στεγνής φακής (control) και 20 σπόρους φακής με νερό Θεόνη με παγοπυρήνα.

Έγινε προσθήκη 15ml νερού Θεόνη σε σωληνάριο Falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Στην συνέχεια είκοσι από τους ενυδατωμένους σπόρους εισήχθησαν στο σωλήνα falcon και μετά από διάστημα ενός λεπτού μεταφέρθηκαν, αφότου χωρίστηκαν σε δύο ίσες ποσότητες, προσεκτικά σε δύο διαφορετικά πηγάδια μιας βαρας πλάκας κυτταροκαλλιέργειας.

Αμέσως μετά ζυγίστηκε ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας και διαλύθηκε σε 15 ml νερού Θεόνη με τη χρήση αναδευτήρα vortex.

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, εισήχθησαν 20 ενυδατωμένοι σπόροι φακής στο σωλήνα falcon για διάστημα ενός λεπτού και μεταφέρθηκαν σε δύο άλλα διαφορετικά πηγάδια της βαρας πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Τέλος τοποθετήθηκαν οι 20 ενυδατωμένοι σπόροι, που απομένουν στα δύο τελευταία πηγάδια της πλάκας ως control.



Εικόνα 5.2.6 Πειραματική διαδικασία με μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

Πειραματική διαδικασία σε βρασμένες φακές

Για την έκτη επανάληψη λήφθηκαν ακολούθησε μαγείρεμα ενυδατωμένων και μη σπόρων φακής παραγωγής της εταιρείας ΩΜΕΓΑ Α.Β.Ε..Ε, με τόπο παραγωγής την Καλαμάτα, στον ατμό για περίπου 15 λεπτά. Κατανεμήθηκαν στις εξής κατηγορίες:

- Μη ενυδατωμένες: 10 σπόροι φακής με νερό ΣΕΛΙ (vortex), 10 σπόροι φακής (control), 10 σπόροι φακής με παγοπυρήνα και 10 σπόροι φακής με νερό με διαλυμένο στεγνό χρώμα
- Ενυδατωμένες: 10 σπόροι φακής με νερό ΣΕΛΙ (vortex), 10 σπόροι φακής (control), 10 σπόροι φακής με παγοπυρήνα και 10 σπόροι φακής με νερό με διαλυμένο στεγνό χρώμα

Σε σωλήνα falcon των 30 ml προστέθηκαν 15 ml νερού ΣΕΛΙ με 0.5g χρώματος -που είχε συλλεχθεί λίγα λεπτά νωρίτερα από την διεξαγωγή του πειράματος- και πραγματοποιήθηκε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Στη συνέχεια ένα από τα τέσσερα δείγματα τοποθετήθηκε στο σωλήνα και μετά από διάστημα δύο λεπτών, μεταφέρθηκε σε ένα από τα πηγάδια μιας βαρας πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Αμέσως μετά ζυγίστηκε ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα, χρησιμοποιώντας ζυγαριά ακριβείας και διαλύθηκε σε 15 ml νερού ΣΕΛΙ με την χρήση αναδευτήρα vortex. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, εισήχθη ένα άλλο δείγμα σπόρων φακής στο σωλήνα falcon για διάστημα ενός λεπτού και μεταφέρθηκαν σε κάποιο πηγάδι. Για το τρίτο δείγμα, προστέθηκαν 15 ml νερού ΣΕΛΙ σε σωληνάριο falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Μετά από 2 λεπτά μεταφέρθηκαν σε άλλο πηγάδι. Τέλος προστέθηκε το δείγμα που απέμεινε σαν control. Η διαδικασία επαναλήφθηκε και για τους σπόρους φακής που είχαν ενυδατωθεί από το προηγούμενο βράδυ, ενώ στα κενά πηγάδια προστέθηκε 1ml νερού ΣΕΛΙ.

Λίγες μέρες μετά την ολοκλήρωση του πειράματος, το χρώμα των δειγμάτων παρατηρήθηκε με την χρήση φασματογράφου.



Εικόνα 5.2.7 Πειραματική διαδικασία σε βρασμένες φακές

Πειραματική διαδικασία με διαφορετικές εταιρίες σπόρων

Για την πειραματική διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν ψιλές φακές από την εταιρία ΩΜΕΓΑ με τοποθεσία παραγωγής την Καλαμάτα και ψιλές φακές εισαγωγής από την εταιρία Νώμα και αριθμό παρτίδας το L.230609 020. Συνολικά συλλέχθηκαν 40 σπόροι φακής, εκ των οποίων οι 20 ήταν από την εταιρεία ΩΜΕΓΑ ενυδατωμένοι και οι άλλοι 20 ξηροί. Ακολούθησε ο διαχωρισμός των σπόρων σε δύο υποκατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής για την κάθε επανάληψη:

- Σπόροι από την ΩΜΕΓΑ: 20 σπόροι φακής με νερό ΣΕΛΙ (vortex) και 20 σπόροι φακής με παγοπυρήνα.
- Σπόροι από την Νώμα: 20 σπόροι φακής με νερό ΣΕΛΙ (vortex) και 20 σπόροι φακής με παγοπυρήνα.

Η διαδικασία ξεκίνησε με την προσθήκη 15ml νερού ΣΕΛΙ σε ένα σωληνάριο Falcon των 30 ml και ακολούθησε ανάδευση με χρήση αναδευτήρα vortex. Στην συνέχεια είκοσι από τους σπόρους της εταιρείας ΩΜΕΓΑ εισήχθησαν στο σωλήνα falcon και μετά από ένα λεπτό μεταφέρθηκαν, αφότου χωρίστηκαν σε δύο ίσες ποσότητες, προσεκτικά σε δύο διαφορετικά πηγάδια μιας βαρας πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Αμέσως μετά ζυγίστηκε μια ποσότητα 0.015 γραμμαρίων παγοπυρήνα, με ζυγαριά ακριβείας και διαλύθηκε σε 15 ml νερού ΣΕΛΙ με την χρήση αναδευτήρα vortex. Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, εισήχθησαν 20 σπόροι φακής στο σωλήνα falcon για διάστημα ενός λεπτού και μεταφέρθηκαν σε δύο άλλα διαφορετικά πηγάδια της βαρας πλάκας κυτταροκαλλιέργειας. Η διαδικασία επαναλήφθηκε ακριβώς η ίδια και για τους 40 ξηρούς σπόρους φακής από την Νώμα. Τέλος στα δύο περισευούμενα πηγάδια προστέθηκε 1 ml νερού ΣΕΛΙ.

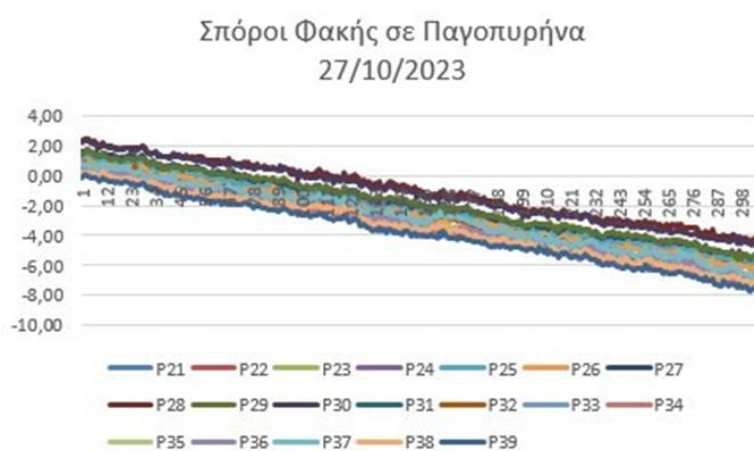
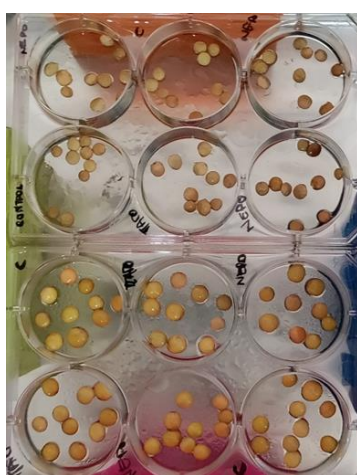
Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα

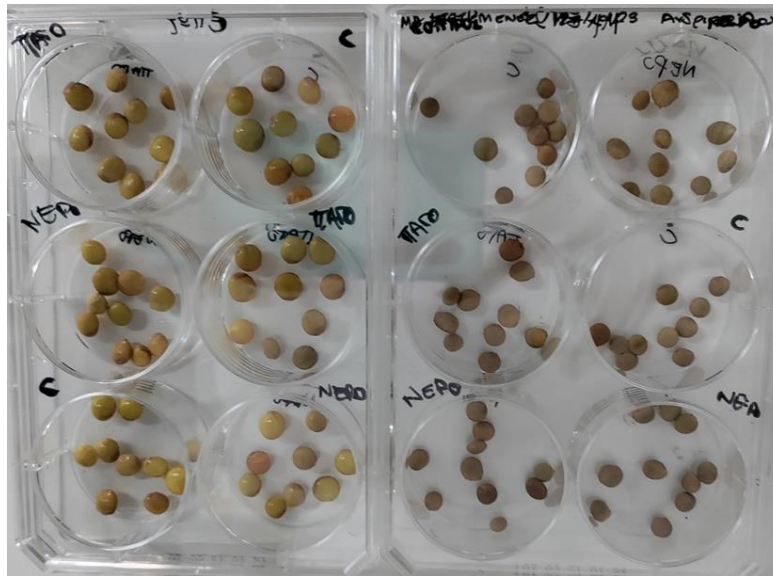
Αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα σκοπός της μελέτης ήταν η μελέτη της επιρροής, που έχει ο παγοπυρήνας στην κατάψυξη των σπόρων φακής σε σύγκριση με άλλους μάρτυρες. Τα αποτελέσματα για κάθε πειραματική διαδικασία ήταν τα παρακάτω:

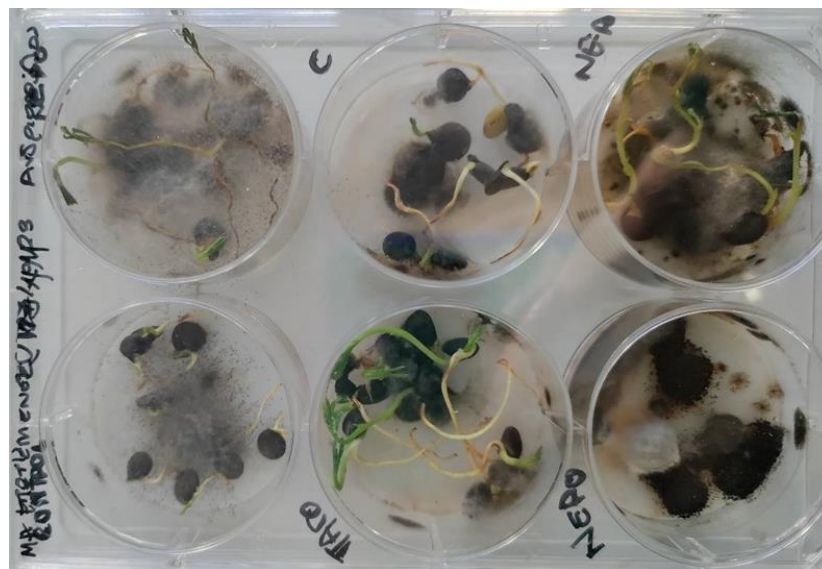
Πειραματική διαδικασία με ενυδατωμένες και μη φακές



Εικόνα 6.1 Διάγραμμα θερμοκρασίας παγώματος στους σπόρους που είχαν εμβλαπτιστεί με παγοπυρήνα

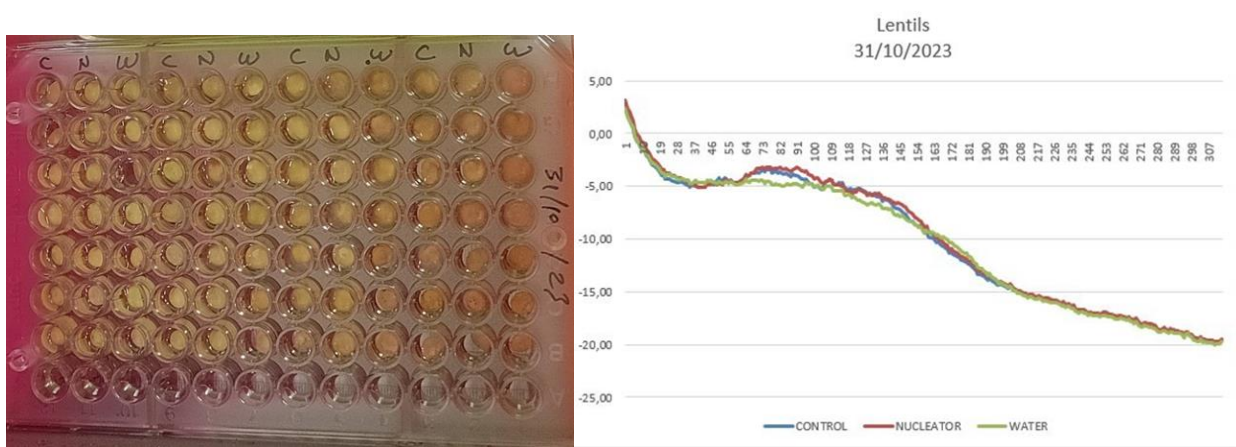


Εικόνα 6.1.15 Δείγματα αμέσως μετά την διαδικασία του παγώματος



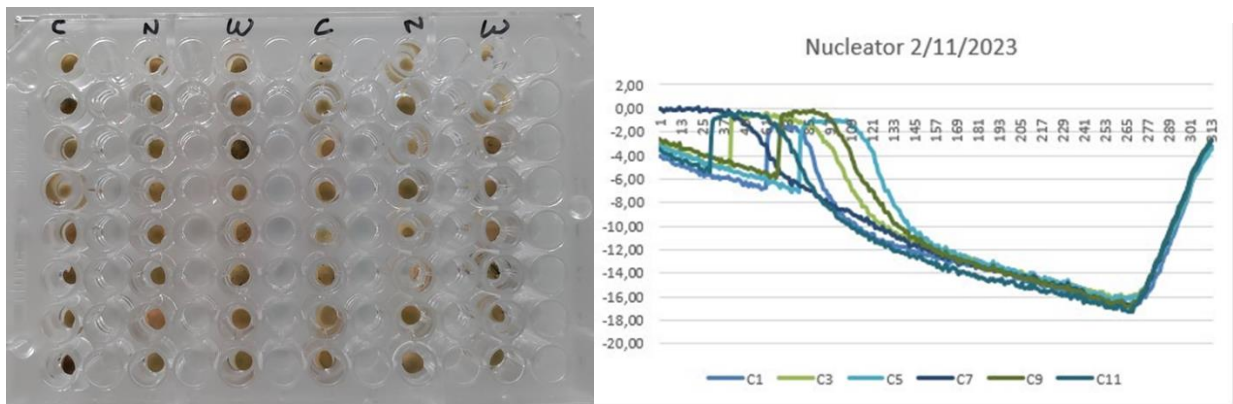
Εικόνα 6.1.2 Δείγματα μη ενυδατωμένων σπόρων δύο εβδομάδων μετά τη πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους σπόρους φακής



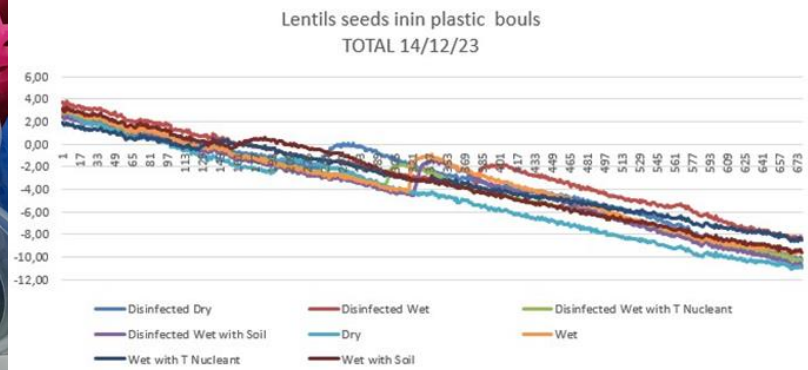
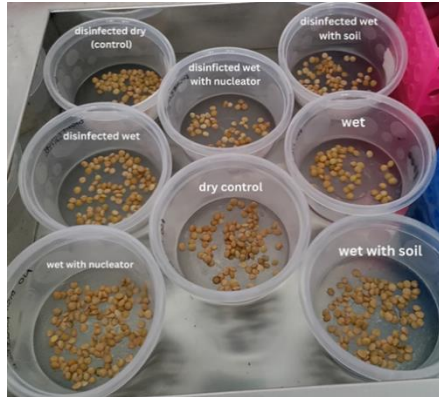
Εικόνα 6.2 Διάγραμμα θερμοκρασίας παγωμάτων όλων των δειγμάτων

Πειραματική διαδικασία με μη ενυδατωμένους σπόρους φακής

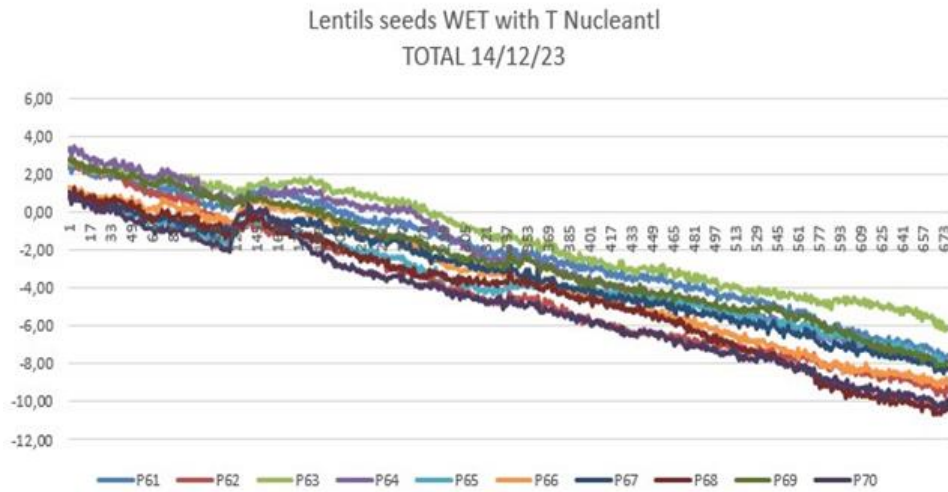


Εικόνα 6.3 Διάγραμμα θερμοκρασίας παγωμάτων των σπόρων που είχαν εμβαπτιστεί με παγοπυρήνα

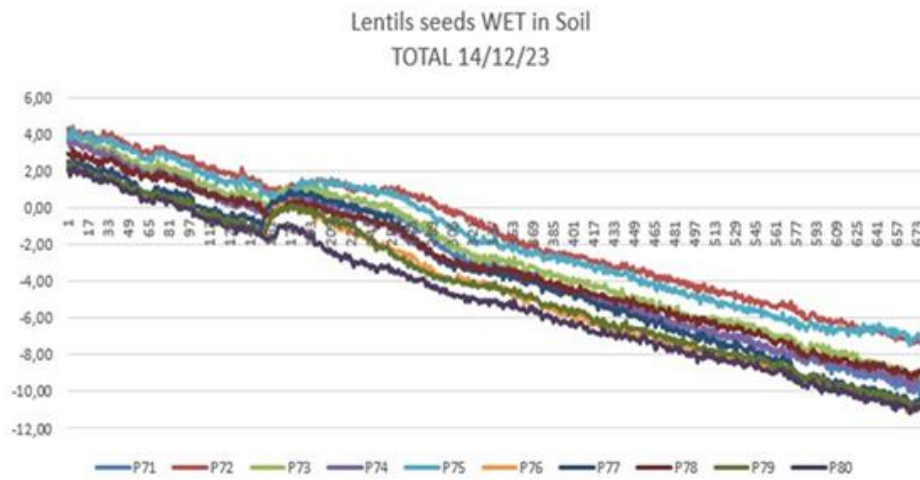
Πειραματική διαδικασία με απολυμασμένους μη ενυδατωμένους σπόρους φακής



Εικόνα 6.4.1 Διάγραμμα θερμοκρασίας παγωμάτων όλων των δειγμάτων



Εικόνα 6.4.2 Διάγραμμα θερμοκρασίας παγωμάτων των σπόρων που είχαν εμβλαπτιστεί με παγοπιρήνα

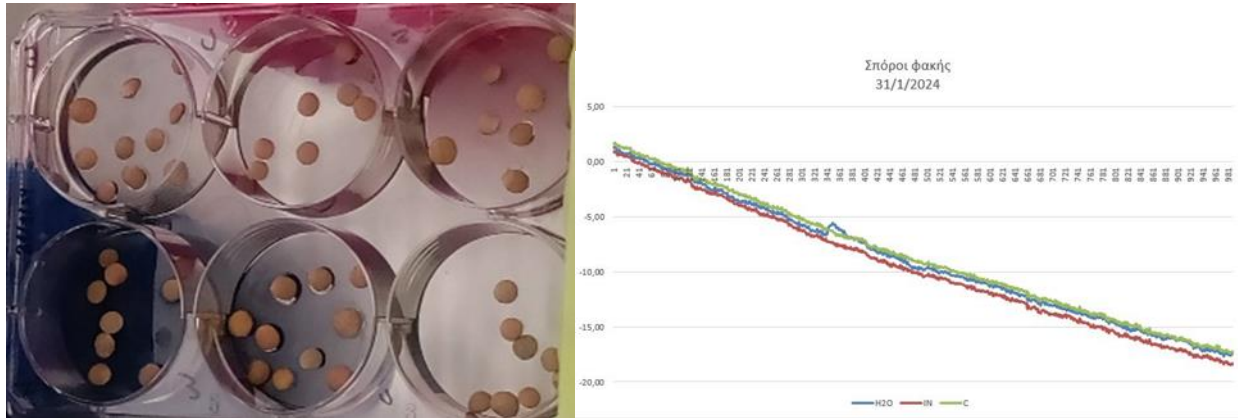


Διάγραμμα θερμοκρασίας παγωμάτων των σπόρων που είχαν εμβλαπτιστεί με νωπό χρώμα

Sample	Nucleus Point	Freezing Point	NP-FP	RESULTS
Disinfected Wet with Soil	-4,52	-1,20	-4,52+1,20	-3,30
Disinfected Wet with T- Nucleator	-3,70	-1,84	-3,70+1,84	-1,90
Disinfected Dry (Control)	-2,14	-0,11	-2,14+0,11	-1
Disinfected Wet	-3,84	-1,98	-3,84+1,98	-2
Wet with Nucleator	-0,49	+0,23	-0,49-0,23	-0,36
Wet with Soil	-0,36	+0,37	-0,36-0,37	0
Wet	-4,17	-1,34	-4,17+1,34	-2,77
Dry	-2,47	-1,44	-2,47+1,44	-1

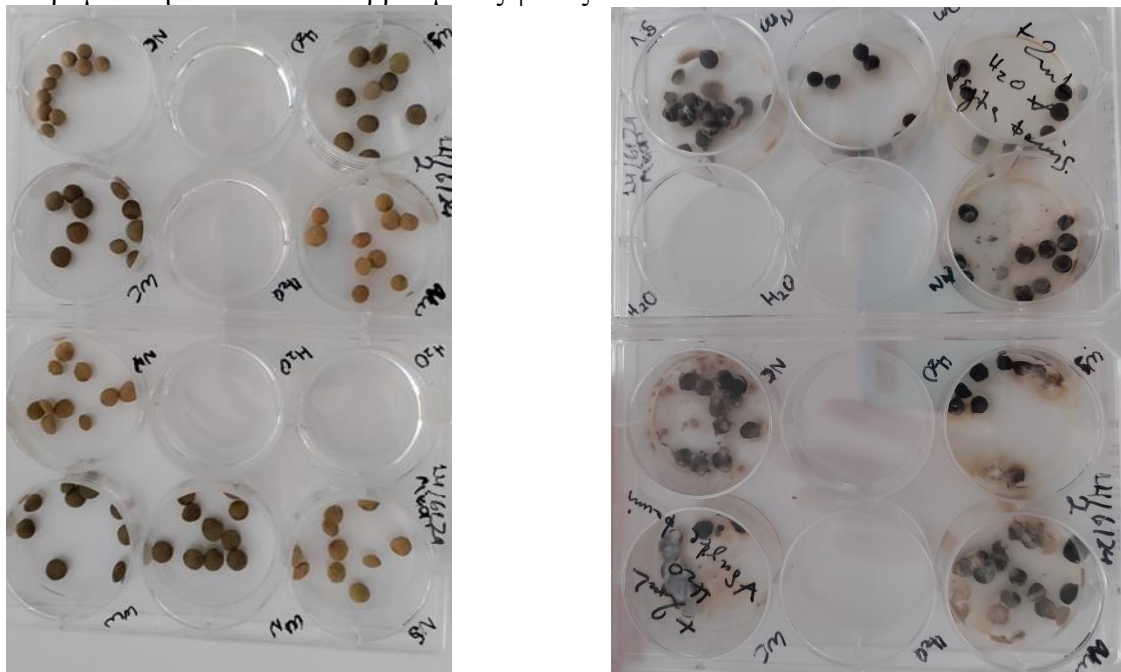
Πίνακας 1 αποτελεσμάτων παγωμάτων

Πειραματική διαδικασία με μη ενυδατωμένους σπόρους φακής



Εικόνα 6.5 6 Διάγραμμα θερμοκρασίας παγωμάτων όλων των δειγμάτων

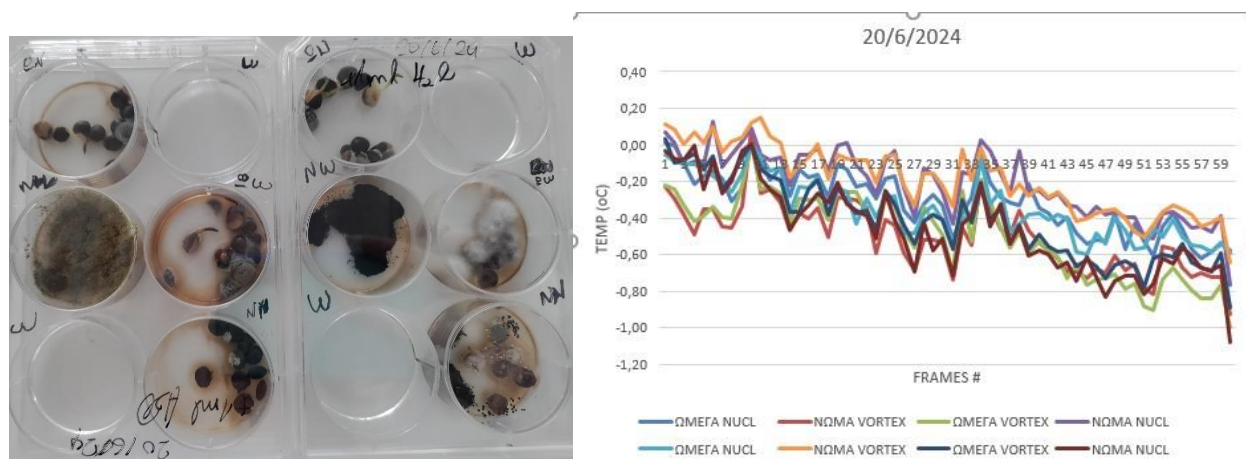
Πειραματική διαδικασία σε βρασμένες φακές



Ενυδατωμένοι και εμβαπτισμένοι με νερό και χώμα	1,933
Ενυδατωμένοι και βρασμένοι σε ατμό	0,825
Ενυδατωμένοι και εμβαπτισμένοι σε νερό με παγοπυρήνα	1,960
Ενυδατωμένοι και εμβαπτισμένοι σε νερό με vortex	1,848
Μη ενυδατωμένοι και εμβαπτισμένοι σε νερό με χώμα	1,880
Μη ενυδατωμένοι και βρασμένοι σε ατμό	1,284
Μη ενυδατωμένοι και εμβαπτισμένοι σε νερό με παγοπυρήνα	1,882
Μη ενυδατωμένοι και εμβαπτισμένοι σε νερό με vortex	0,896

Πίνακας 2 Αποτελέσματα φασματογράφου

Πειραματική διαδικασία σε διαφορετικές εταιρίες παραγωγής (ΩΜΕΓΑ και ΝΩΜΑ)



Εικόνα 7 διάγραμμα παγωμάτων διαφορετικών εταιριών

Προβλήματα που παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια μερικών πειραμάτων:

- Κατά την πρώτη πειραματική διαδικασία η πλάκα κυτταροκαλλιέργειας δεν είχε στηριχθεί κατάλληλα όσο αυτό επέπλεε στο υγρό της βιοαιθανόλης με αποτέλεσμα τα δείγματα να μετακινούνται κατά την διάρκεια της βιντεοσκόπησης και το πείραμα να πρέπει να επαναληφθεί
- Παρουσιάστηκαν αρκετά προβλήματα κατά την διάρκεια της βιντεοσκόπησης των παγωμάτων, εξαιτίας του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε, με αποτέλεσμα να ήταν αναγκαία η επανάληψη κάποιων από των πειραματικών διαδικασιών
- Τα νωπά βαμβάκια, που τοποθετήθηκαν μέσα στα μολάκια κατά τη διάρκεια του παγώματος, επηρέασαν τα παγώματα των σπόρων, διότι πάγωναν ανεξαρτήτως των σπόρων, πράγμα που οδήγησε σε λανθασμένα αποτελέσματα. Έτσι έπρεπε να επαναληφθεί το πείραμα.
- Η χρήση φασματογράφου έπρεπε να γίνει αμέσως μετά την ολοκλήρωση του πειράματος, διότι με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν βακτήρια τα οποία μας απέτρεπαν από το να μετρηθεί το πραγματικό χρώμα των δειγμάτων
- Οι μετρήσεις στα διαγράμματα έχουν αποκλίσεις και θα έπρεπε να βρίσκονται πιο κοντά στους 0 οC.

Παρατηρήθηκαν τα εξής αποτελέσματα:

- Στους μη ενυδατωμένους σπόρους δεν εμφανίστηκαν παγώματα.
- Οι φακές που δεν είχαν υποστεί ενυδάτωση είχαν καλύτερα αποτελέσματα, ενώ παράλληλα οι φακές με τον παγοπυρήνα είχαν φυτρώσει και είχαν διατηρηθεί καλύτερα σε σχέση με τα υπόλοιπα ενυδατωμένα δείγματα. Η διαφορά ανάμεσα στη διάρκεια ζωής των ενυδατωμένων και μη ενυδατωμένων σπόρων φακής μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός, ότι οι ενυδατωμένοι σπόροι είχαν μεγαλύτερο ποσοστό νερού στο εσωτερικό, πράγμα που οδήγησε στο σχηματισμό μεγαλύτερων παγοκρυστάλλων και κατά συνέπεια στην ταχύτερη νέκρωση των σπόρων. Ο παγοπυρήνας δεν μπορούσε να προστατέψει τους ενυδατωμένους σπόρους με τη δημιουργία μικρότερων παγοκρυστάλλων, διότι ο χρόνος επαφής τους ήταν πολύ μικρός και δεν πρόλαβε να εισχωρήσει στο εσωτερικό τους.
- Από τα διαγράμματα μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οι φακές, που είχαν εμβλαπτιστεί με παγοπυρήνα, φαίνεται να πάγωσαν σε ελάχιστα υψηλότερη θερμοκρασία (περίπου -4o c) σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δείγματα.
- Παρατηρήθηκε πως οι ξηροί σπόροι δεν πάγωσαν εξαιτίας της έλλειψης ποσότητας νερού.
- Οι σπόροι φακής που απολυμαίνονται, νεκρώνονται και παγώνουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τους μη απολυμασμένους σπόρους .

- Οι σπόροι, που δεν είχαν απολυμανθεί και είχαν εμβλαπτιστεί σε νερό με νωπό χώμα πάγωσαν σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δείγματα, κάτι που μπορεί να αποδοθεί στις ψευδομονάδες, δηλαδή τους ενεργούς βιολογικούς παγοπυρήνες που υπήρχαν στο χώμα, καθώς η βροχή το εμπλούτισε με αυτές.
- Τα δείγματα που δεν είχαν απολυμανθεί και είχαν εμβλαπτιστεί σε νερό με παγοπυρήνα παρουσιάζουν τα δεύτερα καλύτερα αποτελέσματα, με τα παγώματα να βρίσκονται στους 0,36°C.
- Το γεγονός ότι τα αποτελέσματα αυτών των δύο κατηγοριών δειγμάτων είναι τόσο κοντά, σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αδρανείς παγοπυρήνες για την αντικατάσταση των βιολογικών.
- Οι αδρανείς παγοπυρήνες μπορούν να βοηθήσουν στην κανονικοποίηση της ψύξης των σπόρων σε βαθμούς που βρίσκονται κοντά στο 0.
- Στους σπόρους που είχαν εμβλαπτιστεί με παγοπυρήνα παρατηρείται πως η ταχύτητα ανάπτυξης βακτηρίων και μικροοργανισμών είναι μικρότερη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δείγματα
- Οι βρασμένοι σπόροι νεκρώνονται και δεν έχουν την δυνατότητα αναγέννησης
- Στους σπόρους από την εταιρία Νώμα παρουσιάζονται παγώματα, ενώ στους σπόρους από την εταιρία ΩΜΕΓΑ δεν παρατηρούνται παγώματα
- Οι σπόροι από την εταιρία Νώμα δεν βλάστησαν, ενώ οι σπόροι από την εταιρία ΩΜΕΓΑ βλάστησαν
- Παρουσιάζονται οι περισσότερες μολύνσεις στους σπόρους από την εταιρία Νώμα, ενώ οι λιγότερες μολύνσεις παρουσιάζεται στους σπόρους από την εταιρία ΩΜΕΓΑ που είχαν εμβλαπτιστεί με παγοπυρήνα και vortex.
- Η θετικής επίδραση που είχε το vortex στα παγώματα και στην μειωμένη ταχύτητα ανάπτυξης μικροοργανισμών μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το αέριο που δημιουργήθηκε κατά την διαδικασία του vortex, λειτούργησε ως ετερογενές μέσο και προώθησε τη δημιουργία παγοπυρήνων. Έτσι, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατάψυξης, η ύπαρξη φυσαλίδων άλλαξε την αναλογία πυκνότητας στερεού-υγρού και το σχήμα των σταγονιδίων. (Li et al., 2022)

Προτάσεις για μελλοντικό σχεδιασμό:

Υπάρχουν διάφορες τροποποιήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν για την διεξαγωγή καλύτερων και σωστότερων αποτελεσμάτων, καθώς και άλλων παραγόντων που μπορούν να ελεγχθούν, για παράδειγμα:

Η συσχέτιση μεταξύ των σπόρων που αναγεννήθηκαν μετά το πάγωμα και αυτών που νεκρώθηκαν με την χρήση παγοπυρήνα καθιστάται αδύνατη αυτή την χρονική στιγμή. Έτσι μια μελλοντική επέκταση του πειράματος θα μπορούσε να είναι η χρήση ορυκτού παγοπυρήνα feldspar, με απώτερο σκοπό την σύγκριση των δύο παγοπυρήνων και την κατανόηση αν ο παγοπυρήνας με τον κωδικό όνομα Nuc-T ευθύνεται για τις μειωμένες εμφανίσεις μολύνσεων ή αν είναι χαρακτηριστικό των ορυκτών παγοπυρήνων.

Επίσης η πειραματική διαδικασία θα μπορούσε να επαναληφθεί με την χρήση 96αρων πλάκων κυτταροκαλλιέργειας, όπου τα δείγματα θα τοποθετούνται σειρά ανά σειρά, ενώ παράλληλα θα αποφεύγεται η τοποθέτηση τους στο περίγραμμα της πλάκας. Η επανάληψη αυτή θα πετύχει την αποφυγή της επιρροής του ενός παγώματος από τον άλλον και τα αποτελέσματα θα είναι πιο σίγουρο αν προκλήθηκαν ανεξάρτητα ή εξαιτίας των γειτονικών δειγμάτων.

Θα μπορούσε να ελεγχθεί η ανθεκτικότητα της φακής στην ξηρασία() με βάση τα παγώματα. Άμα οι σπόροι φακής είναι όντως ανθεκτικοί στην ξηρασία, τότε θα πρέπει να είναι ανάλογα ευαίσθητοι στον παγετό και την κατάψυξη. Καθώς το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής επιδεινώνεται με την πάροδο των χρόνων, είναι καλό να επικεντρωθούμε στις τροφές που έχουν την δυνατότητα να αντέξουν στην ξηρασία, στις υψηλές θερμοκρασίες και στην έλλειψη ύπαρξης νερού.

Επιπροσθέτως, σε μια μελλοντική επανάληψη θα μπορούσε να εξεταστούν ακόμα περισσότερες εταιρίες και να συγκριθούν οι προ επεξεργασίες που καθίστανται οι σπόροι, διότι όχι μόνο μπορεί να διαφέρουν από εταιρία σε εταιρία, αλλά και μπορεί να επηρεάζουν τα παγώματα, την βλάστηση και την διάρκεια ζωής.

Τέλος για να υπάρχει ένα μεγαλύτερο εύρος αποτελεσμάτων, προτείνεται η επανάληψη των πειραματικών διαδικασιών, αλλά σε μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων, πράγμα που θα οδηγήσει σε πιο ακριβείς αναλύσεις αποτελεσμάτων

Κεφάλαιο 8

Βιβλιογραφία

Γιαννοπολίτης, Κ., Μ.Δαμανάκης και Ε.Πασπάτης. 1980. Φακή. Εγχειρίδιο

Ali, T.M., Butt, N.A. and Hasnain, A. (2023). Global Consumption and Culinary Trends in Lentil Utilization. Σελ. 393–414. doi:<https://doi.org/10.1002/9781119866923.ch16>.

Annor, G.A., Ma, Z. and Boye, J.I. (2014). Crops - Legumes. *Food Processing*, σελ. 305–337. doi:<https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch14>.

Ball, P. (2017). Water is an active matrix of life for cell and molecular biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [online] 114(51), σελ. 13327–13335. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1703781114>.

Daily, M.I., Whale, T.F., Kilbride, P., Lamb, S., G John Morris, Picton, H.M. and Murray, B.J. (2023). A highly active mineral-based ice nucleating agent supports *in situ* cell cryopreservation in a high throughput format. *Journal of the Royal Society interface*, 20(199). doi:<https://doi.org/10.1098/rsif.2022.0682>.

deve (2021). [online] Shonti.com. Διαθέσιμο στο: <https://www.shonti.com/blog/general-info/disadvantages-of-frozen-foods-1667/>.

Georgakopoulos, D.G. (2021). Biological Ice Nucleators in Snow Samples from Greece. *Atmosphere*, 12(11), σελ.1461. doi:<https://doi.org/10.3390/atmos12111461>.

H. A. Alsailawi, Mustafa Mudhafar and M. M. Abdulrasool (2020). Effect of Frozen Storage on the Quality of Frozen Foods—A Review. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 14(3). doi:<https://doi.org/10.17265/1934-7375/2020.03.002>.

Innerbody. (n.d.). *Pros and Cons of Frozen Food*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://www.innerbody.com/pros-and-cons-of-frozen-food>.

Jené, L. and Munné-Bosch, S. (2023). Factors influencing tocopherol content and composition in lentils. *LWT*, [online] 187, σελ.115-286. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115286>.

Kiani, H. and Sun, D.-W. (2011). Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 22(8), σελ.407–426. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.011>.

- Li, Y., Li, M., Dang, C. and Liu, X. (2022). Effects of dissolved gas on the nucleation and growth of ice crystals in freezing droplets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, [online] 184, σελ.122334. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122334>.
- Libbrecht, K.G. (2017). Physical Dynamics of Ice Crystal Growth. *Annual Review of Materials Research*, 47(1), σελ.271–295. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070616-124135>.
- Lundheim, R. (2002). Physiological and Ecological Significance of Biological Ice Nucleators. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, [online] 357(1423), σελ.937–943. Available at: https://www.jstor.org/stable/3066912?read-now=1#page_scan_tab_contents [Accessed 23 Jun. 2024].
- Maeda, N. (2021). Brief Overview of Ice Nucleation. *Molecules*, [online] 26(2), σελ.392. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules26020392>.
- Miyawaki, O. (2018). Water and Freezing in Food. *Food Science and Technology Research*, [online] 24(1), σελ.1–21. doi:<https://doi.org/10.3136/fstr.24.1>.
- old-ib.bioninja.com.au. (n.d.). *Significance of Water | BioNinja*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://old-ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-2-molecular-biology/22-water/significance-of-water.html> [Accessed 23 Jun. 2024].
- Primacella, M. (2023). Issue 4 1 Opinion Citation: Primacella M. Food freezing: The science, techniques, and benefits of preserving freshness. *J Food Technol Pres*, [online] 7(4), σελ.183. doi:<https://doi.org/10.35841/2591-796X-7.4.183>.
- Research, S. (n.d.). *Frozen Food Market Size to Splash US\$419.5 billion by 2032*. [online] straitsresearch.com. Διαθέσιμο στο: <https://straitsresearch.com/report/frozen-food-market/segmentation> [Accessed 23 Jun. 2024].
- Sargen, M. (2019). *Biological Roles of Water: Why is water necessary for life?* [online] Science in the News. Διαθέσιμο στο: <https://sitn.hms.harvard.edu/uncategorized/2019/biological-roles-of-water-why-is-water-necessary-for-life/>.
- Schafer, W. and Driessen, S. (2018). *The science of freezing foods | UMN Extension*. [online] Umn.edu. Διαθέσιμο στο: <https://extension.umn.edu/preserving-and-preparing/science-freezing-foods>.
- Siva, N., Thavarajah, P. and Thavarajah, D. (2018). The impact of processing and cooking on prebiotic carbohydrates in lentil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 70, σελ.72–77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.04.006>.

Sun, L., Zhu, Z. and Sun, D. (2023). Regulating ice formation for enhancing frozen food quality: Materials, mechanisms and challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 139, σελ. 104116–104116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.013>.

Wiggins, P.M. (1990). Role of water in some biological processes. *Microbiological Reviews*, 54(4), σελ.432–449. doi:<https://doi.org/10.1128/mr.54.4.432-449.1990>.

Zhu, Z., Zhou, Q. and Sun, D.-W. (2019). Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, [online] 90, σελ.13–25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.012>.