

ΧΗΜΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Ενότητα 1^η: Νερό

Δημήτρης Π. Μακρής *PhD DIC*
Καθηγητής Γεωργικής Χημείας



**Τμήμα
Γεωπονίας**

© 2026 - 2027

1. Το νερό στα τρόφιμα

Η ικανότητα του νερού να διαλύει μια ποικιλία υλικών το καθιστά έναν σχεδόν καθολικό διαλύτη. Το νερό συνεισφέρει σημαντικά στο να καθοριστούν τα φυσικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, όπως το κρέας, τα λαχανικά και οι καρποί. Για τα πολυμερή των τροφίμων, το νερό λειτουργεί ως δομική ουσία και πλαστικοποιητής, συνεισφέροντας στα χαρακτηριστικά των πρωτεϊνών, του άμυλου και των ινών.

Το νερό λειτουργεί και ως διαλύτης ή μέσο διασποράς σ' ένα μεγάλο εύρος τροφίμων, όπως το γάλα, οι χυμοί και άλλα ποτά. Μπορεί να είναι διεσπαρμένο σε γαλακτώματα σε προϊόντα όπως το βούτυρο ή η μαργαρίνη, ή να είναι η συνεχής φάση σε γαλακτώματα όπως η μαγιονέζα.

Το νερό προσδιορίζει την φυσική, χημική και μικροβιολογική σταθερότητα των τροφίμων. Όταν το νερό παγώνει και ξεπαγώνει, η φύση του τροφίμου μπορεί ν' αλλάξει δραματικά. Πολλές διεργασίες στα τρόφιμα εμπλέκουν την προσθήκη ή αφαίρεση νερού, που αλλάζει την σταθερότητα ή την φύση του τροφίμου.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού είναι σημαντικές στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το νερό συνεισφέρει στην επεξεργασία των τροφίμων. Οι εξαιρετικά υψηλές τιμές των θερμοδυναμικών παραμέτρων (ενέργεια απόψυξης, ενέργεια ατμοποίησης) του νερού είναι σημαντικές για διεργασίες, όπως η ψύξη και η ξήρανση. Η μεγάλη διαστολή του νερού κατά την πήξη του μπορεί να συνεισφέρει σε δομικές αλλοιώσεις κατά την ψύξη των τροφίμων.

2. Φυσικές ιδιότητες νερού και πάγου

Η πήξη του νερού στα τρόφιμα συμβαίνει μέσα σ' ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, έχοντας ως αποτέλεσμα την άσκηση πίεσης. Οι δομικές αλλοιώσεις μπορεί να επέλθουν από διακυμάνσεις στην θερμοκρασία, ακόμα κι αν αυτές οι διακυμάνσεις παραμένουν σε χαμηλότερα επίπεδα από το σημείο πήξεως του νερού, μιας και η αύξηση μεγέθους των κρυστάλλων ασκεί πίεση στα κύτταρα.

Αυτό είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των κατεψυγμένων τροφίμων. Ένα παράδειγμα είναι οι κατεψυγμένες φράουλες, οι οποίες χάνουν ένα μεγάλο μέρος της υφής τους μετά από έναν κύκλο ψύξης/απόψυξης, λόγω απώλειας της κυτταρικής συνοχής.

Όταν αναμιγνύεται πάγος και νερό, η θερμοκρασία του διαλύματος θα είναι 0°C , για όσο διάστημα συνυπάρχουν οι δύο φάσεις. Το σημείο 0°C είναι το σημείο πήξης του νερού και το σημείο τήξης του πάγου, και ονομάζεται σημείο ισορροπίας. Αν το νερό ψυχθεί στους 0°C δεν πήζει, αλλά θα πρέπει να ψυχθεί κάτω από τους 0°C πριν αρχίσει η πήξη. Ομοίως, ο πάγος θα πρέπει να θερμανθεί λίγο πάνω από τους 0°C για να ξεκινήσει η τήξη.

Αντιθέτως, για την έναρξη του σχηματισμού πάγου το νερό πρέπει να ψυχθεί αρκετά πιο κάτω από το σημείο πήξεως. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει η ανάγκη πυρήνωσης (nucleation) πριν γίνει έναρξη της αύξησης του μεγέθους των κρυστάλλων. Η πυρήνωση είναι η διεργασία μέσω της οποίας ένας ελάχιστος αριθμός μορίων νερού σχηματίζει ένα έμβρυο, το οποίο αυξάνει για να σχηματίσει έναν κρύσταλλο. Μετά επέρχεται περεταίρω αύξηση των κρυστάλλων.

3. Δομή του μορίου νερού

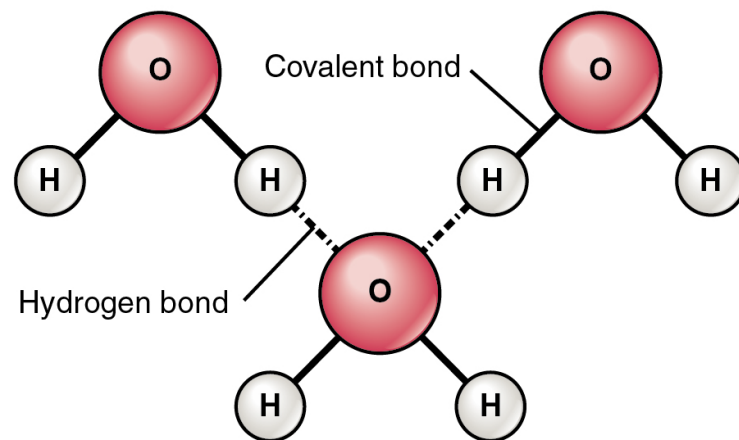
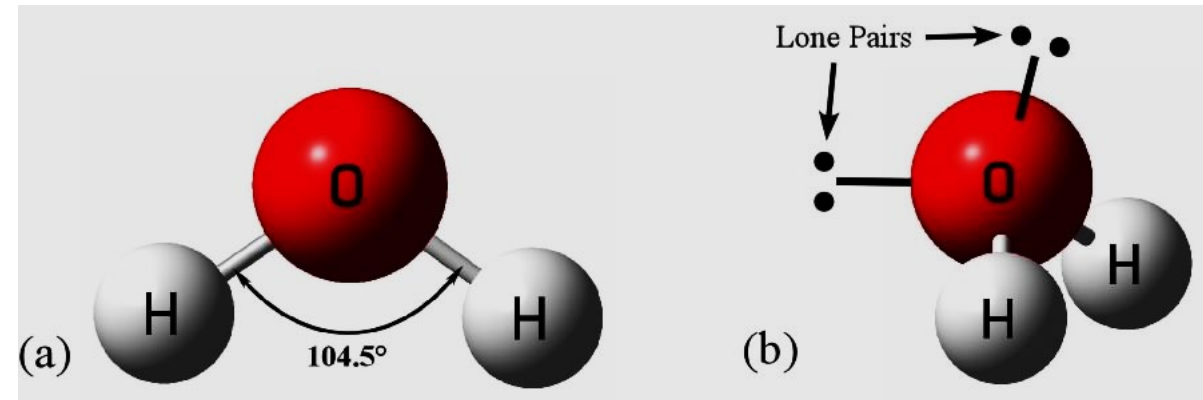
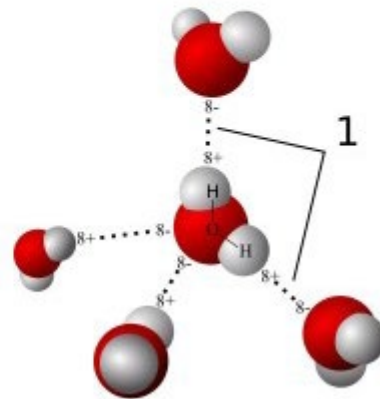
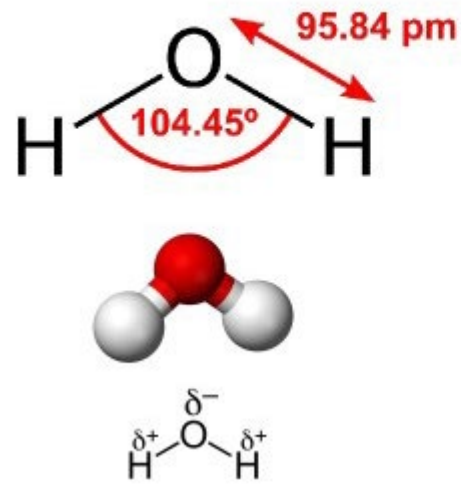
Οι μοναδικές ιδιότητες του νερού είναι αποτέλεσμα της δομής του μορίου νερού (βλέπε εικόνα), και των διηλεκτρικών ιδιοτήτων, οι οποίες του επιτρέπουν να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου. Το πιο ηλεκτραρνητικό άτομο οξυγόνου έλκει ηλεκτρόνια και αυτό έχει ως συνέπεια την μεγάλη πόλωση του δεσμού O–H. Έτσι, το μόριο του νερού συμπεριφέρεται σαν δίπολο και αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των γειτονικών μορίων, ισχυρότερες από τις συνήθεις δυνάμεις van der Waals.

Σε κατάσταση πήξης, κάθε μόριο νερού δέχεται δύο δεσμούς υδρογόνου από δύο άλλα μόρια και προσφέρει δύο άτομα υδρογόνου, για την δημιουργία δεσμών υδρογόνου με δύο ή περισσότερα μόρια νερού, σχηματίζοντας μια ανοιχτή δομή σαν κλωβό (βλέπε εικόνα). Η δομή του υγρού νερού είναι πολύ όμοια, αλλά στην υγρή φάση οι δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται και διασπώνται συνεχώς λόγω της ταχείας μοριακής κίνησης.

Στην υγρή φάση, κάθε άτομο οξυγόνου μπορεί να σχηματίσει δύο δεσμούς υδρογόνου χρησιμοποιώντας αμφότερα τα μονήρη ζεύγη ηλεκτρονίων. Το υγρό νερό περιέχει συσσωματώματα από μόρια νερού κυμαινόμενου πλήθους, τα οποία συγκρατούνται από δεσμούς υδρογόνου, και από «ελεύθερα» μόρια νερού, σε ισορροπία. Αυτά τα συσσωματώματα δημιουργούνται και καταστρέφονται συνεχώς, ανάλογα με την θερμοκρασία.

The Water Molecule

Its Dipole Attraction



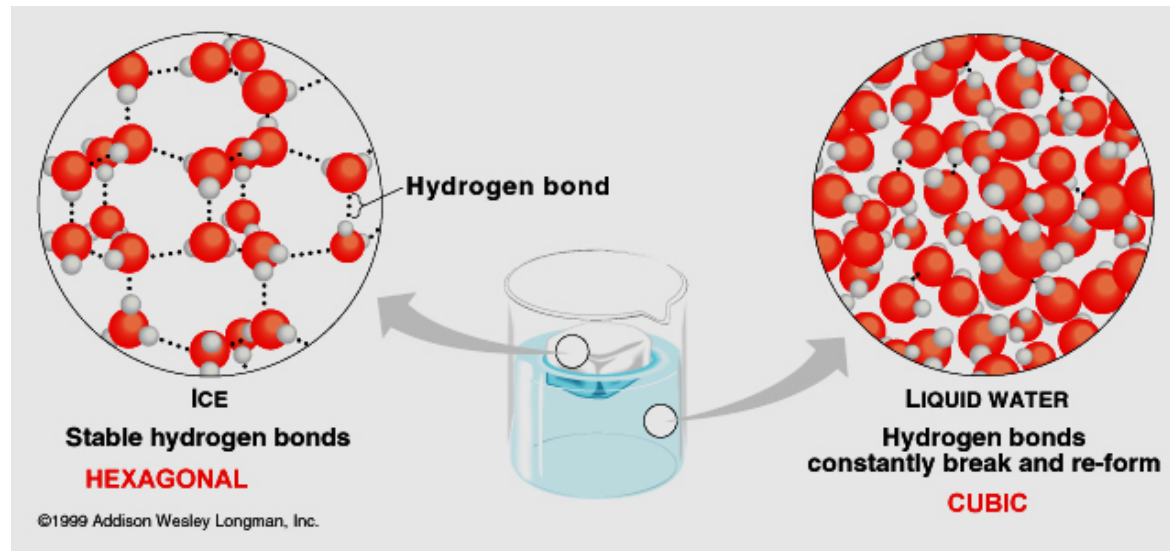
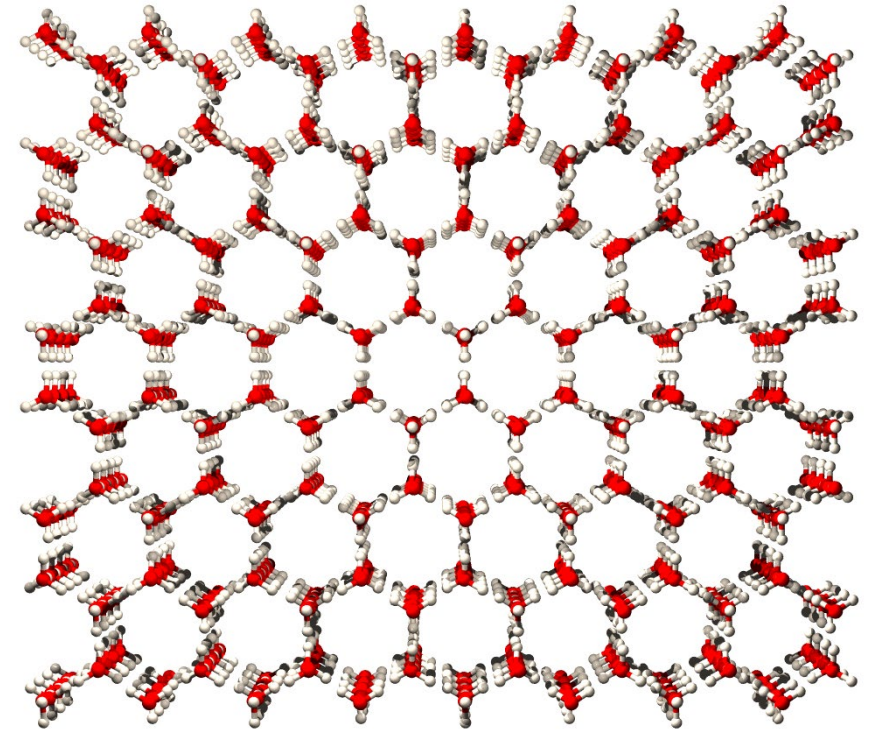
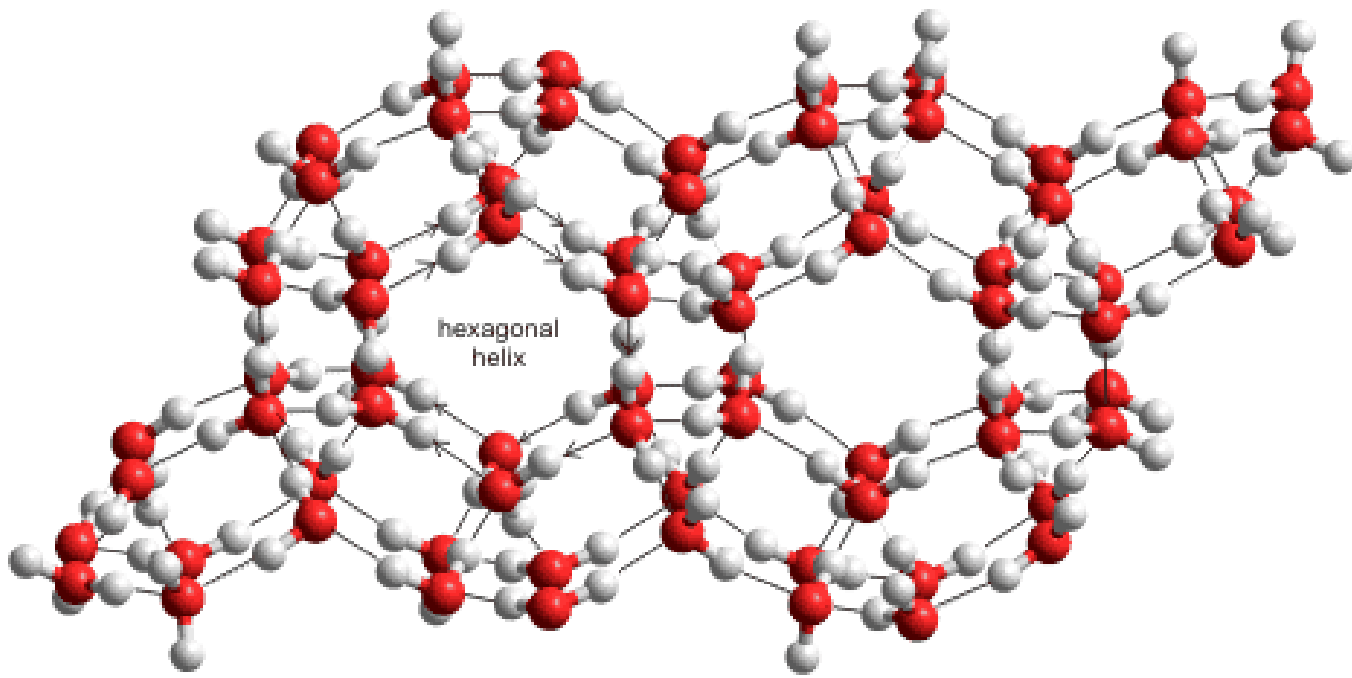
3. Δομή του μορίου νερού

Ο σχηματισμός της κρυσταλλικής δομής του πάγου έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων διαστημάτων μεταξύ των μορίων νερού, κι έτσι ο πάγος εμφανίζει μικρότερη πυκνότητα σε σχέση με το υγρό νερό.

Όταν ο πάγος λιώνει, διασπώνται μερικοί από τους δεσμούς υδρογόνου και τα μόρια του νερού αποκτούν μεγαλύτερη εγγύτητα. Αυτό το φαινόμενο αυξάνει την πυκνότητα του νερού πάνω από το σημείο τήξεως των 0°C . Η πυκνότητα του νερού λαμβάνει μέγιστη τιμή 1 g/mL στους 4°C . Πάνω από τους 4°C η πυκνότητα μειώνεται λόγω της φυσιολογικής επίδρασης την θερμοκρασίας.

Στον πάγο, ένα μόριο νερού συνδέεται με τέσσερα άλλα σε μια τετραεδρική διευθέτηση. Αυτή η διευθέτηση σχηματίζει εξαγωνικό κρυσταλλικό πλέγμα (βλέπε εικόνα). Το πλέγμα είναι συγκρατείται χαλαρά και εμφανίζει σχετικά μεγάλα κενά διαστήματα.

Αυτά τα κενά διαστήματα στην δομή του πάγου έχουν ως αποτέλεσμα την διαστολή κατά την διάρκεια της πήξης, γι' αυτό και ο πάγος επιπλέει στο νερό.



4. Η δομή του πάγου

Στους 0 °C σχεδόν οι μισοί από τους δεσμούς υδρογόνου παραμένουν αδιάσπαστοι, ενώ ακόμα και στους 100 °C περίπου το 1/3 των δεσμών εξακολουθούν να υπάρχουν. Οι δεσμοί υδρογόνου διασπώνται όταν το νερό μετατρέπεται σε ατμό, στους 100 °C. Αυτό εξηγεί και την υψηλή θερμότητα ατμοποίησης του νερού.

Η αργή ψύξη έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων πάγου, που βρίσκονται αποκλειστικά εξωκυτταρικά. Η ταχεία ψύξη καταλήγει στην δημιουργία μικροσκοπικών κρυστάλλων που βρίσκονται μέσα και έξω από τα κύτταρα. Κατά την πήξη, το νερό μετατρέπεται σε πάγο υψηλής καθαρότητας και η συγκέντρωση των διαλυμένων συστατικών στο μη-παγωμένο υγρό αυξάνει σταδιακά.

Αυτό συνοδεύεται από μεταβολές στο pH, την ιοντική ισχύ, το ιξώδες, την ωσμωτική πίεση, την τάση ατμών και άλλες ιδιότητες.

5. Ενεργότητα νερού (water activity - a_w)

Η ενεργότητα νερού (a_w) είναι η μερική τάση ατμών του νερού σ' ένα σώμα (τρόφιμο) δια την μερική τάση ατμών του νερού στην ίδια θερμοκρασία. Ουσιαστικά, είναι μια έκφραση της σχετικής υγρασίας που περιβάλλει ένα τρόφιμο. Η τάση ατμών θεμελιώδους κατάσταση (standard state vapor pressure) ορίζεται συχνά ως η μερική τάση ατμών του καθαρού νερού στην ίδια θερμοκρασία. Η τάση ατμών του καθαρού απεσταγμένου νερού έχει ενεργότητα νερού ακριβώς 1.

Καθώς αυξάνει η θερμοκρασία, η a_w αυξάνει, με εξαίρεση μερικά προϊόντα με κρυσταλλικό άλας ή ζάχαρη. Η ενεργότητα νερού είναι μια φυσικοχημική ποσότητα και έχει εφαρμογή σε συστήματα που βρίσκονται σε ισορροπία.

Ο έλεγχος της a_w στα τρόφιμα είναι κρίσιμος για την διατήρηση της ποιότητας και μικροβιολογικής σταθερότητας. Η χαμηλή a_w αναστέλλει την μικροβιακή ανάπτυξη, και εξασφαλίζει δομικά χαρακτηριστικά, όπως η τραγανότητα, σε προϊόντα όπως τα σνακς και τα δημητριακά.

Η a_w πρέπει να ρυθμίζεται προσεκτικά για να λαμβάνεται βέλτιστη ποιότητα αφυδατωμένων τροφίμων και τροφίμων ενδιάμεσης υγρασίας. Τρόφιμα με $a_w > 0.95$ (ισοδύναμη περίπου 43% w/w ζαχαρόζη) τείνουν να είναι πολύ ευαίσθητα σε αλλοιώσεις και επιρρεπή σε μικροβιακή ανάπτυξη.

5. Ενεργότητα νερού (a_w)

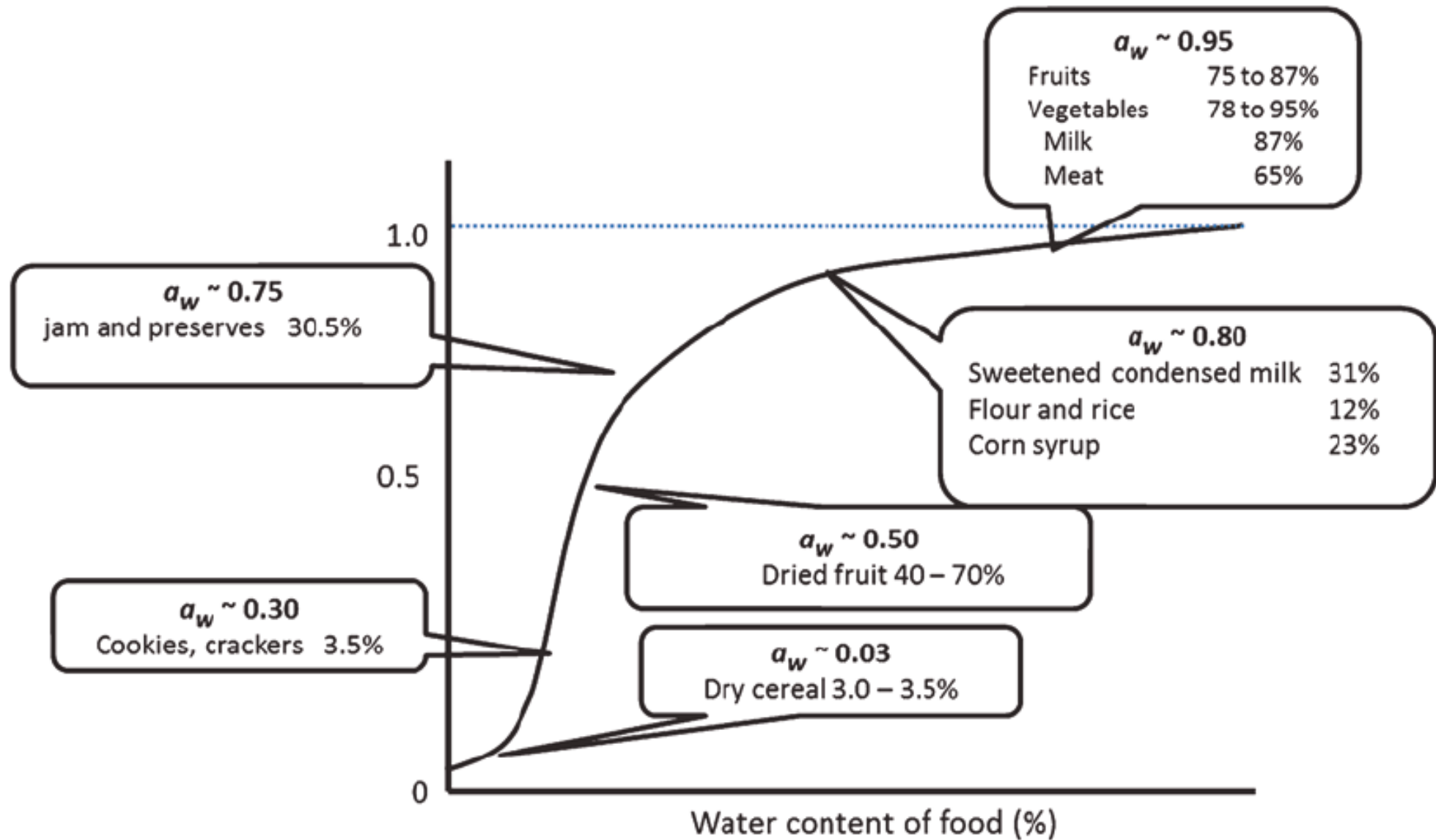
Τα περισσότερα βακτήρια αναστέλλονται σε σχεδόν $a_w = 0.91$ (ισοδύναμη περίπου 57% w/w ζαχαρόζη)· ομοίως, οι περισσότερες ζύμες σταματούν ν' αναπτύσσονται κάτω από $a_w = 0.87$ (ισοδύναμη περίπου 65% w/w ζαχαρόζη) και οι περισσότεροι ευρωτομύκητες παύουν ν' αναπτύσσονται σε $a_w > 0.80$ (ισοδύναμη περίπου 73% w/w ζαχαρόζη).

Το χαμηλότερο όριο μικροβιακής ανάπτυξης είναι περίπου $a_w = 0.6$. Προϊόντα με υψηλότερη a_w τείνουν να υποστηρίζουν περισσότερο την μικροβιακή ανάπτυξη.

Το νερό μεταναστεύει από περιοχές υψηλής a_w σε περιοχές χαμηλότερης a_w . Για παράδειγμα, αν ένα σιρόπι ζάχαρης ή ένα μέλι έχει $a_w \approx 0.6$, και η σχετική υγρασία του υπερκείμενου αέρα είναι 0.85, το σιρόπι θ' απορροφήσει υγρασία από τον αέρα.

Μια συνέπεια αυτού είναι ότι η επιφάνεια τελικά θα εμπλουτισθεί με υγρασία αρκετή για ανάπτυξη ευρωτιάσεων (μούχλας). Ένα άλλο παράδειγμα είναι ότι crackers που έχουν $a_w = 0.3$, αν εκτεθούν σε αέρα με σχετική υγρασία 80%, θα απωλέσουν την τραγανότητά τους.

Η a_w δεν σχετίζεται άμεσα με την περιεκτικότητα ενός τρόφιμου σε νερό. Σχετίζεται με την ποσότητα των διαλυτών στερεών (soluble solids) και το μοριακό τους μέγεθος. Το συμπυκνωμένο γάλα περιέχει > 30% υγρασία και μόρια μικρών σακχάρων, αλλά έχει την ίδια a_w με το αλεύρι ή το ρύζι που περιέχουν περίπου 12% υγρασία, πρωτεΐνες και άμυλο.



5. Ενεργότητα νερού (a_w)

Η a_w επηρεάζει πολλά χαρακτηριστικά των τροφίμων που σχετίζονται με την ποιότητα:

- $a_w \sim 0.2-0.3$: Κάτω από αυτό το όριο, δεν συμβαίνουν αντιδράσεις που απαιτούν υδατική φάση.
- $a_w \sim 0.2-0.3$: Κάτω από αυτό το όριο αυξάνει η ταχύτητα οξείδωσης των λιπιδίων.
- $a_w \sim 0.35-0.4$: Παρατηρείται κολλώδης συμπεριφορά (stickiness) και συσσωμάτωση (caking).
- $a_w \sim 0.4-0.5$: Απώλεια τραγανότητας όταν απορροφηθεί υγρασία.
- $a_w \sim 0.5$: Έναρξη σκλήρυνσης (π.χ. σταφίδες) όταν απωλεσθεί υγρασία.
- $a_w \sim 0.6$: Έναρξη μικροβιακής ανάπτυξης.
- $a_w \sim 0.65-0.85$: Ενζυμική δραστηριότητα, οξείδωση λιπιδίων.
- $a_w \sim 0.85$: Έναρξη ανάπτυξης παθογόνων βακτηρίων.

5. Ενεργότητα νερού (a_w)

Η a_w είναι μια ιδιότητα υδατικών διαλυμάτων και υλικών που περιέχουν νερό, από την υγρή μορφή έως τις ξηρές σκόνες. Η a_w ορίζεται ως ο λόγος των τάσεων ατμών του καθαρού νερού και ενός διαλύματος:

$$a_w = \frac{p}{p_o}$$

Όπου a_w = η ενεργότητα νερού, p = η μερική τάση ατμών του νερού στο τρόφιμο, p_o = η τάση ατμών του νερού στην ίδια θερμοκρασία.

Σύμφωνα με το νόμο του Raoult, η μείωση της τάσης ατμών ενός διαλύματος είναι ανάλογη του μοριακού κλάσματος της διαλυμένης ουσίας. Έτσι, η a_w μπορεί να συσχετισθεί με τις μοριακές συγκεντρώσεις της διαλυμένης ουσίας (n_1) και του διαλύτη (n_2).

$$a_w = \frac{p}{p_o} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

Η έκταση στην οποία μια διαλυμένη ουσία μειώνει την a_w είναι συνάρτηση της χημικής φύσης της ουσίας.

6. Τύποι νερού

Υπάρχουν δύο κοινώς χρησιμοποιούμενοι αλλά όχι σύμφωνοι ορισμοί για το δεσμευμένο νερό:

1. Το δεσμευμένο νερό είναι αυτό που παραμένει μη-παγωμένο (unfrozen) σε θερμοκρασίες $< -20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Το δεσμευμένο νερό είναι η ποσότητα του νερού σ' ένα σύστημα που δεν είναι διαθέσιμη ως διαλύτης.

Δεν υπάρχει κοινώς αποδεκτή μέθοδος που να διαχωρίζει το «ελεύθερο» νερό από το νερό που αλληλοεπιδρά ισχυρά με άλλα μόρια μέσω δεσμών υδρογόνου.

Σε μερικά τρόφιμα, το νερό παραμένει υγρό σε χαμηλές θερμοκρασίες και συνήθη πίεση. Η ταπείνωση του σημείου πήξεως μπορεί να προκαλείται από:

- 1 – την επίδραση ισορροπίας, όπως π.χ. ταπείνωση λόγω εφυδάτωσης ή ωσμωτικών φαινομένων
- 2 – την υπέρψυξη, η οποία είναι η καθυστέρηση ή απουσία σχηματισμού κρυστάλλων πάγου λόγω μη ύπαρξης επαρκών πυρήνων κρυστάλλωσης
- 3 – το υψηλό ιξώδες που δημιουργείται από την υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων συστατικών.

6. Τύποι νερού

Όταν ένα μέρος του νερού ενός τροφίμου παγώνει, οι διαλυμένες ουσίες συμπυκνώνονται στο εναπομείναν υγρό νερό, δίνοντας πιο συμπυκνωμένα διαλύματα. Αυτή η αύξηση της συγκέντρωσης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους στο υγρό νερό.

Στο διάλυμα με το υψηλότερο ιξώδες, τα μόρια του νερού διαχέονται και περιστρέφονται πιο αργά. Αυτό καθιστά λιγότερο πιθανή την δημιουργία πυρήνων κρυστάλλωσης, ενώ αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης υπερψύξης (supercooling).

Ταυτόχρονα, το νερό δεν μπορεί να διαχυθεί ταχέως από την περιοχή κοντά σε μια υδρόφιλη επιφάνεια σε μια περιοχή όπου έχει ήδη αρχίσει να σχηματίζεται πάγος. Έτσι, η ποσότητα του υγρού (μη-παγωμένου) είναι υψηλότερη από την αναμενόμενη στην κατάσταση ισορροπίας.

Το υψηλό ιξώδες και η χαμηλή θερμοκρασία μπορούν να δημιουργήσουν ύαλο (γυαλί). Η ύαλος είναι ένα μη-κρυσταλλικό στερεό. Οι ύαλοι σχηματίζονται όταν το ιξώδες ενός υγρού γίνεται τόσο υψηλό, ώστε ν' αντιστέκεται στην διατμητική τάση (shear stress), δηλαδή ν' αντιστέκεται στην αλλαγή σχήματος, για πολύ μεγάλες περιόδους.

6. Τύποι νερού

Όταν το νερό μέσα στα κύτταρα σχηματίζει ύαλο, η διάχυση, η πήξη και οι βιοχημικές αντιδράσεις ουσιαστικά παύουν. Για να προκαλέσει μια διαλυμένη ουσία σημαντική ταπείνωση του σημείου πήξεως, θα πρέπει να είναι επαρκώς διαλυτή, έτσι ώστε να επιτευχθεί υψηλή συγκέντρωση.

Ο υπερκορεσμός συμβαίνει συχνά σε θερμοκρασίες πήξεως. Για την ταπείνωση του σημείου πήξεως μέσω ωσμωτικών φαινομένων, η άμεση επίδραση μικρών διαλυμένων μορίων είναι παρόμοια σε χαμηλές συγκεντρώσεις, και σχεδόν ανάλογη της συγκέντρωσης.

Σε υψηλές συγκεντρώσεις, τα ωσμωτικά φαινόμενα των αλάτων μπορεί να είναι μικρότερα σε σχέση με την συγκέντρωση. Αντιθέτως, τα ωσμωτικά φαινόμενα διαλυμένων ουσιών όπως τα σάκχαρα είναι ενισχυμένα σε σχέση με την συγκέντρωση.

7. Μετάβαση υάλου (glass transition)

Σε υδατικά συστήματα που περιέχουν πολυμερείς ενώσεις ή ορισμένες ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους, όπως σάκχαρα και άλλοι υδατάνθρακες, η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία υάλου. Η ύαλος είναι ένα άμορφο και όχι κρυσταλλικό στερεό.

Η ύαλος είναι ένα υπερψυγμένο υγρό υψηλού ιξώδους που βρίσκεται σε μια μετασταθή στερεή κατάσταση. Η ύαλος σχηματίζεται όταν ένα υγρό ή ένα υδατικό διάλυμα ψύχεται σε θερμοκρασία σημαντικά χαμηλότερη από το σημείο τήξεως. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται σε υψηλούς ρυθμούς ψύξης.

Η κανονική διαδικασία κρυστάλλωσης εμπλέκει την μετατροπή μιας άτακτης μοριακής δομής ενός υγρού σ' ένα κρύσταλλο με υψηλή μοριακή διευθέτηση.

Σ' ένα κρύσταλλο, τα μόρια, άτομα ή ιόντα είναι τοποθετημένα σε μια ομοιόμορφη τρισδιάστατη διευθέτηση. Κατά τον σχηματισμό υάλου, η άτακτη υγρή κατάσταση μετατρέπεται σ' ένα υαλώδες στερεό με άτακτη μοριακή διευθέτηση, το οποίο έχει ιδιότητες στερεού αλλά όχι ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή.

7. Μετάβαση υάλου (glass transition)

Οι σχέσεις μεταξύ του σημείου τήξεως (melting point - T_m), της θερμοκρασίας μετάβασης υάλου (glass transition temperature - T_g), και της κρυστάλλωσης αναπαρίστανται σχηματικά στην διαφάνεια που ακολουθεί.

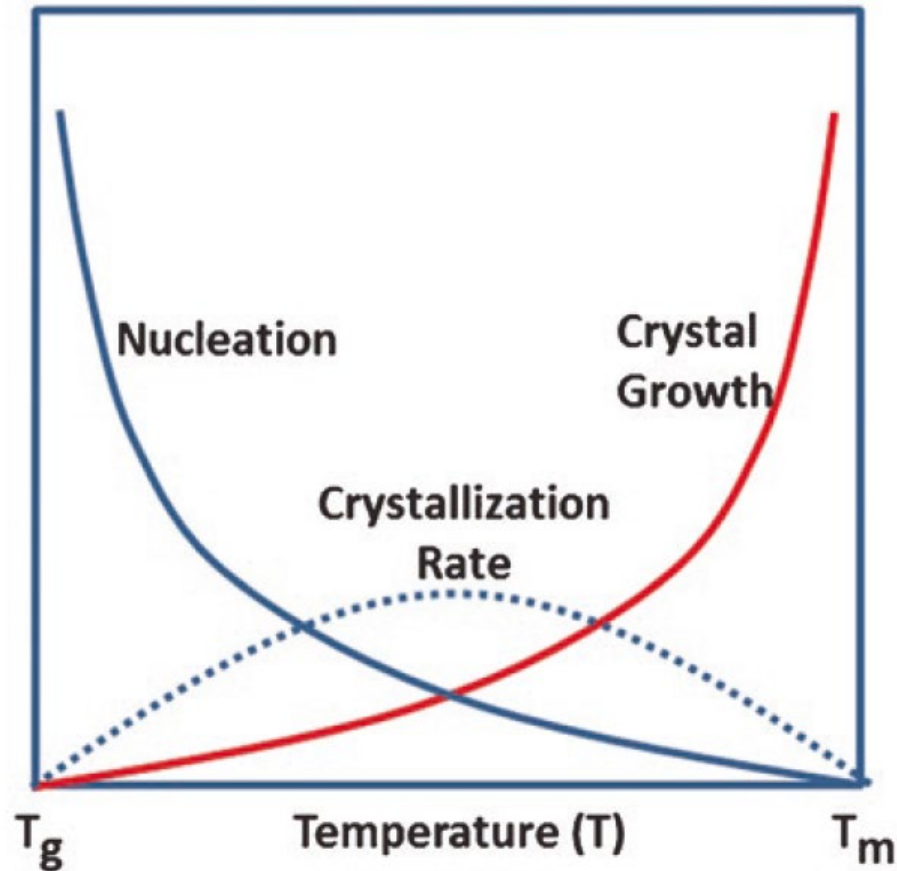
Όταν υπάρχει περιορισμένη υπέρψυξη (λίγο χαμηλότερα από την T_m), η πυρήνωση είναι ελάχιστη και υπερισχύει ή ανάπτυξη κρυστάλλων. Καθώς αυξάνει η υπέρψυξη, η πυρήνωση γίνεται η κύρια διαδικασία.

Ο μέγιστος συνολικός ρυθμός κρυστάλλωσης συμβαίνει περίπου μεταξύ T_m και T_g . Σε υψηλούς ρυθμούς υπέρψυξης όπου η θερμοκρασία πέφτει κάτω από την T_g , δεν σχηματίζονται κρύσταλλοι, αλλά ένα υαλώδες στερεό.

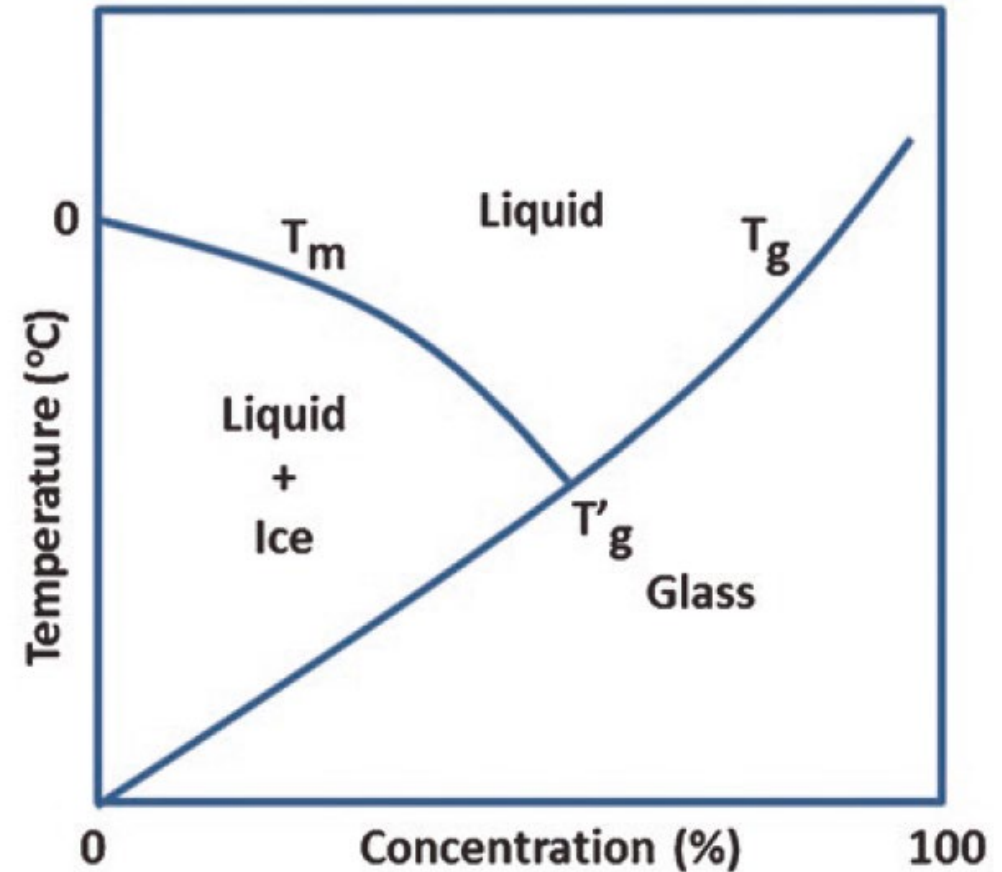
Κατά την μετάβαση από την κατάσταση τήξεως στην υαλώδη κατάσταση, η υγρασία παίζει σημαντικό ρόλο. Αυτό φαίνεται στο διάγραμμα φάσεων (επόμενη διαφάνεια). Όταν υπάρχει μείωση της θερμοκρασίας υπό επαρκή περιεκτικότητα υγρασίας, τότε το σύστημα περνάει αρχικά σε μια ελαστική (rubbery) κατάσταση πριν μετατραπεί σε υαλώδες.

Η T_g χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλά φαινομενικά ιξώδη (apparent viscosities) που ξεπερνούν τα $10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

7. Μετάβαση υάλου (glass transition)



Relationships among crystal growth, nucleation, and crystallization rate between melting temperature (T_m) and glass temperature (T_g)



Simplified state diagram showing the effect of moisture content on melting temperature (T_m) and glass transition temperature (T_g)

7. Μετάβαση υάλου (glass transition)

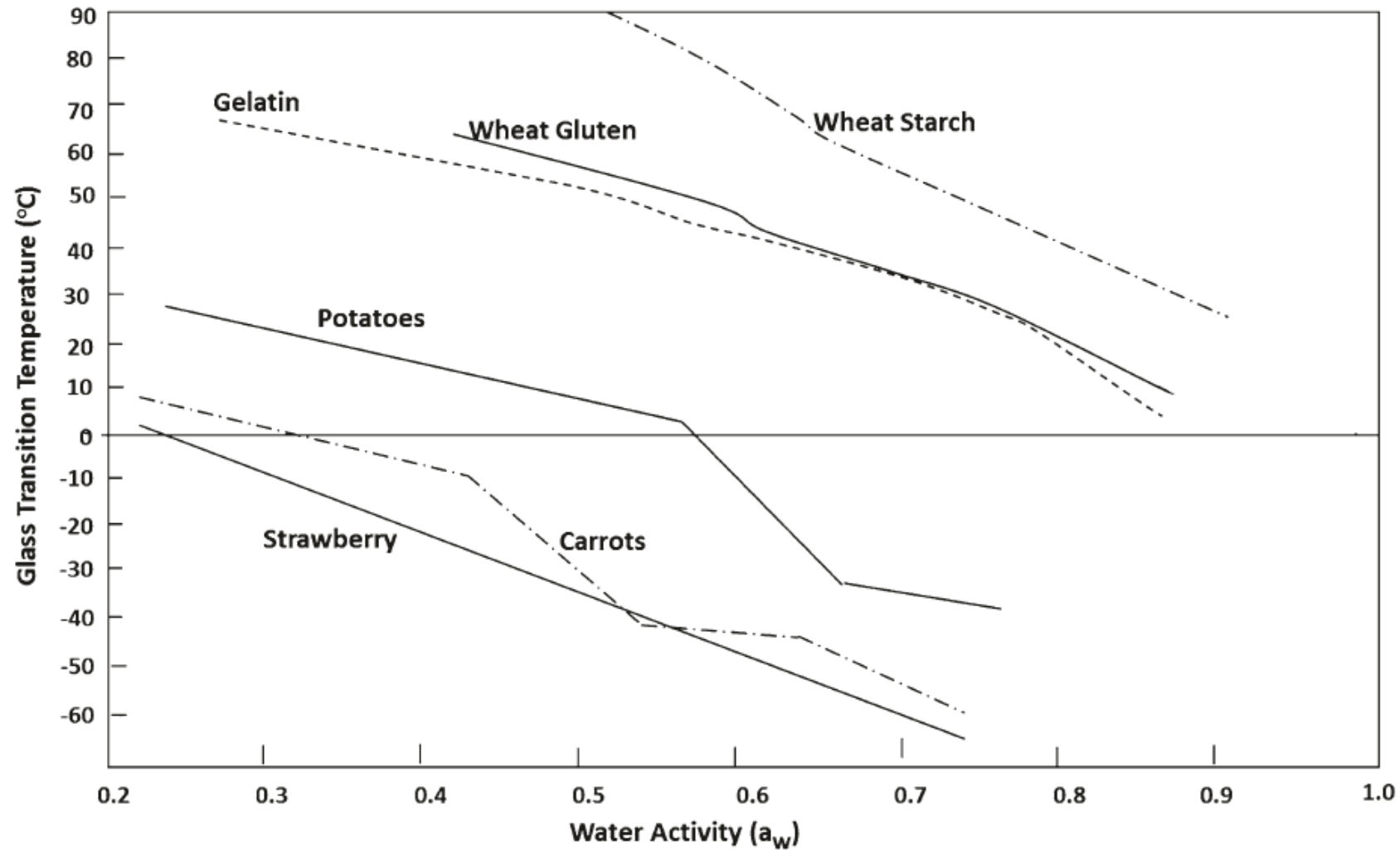
Η επίδραση της a_w στην T_g για ορισμένα φυτικά προϊόντα (καρότα, φράουλες και πατάτες), καθώς και για ορισμένα βιοπολυμερή (ζελατίνη, γλουτένη σίτου και άμυλο σίτου) δίνεται στην επόμενη διαφάνεια.

Όταν τα τρόφιμα που περιέχουν υγρασία ψύχονται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες αυτής της πήξης του νερού, μπορεί να σχηματισθεί πάγος και η συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών αυξάνει στο εναπομείναν (υγρό) νερό. Όταν η θερμοκρασία μειωθεί στο επίπεδο της T_g , αυτό το (υγρό) νερό με την υψηλή συγκέντρωση στερεών μετατρέπεται σε ύαλο.

Ο σχηματισμός πάγου κατά την κατάψυξη μπορεί ν' αλλοιώσει ευαίσθητα προϊόντα διαρρηγνύοντας τα κυτταρικά τοιχώματα και αποσταθεροποιώντας γαλακτώματα. Η παρουσία ουσιών που συμβάλουν στον σχηματισμό υάλου μπορεί ν' αποτρέψει τέτοια φαινόμενα.

Αυτή η σταθεροποίηση κατεψυγμένων προϊόντων είναι γνωστή ως κρυοπροστασία (cryoprotection), και οι παράγοντες που συντελούν σ' αυτό ως κρυοπροστατευτικά (cryoprotectants). Όταν αφαιρείται υγρασία από τα τρόφιμα κατά την διάρκεια μιας επεξεργασίας, όπως π.χ. η εξώθηση (extrusion), η ξήρανση (drying), ή η κατάψυξη (freezing), μπορεί να δημιουργηθεί υαλώδης κατάσταση.

7. Μετάβαση υάλου (glass transition)



8. Ενεργότητα νερού και ταχύτητες αντίδρασης

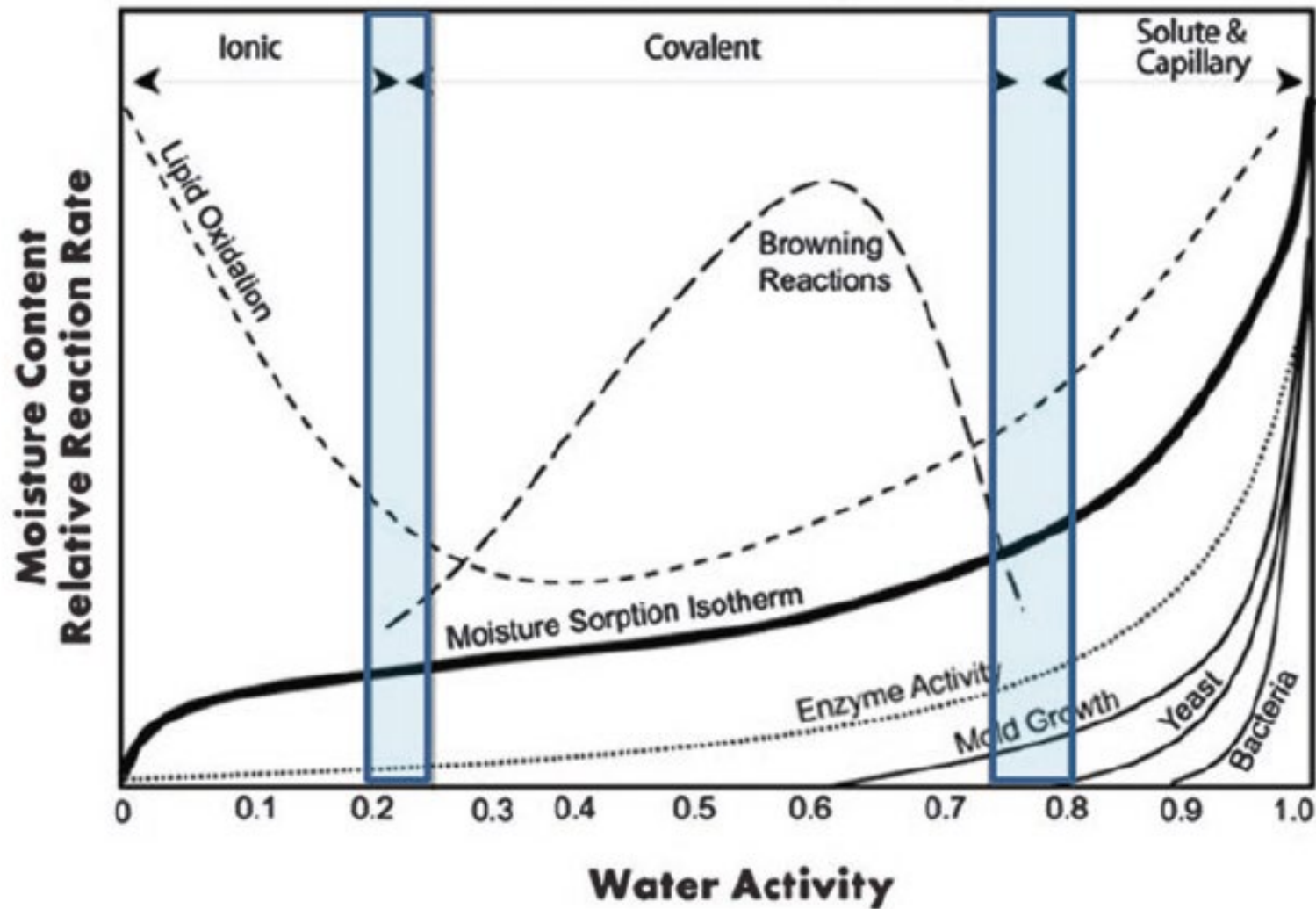
Η ενζυμική δραστηριότητα είναι ουσιαστικά ανύπαρκτη σε a_w μεταξύ 0 και 0.2, αυξάνει σταδιακά μεταξύ 0.3 and 0.8, και αυξάνει ταχέως στην περιοχή 0.8–1.0.

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών σ' αυτό το επίπεδο a_w είναι επίσης μηδενική. Οι ευρωτομύκητες και οι ζύμες αρχίζουν ν' αναπτύσσονται σε a_w μεταξύ 0.7 και 0.8. Η βακτηριακή ανάπτυξη γίνεται όταν η a_w προσεγγίσει την τιμή 0.8.

Οι υδρολυτικές αντιδράσεις και η μη-ενζυμική αμαύρωση δεν λαμβάνουν χώρα σε a_w μεταξύ 0.0 και 0.25. Εντούτοις, οι ταχύτητες οξείδωσης λιπιδίων είναι υψηλές σ' αυτήν την περιοχή, περνώντας από ένα ελάχιστο σε a_w 0.3–0.4 σ' ένα μέγιστο σε a_w 0.8.

Η σχέση μεταξύ της a_w και της ταχύτητας ορισμένων αντιδράσεων, καθώς και τα επίπεδα ενζυμικής δραστηριότητας δίνονται στην εικόνα της επόμενης διαφάνειας.

8. Ενεργότητα νερού και ταχύτητες αντίδρασης



8. Ενεργότητα νερού και ταχύτητες αντίδρασης

Approximate a_w values of plant and animal food categories

<i>Animal products</i>	a_w
Fresh meat, poultry, fish	0.99–1.00
Natural cheeses	0.95–1.00
Pudding	0.97–0.99
Eggs	0.97
Cured meat	0.87–0.95
Sweetened condensed milk	0.83
Parmesan cheese	0.68–0.76
Honey	0.75
Dried whole egg	0.40
Dried whole milk	0.20

<i>Plant products</i>	a_w
Fresh fruits, vegetables	0.97–1.00
Bread	~0.96
Bread, white	0.94–0.97
Bread, crust	0.30
Baked cake	0.90–0.94
Maple syrup	0.85
Jam	0.75–0.80
Jellies	0.82–0.94
Uncooked rice	0.80–0.87
Fruit juice concentrates	0.79–0.84
Fruit cake	0.73–0.83
Cake icing	0.76–0.84
Flour	0.67–0.87
Dried fruit	0.55–0.80
Cereal	0.10–0.20
Sugar	0.19
Crackers	0.10

Βιβλιογραφία

Roos Y.H., Finley J.W., deMan J.M., **2018**. *Water in foods*. In **“Principles of Food Chemistry”**, deMan J.M., Finley J.W., Hurst W.J., Lee C.Y. eds, Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland. ISBN 978-3-319-63605-4.