



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Τίτλος Μαθήματος: Χημεία Τροφίμων

Ενότητα: Χημεία του νερού

Διδάσκων: Καθηγητής Μιχάλης Κοντομηνάς

Τμήμα: Χημείας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Το πιο ενδιαφέρον τμήμα της Χημείας Τροφίμων είναι πιθανότατα εκείνο που αναφέρεται στα συστατικά τους και στις ιδιότητές τους. Η παρουσία των διάφορων συστατικών στα τρόφιμα και η συμπεριφορά τους έχουν ιδιαίτερη σημασία τόσο για τη Χημεία όσο και για την Τεχνολογία Τροφίμων.

Τα περισσότερα τρόφιμα είναι εξαιρετικά πολύπλοκα μίγματα μεγάλου αριθμού διαφορετικών χημικών ενώσεων, μεταξύ των οποίων 3 ομάδες οργανικών ενώσεων, οι υδατάνθρακες, τα λίπη και οι πρωτεΐνες, μαζί με το νερό αποτελούν το κύριο μέρος της μάζας τους. Επιπλέον τα τρόφιμα περιέχουν ανόργανα συστατικά και διάφορες ομάδες οργανικών ενώσεων: βιταμίνες, ένζυμα, οξέα, γαλακτωματοποιητές, οξειδωτικές και αντιοξειδωτικές ουσίες, χρωστικές, αρωματικές ουσίες κ.ά.

Τα συστατικά αυτά είναι κατανεμημένα κατά τέτοιο τρόπο στα τρόφιμα ώστε να τους προσδίνουν τη χαρακτηριστική τους εμφάνιση, δομή, υφή, οσμή και γεύση, χρώμα και θρεπτική αξία. Σε μερικές περιπτώσεις τα τρόφιμα περιέχουν και τοξικές ουσίες.

Τα παραπάνω συστατικά απαντούν κανονικά στα τρόφιμα. Μερικές φορές, επειδή δεν είναι ικανοποιητική η δομή, η υφή, η οσμή και η γεύση, το χρώμα, η θρεπτική αξία ή η ικανότητά τους προς διατήρηση, προστίθενται στα τρόφιμα διάφορες άλλες φυσικές ή συνθετικές ουσίες (τα πρόσθετα).

Στο δεύτερο μέρος θα εξεταστούν τα διάφορα συστατικά των τροφίμων, οι ιδιότητές τους και η σημασία τους για τη διατροφή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΕΡΟ

2.1 Εισαγωγή

Το πιο διαδομένο συστατικό στα τρόφιμα είναι το νερό: υπάρχει σ' όλα σχεδόν τα τρόφιμα σε μεγάλες συνήθως αναλογίες (πίνακ. 2-1). Η παρουσία του αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στη σύσταση και τις ιδιότητές τους. Το νερό σε υγρή κατάσταση είναι ο διαλύτης πολλών συστατικών των τροφίμων και ευνοεί διάφορες χημικές αντιδράσεις μεταξύ τους. Επιπλέον επηρεάζει την υφή των τροφίμων, δρα σαν ρυθμιστής της δραστηκότητας των πρωτεϊνών, σαν σταθεροποιητής της δομής των βιοπολυμερών μεγάλου μοριακού βάρους κ.λ.π.

Επίσης το νερό επηρεάζει την ικανότητα για διατήρηση των τροφίμων (είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών). Όσο περισσότερο νερό περιέχει ένα τρόφιμο, τόσο πιο ευαλλοίωτο είναι. Για τη διατήρηση των τροφίμων επιδιώκεται είτε η μερική απομάκρυνση του νερού που περιέχουν με εξάτμιση ή με συμπύκνωση είτε η πλήρης σχεδόν απομάκρυνσή του με την αφυδάτωση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1

Περιεκτικότητα διάφορων τροφίμων σε νερό	
Τρόφιμο	Περιεκτικότητα σε νερό (%)
Κρέας	
Χοιρινό άπαχο, ωμό	55-60
Βοδινό, ωμό	50-70
Κοτόπουλο ωμό	70-75
Ψάρι ωμό	65-81
Φρούτα	
Αχλάδι, κεράσι, μούρο	80-85
Μήλο, ροδάκινο, πορτοκάλι, ανανάς	85-90
Φράουλα, ντομάτα	90-95
Κηπευτικά	
Αρακάς	74-80
Τεύτλα, καρότο, πατάτα, κουνουπίδι	80-90
Σπαράγγια, λάχανο, μαρούλι, φασολάκια	90-95

Εντούτοις η απομάκρυνση του νερού είτε υπό μορφή ατμού με τη κλασική εξάτμιση είτε με την εξάχνωση των κρυστάλλων πάγου κάτω από κατάψυξη (λυοφιλίωση) έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή των αρχικών ιδιοτήτων των τροφίμων. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η λεπτομερής μελέτη τόσο του νερού όσο και του πάγου.

2.2 Φυσικές σταθερές του νερού και του πάγου

Οι σπουδαιότερες φυσικές σταθερές του νερού και του πάγου δίνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 2-2. Ύστερα από σύγκριση των τιμών των σταθερών αυτών με τις αντίστοιχες τιμές παραπλήσιων σε μοριακό βάρος ενώσεων, όπως π.χ. το μεθάνιο, η αμμωνία, το υδροφθόριο, το υδρόθειο κ.ά., γίνεται φανερό πως το νερό έχει ασυνήθιστα υψηλές τιμές σημείου ζέσης, σημείου τήξης, επιφανειακής τάσης, διηλεκτρικής σταθερής, θερμοχωρητικότητας καθώς και θερμότητας εξαέρωσης και εξάχνωσης, χαμηλή σχετικά τιμή πυκνότητας, ένα μέγιστο της πυκνότητας στους 3.98°C, διαστολή με τη στερεοποίηση, και ιξώδες κανονικό, πράγμα παράδοξο για όλα τα πιο πάνω στοιχεία. Ακόμη έχει υψηλή τιμή θερμικής αγωγιμότητας – ο πάγος έχει τιμή θερμικής αγωγιμότητάς τέσσερις φορές μεγαλύτερη από εκείνη του νερού στην ίδια θερμοκρασία. Επίσης ο πάγος έχει συντελεστή θερμικής διάχυσης εννιά φορές μεγαλύτερο από εκείνο του νερού. Αυτό σημαίνει ότι ο πάγος υφίσταται αλλαγή θερμοκρασίας πολύ πιο γρήγορα απ' ότι το νερό. Ειδικά οι τελευταίες διαφορές μεταξύ πάγου και νερού εξηγούν γιατί τα τρόφιμα καταψύχονται ευκολότερα απ' ότι αποψύχονται, ενώ και στις δύο περιπτώσεις η θερμοκρασιακή μεταβολή είναι η ίδια.

2.3 Το μόριο του νερού

Οι ασυνήθιστες ιδιότητες του νερού μαρτυρούν την ύπαρξη ισχυρών ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των μορίων του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολύπλοκων και ασυνήθιστων στερεοχημικών δομών τόσο στο νερό όσο και στον πάγο. Για το σχηματισμό ενός μορίου H_2O δύο 1S τροχιακά του υδρογόνου πλησιάζουν τα δύο sp^3 δεσμικά τροχιακά του οξυγόνου σχηματίζοντας δύο σ δεσμούς έτσι ώστε το μόριο να έχει σχεδόν τετραεδρική δομή (σχ. 2-1).

Η γωνία που σχηματίζουν τα δύο άτομα υδρογόνου με το άτομο του οξυγόνου στην κορυφή είναι 104.5° έναντι 109.28° που είναι η γωνία του τέλειου τετράεδρου.

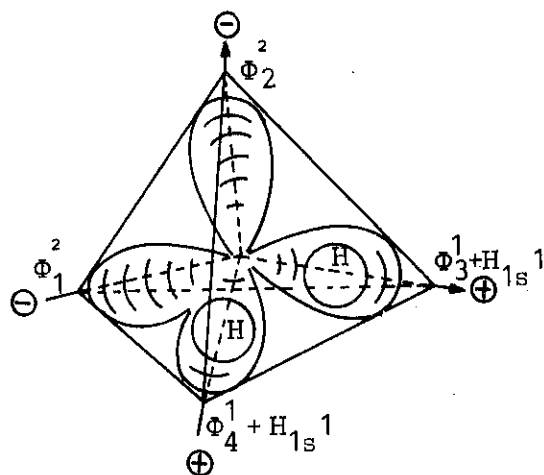
2.4 Σύνδεση των μορίων του νερού

Το σχήμα του μορίου του νερού και η πολικότητα του δεσμού O-H έχουν ως αποτέλεσμα τη μη συμμετρική κατανομή του φορτίου μέσα στο μό-

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2

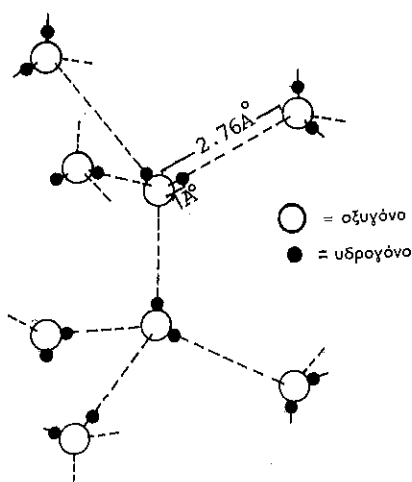
Οι κυριότερες φυσικές σταθερές του νερού και του πάγου

Νερό	Θερμοκρασία °C						
	0	20	40	60	80	100	
Τάση ατμών (mm Hg)	4.58	17.53	55.32	149.4	355.2	760.0	
Πυκνότητα (g/cm ³)	0.9998	0.9982	0.9922	0.9832	0.9718	0.9583	
Ειδική Θερμότητα (cal/g°C)	1.0074	0.9988	0.9980	0.9994	1.0023	1.0070	
Θερμότητα εξάερωσης (cal/g)	597.2	586.0	574.7	563.3	551.3	538.9	
Θερμική αγωγιμότητα (kcal/m ² h°C)	0.486	0.516	0.540	0.561	0.576	0.585	
Επιφαν. τάση (dyn/cm)	75.62	72.75	69.55	66.17	62.60	58.84	
Ιξώδες (centipoise)	1.792	1.002	0.659	0.466	0.355	0.282	
Δείκτης διάθλασης	1.3388	1.3330	1.3306	1.3372	1.3230	1.3180	
Διηλεκτρική σταθερή	88.0	80.4	73.3	66.7	60.8	55.3	
Συντελεστής θερμικής διαστολής ×10 ⁻⁴	-	2.07	3.87	5.38	6.57	-	
Πάγος	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
Τάση ατμών (mm Hg)	4.58	3.01	1.95	1.24	0.77	0.47	0.28
Θερμότητα τήξης (cal/g)	79.8	-	-	-	-	-	-
Θερμότητα εξάχνωσης (cal/g)	677.8	-	672.3	-	666.7	-	662.3
Πυκνότητα (g/cm ³)	0.9169	0.9171	0.9175	0.9178	0.9182	0.9185	0.9188
Ειδική Θερμότητα (cal/g °C)	0.4873	-	0.4770	-	0.4647	-	0.4504
Συντελεστής θερμικής διαστολής ×10 ⁻³	9.2	7.1	5.5	4.4	3.9	3.6	3.5
Θερμοχωρητικότητα (Joule/g)	2.06	-	-	-	1.94	-	-



Σχήμα 2-1: Σχηματικό μοντέλο του μορίου του νερού.
Υβριδισμός sp^3 (Από Fennema, 1976)

ριο και το σχηματισμό στιγμιαίου διπόλου (σχ. 2-1). Συνέπεια της πολικότητας αυτής είναι η ανάπτυξη διαμοριακών ελκτικών δυνάμεων μεταξύ γειτονικών μορίων. Μεγάλος δηλαδή αριθμός μορίων νερού ενώνεται με δεσμούς υδρογόνου έτσι ώστε να σχηματίζεται τρισδιάστατο πλέγμα (σχ. 2-2). Κάθε μόριο νερού μπορεί να ενωθεί ταυτόχρονα με άλλα τέσσερα όμοια μόρια.

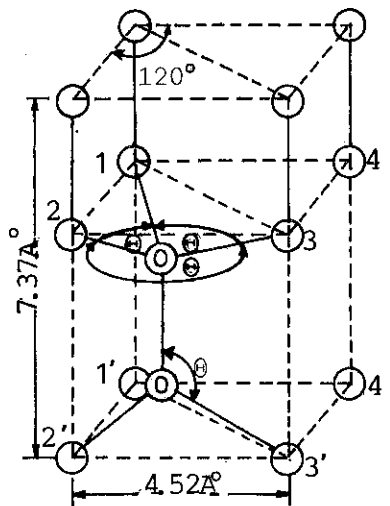


Σχήμα 2-2: Τετράεδρική δομή στο χώρο γειτονικών μορίων νερού τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου.

Η ικανότητα του νερού να σχηματίζει τέτοια τρισδιάστατα πλέγματα μέσω δεσμών υδρογόνου μπορεί να εξηγήσει πολλές από τις ασυνήθιστες φυσικές του ιδιότητες: Οι υψηλές τιμές για τη θερμοχωρητικότητα, το σημείο τήξης, το σημείο ζέσης, την επιφανειακή τάση και τη θερμότητα εξαέρωσης-εξάχνωσης οφείλονται στο επιπλέον ποσό ενέργειας που απαιτείται για το σπάσιμο των διαμοριακών δεσμών υδρογόνου μεταξύ των γειτονικών μορίων νερού. Η διηλεκτρική σταθερή επίσης επηρεάζεται από τον σχηματισμό δεσμών υδρογόνου. Πιστεύεται πως παρόμοια συγκροτήματα μορίων, συνδεδεμένα μέσω υδρογονοδεσμών, έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία «πολυμοριακών διπόλων» που αυξάνουν τη διηλεκτρική σταθερή.

2.5 Δομή του πάγου

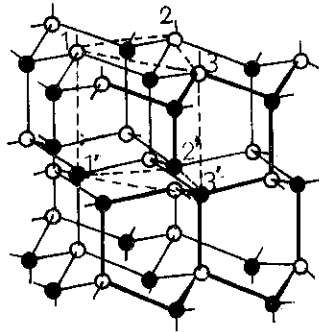
Το νερό κρυσταλλώνεται σε χαρακτηριστική εξαγωνική δομή, η οποία έχει εξαντλητικά μελετηθεί με Raman και υπέρυθρη φασματοσκοπία καθώς και με ακτίνες X. Η δομή αυτή φαίνεται στο σχήμα 2-3.



Σχήμα 2-3. Κρύσταλλος πάγου στους 0°C. Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν άτομα οξυγόνου των μορίων νερού.

(Από Fennema, 1976)

Στο σχήμα 2-3 φαίνονται μόνο τα άτομα του οξυγόνου στα μόρια του νερού. Η απόσταση των οξυγόνων στο δεσμό O-O είναι 2.768 Å ενώ η γωνία O-O-O, $\theta=109^\circ$ είναι πολύ κοντά στην τιμή της γωνίας στο τέλειο τετράεδρο 109.28° . Αν φανταστεί κανείς πολύ περισσότερα μόρια νερού συνδεδεμένα μεταξύ τους στο χώρο, θα προκύψει η δομή που φαίνεται στο σχήμα 2-4.



Σχήμα 2-4. Μόρια νερού στον πάγο (0°C) διαταγμένα στο χώρο
(Από Fennema, 1976)

Οι μαύροι κύκλοι παριστάνουν τα άτομα του οξυγόνου 1', 2' και 3' στο κάτω επίπεδο του σχήματος 2-4, ενώ οι λευκοί κύκλοι, τα άτομα οξυγόνου 1, 2 και 3 στο πάνω επίπεδο του ίδιου σχήματος. Η θέση των ατόμων υδρογόνου στον πάγο καθορίστηκε μόλις στο τέλος της δεκαετίας του '50. Αποδείχτηκε ότι το μεν υδρογόνο το οποίο συνδέεται με ομοιοπολικό δεσμό με το οξυγόνο, βρίσκεται στην ευθεία που συνδέει δύο γειτονικά άτομα οξυγόνου και σε απόσταση 1 Å απ' αυτό, το δε υδρογόνο που συνδέεται μέσω δεσμού υδρογόνου με το άτομο του οξυγόνου σε απόσταση 2.76 Å απ' αυτό (σχ. 2-2):

Ο πάγος, εκτός από μόρια νερού, περιέχει και άλλα στοιχεία σε πολύ μικρή αναλογία, όπως H_3O^+ , OH^- , ^{17}O , ^{18}O , 2H , 3H κ.α. Εξάλλου οι κρύσταλλοι του πάγου πάντοτε παρουσιάζουν κάποιες ατέλειες, στις οποίες, λόγω μικρότερης ευκινησίας των ιόντων H_3O^+ στον πάγο απ' ότι στο νερό, οφείλεται η ελάττωση στην τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρουσιάζεται όταν το νερό μετατραπεί σε πάγο.

Ο πάγος συμπερασματικά ούτε στατικό, ούτε ομογενές σύστημα είναι και οι χαρακτηριστικές σταθερές του είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας.

2.6 Δομή του νερού

Η ακριβής δομή του νερού δεν έχει ακόμη καθοριστεί. Πιστεύεται πάντως ότι δεν είναι ομοιογενής, αλλά μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή, σε αποστάσεις που δεν ξεπερνούν μερικές φορές τη διάμετρο του μορίου του. Συνεπώς η θεωρία που έχει επικρατήσει για την εξήγηση της δομής του νερού είναι αυτή της «ανομοιόμορφης δομής», στην οποία γίνεται δεκτό ότι επέρχεται συγκέντρωση των δεσμών υδρογόνου χρονικά και τοπικά, με αποτέλεσμα το σχηματισμό συσσωματωμάτων από μόρια νερού. Κατά την τήξη συνεπώς ο πάγος μεταβαίνει, όσον αφο-

ρά τη δομή του, από κατάσταση μικρού βαθμού αταξίας σε κατάσταση μεγάλου βαθμού αταξίας, με στιγμιαίο σχηματισμό συσσωματωμάτων.

2.7 Παράγοντες που επιδρούν στη δομή του νερού

A. Επίδραση ιόντων. Η κανονική τετραεδρική δομή του καθαρού νερού αλλοιώνεται με την προσθήκη διαφόρων ιόντων. Το σθένος και το μέγεθος των ιόντων έχουν καθοριστικό για τη δομή του νερού χαρακτήρα. Μικρά σε μέγεθος και πολυσθενή ιόντα, όπως τα Li^+ , Na^+ , H_3O^+ , Ba^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , F^- και OH^- , δημιουργούν ισχυρά ηλεκτρικά πεδία και ενισχύουν την τετραεδρική δομή του νερού. Αυτό εκφράζεται με τη μειωμένη ρευστότητά του. Μεγάλα σε μέγεθος και μονοσθενή ιόντα, όπως π.χ. K^+ , Rb^+ , Cs^+ , NH_4^+ , Cl^- , Br^- , I^- , NO_3^- , BrO_3^- , IO_3^- και ClO_4^- , σχηματίζουν μάλλον ασθενή ηλεκτρικά πεδία που αλλοιώνουν την τετραεδρική δομή του νερού. Αυτό εκφράζεται με την αυξημένη ρευστότητα του νερού. Δηλαδή στην πρώτη περίπτωση αυξάνει ο βαθμός δέσμευσης ενός μορίου νερού προς τα τέσσερα γειτονικά του μόρια, ενώ στη δεύτερη περίπτωση μειώνεται ο αντίστοιχος βαθμός δέσμευσης.

B. Επίδραση αντιδραστηρίων που σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με το νερό. Αν και θα ήταν λογικό τέτοιες ενώσεις να ενισχύουν την τετραεδρική δομή του νερού, εντούτοις φαίνεται πως η κατανομή και ο προσανατολισμός των σχηματιζόμενων δεσμών υδρογόνου είναι τέτοιοι που συνολικά καταστρέφουν την κανονική δομή του. Παράδειγμα τέτοιων ενώσεων αποτελεί η ουρία.

Γ. Επίδραση αντιδραστηρίων που ενισχύουν τη δομή του νερού.

Αδρανείς χημικά ουσίες (υδρογονάνθρακες, ευγενή αέρια) και μη πολικές ομάδες ουσιών (λιπαρά οξέα, αμινοξέα, πρωτεΐνες κ.α.) ενισχύουν τη τετραεδρική δομή του νερού. Πιστεύεται πως τέτοιες ουσίες επικάθονται στα όρια των συσσωματωμάτων μορίων νερού και ευνοούν το σχηματισμό και άλλων παρόμοιων συσσωματωμάτων. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη περίπτωση της αλληλεπίδρασης νερού-πρωτεϊνών, όπου το 40% περίπου των αμινοξέων έχει μη πολικές πλευρικές αλυσίδες: το μεθύλιο της αλανίνης, η ισοπροπυλική ομάδα της βαλίνης κ.α. Ο μηχανισμός της αλληλεπίδρασης πρωτεΐνης-νερού δεν έχει ξεκαθαριστεί. Ο Kauzman διατύπωσε τη θεωρία του «υδρόφοβου δεσμού». Σύμφωνα μ' αυτόν, όταν μία πρωτεΐνη τοποθετηθεί σε υδατικό περιβάλλον, μεταβάλλεται η τρίτοταγής δομή της, έτσι ώστε υδρόφοβες, μη πολικές ομάδες, μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους σχηματίζοντας μία «ενδομοριακή μικέλλα» πράγμα που ελαχιστοποιεί την πιθανότητα επαφής των ομάδων αυτών με το νερό. Στη περίπτωση αυτή η πρωτεΐνες εμ-

φανίζουν μεγάλη πιθανότητα καταβύθισης στο νερό. Άλλοτε πάλι υδρόφοβες μη πολικές ομάδες παραμένουν συνδεδεμένες με το νερό, οπότε ενισχύεται η τάξη στη δομή του νερού. Δηλαδή πρωτεΐνες με μεγάλο ποσοστό μη πολικών ομάδων ενισχύουν (μέσω ελάττωσης της εντροπίας) τη δομή του νερού.

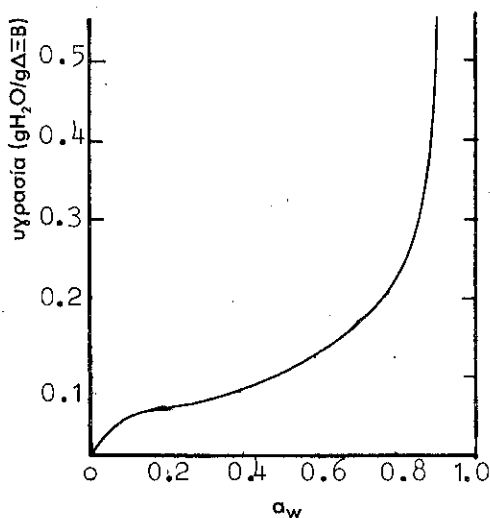
2.8 Ελεύθερο, δεσμευμένο νερό και ενεργότητα του νερού (a_w)

Ελεύθερο ή απόλυτης ενεργότητας (τύπος IV, πίνακας 2-3) νοείται το νερό στη φυσική του κατάσταση. Το νερό στα τρόφιμα και τους ζώντες οργανισμούς βρίσκεται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό δεσμευμένο. Η έκφραση του βαθμού δέσμευσης γίνεται με τον όρο «ενεργότητα του νερού» (water activity, a_w), που ορίζεται ως το πηλίκον: $a_w = \frac{P}{P_0}$ όπου P = μερική πίεση του νερού στο δείγμα

και P_0 = τάση ατμών του νερού στην ίδια θερμοκρασία

Μεγάλη πρακτική σημασία έχει η μελέτη της μεταβολής της ενεργότητας του νερού σε συνάρτηση με την υγρασία των τροφίμων για τη συντήρηση των τελευταίων κυρίως, μέσω της ξήρανσης ή αφυδάτωσης.

Το διάγραμμα $a_w = f$ (υγρασίας) που λαμβάνεται κατά τις παραπάνω διεργασίες δίνει την ισοθερμο προσρόφησης της υγρασίας για το συγκεκριμένο τρόφιμο σε ορισμένη θερμοκρασία (σχ. 2-5).



Σχήμα 2-5. Ισόθερμος προσρόφησης για τρόφιμα (20°C).
(Από Labuza, 1968)

Από την καμπύλη του σχήματος 2-5 φαίνεται πως επέρχεται σημαντική

μεταβολή στην ενεργότητα του νερού για μικρή μόνο μεταβολή στην υγρασία του προϊόντος (κατώτερο τμήμα της καμπύλης).

Το πρώτο ποσό νερού που θ' απομακρυνθεί από το τρόφιμο (τύπος III πίνακ. 2-3 και ζώνη III σχημ. 2-6) έχει ενεργότητα ελαφρά χαμηλότερη από εκείνη του καθαρού νερού, αντιπροσωπεύει δε το μεγαλύτερο μέρος του νερού στους ζωϊκούς και φυτικούς ιστούς. Το είδος αυτό του νερού απομακρύνεται εύκολα και αποτελεί προϋπόθεση για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και των περισσότερων χημικών αντιδράσεων στους παραπάνω ιστούς. Όταν όλο το νερό του τύπου III απομακρυνθεί, η υγρασία του τροφίμου έχει μειωθεί στο 12-25% και η ενεργότητα του νερού είναι περίπου 0.8.

Ο τύπος II του νερού (πίνακ. 2-3 και ζώνη II σχημ. 2-6) απομακρύνεται δυσκολότερα από το τύπο III. Έστω και μερική μόνο απομάκρυνση του τύπου αυτού του νερού, αποκλείει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και ελαττώνει δραστικά την πιθανότητα χημικών αντιδράσεων στα τρόφιμα. Πλήρης απομάκρυνση του τύπου αυτού του νερού (3-7% υγρασία, $a_w=0,25$) αντιστοιχεί στη μέγιστη σταθερότητα των ξηρών τροφίμων. Μερική μόνο απομάκρυνση του νερού τύπου I (πίνακ. 2-3 και ζώνη I σχ. 2-6) μπορεί να επιτευχθεί με αφυδάτωση, όχι όμως με κατάψυξη. Το νερό αυτό βρίσκεται χημικά δεσμευμένο στο εσωτερικό του τροφίμου. Στην περιοχή αυτή καμιά αντίδραση, ή ανάπτυξη μικροοργανισμών δε γίνεται εκτός από την οξείδωση των λιπαρών υλών. Πιστεύεται πως κάποιο μικρό ποσό νερού που αντιστοιχεί σε ενεργότητα 0.2-0.5 (περιοχή μεταξύ ζώνης I και II) παρεμποδίζει την οξείδωση των λιπαρών είτε επειδή: α) επιδρά στη καταστροφή των ελεύθερων ριζών β) σχηματίζει υδρογονοδεσμούς με τα υδρούπεροξειδία, εμποδίζοντάς τα να οξειδωθούν στη συνέχεια σε τελικά προϊόντα γ) σχηματίζει υδρίδια (HMx) με τα παρόντα μέταλλα, τα οποία δε μπορούν να δράσουν σαν καταλύτες της οξείδωσης. Στην ζώνη I, λόγω ουσιαστικής απουσίας ελεύθερου νερού, αυξάνεται σημαντικά η ταχύτητα οξείδωσης των λιπαρών (οξειδωτική τάχγιση). Όταν αυξάνεται πολύ το ποσό του νερού στο τρόφιμο, αυξάνεται η πιθανότητα οξείδωσης των λιπαρών λόγω μεγάλης κινητικότητας των καταλυτών και δημιουργίας καινούριων επιφανειών, που δρουν σαν καταλύτες καθώς διογκώνεται το υπόστρωμα.

Θα πρέπει, στο σημείο αυτό, να τονιστεί ότι η κατανομή του νερού στις τέσσερις παραπάνω κατηγορίες δεν υποδηλώνει την ύπαρξη συγκεκριμένων διαχωριστικών ορίων μεταξύ της μιας και της άλλης κατηγορίας. Ακόμη δεν πρέπει να θεωρηθεί πως επειδή στη ζώνη I το νερό είναι «χημικά δεσμευμένο», σημαίνει πως είναι και ολοκληρωτικά ακινητοποιημένο.

Τέλος, είναι αυτονόητο πως και η θέση της ισόθερμου προσρόφησης μεταβάλλεται στα προηγούμενα διαγράμματα με ταυτοχρονη μεταβολή της

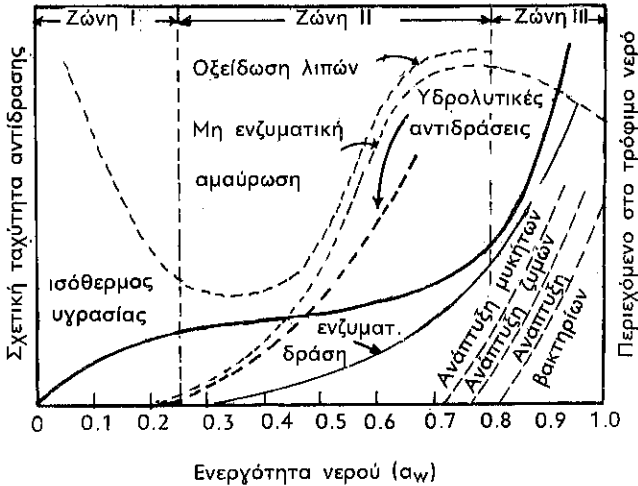
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3
Βαθμοί Δέσμευσης του Νερού στα Τρόφιμα και τους Ζωικούς Οργανισμούς

Τύπος νερού και ενέργεια δέσμευσης από τον ιστό	Περιγραφή	Αντιστοιχούσα υγρασία του ιστού (9 H ₂ O/9 ΔΞΒ) ¹	E.R.H ² σχετική υγρασία %	Κινητικότητα του νερού	Σχέση προς την ισόθερμο προσαρμογής της υγρασίας (σχ. 2-6)	
					Ζώνη	Παρατηρούμενες αλλαγώσεις
Τύπος I Ενεργότητα νερού σημαντικά ελαττωμένη Ενέργεια δέσμευσης σημαντικά αυξημένη	Μονομοριακή επικάλυψη νερού στο υπόστρωμα. Δεσμός νερού-υποστρώματος πολύ ισχυρός (4-5 kcal/mol)	0-0.07	0-25	ελαττωμένη σημαντικά	I	Μέγιστη σταθερότητα ↓ ελάττωση σταθερότητας
Τύπος II Ενεργότητα νερού αισθητά ελαττωμένη Ενέργεια δέσμευσης αυξημένη	Πολυμοριακή επικάλυψη νερού στο υπόστρωμα. υδρογονοδεσμός νερού-υποστρώματος. Συμπεριφορά νερού: αποκλίνει αισθητά από την ιδανική	0.07-0.33	25-80	ελαττωμένη ελαφρά	II	Αντιδράσεις οξειδωσής. Υδρόλυση Ενζυματική δραστηριότητα. Μη ενζυματική αμαύρωση
Τύπος III Ενεργότητα ελαφρά ελαττωμένη	Νερό φυσικά προσροφημένα στον ιστό μέσα στις μεμβράνες, ίνες, μικροτριχοειδή Συμπεριφορά νερού: Σχεδόν ιδανική.	0.33-20	80-99	αμυδρά ελαττωμένη	III	Ανάπτυξη μικροοργανισμών Ενζυματική δραστηριότητα Αντιδράσεις οξειδωσής. Υδρόλυση
Τύπος IV Ενεργότητα νερού απόλυτη	Καθαρό νερό	μηδενική	100	κανονική	-	

1. ΔΞΒ = δείγμα επί ξηρής βάσης

2. ERH = σχετική υγρασία $\frac{ERH}{100} = a_w = \frac{P}{P_0}$

θερμοκρασίας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μετατοπίζεται η ισόθερμος προς σημεία μικρότερης υγρασίας και μεγαλύτερης ενεργότητας.



Σχήμα 2-6. Ταχύτητες αντιδράσεων στους ζωικούς και φυτικούς ιστούς σαν συνάρτηση της ενεργότητας του νερού στους 20°C.

(Από Instit. of Food Tech., Η.Π.Α.).

2.9 Σημασία του νερού για τη διατροφή

Παρόλο ότι το νερό δεν έχει θρεπτική αξία, εντούτοις παίζει σημαντικό ρόλο στη διατροφή. Αποτελεί το κύριο συστατικό του οργανισμού (οι περισσότεροι ιστοί περιέχουν 70-80% νερό) και είναι απαραίτητο για όλες τις χημικές αντιδράσεις που γίνονται σ' αυτόν. Αποτελεί το διαλύτη και το μεταφορικό μέσον των διάφορων θρεπτικών υλών, των ενδιάμεσων προϊόντων της ανταλλαγής της ύλης και της απόβολής των τελικών προϊόντων της ανταλλαγής της ύλης από τον οργανισμό. Εξάλλου, με τη μεγάλη του ειδική θερμότητα και λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, αφενός δρα σαν δεξαμενή θερμότητας και εμποδίζει τις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας του σώματος που θα απέβαιναν καταστρεπτικές για τον οργανισμό· αφετέρου επιτρέπει την απομάκρυνση των θερμίδων που πλεονάζουν από τον οργανισμό με τον ιδρώτα (κατά την εξάτμιση ενός γραμμαρίου ιδρώτα απορροφούνται 0,6 kcal περίπου).

Απώλεια κατά 10% του νερού που περιέχει ο οργανισμός επιφέρει σοβαρές βλάβες στην υγεία (αφυδάτωση). Μεγαλύτερη απώλεια οδηγεί στον θάνατο. Είναι γνωστό ότι ο άνθρωπος μπορεί να επιζήσει εβδομάδες χωρίς τροφή, αλλά μόλις 2-3 ημέρες χωρίς νερό.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι ο οργανισμός για να λειτουργεί κανονικά

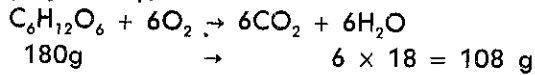
κά πρέπει να διατηρεί σταθερή την περιεκτικότητά του σε νερό. Η ανταλλαγή του νερού στον οργανισμό ελέγχεται από κατάλληλα νευρικά κύτταρα. Για τα υγιή άτομα η πρόσληψη νερού (από την τροφή, τα ποτά κ.λ.π.) αντισταθμίζει τις απώλειες (με τα ούρα, τα κόπρανα, τον ιδρώτα κ.λ.π.). Οι ημερήσιες ανάγκες των ενηλίκων σε νερό κυμαίνονται στα 2.5 λίτρα, όσα απομακρύνονται από τον οργανισμό, όπως συνοψίζονται στον πίνακα 2-4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4

Ημερήσιες ανάγκες ενηλίκων σε νερό

Απώλειες νερού		Πρόσληψη νερού	
Κατά την εξάτμιση από τους πνεύμονες	0.5 L	Από τα ποτά	1.25 L
Κατά την εξάτμιση από το δέρμα	0.4 L	Από οξείδωση συστατικών	
Με τα ούρα	1.5 L	των τροφίμων	0.35 L
Με τα κόπρανα	0.1 L	Από την τροφή	0.9 L

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, ένα ποσό του προσλαμβανόμενου νερού προέρχεται από την οξείδωση των συστατικών της τροφής, τα οποία διασπώνται και δίνουν διοξείδιο του άνθρακα και νερό, όπως π.χ. στην περίπτωση της γλυκόζης:



Ακόμη θα πρέπει να αναφερθεί ότι από τα νεφρά περνούν 150 λίτρα περίπου υγρά το 24ωρο, από τα οποία διαχωρίζονται μόνο 1.5 λίτρα ούρων που απομακρύνονται από τον οργανισμό.

Τέλος, η ποσότητα του προσλαμβανόμενου και αποβαλλόμενου από τον οργανισμό νερού το 24ωρο μπορεί να κυμαίνεται σε μεγάλο βαθμό: π.χ. η σωματική άσκηση στον ήλιο το καλοκαίρι συνεπάγεται σημαντική απώλεια νερού με τον ιδρώτα που αντικαθίσταται με τη λήψη πόσιμου νερού ή ποτών.

Βιβλιογραφία

1. J. M. Deman.: Water-Principles of Food Chemistry, Avi Publ. Co. Inc., Westport Conn. (1980).

2. **Dorsey N.E.:** Properties of Ordinary Water-Substance, Reinhold, New York (1940)
3. **D. Eisenberg and W. Kauzmann.:** The Structure and Properties of Water, Clarendon, Oxford (1969)
4. **O. Fennema.:** Water and Ice-Principles of Food Science-Part I--Food Chemistry Marcel Dekker, New York (1976).
5. **F. Franks (edit.).:** Water, A Comprehensive Treatise, Plenum Press, New York (1972)
6. **A. P. Mackenzie and D.H Rasmussen.:** Water Structure at the Water-Polymer Interface, (H.H. G. Jellinek edit.), Plenum Press, New York (1972).
7. **S. A. Matz.:** Water in Foods, Avi Publ. Co. Inc., Westport Conn. (1965)
8. **L. Pauling.:** The Nature of the Chemical Bond, Cornell Univ. Press, Ithaca, New York (1980)
9. **N. Riehl, B. Bullmer and Engelhardt H.:** Physics of Ice, Plenum Press, New York (1969).
10. **O.Y. Samoilov.:** Water in Biological Systems, (L.P. Kaynshin edit.), Consultants Bureau, New York (1969)

**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



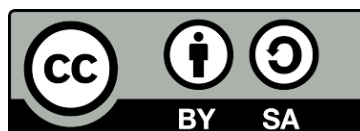
Σημειώματα

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Διδάσκων: Καθηγητής Μιχάλης Κοντομηνάς. «Χημεία Τροφίμων. Χημεία του νερού». Έκδοση: 1.0. Ιωάννινα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://ecourse.uoi.gr/course/view.php?id=1312>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή, Διεθνής Έκδοση 4.0 [1] ή μεταγενέστερη.



[1] <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.