

Προσδιορισμός Υγρασίας και Ολικών Στερεών

Α. Μπαδέκα
Αναπλ. Καθηγήτρια
Τμήμα Χημείας
Παν/μιο Ιωαννίνων

Η περιεχόμενη υγρασία είναι **μία από τις πιο κοινά μετρούμενες ιδιότητες** των τροφίμων. Οι λόγοι μέτρησης υγρασίας είναι:

- **Απαιτήσεις Νομικές και Σήμανσης.** Μέγιστο και ελάχιστο ποσό υγρασίας στο εξεταζόμενο τρόφιμο.
- **Οικονομικοί.** Φθηνό συστατικό και το κόστος των τροφίμων εξαρτάται από το ποσό νερού στα τρόφιμα.
- **Μικροβιακή σταθερότητα.** Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών εξαρτάται από το περιεχόμενο νερό. Πολλά τρόφιμα ξηραίνονται κάτω από κάποιο κρίσιμο σημείο υγρασίας

- **Ποιότητα Τροφίμων.** Η υφή, γεύση, εμφάνιση και η σταθερότητα των τροφίμων εξαρτάται από το ποσό του νερού που περιέχει ένα τρόφιμο.
- **Επεξεργασία Τροφίμων.** Η γνώση της περιεχόμενης υγρασίας χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των τροφίμων κατά τις διάφορες επεξεργασίες π.χ. ανάμιξη, ξήρανση, ροή μέσω σωληνώσεων.

Ιδιότητες του νερού στα τρόφιμα

- Το περιεχόμενο της υγρασίας ορίζεται από την εξίσωση:

$$\% \text{ Υγρασία} = (m_v / m_{\text{δείγματος}}) \times 100$$

- Όπου m_v η μάζα του νερού και $m_{\text{δείγματος}}$ η μάζα του δείγματος.

Τα μόρια του νερού σε διαφορετικά περιβάλλοντα έχουν διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες:

- **Ελεύθερο νερό.** Είναι ελεύθερο και κάθε μόριο νερού περιβάλλεται από άλλα μόρια νερού. Οι φυσικοχημικές του ιδιότητες είναι παρόμοιες με αυτές του καθαρού νερού π.χ. σημείο τήξης, σημείο βρασμού, πυκνότητα, θερμότητα εξάτμισης, απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- **Δεσμευμένο νερό.** Αυτό το νερό είναι δεσμευμένο σε στενά κανάλια μεταξύ συγκεκριμένων συστατικών λόγω των τριχοειδών δυνάμεων. Το παγιδευμένο νερό συγκρατείται στους χώρους του τροφίμου και δεν μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα. Παρόμοιες ιδιότητες με αυτές του ελεύθερου νερού.

- **Φυσικώς δεσμευμένο νερό.** Ένα σημαντικό μέρος των μορίων του νερού δεν είναι εντελώς περιτοιχισμένα από άλλα μόρια νερού αλλά και από άλλα μόρια π.χ. πρωτεΐνες, υδατάνθρακες ή μέταλλα. Οι δεσμοί αυτοί διαφέρουν σημαντικά από αυτές του νερού-νερού και οι ιδιότητές του είναι διαφορετικές από αυτές του ελεύθερου νερού.
- **Χημικώς δεσμευμένο νερό.** Είναι δεσμευμένο χημικά με άλλα μόρια ως νερό κρυσταλλοποίησης ή ως ένυδρες μορφές π.χ. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Είναι πολύ ισχυροί δεσμοί και έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες από αυτές του ελεύθερου νερού π.χ. χαμηλότερο σημείο τήξης, υψηλότερο σημείο βρασμού, υψηλότερη πυκνότητα, χαμηλότερη συμπιεστότητας, υψηλότερη θερμότητα εξατμίσσης, διαφορετική απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Προετοιμασία δείγματος

- Οι δύο κυριότερες πηγές σφάλματος είναι η επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος και οι μεταβολές των ιδιοτήτων του.
- Δεν θα πρέπει να υπάρξει απώλεια ή προσρόφηση υγρασίας πριν την ανάλυση.

Μέθοδοι εξάτμισης-ξηράνσης

- Αυτές οι μέθοδοι στηρίζονται στη μέτρηση της μάζας του νερού μιας γνωστής ποσότητας τροφίμου. Μέτρηση της μάζας πριν και μετά την εξάτμιση (έμμεση μέθοδος).

$$\% \text{ υγρασία} = \frac{M_{\text{αρχική}} - M_{\text{ξηρού δειγ.}}}{M_{\text{αρχική}}} \times 100$$

- Η βασική αρχή αυτής της τεχνικής είναι ότι το νερό έχει χαμηλότερο σημείο ζέσης από τα άλλα συστατικά των τροφίμων π.χ. λιπίδια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και μέταλλα.

- Μία παράμετρος που σχετίζεται με την υγρασία είναι τα ολικά στερεά. Είναι το ποσό του υλικού που παραμένει μετά την εξάτμιση του νερού:

$$\% \text{ Ολικά στερεά} = \frac{M_{\text{ξηρού δείγ.}}}{M_{\text{αρχικού}}}$$

$$\% \text{ ολικά στερεά} = (100 - \% \text{ υγρασία})$$

- Για **ακριβή** μέτρηση θα πρέπει να απομακρυνθούν όλα τα μόρια νερού που είναι παρόντα στο τρόφιμο χωρίς αλλαγή της μάζας της τροφικής μήτρας.
- Είναι πολύ δύσκολο γιατί σε υψηλές θερμοκρασίες ή μεγάλους χρόνους ξήρανσης εμφανίζονται μεταβολές στο υπόλοιπο τρόφιμο (π.χ. εξάτμιση ή χημική μεταβολή συστατικών).
- Γι αυτό οι μέθοδοι εξάτμισης πρέπει να τυποποιηθούν (θερμοκρασία και χρόνος) έτσι ώστε να είναι ακριβείς και με επαναληψιμότητα.

Μέθοδοι ξήρανσης

1

Ξήρανση σε φούρνο (AOAC)

- Απλή μέθοδος
- Πιο συνηθισμένη

2

Ξήρανση υπό κενό

Χρησιμοποιείται φούρνος αλλά υπό χαμηλή πίεση μειώνοντας έτσι το σημείο βρασμού του νερού

3

Ξήρανση με μικροκύματα

Χρησιμοποιείται φούρνος μικροκυμάτων
Πολλή γρήγορη μέθοδος

4

Ξήρανση με υπέρυθρες

Πολλή γρήγορη

Συσκευές εξάτμισης

- Η θερμική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού από ένα τρόφιμο μπορεί να δοθεί άμεσα (π.χ. φούρνος) ή έμμεσα (μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε θερμότητα λόγω της απορρόφησης από τα μόρια νερού).
- **Κυκλοθερμικοί φούρνοι.** π.χ. 3 ώρες στους 100°C και προσδιορίζεται η ξηρή μάζα ή ξηραίνονται μέχρι λήψης σταθερού βάρους. Προσοχή με τρόφιμα που περιέχουν σημαντικά ποσά υδατανθράκων. Δεν θα πρέπει να ξηραίνονται σε απλούς ή κυκλοθερμικούς φούρνους.

- **Φούρνος κενού.** Ζυγισμένο δείγμα τοποθετείται σε φούρνο κενού (χαμηλή πίεση 25-100 mmHg- 1atm= 760 mmHg) για συγκεκριμένο χρόνο και θερμοκρασία. Το σημείο ζέσης του νερού ελαττώνεται μέσα στο φούρνο. Πολλά πλεονεκτήματα (σύντομος χρόνος, μικρότερη θερμοκρασία για την ξήρανση). Για ευαλλοίωτα τρόφιμα.
- **Φούρνος μικροκυμάτων.** Ζυγισμένα δείγματα τοποθετούνται σε φούρνο μικροκυμάτων για συγκεκριμένο χρόνο και ισχύ → ξήρανση (σταθερή μάζα). Απλές στη χρήση και γρήγορες. Μπορεί να περιέχουν ενσωματωμένο ζυγό.

- *Ξήρανση με υπέρυθρη λάμπα.* Λάμπα υπέρυθρου φωτός. Τα μόρια νερού εξατμίζονται λόγω απορρόφησης ενέργειας. Κυριότερο πλεονέκτημα η γρήγορη μέτρηση (10-25 min) γιατί η ακτινοβολία διαπερνά το δείγμα και δεν μεταφέρεται από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του δείγματος. Προσοχή στην απόσταση μεταξύ του δείγματος και της λάμπας IR και των διαστάσεων του δείγματος. Δεν είναι επίσημα αναγνωρισμένες.

Θέματα Εφαρμογής

- *Διαστάσεις δείγματος.* Εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του δείγματος και τον τρόπο άλεσης. Η μεγαλύτερη επιφάνεια → μεγαλύτερος ρυθμός απομάκρυνσης της υγρασίας.
- *Συσσωμάτωση και σχηματισμός κρούστας.* Κάποια δείγματα τείνουν προς συσσωμάτωση ή σχηματίζουν ημιπερατή κρούστα κατά την εξάτμιση. Αυτό οδηγεί σε σφάλματα. Γι αυτό αναμιγνύονται με ξηρή άμμο για την παρεμπόδιση συσσωμάτωσης και κρούστας.

- *Ανύψωση του σημείου ζέσης.* Κάτω από τις κανονικές συνθήκες το καθαρό νερό βράζει στους 100°C. Όμως, εάν υπάρχουν διαλυτά στοιχεία αυξάνουν το σημείο ζέσης. Χρειάζεται υψηλότερη θερμοκρασία → ελάττωση του ρυθμού εξάτμισης του νερού.
- *Αποικοδόμηση άλλων συστατικών τροφίμων.* Εάν η θερμοκρασία ξήρανσης είναι πολύ υψηλή ή η ξήρανση διαρκεί μεγάλο χρόνο μπορεί να αποικοδομηθούν κάποια θερμοευαίσθητα συστατικά στο τρόφιμο. Αυτό οδηγεί σε αλλαγή στη μάζα και σφάλματα στη μέτρηση.

- *Εξαέρωση άλλων συστατικών τροφίμων.* Τα τρόφιμα περιέχουν πτητικά συστατικά τα οποία μπορούν να «χαθούν» κατά τη θέρμανση π.χ. αρώματα και οσμές.

Στα περισσότερα τρόφιμα αυτά τα πτητικά είναι σε μικρές συγκεντρώσεις και μπορούν να αγνοηθούν.

Όμως τρόφιμα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις πτητικών ενώσεων (π.χ. μπαχαρικά και βότανα) πρέπει να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές τεχνικές για τον προσδιορισμό της υγρασίας (απόσταξη, χημικές ή φυσικές μέθοδοι).

- *Δείγμα υψηλής υγρασίας.* Αυτά τα τρόφιμα συνήθως ξηραίνονται σε δύο στάδια για να αποφευχθεί ο σχηματισμός σταγονιδίων (πιτσίλισμα) στο δείγμα και συσσώρευση υγρασίας στο φούρνο. Κατά την απομάκρυνσή του συμπαρασύρει και άλλα συστατικά τροφίμων. Π.χ. η υγρασία του γάλακτος απομακρύνεται με θέρμανση σε ατμόλουτρο πριν την ξήρανση σε φούρνο.

- *Διακυμάνσεις θερμοκρασίας και ισχύος.* Οι περισσότερες τεχνικές χρησιμοποιούν συγκεκριμένη θερμοκρασία ή επίπεδο ενέργειας για την ξήρανση του δείγματος. Όμως υπάρχουν συνήθως σημαντικές διακυμάνσεις σε ένα όργανο εξάτμισης και η αποτελεσματικότητα της πορείας ξήρανσης εξαρτάται από την ακριβή θέση του δείγματος στο όργανο.
- *Δοχεία (δίσκοι) δείγματος.* Πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι περιέκτες (δίσκοι) για το τρόφιμο και να χειρίζονται κατάλληλα κατά την ανάλυση της υγρασίας. Συνήθως δίσκους αλουμινίου (φθηνοί και έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα).

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

- **Πλεονεκτήματα:** Ακρίβεια, σχετικά φθηνές, εύκολες στη χρήση, επίσημα επικυρωμένες για πολλές εφαρμογές, πολλά δείγματα μπορούν να αναλυθούν ταυτοχρόνως.
- **Μειονεκτήματα:** Καταστροφικές, ακατάλληλες για διάφορους τύπους τροφίμων (σακχαρούχα τρόφιμα, λαχανικά, φρούτα), χρονοβόρες.

Μέθοδοι Απόσταξης

- Στηρίζονται στην **άμεση** μέτρηση του ποσού του νερού που απομακρύνεται από το νερό με εξάτμιση:

$$\% \text{ Υγρασία} = 100 (M_{\text{ΝΕΡΟΥ}}/M_{\text{ΑΡΧΙΚΗ}}).$$

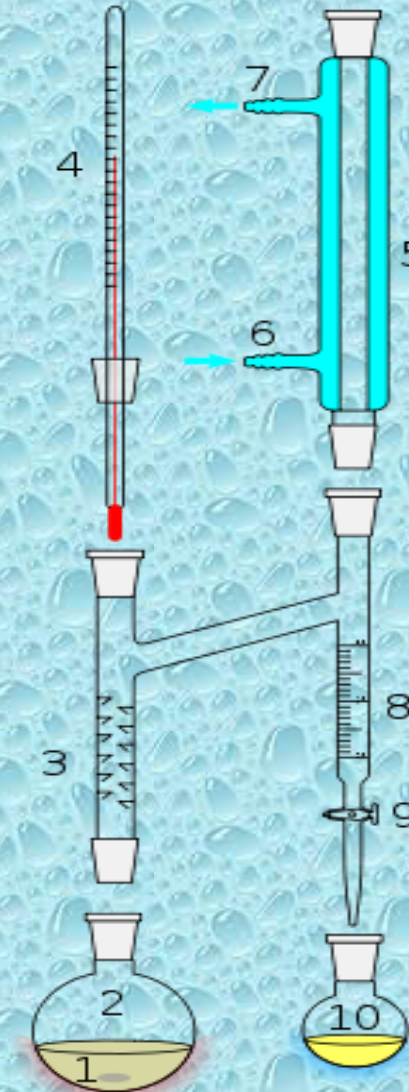
- Αντίθετα, οι μέθοδοι εξάτμισης βασίζονται στην **έμμεση** μέθοδο μέτρησης του νερού που απομακρύνεται:

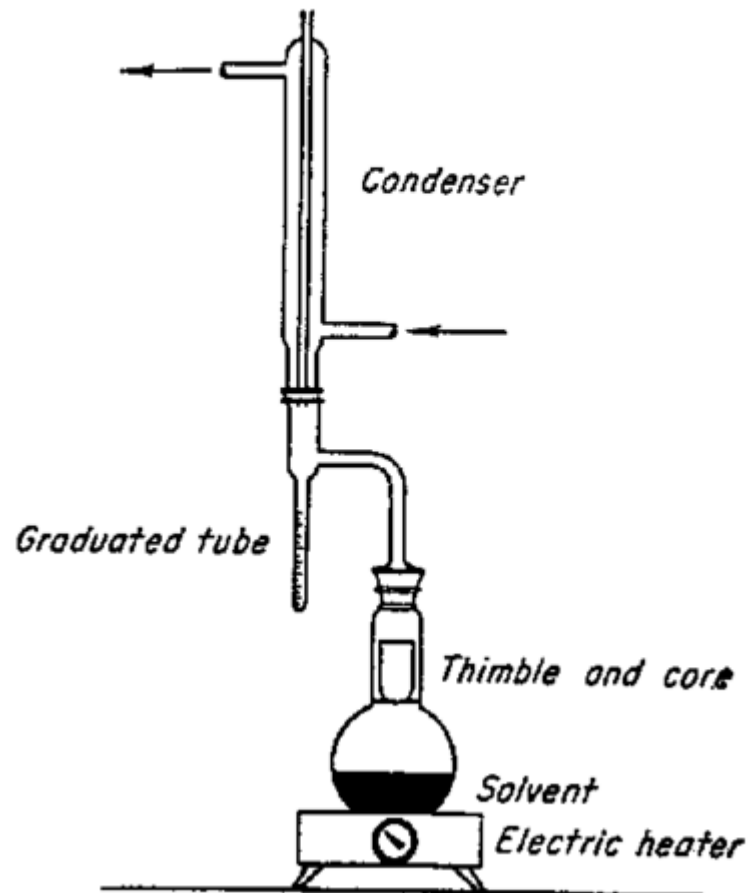
$$\% \text{ Υγρασία} = 100 (M_{\text{ΑΡΧΙΚΗ}} - M_{\text{ΞΗΡΟ}})/M_{\text{ΑΡΧΙΚΗ}}$$

- Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν τη θέρμανση ζυγισμένου δείγματος με την παρουσία **οργανικού** διαλύτη ο οποίος δεν αναμιγνύεται με το νερό. Το νερό συλλέγεται σε βαθμονομημένο σωλήνα και η μάζα του μετρείται απευθείας.
- Μόνη επίσημη μέθοδος προσδιορισμού υγρασίας στα καρυκεύματα

Dean and Stark Method

- Ζυγισμένο δείγμα τροφίμου τοποθετείται σε φιάλη με έναν οργανικό διαλύτη (ξυλόλιο ή τολουόλιο).
- Λόγω διαφοράς στο ε.β. το νερό ως πιο βαρύ μετρείται κατευθείαν στον βαθμονομημένο υποδοχέα.
- το νερό συναποστάζει με υδρόφοβο διαλύτη με τον οποίο σχηματίζει αζεοτροπικό μείγμα και συλλέγεται σε ειδικά βαθμονομημένο υποδοχέα (επίθεμα απόσταξης Dean Stark)





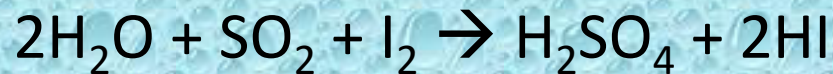
- Υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένα αποτελέσματα: α) γαλακτώματα μεταξύ νερού και διαλύτη και κάνουν δύσκολο το διαχωρισμό, β) σταγονίδια νερού μπορεί να κολλήσουν στα υαλικά, γ) αποικοδόμηση θερμικά ασταθών δειγμάτων στις υψηλές θερμοκρασίες.
- **Πλεονεκτήματα:** Για τρόφιμα με μικρή υγρασία, για δείγματα που περιέχουν πτητικά έλαια, φθηνός εξοπλισμός, εύκολο στήσιμο και χειρισμός, επισήμως πιστοποιημένες για διάφορες εφαρμογές.
- **Μειονεκτήματα:** Καταστρεπτικές, σχετικά χρονοβόρες, χρήση εύφλεκτων διαλυτών, μη εφαρμόσιμη για διάφορους τύπους τροφίμων.

Μέθοδοι χημικής αντίδρασης

- Οι αντιδράσεις μεταξύ νερού και χημικών αντιδραστηρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της υγρασίας στα τρόφιμα. Ένα χημικό αντιδραστήριο αντιδρά με το νερό → σχηματίζεται ένα προϊόν που αλλάζει τις ιδιότητες του συστήματος π.χ. μάζα, όγκος, πίεση, pH < χρώμα, αγωγιμότητα.
- Δύο κυρίως μέθοδοι 1. Ογκομέτρηση Karl-Fisher και 2. Παραγωγή αερίου.
- Δεν χρησιμοποιείται θερμότητα.

Karl-Fisher method (τιτλοδότηση)

- Συνήθως για δείγματα που περιέχουν μικρή περιεκτικότητα υγρασίας < 0,1% (π.χ. ξηρά φρούτα και λαχανικά, προϊόντα ζαχαροπλαστικής, καφές, λίπη και έλαια).

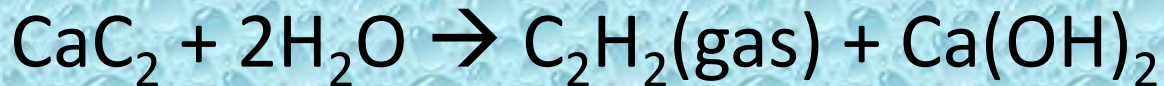


- Βασίζεται στο γεγονός πως το I_2 και το SO_2 (άνυδρο) αντιδρούν μεταξύ τους ΜΟΝΟ παρουσία νερού (υγρασίας)
- Το HI είναι άχρωμο, ενώ I_2 είναι σκούρο κοκκινοκαφέ, το χρώμα μεταβάλλεται όταν το νερό αντιδρά με το αντιδραστήριο.
- Το διοξείδιο του θείου και το ιώδιο είναι αέρια και χάνονται από το διάλυμα. Μπορεί να τροποποιηθεί με προσθήκη διαλυτών (π.χ. $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ - πυριδίνη) και παραμένουν στο διάλυμα. Παρουσία νερού αποχρωματίζεται το διάλυμα *Karl Fisher* και όταν τελειώσει το νερό το αντιδραστήριο δεν αποχρωματίζεται. Απαιτείται πρότυπη καμπύλη.



Μέθοδος παραγωγής αερίου

- Ειδικές αντιδράσεις χημικών αντιδραστηρίων και νερού οδηγούν στην παραγωγή αερίου. Π.χ. όταν το τρόφιμο αναμιγνύεται με καρβίδιο του ασβεστίου (σκόνη) το παραγόμενο ακετυλένιο (αέριο) σχετίζεται με το περιεχόμενο υγρασίας.



- Το ποσό του αερίου μετρείται με διάφορους τρόπους (1) παραγόμενος όγκος αερίου, (2) ελάττωση της μάζας του δείγματος μετά την απελευθέρωση του αερίου και (3) η αύξηση της πίεσης του αεροστεγούς δοχείου στο οποίο υπάρχουν τα αντιδραστήρια.

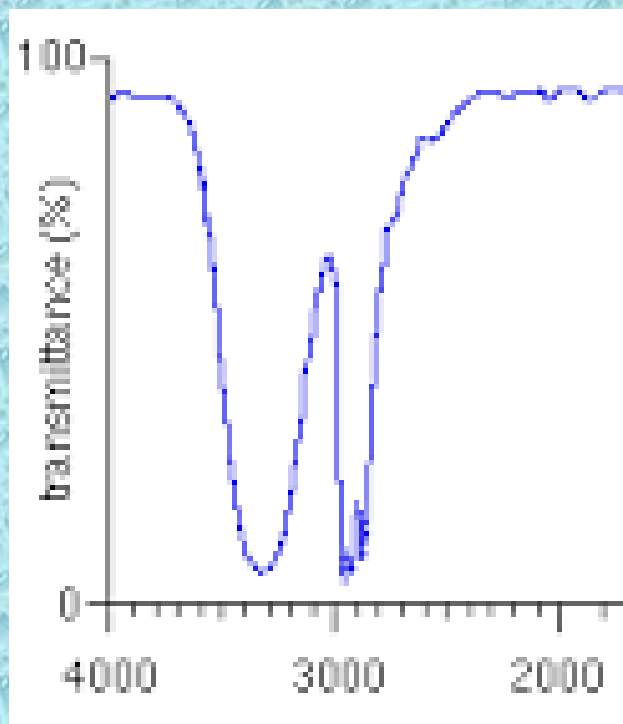
Φυσικές μέθοδοι

- Στηρίζονται στο γεγονός ότι το νερό έχει σημαντικά διαφορετικές φυσικές ιδιότητες από ότι το υπόλοιπο τρόφιμο π.χ. πυκνότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα ή δείκτη διάθλασης.
- Ανάλυση τροφίμων στα οποία η σύσταση της μήτρας τροφίμου δεν αλλάζει σημαντικά αλλά μεταβάλλεται ο λόγος νερού/ τροφικής μήτρας.
- Π.χ. στα γαλακτώματα ελαίου σε νερό το νερό προσδιορίζεται με μέτρηση της πυκνότητας ή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (του νερού είναι ιδιαίτερα υψηλότερη από εκείνη του λαδιού).

Φασματοσκοπικές μέθοδοι

- Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα υλικά και λαμβάνουν πληροφορίες για τη σύσταση π.χ. ακτίνες-Χ, UV-ορατό, NMR, μικροκύματα, IR.
- Βασίζονται στην αρχή ότι το νερό απορροφά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε χαρακτηριστικά μήκη κύματος. Κυρίως η απορρόφηση μικροκυμάτων ή υπέρυθρης ενέργειας από τα τρόφιμα.
- Το μήκος κύματος στο οποίο απορροφά το νερό αλλά κανένα άλλο συστατικό τροφίμου.
- Η μέτρηση σε μερικά λεπτά ή και λιγότερο.

- Να μη γίνει σύγχυση των μεθόδων **απορρόφησης** υπέρυθρου και μικροκυμάτων με τις μεθόδους **εξάτμισης** με υπέρυθρη λάμπα και μικροκύματα.
- Οι πρώτες χρησιμοποιούν κύματα χαμηλής ενέργειας και δεν προκαλούν φυσικές ή χημικές αλλαγές στο τρόφιμο, ενώ οι δεύτερες χρησιμοποιούν κύματα υψηλής ενέργειας για να εξατμίσουν το νερό.
- Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι η γρήγορη μέτρηση, με χωρίς ή λίγη προετοιμασία, ανάλυση πολλών δειγμάτων.



IR φάσμα

Μέθοδος μέτρησης τάσης ατμών

- Μία φυσική παράμετρος σχετίζεται στενά με το ποσό του ελεύθερου νερού που είναι παρόν στο τρόφιμο → ενεργότητα νερού.

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

όπου, P είναι η μερική πίεση του νερού πάνω από το τρόφιμο και P_0 είναι η τάση ατμών του καθαρού νερού στην ίδια θερμοκρασία.

- Το δεσμευμένο νερό είναι λιγότερο πτητικό από το ελεύθερο νερό και έτσι η ενεργότητα νερού δίνει μία καλή ένδειξη του ποσού του ελεύθερου νερού.
- Διάφορες τεχνικές.

- Συνήθως το δείγμα τοποθετείται σε έναν κλειστό περιέκτη και αφήνεται σε ισορροπία. Το περιεχόμενο νερό στον υπερκείμενο χώρο του δείγματος μετρείται και συγκρίνεται με το καθαρό νερό κάτω από τις ίδιες συνθήκες.





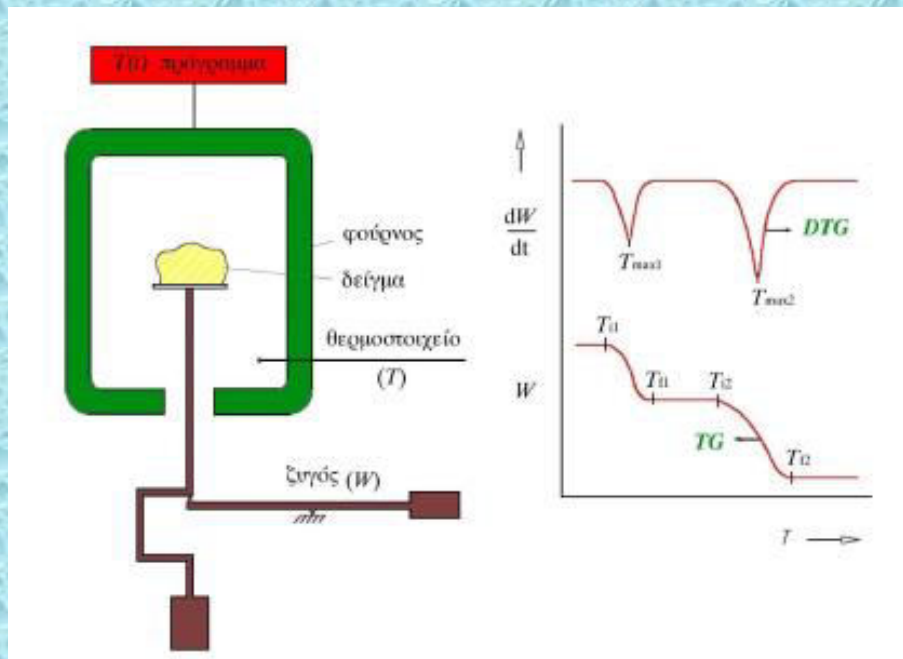
Θερμοσταθμικές μέθοδοι

- Συνεχής μέτρηση της μάζας του δείγματος καθώς θερμαίνεται με ελεγχόμενο ρυθμό. Η θερμοκρασία στην οποία εξατμίζεται το νερό εξαρτάται από το μοριακό περιβάλλον: το ελεύθερο νερό εξατμίζεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του δεσμευμένου νερού.
- Με μέτρηση της αλλαγής της μάζας του δείγματος κατά την απώλεια του νερού δίνει μία ένδειξη του ποσού του παρόντος νερού σε διαφορετικά μοριακά περιβάλλοντα.

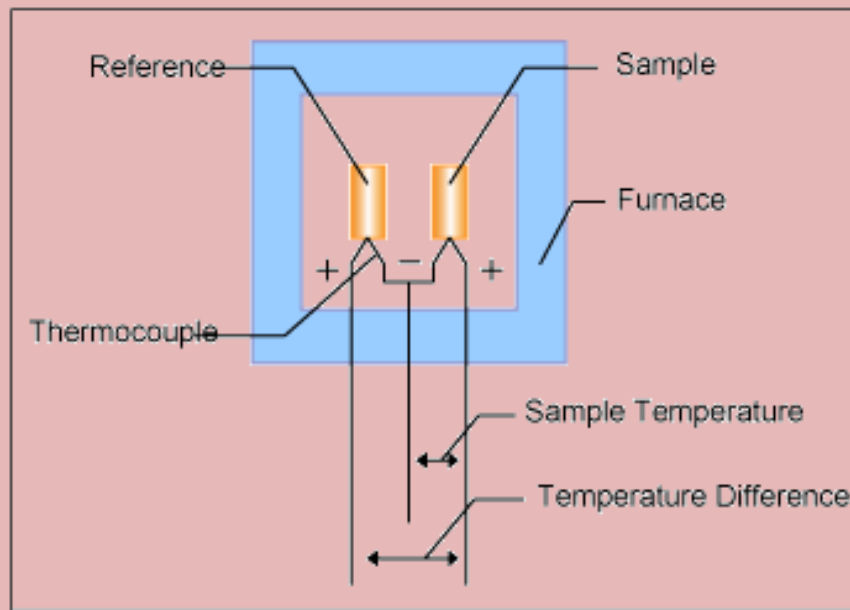
Θερμιδομετρικές μέθοδοι

- Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC) και διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των αλλαγών στη θερμότητα που απορροφάται ή ελευθερώνεται από ένα υλικό καθώς η θερμοκρασία μεταβάλλεται με ελεγχόμενο ρυθμό.
- Το σημείο τήξης του νερού εξαρτάται από το μοριακό περιβάλλον του: το ελεύθερο νερό συνήθως τήκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία από ότι το δεσμευμένο.

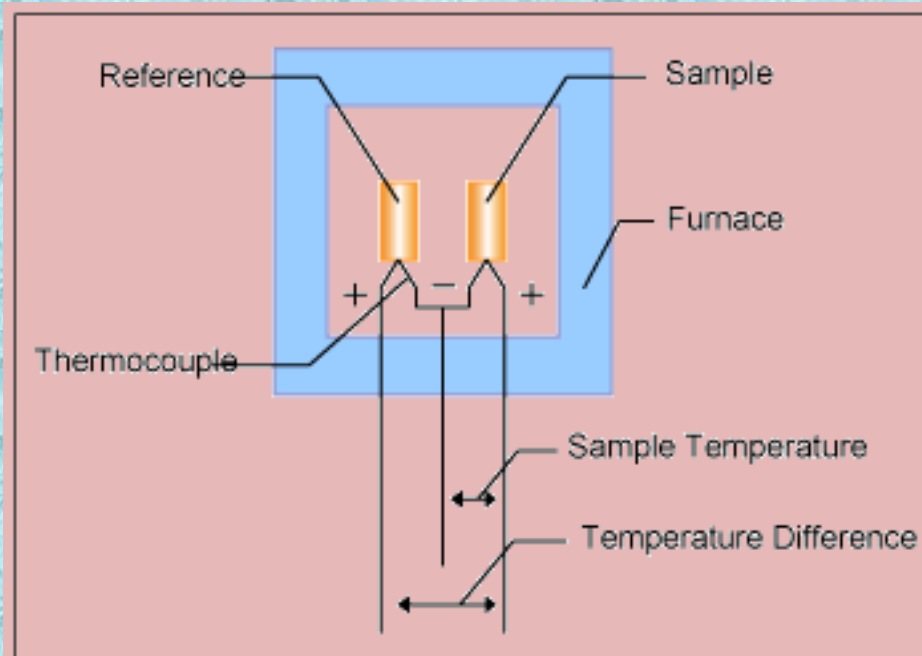
- Τα όργανα (θερμοζυγοί) αποτελούνται από ένα ευαίσθητο ζυγό τοποθετημένο σε ένα περιέκτη του οποίου η πίεση, η θερμοκρασία και γενικώς το περιβάλλον του μπορεί να ελέγχεται με αυστηρότητα.



- Η **DTA** ορίζεται ως «η τεχνική που καταγράφει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μίας ένωσης - υποστρώματος και ενός υλικού αναφοράς έναντι του χρόνου ή της θερμοκρασίας καθώς τα δύο υποστρώματα εκτίθενται στο ίδιο θερμοκρασιακό καθεστώς (θέρμανση ή ψύξη με ελεγχόμενο ρυθμό)».



- Η **DSC** είναι η τεχνική της καταγραφής της ενέργειας που απαιτείται για να διατηρηθεί η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς στο μηδέν τα οποία είτε θερμαίνονται είτε ψύχονται με τον ίδιο ελεγχόμενο ρυθμό.



- Με μέτρηση της μεταβολής ενθαλπίας ενός δείγματος συναρτήσει της θερμοκρασίας λαμβάνεται η ένδειξη του ποσού νερού που είναι παρόν σε διαφορετικά μοριακά περιβάλλοντα.

Φασματοσκοπικές μέθοδοι

- Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα του νερού εξαρτάται από το μοριακό τους περιβάλλον κι έτσι κάποιες φασματοσκοπικές τεχνικές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν τα ποσά του νερού σε διαφορετικά περιβάλλοντα.
- Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική η NMR. Μπορεί να διαχωρίσει τα μόρια μέσα στα υλικά με βάση τη μοριακή τους κινητικότητα δηλ. η απόσταση που κινούνται σε ένα δεδομένο χρόνο.
- Η μοριακή κινητικότητα του ελεύθερου νερού είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή του δεσμευμένου νερού και έτσι το NMR χρησιμοποιείται για να δώσει μία ένδειξη των συγκεντρώσεων του νερού στις καταστάσεις «ελεύθερο» και «δεσμευμένο».