

Τα τρόφιμα αποτελούν σύνθετα οικοσυστήματα

που αποτελούνται:

- ✓ από το «περιβάλλον» των ίδιων των τροφίμων
- ✓ τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν μέσα σε αυτά ή μπορούν να τα επιμολύνουν

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

- Με τον όρο ανάπτυξη των μικροοργανισμών αναφερόμαστε στην αύξηση του αριθμού των κυττάρων ενός μικροοργανισμού σε ένα πληθυσμό
 - Η αύξηση του πληθυσμού γίνεται μέσω της κυτταρικής διαίρεσης
- ✓ Το χρονικό διάστημα για το σχηματισμό δύο κυττάρων από ένα ονομάζεται μια γενεά, ενώ ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ονομάζεται χρόνος γενεάς
 - ✓ Ο χρόνος γενεάς ονομάζεται και χρόνος διπλασιασμού

Για κάθε παράγοντα που επηρεάζει τον πολλαπλασιασμό,
έχουν προσδιορισθεί τρεις τιμές,

- η ελάχιστη (minimum) και η μέγιστη (maximum) τιμή στην οποία ο μικροοργανισμός μπορεί να αναπτύσσεται
- η βέλτιστη (optimum) που περιγράφει την τιμή ή το εύρος των τιμών όπου παρατηρείται η μέγιστη ανάπτυξη

Ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες
που μπορούν να επηρεάσουν την
ανάπτυξη των μικροοργανισμών

Α. Ενδογενείς Παράγοντες

- pH
- Νερό
- Οξυγόνο και οξειδοαναγωγικό δυναμικό
- Θρεπτικά συστατικά
- Ανασταλτικές ουσίες
- Βιολογικές δομές

I. pH

ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου [H⁺]

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται καλύτερα σε τιμές pH 6.5 έως 7.5

Λίγοι μικροοργανισμοί μπορούν και αναπτύσσονται σε τιμές pH < 4

➤ Το pH ορισμένων τροφίμων όπως φρούτα, αναψυκτικά, τουρσιά, κρασί κ.α. είναι πολύ χαμηλότερο από εκείνο που αναπτύσσονται τα περισσότερα βακτήρια

➤ σε αυτό το γεγονός οφείλεται η καλή ικανότητα συντήρησής τους

Είδος Τροφίμου	pH
Βούτυρο	6.1 - 6.4
Γάλα	6.5
Κρέμα	6.5
Μοσχαρίσιο κρέας	5.2 - 5.9
Κρέας κοτόπουλου	6.2 - 6.4
Γαρίδα	6.8 - 7.0
Σολομός	6.1 - 6.3
Ελιές	3.6 - 3.8
Μπρόκολο	6.5
Μπανάνες	4.5 - 4.7
Πορτοκάλια	3.6 - 4.3
Μήλα	2.9 - 3.3

Πίνακας 2. Εύρος τιμών pH ορισμένων τροφίμων.

Σε γενικές γραμμές οι ζύμες και οι μύκητες
είναι περισσότερο ανθεκτικά σε όξινο
περιβάλλον από τα βακτήρια

✓ Η αλλοίωση τους οφείλεται συνήθως στην ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων που όπως αναφέρθηκε έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται σε *χαμηλότερες τιμές pH (<3.5)*

- Είναι γνωστό ότι πολύ υψηλές τιμές του **pH (12-13)** έχουν επίσης ανασταλτική δράση
- Η **προσθήκη CaOH_2** εμφανίζει βακτηριοκτόνο δράση κατά της ***L. monocytogenes*** και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών

✓ Σε τρόφιμα με pH εκτός των ιδανικών ορίων, παρατηρείται επιμήκυνση της φάσης προσαρμογής των μικροοργανισμών

✓ Το γεγονός αυτό οφείλεται στην προσπάθεια προσαρμογής του περιβάλλοντος του τροφίμου από τους μικροοργανισμούς σε συνθήκες που μπορούν να αναπτυχθούν.

Ορισμένα βακτήρια όπως το *Clostridium*

acetobutyricum αυξάνουν το pH του

περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται με την

μετατροπή του βουτυρικού οξέος σε βουτανόλη

Το ενδοκυτταρικό pH των μικροοργανισμών πρέπει να διατηρείται πάνω από μια κρίσιμη τιμή,

κάτω από την οποία παρατηρείται μη αντιστρεπτή

μετουσίωση των ενδοκυτταρικών πρωτεϊνών με

αποτέλεσμα τον κυτταρικό θάνατο

3 μηχανισμοί διατήρησης του ενδοκυτταρικού pH των μικροοργανισμών

Οι μηχανισμοί αυτοί είναι:

- i. «αντίδραση ομοιόστασης»,
- ii. «αντίδραση όξινης ανεκτικότητας» και
- iii. η σύνθεση «πρωτεϊνών όξινου σοκ».

- Η αντίδραση ομοιόστασης συμβάλλει στην διατήρηση του ενδοκυτταρικού pH των μικροοργανισμών σε ήπια όξινα περιβάλλοντα (pH>6.0)
- Τροποποίηση κυρίως της αντλίας πρωτονίων στην κυτταροπλασματική μεμβράνη για την αποβολή πρωτονίων με μεγαλύτερο ρυθμό από το κυτταρόπλασμα

Η αντίδραση όξινης ανεκτικότητας

ενεργοποιείται σε περιβάλλον με pH 5.5 έως 6.0

- *L. monocytogenes* ο μηχανισμός αυτός εκφράζεται στη λειτουργία της αντλίας πρωτονίων της μεμβράνης
- Εντεροβακτήρια 4 λειτουργίες των κυττάρων εξαρτώνται και από το είδος του οξέος (οργανικό ή ανόργανο)
- *E. coli* O157:H7 σχετίζεται με την τροποποίηση έκφρασης 86 γονιδίων του βακτηριακού κυττάρου

Η σύνθεση πρωτεϊνών όξινου σοκ ενεργοποιείται σε περιβάλλον pH 3.0 έως 5.0

Αυτές οι πρωτεΐνες είναι κοινές σε βακτήρια όπως η *L. monocytogenes* ή μοναδικές όπως στην περίπτωση της *E. coli* O157:H7

➤ Κύτταρα *E. coli* O157:H7 είχε ενεργοποιηθεί η σύνθεση πρωτεϊνών όξινου σοκ παρουσίασαν ↓ του πληθυσμού τους **κατά 1 log cfu/ml** μετά από έκθεση σε πολύ όξινο pH (1.8),

➤ Ενώ σε κύτταρα που δεν είχε ενεργοποιηθεί η σύνθεση «πρωτεϊνών όξινου σοκ» **κατά 4 log cfu/ml** στις ίδιες συνθήκες

Το pH αλληλεπιδρά με άλλους παράγοντες των τροφίμων, όπως

- ενεργό υγρασία
- συγκέντρωση NaCl
- οξειδοαναγωγικό δυναμικό
- προσθήκη συντηρητικών

II. Νερό

✓ Η αποξήρανση των τροφίμων αποτελεί μια από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης των τροφίμων

✓ Οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να αναπτυχθούν στο καθαρό νερό ή απουσία νερού

Το νερό είναι το συστατικό του κυττάρου με τη μεγαλύτερη αναλογία,

ο διευκολύνει την είσοδο διαλυτών θρεπτικών συστατικών και

ο την αποβολή προϊόντων του μεταβολισμού
των θρεπτικών ουσιών

Κύριο χαρακτηριστικό των τροφίμων είναι η περιεκτικότητά τους σε νερό, το οποίο ανάλογα με τον τρόπο που συγκρατείται διακρίνεται σε ΕΛΕΥΘΕΡΟ και ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ (3 τύπους I, II και III)

ΕΛΕΥΘΕΡΟ νερό συγκρατείται με τριχοειδείς δυνάμεις και βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία από το **ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ**

Είναι υπεύθυνο για της χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο τρόφιμο και τον εφοδιασμό των βακτηρίων και των ενζύμων (τύπος II)

ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ διακρίνεται σε:

- Δομικό, τύπου II (συμμετέχει στη δομή των πρωτεϊνών 1%)**
- Ενουδάτωσης, τύπου I (γύρω από τις πρωτεΐνες 4%)**

Η ενεργότητα του νερού ή συντελεστής ενεργού ύδατος (ΣΕΥ) ορίζεται ως η σχέση της τάσης των υδρατμών του τροφίμου δια της τάσης των υδρατμών του καθαρού νερού στην ίδια Θ

Αποτελεί μέτρο κρίσης της ποσότητας του νερού που είναι διαθέσιμη για την εκδήλωση βιοχημικών, κυρίως βακτηριακών, δράσεων στο τρόφιμο (0 – 1)

❖ καθαρό νερό έχει $a_w = 1$,

❖ διάλυμα NaCl 22% (v/w) $a_w = 0.86$ και

κορεσμένο διάλυμα NaCl $a_w = 0.75$

Ο ΣΕΥ των περισσότερων νωπών τροφίμων

είναι περίπου 0.99

Table 3-1. Approximate a_w values of selected food categories.

Animal Products	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

Plant Products	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

Table 3-2. Approximate a_w values for growth of selected pathogens in food.

Organism	Minimum	Optimum	Maximum
<i>Campylobacter spp.</i>	0.98	0.99	
<i>Clostridium botulinum</i> type E*	0.97		
Enterohemorrhagic <i>Escherichia coli</i>	0.95	0.99	
<i>Salmonella spp.</i>	0.94	0.99	>0.99
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.94	0.98	0.99
<i>Bacillus cereus</i>	0.93		
<i>Clostridium botulinum</i> types A & B**	0.93		
<i>Clostridium perfringens</i>	0.943	0.95-0.96	0.97
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.92		
<i>Staphylococcus aureus</i> growth	0.83	0.98	0.99
<i>Staphylococcus aureus</i> toxin	0.88	0.98	0.99

➤ Γενικά, τα βακτήρια απαιτούν υψηλότερες τιμές a_w για την ανάπτυξή τους από τις ζύμες και τους μύκητες

➤ με τα Gram- να έχουν υψηλότερες απαιτήσεις από τα Gram+ βακτήρια

Τα περισσότερα αλλοιογόνα βακτήρια δεν αναπτύσσονται σε τιμές a_w χαμηλότερες από 0.91,

ενώ οι μύκητες μπορούν να αναπτυχθούν ακόμα και σε τιμές 0.8.

Από τα τροφιμογενή παθογόνα βακτήρια τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε χαμηλές τιμές a_w παρουσιάζει ο ***Staphylococcus aureus***, που μπορεί να αναπτυχθεί σε τιμές a_w μέχρι και **0.86**, ενώ το *Clostridium botulinum* αναπτύσσεται σε τιμές μέχρι 0.94

Κανένα βακτήριο, ζύμη ή μύκητας δεν μπορεί να αναπτυχθεί σε a_w 1.0 (καθαρό νερό) αφού δεν υπάρχουν θρεπτικά συστατικά

Πυκνά διαλύματα αλάτων ή σακχάρων ασκούν οσμωτική πίεση στα μικροβιακά κύτταρα με αποτέλεσμα την έξοδο νερού και τη λύση του κυττάρου

Το φαινόμενο της όσμωσης εφαρμόζεται για τη συντήρηση διάφορων τροφίμων, όπως οι μαρμελάδες, ζελέδες φρούτων ή τα αλίπαστα

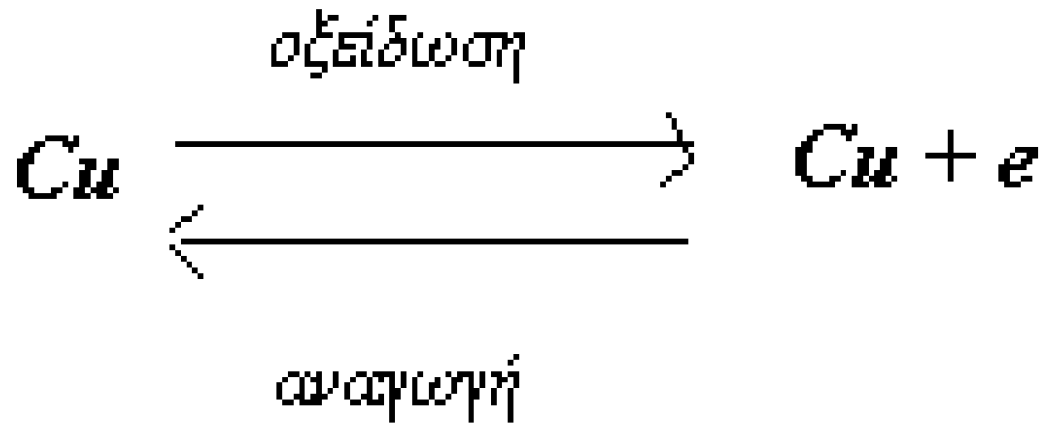
Clostridium perfringens οι ελάχιστες τιμές a_w ήταν **0.97 και 0.95**, όταν χρησιμοποιήθηκαν σουκρόζη και NaCl, αντίστοιχα

III. Οξυγόνο και οξειδοαναγωγικό δυναμικό του τροφίμου

Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό (E_h) μπορεί γενικά να χαρακτηριστεί ως

η τάση με την οποία το τρόφιμο χάνει ή λαμβάνει ηλεκτρόνια

Όταν μια ουσία ή ένωση χάνει ηλεκτρόνια
οξειδώνεται, ενώ αντίστοιχα όταν λαμβάνει
ηλεκτρόνια ανάγεται



Όταν ηλεκτρόνια μεταφέρονται από μια ουσία σε μια άλλη τότε δημιουργείται δυναμικό το οποίο μπορεί να μετρηθεί με τον κατάλληλο εξοπλισμό και εκφράζεται σε **mV (milliVolt)**

- όσο **οξειδώνεται** μια ουσία τόσο **αυξάνεται** το θετικό της ηλεκτρικό δυναμικό, ενώ
- όσο **ανάγεται** τόσο περισσότερο **αρνητικό** γίνεται το ηλεκτρικό της δυναμικό

- Οι **αερόβιοι** μικροοργανισμοί απαιτούν **θετικές τιμές Eh** (οξειδωση), ενώ
- οι **αναερόβιοι** μικροοργανισμοί απαιτούν **αρνητικές τιμές Eh** (αναγωγή)

✓ Τα **υποχρεωτικά αναερόβια** βακτήρια (π.χ. κλοστρίδια) αναπτύσσονται σε τιμές E_h (+100 έως κάτω από -250mV), ενώ

✓ τα **αερόβια βακτήρια** όπως αυτά του γένους *Bacillus* απαιτούν θετικές τιμές E_h (+500 έως +300).

Τα **αυστηρά αναερόβια βακτήρια** αναπτύσσονται συνήθως στο εσωτερικό **μεγάλου μεγέθους τεμαχίων** ακατέργαστων τροφίμων, όπου η ελεύθερη διείσδυση του οξυγόνου είναι περιορισμένη και μαζί με τα προαιρετικά αναερόβια βακτήρια είναι οι οργανισμοί που κυρίως προκαλούν αλλοιώσεις σε αυτά τα τρόφιμα

IV. Θρεπτικά συστατικά

Οι μικροοργανισμοί απαιτούν **ορισμένα βασικά Θρεπτικά συστατικά** για την ανάπτυξη και τη διατήρηση των βασικών μεταβολικών τους λειτουργιών.

- νερό
- πηγή ενέργειας
- πηγή αζώτου
- βιταμίνες και
- ιχνοστοιχεία

Τα τροφιμογενή παθογόνα χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας **υδατάνθρακες, αλκοόλες και αμινοξέα**

- Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί μεταβολίζουν απλά **σάκχαρα των τροφίμων, όπως η γλυκόζη,**
- ενώ άλλοι μικροοργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να μεταβολίζουν **πιο σύνθετα σάκχαρα, όπως το άμυλο που βρίσκεται στα φυτικά τρόφιμα ή το γλυκονόνο που βρίσκεται στο κρέας**

➤ Τα **αμινοξέα** μεταβολίζονται ως πηγή ενέργειας και αζώτου από τους περισσότερους μικροοργανισμούς. Κάποια βακτήρια χρησιμοποιούν πεπτίδια, νουκλεοτίδια και περισσότερο σύνθετες πρωτεΐνες ως πηγή αζώτου.

➤ Τέλος, άλλες πηγές αζώτου αποτελούν και άλλες ενώσεις όπως ουρία, αμμωνία, κρεατινίνη και μεθυλαμίνες

Τα ιχνοστοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι ο **φώσφορος, το μαγνήσιο, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το ασβέστιο** κ.α.

Γενικά, μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων απαιτούνται από τους μικροοργανισμούς με αποτέλεσμα **πολλά τρόφιμα να αποτελούν πλούσιες πηγές ιχνοστοιχείων**

Σε γενικές γραμμές τα **Gram +** βακτήρια έχουν μικρότερη ικανότητα σύνθεσης των απαραίτητων ουσιών για την ανάπτυξή τους

Staphylococcus aureus απαιτεί θειαμίνη και νικοτινικό οξύ →

Τα φρούτα και τα λαχανικά φτωχά σε περιεκτικότητα βιταμινών του συμπλέγματος Β →

δεν υποστηρίζουν την ανάπτυξη τέτοιων μικροοργανισμών.

Παράδειγμα βακτηρίου με ιδιαίτερες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά είναι η *Salmonella Enteritidis* εξαρτάται από τη διαθέσιμη **συγκέντρωση του σιδήρου**

↑ **συγκέντρωση σιδήρου σε λεύκωμα αβγού** οδήγησε σε αυξημένους πληθυσμούς του παθογόνου σε σχέση με λεύκωμα αβγού που δεν περιείχε σίδηρο

V. Ανασταλτικές ουσίες

Ορισμένα τρόφιμα περιέχουν **ενδογενώς φυσικές αντιμικροβιακές ουσίες**

➤ Κάποια **τρόφιμα φυτικής προέλευσης** περιέχουν συστατικά με αντιμικροβιακή δράση, όπως η **καρβακρόλη**, η **θυμόλη**, η **ευγενόλη**, η **αλίνη**, η **γοσιπόλη** κ.α.

➤ στο **γάλα** βρίσκονται η λακτοφερίνη, η λακτοπεροξειδάση και ορισμένα λιπαρά οξέα.

➤ Το **λεύκωμα του αβγού** περιέχει ανασταλτικές ουσίες, όπως η λυσοζύμη, η αβιδίνη, η συναλβουμίνη και η वालβουμίνη.

➤ Στο **κρέας, τα πουλερικά και τα ψάρια** υπάρχουν η λυσοζύμη και ορισμένα λιπαρά οξέα

➤ Οι περισσότερες από τις παραπάνω ανασταλτικές ουσίες **αναστέλλουν κυρίως την ανάπτυξη των Gram θετικών βακτηρίων**

➤ Πιθανώς αυτό να είναι το αίτιο που οι **περισσότεροι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί είναι Gram αρνητικοί**

είναι γνωστό ότι η επεξεργασία των τροφίμων όπως η κάπνιση έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ανασταλτικών ουσιών

Η κάπνιση του κρέατος και των αλευμάτων έχει ως αποτέλεσμα την εναπόθεση ουσιών με αντιμικροβιακή δράση στην επιφάνεια των τροφίμων, όπως οι φαινόλες, οι αλδεΐδες κ.α.

VI. Βιολογικές δομές

➤ Τα τρόφιμα, ιδιαίτερα όταν είναι νωπά, διαθέτουν **βιολογικές δομές** που αποτρέπουν την είσοδο και ανάπτυξη παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών

➤ Παραδείγματα τέτοιων βιολογικών δομών αποτελούν το **κέλυφος των αβγών**, η **φλούδα των φρούτων**, το **κέλυφος των φιστικιών** κ.α.

Οι βιολογικές αυτές δομές δεν αποτρέπουν την επιβίωση των μικροοργανισμών στην επιφάνειά τους με αποτέλεσμα

η μερική ή πλήρης καταστροφή τους σε κάποιο στάδιο της συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας ή αποθήκευσής τους να επιτρέπει την είσοδο και την ανάπτυξη των μικροοργανισμών στο τρόφιμο

Β. Εξωγενείς Παράγοντες

- Θερμοκρασία / χρόνος
- Συνθήκες συντήρησης
- Συσκευασία / είδος ατμόσφαιρας
- Παρουσία και δράση άλλων μικροοργανισμών

Ι. Θερμοκρασία

Κάθε μικροοργανισμός έχει **μια ελάχιστη, μια μέγιστη και μια ιδανική Θερμοκρασία** που επιτρέπει την ανάπτυξή του

Ανάλογα με το εύρος των θερμοκρασιών ανάπτυξης

οι μικροοργανισμοί διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

i. τους θερμοφίλους,

ii. τους μεσόφιλους και

iii. τους ψυχρόφιλους μικροοργανισμούς.

Κατηγορία	Θερμοκρασία ανάπτυξης (°C)		
	Ελάχιστη	Ιδανική	Μέγιστη
Θερμόφιλοι	40-45	55-65	60-90
Μεσόφιλοι	5-15	30-45	35-47
Ψυχρόφιλοι	-5 έως +5	12-15	15-20

Θερμοκρασίες ανάπτυξης των θερμόφιλων, μεσόφιλων και ψυχρόφιλων μικροοργανισμών.

- Πολύ λίγοι μικροοργανισμοί είναι **πραγματικά ψυχρόφιλοι**

Ο όρος «**ψυχρότροφοι**» για μικροοργανισμούς που έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως η ***Listeria monocytogenes*** (ελάχιστη θερμοκρασία 0.4 °C), αλλά έχουν μεγαλύτερη ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης από τα ψυχρόφιλα

➤ Στους ψυχρόφιλους μικροοργανισμούς εντάσσονται βακτήρια όπως: *Shewanella*, *Brochothrix*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Pectobacterium*, *Pseudomonas*, *Psychrobacter*, *Enterococcus* κ.α.

➤ Οι περισσότεροι αναπτύσσονται καλά στην ψύξη με αποτέλεσμα να προκαλούν αλλοιώσεις σε τρόφιμα, όπως κρέας, γάλα, αλιεύματα που συντηρούνται σε θερμοκρασίες ψύξης

Στους θερμόφιλους εντάσσονται βακτήρια όπως: *Bacillus*,
Clostridium, *Geobacillus*, *Alicyclobacillus* και
Thermoanaerobacter.

Οι μικροοργανισμοί αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερο
ενδιαφέρον για τα τρόφιμα και ιδιαίτερα για τον **τομέα**
της κονσερβοποιίας

Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από την ελάχιστη θερμοκρασία ανάπτυξης

✓ η λειτουργία των ενζυμικών μηχανισμών των μικροοργανισμών επιβραδύνεται,

✓ μειώνεται και διαλυτότητα της κυτταροπλασματικής μεμβράνης με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η μεταφορά των θρεπτικών συστατικών

Αντίστοιχα, σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τη μέγιστη θερμοκρασία ανάπτυξης επέρχεται

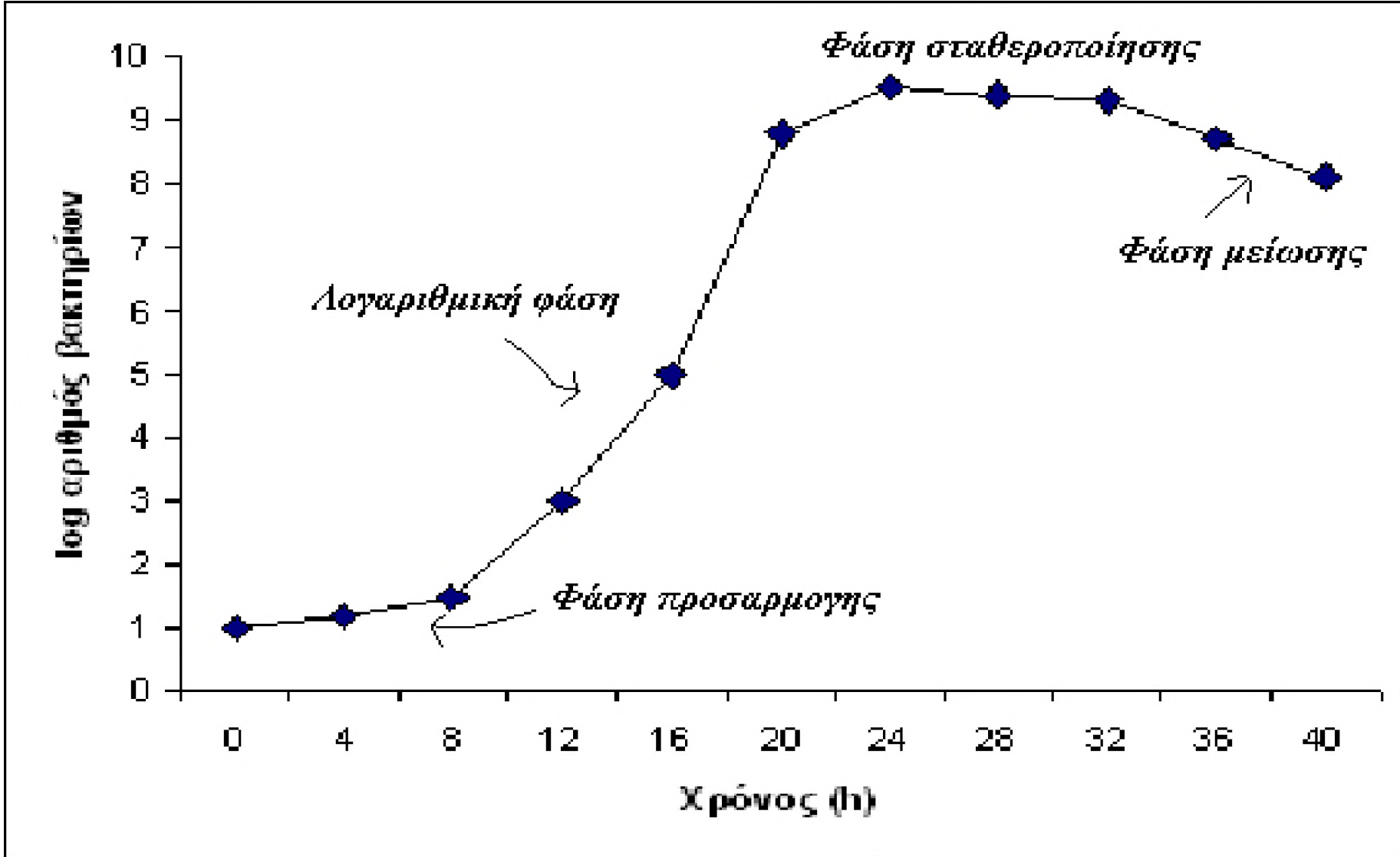
- αποδόμηση δομικών συστατικών των βακτηριακών κυττάρων (π.χ. μετουσίωση πρωτεϊνών και
- απενεργοποίηση θερμοευαίσθητων ενζύμων τους που είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία του κυττάρου

ΙΙ. Χρόνος

Στο ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών εκτός από τη θερμοκρασία πολύ μεγάλη σημασία έχει και ο χρόνος

Για τη βιομηχανία των τροφίμων ο χρόνος σαν παράγοντας που επιδρά στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών, σχετίζεται κυρίως με τη διάρκεια συντήρησης των τροφίμων

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών περιγράφεται



Στη φάση λογαριθμικής ανάπτυξης οι μικροοργανισμοί αναπαράγονται με ρυθμό, όπου 1 κύτταρο διαιρείται σε 2, τα 2 κύτταρα σε 4 κτλ. Σε ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης ο χρόνος διπλασιασμού ορισμένων βακτηρίων μπορεί να κυμαίνεται σε **15-20 λεπτά** (*Vibrio* <10)

Σε περιβάλλοντα που δεν επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες τότε τόσο η φάση προσαρμογής όσο και ο χρόνος κυτταρικής διαίρεσης διαρκούν περισσότερο

Η φάση προσαρμογής και ο χρόνος διπλασιασμού για τη *Listeria monocytogenes* στους 10 °C ήταν περίπου 1.5 ημέρα και 5 – 8 ώρες σε θερμοκρασία 1 °C 3.3 ημέρες και 62 – 131 ώρες

Με τη ρύθμιση παραγόντων, όπως

·η θερμοκρασία ή

·ο αρχικός πληθυσμός των μικροοργανισμών

μπορεί να επιτευχθεί

η επιμήκυνση της φάσης προσαρμογής τόσο που να υπερβαίνει το χρόνο αλλοίωσης των τροφίμων

Στη φάση μείωσης αν τα βακτηριακά κύτταρα δεν μεταφερθούν σε νέο ευνοϊκό περιβάλλον, τότε σταδιακά
θα αρχίσει η θανάτωσή τους

Οφείλεται στη μεταβολή του αρχικού περιβάλλοντος εξαιτίας

- κατανάλωσης των θρεπτικών συστατικών και
- συνκέντρωσης τοξικών προϊόντων του μεταβολισμού

ΤΟΥΣ

III. Συνθήκες συντήρησης

Η σχετική υγρασία (ΣΥ) του περιβάλλοντος συντήρησης των τροφίμων επιδρά στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε αυτά

Τρόφιμα με χαμηλό a_w δεν πρέπει να συντηρούνται σε περιβάλλον με υψηλή ΣΥ,

αφού μπορούν να προσλάβουν υγρασία στα επιφανειακά στρώματα με αποτέλεσμα να ευνοηθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τεμάχια κρέατος σε ατελή συσκευασία που συντηρούνται σε οικιακούς ψυκτικούς θαλάμους και στα οποία η επιφανειακή αλλοίωσή τους ξεκινά πολύ γρηγορότερα

Αντίστοιχα, η συντήρηση των τροφίμων σε συνθήκες χαμηλής ΣΥ καθίστανται μη αποδεκτά από τους καταναλωτές λόγω της απώλειας υγρασίας που παρατηρείται σε αυτά

IV. Συσκευασία

Μια από τις σημαντικότερες επιδράσεις της συσκευασίας των τροφίμων είναι ότι λειτουργεί σαν φραγμός ανάμεσα στο περιβάλλον και το τρόφιμο

Αποτρέπει την επιμόλυνση των τροφίμων από αλλοιογόνους ή παθογόνους μικροοργανισμούς ή από άλλους φυσικούς παράγοντες, όπως σκόνη κ.α.

Functions of primary packaging.

Function	Achieved by	Example
Product handling	Containers for loose goods and liquids; clustering of small items.	Bottle, box, bag (liquids, powders) Tray, bag (meat, cheese, loose foods and other products)
Barrier; hygiene	Prevents contact between atmosphere/environment and product; selective passage of gases; protect from light; prevent odours escaping.	Plastic bag for foods multi-layer packaging for cheese
Protection	Fragile items: impact-resistant packaging; surface damage for other items	Egg box; blister pack
Increased product life	Barrier function; inert atmosphere; reduce handling	Foods in protective atmosphere or in vacuo
Tamper-evidence	Sealed container	Tamper-evident tabs; removable metal can lids
Information; advertising	Writing and pictures on packaging	Labels stuck on; printing directly on to packaging

➤ **Το 80% των καταναλωτών επιλέγει τρόφιμα βάσει της συσκευασίας τους (Mortensen 2008)**

Η χρήση συσκευασίας με διαφορετική σύσταση από τον ατμοσφαιρικό αέρα (τροποποιημένες ατμόσφαιρες) ή υπό κενό επιδρούν επίσης στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών

Η επιλογή των υλικών συσκευασίας είναι ιδιαίτερη σημαντική (διαπερατά με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ατμόσφαιρας που περιβάλλει το τρόφιμο κατά τη διάρκεια της συντήρησης)

Η συσκευασία υπό κενό επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση όλου του αέρα από τη συσκευασία και το ερμητικό κλείσιμο αυτής

Η απομάκρυνση του O_2

μειώνει τις οξειδωτικές διεργασίες στο τρόφιμο αποτρέπει την ανάπτυξη της αερόβιας αλλοιογόνου χλωρίδας πρόταση της διάρκειας συντήρησής

Η απουσία του O_2 από τη συσκευασία των υπό κενό τροφίμων μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και την παραγωγή τοξινών από αναερόβιους μικροοργανισμούς όπως το *Clostridium botulinum*

Συμβάλλει η απουσία ανάπτυξης αερόβιας ανταγωνιστικής μικροχλωρίδας

Η τεχνολογία της συσκευασίας των τροφίμων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) στηρίζεται στην αντικατάσταση του αέρα που περιβάλλει το τρόφιμο με μίγμα αερίων σε διαφορετική αναλογία από τον ατμοσφαιρικό αέρα

Συνήθως χρησιμοποιείται μίγμα αερίων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και αζώτου (N₂) ή οξυγόνου, αν και είναι δυνατό όμως να χρησιμοποιηθούν και άλλα μη τοξικά αέρια, όπως π.χ. τα ευγενή αέρια

Τα αέρια επιδρούν στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών κυρίως με 2 μηχανισμούς:

- Εμφανίζουν τοξική δράση στα βακτηριακά κύτταρα ή επιδρούν στις μεταβολικές τους διεργασίες.
- Η μεταβολή της ατμοσφαιρικής σύστασης στη συσκευασία μεταβάλλει τη μικροχλωρίδα του τροφίμου (ευνοώντας την ανάπτυξη κάποιων μικροοργανισμών, εξαιτίας του μικροβιακού ανταγωνισμού παρατηρείται μείωση κάποιων άλλων βακτηριακών πληθυσμών)

Το O_2 ευνοεί την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών

- αναστέλλει τα αυστηρά αναερόβια βακτήρια
- είναι απαραίτητο στη διατήρηση του ζωηρού κόκκινου χρώματος του κρέατος που είναι επιθυμητό από τους καταναλωτές
- αντίθετα συμβάλλει στην οξειδωτική αλλοίωση των τροφίμων

- Το άζωτο N_2 είναι ένα **αδρανές, άγευστο και άνοστο αέριο** με χαμηλή υδατοδιαλυτότητα και λιποδιαλυτότητα

- Χρησιμοποιείται κυρίως για την αντικατάσταση του O_2 για την

αναστολή ανάπτυξης των αερόβιων

μικροοργανισμών και

την επιβράδυνση της οξειδωτικής διεργασίας

Το N_2 χρησιμοποιείται στις συσκευασίες για αισθητικούς λόγους, αφού εξαιτίας της **διάλυσης του CO_2 στο τρόφιμο υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης της συσκευασίας** με αποτέλεσμα να είναι λιγότερο επιθυμητές από τους καταναλωτές στους χώρους πώλησης των τροφίμων

Το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 αποτελεί ένα αέριο με υψηλή υδατοδιαλυτότητα και λιποδιαλυτότητα που παρουσιάζει σημαντική βακτηριοστατική δράση σε τρόφιμα που συντηρούνται σε MAP

Η βακτηριοστατική δράση του CO_2 εξαρτάται από την αναλογία του αερίου στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα και από τον πληθυσμό των μικροοργανισμών στο τρόφιμο

Ο μηχανισμός δράσης του αερίου στα βακτηριακά
κύτταρα συνίσταται:

- i. στη μεταβολή της λειτουργίας της κυτταρικής μεμβράνης με αποτέλεσμα τον περιορισμό της ανταλλαγής θρεπτικών και άλλων αναγκαίων συστατικών που είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία του,
- ii. αναστέλλει ή επιβραδύνει τη λειτουργία των ενζυμικών συστημάτων,
- iii. μεταβάλλει το ενδοκυτταρικό pH και
- iv. επιδρά στις φυσικοχημικές ιδιότητες των πρωτεϊνών

Η βακτηριοστατική δράση του CO_2 είναι έντονη κατά της αερόβιας χλωρίδας σε **συγκεντρώσεις τουλάχιστον 20 - 60 % στην ατμόσφαιρα της συσκευασίας**

Σε τέτοιες συνθήκες:

αναστέλλονται *Pseudomonas* spp, *Moraxella* spp κ.α.

επιβράδυνση ρυθμού ανάπτυξης οξυγαλακτικά

Brochothrix thermosphacta

	Σύνθεση Τροποποιημένης Ατμόσφαιρας		
Τρόφιμο	CO₂ (%)	O₂ (%)	N₂ (%)
Μοσχαρίσιο κρέας	30	30	40
	15 - 40	60 - 85	0
Χοιρινό κρέας	20	80	0
Κρέας πουλερικών	25 - 30	0	70 - 75
	60 - 75	5 - 10	20
	20 - 40	60 - 80	0
Ψάρια	40	30	30

Αβγά	20	0	80
	0	0	100
Τυριά	0 - 70	0	30 - 100
	30	0	70
	0	0	100
Ζυμαρικά	0	0	100
	70 - 80	0	20 - 30
Αρτοσκευάσμα τα	20 - 70	0	20 - 80
	0	0	100
	100	0	0

Τα σκληρά και ημίσκληρα τυριά συσκευάζονται σε μίγματα CO_2 και N_2

ανασταλτική δράση στην επιφανειακή ανάπτυξη μυκήτων

αφού απαιτούν την παρουσία οξυγόνου για να αναπτυχθούν.

ατμόσφαιρα 100 % CO_2 αναστέλλει την ανάπτυξη ζυμών-μυκήτων προκαλεί μη επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (απώλεια υγρασίας ή δυσάρεστων οσμών)

V. Παρουσία και δράση άλλων μικροοργανισμών

μικροχλωρίδα του τροφίμου ή από άλλους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στη τεχνολογία παρασκευής τους, όπως η οξυγαλακτική καλλιέργεια

Σε πολλά τρόφιμα υπάρχει παρουσία *Staphylococcus aureus*, όμως η παραγωγή εντεροτοξινών δεν είναι το ίδιο συχνή.

Οφείλεται στην παρουσία άλλων βακτηρίων, όπως *Pseudomonas*, *Acinetobacter* που επίσης βρίσκονται πολύ συχνά στα τρόφιμα και εμφανίζουν πολύ πιο έντονη μεταβολική δραστηριότητα με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται με ταχύτερους ρυθμούς

Οι μικροοργανισμοί αυτοί καταναλώνουν πολύ πιο γρήγορα τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται στο τρόφιμο με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσεται ο *Staphylococcus aureus* σε πληθυσμούς που να επιτρέπουν την παραγωγή τοξινών

Σε ορισμένα τρόφιμα η ανάπτυξη αερόβιων βακτηριών έχει ως αποτέλεσμα την **κατανάλωση O_2** και έτσι τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών που μπορεί να ευνοήσουν την ανάπτυξη αναερόβιων μικροοργανισμών

Σε όξινα τρόφιμα η ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο του pH, επιτρέποντας την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών, που φυσιολογικά δε θα ευνοούνταν η ανάπτυξή τους σε τέτοιες συνθήκες (φέτα - *L. monocytogenes*)

Κάπνιση

Η κάπνιση αποτελεί μια από τις αρχαιότερες μεθόδους συντήρησης των τροφίμων. Οι σημαντικότερες εφαρμογές της κάπνισης είναι στα κρεατοσκευάσματα και στα αλιεύματα.

Η κάπνιση χρησιμοποιείται κυρίως επειδή προσδίδει ευχάριστη γεύση και χρώμα στα τρόφιμα, αλλά και επειδή αυξάνει και τη διάρκεια συντήρησής τους.

Η συντηρητική ικανότητα του καπνού οφείλεται στις αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες ορισμένων ουσιών που περιέχει

ο καπνός περιέχει περισσότερες από 400 ενώσεις, όπως οξειδία του αζώτου, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, φαινολικές ενώσεις, φουράνια, οργανικά οξέα, βάσεις κ.α

- Τα οξειδία του αζώτου θεωρούνται υπεύθυνα για το χαρακτηριστικό χρώμα
- οι φαινολικές ενώσεις και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες για χαρακτηριστική γεύση των καπνιστών τροφίμων

ΠΑΥ απελευθερώνονται ως προϊόντα της πυρόλυσης της οργανικής ουσίας φτάσουν σε επικίνδυνα επίπεδα για την ανθρώπινη υγεία στα καπνιστά τρόφιμα, ιδιαίτερα αν η κάπνιση πραγματοποιείται υπό μη ελεγχόμενες συνθήκες

Η αναστολή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών με την κάπνιση οφείλεται

- Στη μετάδοση στο τρόφιμο ενώσεων που περιέχονται στον καπνό και διαθέτουν αντιμικροβιακές ιδιότητες, όπως φορμαλδεΰδη, φαινόλες, αλδεΰδες, κετόνες, αλκοόλες κ.α.
- Στην αφυδάτωση της επιφάνειας των τροφίμων
- Στη θέρμανση των τροφίμων, ιδιαίτερα κατά την εφαρμογή της θερμής κάπνισης

Συνήθως εφαρμόζονται 2 μέθοδοι κάπνισης:

❖ ψυχρή κάπνιση κατά την οποία η θερμοκρασία στο εσωτερικό του τροφίμου δεν υπερβαίνει τους 35 °C και

❖ θερμή κάπνιση όπου η θερμοκρασία στο κέντρο του τροφίμου είναι κατ' ελάχιστο 62.8 °C φτάνοντας μέχρι και 80 °C για τουλάχιστον 30 λεπτά.

Συνήθως στα τρόφιμα που έγινε η επεξεργασία της ψυχρής κάπνισης ακολουθεί το στάδιο της ωρίμανσης, όπως τα ζυμούμενα αλλαντικά.

Τα τρόφιμα που καπνίστηκαν με τη μέθοδο της θερμής κάπνισης πρέπει να ψύχονται άμεσα στους 3.3 °C και να παραμένουν σε θερμοκρασία ψύξης, ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη τροφιμογενών παθογόνων που μπορούν να επιβιώσουν.

Η εναπόθεση του καπνού παρουσιάζει ανασταλτική δράση στους μικροοργανισμούς που βρίσκονται στην επιφάνεια των τροφίμων, π.χ. η ανασταλτική δράση της ψυχρής κάπνισης στην επιφανειακή ανάπτυξη μυκήτων.

Τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται η χρήση υγροποιημένου καπνού για την κάπνιση των τροφίμων. Το διάλυμα αυτό παρασκευάζεται είτε με συμπύκνωση του καπνού είτε με την ενσωμάτωσή του σε μια άλλη ουσία (π.χ. έλαιο).

Στη συνέχεια τα τρόφιμα καπνίζονται είτε με εμβάπτιση, είτε ψεκάζονται με τον υγροποιημένο καπνό σε θαλάμους. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης υγροποιημένου καπνού συνίστανται στην ευκολία εφαρμογής και στην ελεγχόμενη σύστασή του, αφού μπορούν να αφαιρεθούν επιβλαβείς ουσίες όπως το βενζοπυρένιο