

A

ΜΕΡΟΣ

Κλασικές μέθοδοι επεξεργασίας τροφίμων

A1. Θερμικές επεξεργασίες

ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΧΕΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ

1.1. Κινητική της θερμικής απενεργοποίησης των μικροοργανισμών και των ενζύμων

1.1.1. Η αρχή της λογαριθμικής μείωσης

Εάν ένα εναιώρημα κυττάρων (βλαστικών ή σπορίων) ενός συγκεκριμένου μικροοργανισμού θερμανθεί πάνω από μία θερμοκρασία, οι μικροοργανισμοί θανατώνονται και επομένως ο αριθμός των ζώντων κυττάρων υφίσταται σταδιακά μείωση. Οι θερμοκρασίες στις οποίες λαμβάνει χώρα καταστροφή των μικροοργανισμών ονομάζονται «θερμοκρασίες θανάτωσης». Η εμπειρία έχει δείξει ότι, όταν ένα ομοιογενές εναιώρημα κυττάρων παραμείνει σε σταθερή θερμοκρασία θανάτωσης, η μείωση στον αριθμό των ζώντων κυττάρων είναι σχεδόν λογαριθμική όπως περιγράφηκε για πρώτη φορά από τον Viljoen (1926). Αυτές οι παρατηρήσεις οδήγησαν στην ανάπτυξη ενός μοντέλου κινητικής 1^{ης} τάξης. Εάν N είναι ο αριθμός των ζώντων κυττάρων τη χρονική στιγμή t , το μοντέλο κινητικής 1^{ης} τάξης γράφεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \quad (1.1.)$$

Η ολοκλήρωση δίνει:

$$\log \frac{N}{N_0} = -kt \quad (1.2.)$$

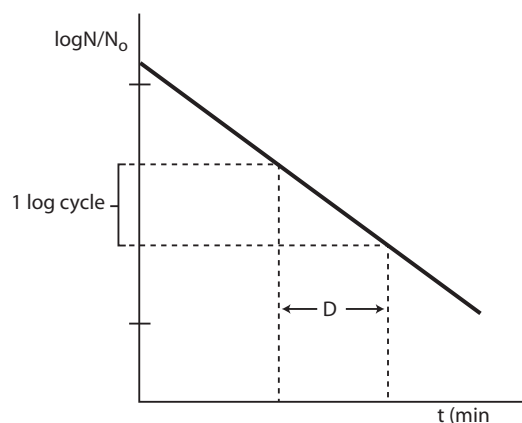
Η τιμή D (γνωστή ως χρόνος δεκαδικής μείωσης, decimal reduction time) ορίζεται ως το χρο-

νικό διάστημα (συνήθως σε λεπτά) θέρμανσης σε μία σταθερή θερμοκρασία θανάτωσης για τη μείωση των ζώντων κυττάρων κατά έναν λογαριθμικό κύκλο. Επομένως προκύπτει ότι:

$$\log \frac{N}{N_0} = \frac{t}{D} \quad (1.3.)$$

Η εξίσωση 1.3. είναι μία γραφική αναπαράσταση του λογαριθμικού μοντέλου μείωσης.

Η λογαριθμική μείωση εξαρτάται από τον μικροοργανισμό, τη θερμοκρασία και το μέσο (pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής, σύσταση).



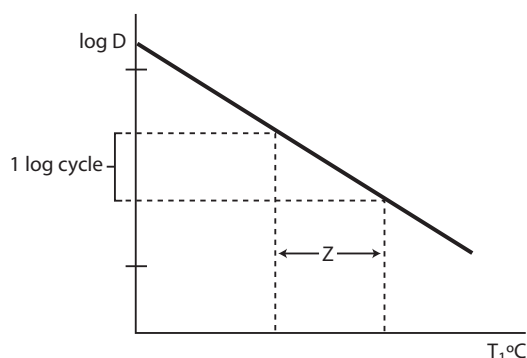
Σχήμα 1.1. Το λογαριθμικό ευθύγραμμο μοντέλο της θερμικής μείωσης των μικροοργανισμών.

Σύμφωνα με το μοντέλο καταστροφής 1^{ης} τάξης, πλήρης αποστείρωση ($N = 0$) δεν μπορεί ποτέ να επιτευχθεί. Για αυτό τον λόγο η αρχή της

«εμπορικής αποστείρωσης» ορίζεται συμβατικά ως ο στόχος της πρακτικής θερμικής αποστείρωσης. Το κινητικό μοντέλο θερμικής θανάτωσης των μικροοργανισμών εφαρμόζεται και για τη θερμική απενεργοποίηση των ενζύμων.

1.2. Επίδραση της θερμοκρασίας στον ρυθμό της θερμικής θανάτωσης/απενεργοποίησης

Μέσα στο εύρος των θερμοκρασιών θανάτωσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας ο ρυθμός της θανάτωσης αυξάνει (η τιμή D μειώνεται). Πειράματα έχουν δείξει ότι μεταξύ του λογαρίθμου του D και της θερμοκρασίας υπάρχει μία σχεδόν γραμμική σχέση (Σχήμα 1.2.).



Σχήμα 1.2. Επίδραση της θερμοκρασίας στην τιμή D .

$$\log \frac{D_1}{D_2} = \frac{T_2 - T_1}{Z} \quad (1.4.)$$

Στην εξίσωση 1.4. τα D_1 και D_2 είναι ο χρόνος μείωσης ενός λογαριθμικού κύκλου σε θερμοκρασίες T_1 και T_2 , αντίστοιχα. Η τιμή Z ορίζεται ως η αύξηση της θερμοκρασίας που απαιτείται για τη δεκαπλάσια επιτάχυνση της θερμικής θανάτωσης (δηλαδή μείωση της τιμής D με έναν παράγοντα 10). Για πολλά βακτήρια τα οποία είναι ικανά να σχηματίσουν σπόρους η τιμή Z κυμαίνεται μεταξύ 8-12°C. Στον πίνακα 1.1. που ακολουθεί παρατίθενται οι τιμές D και Z για ορισμένους μικροοργανισμούς (MO).

1.3. Αποτελεσματικότητα των θερμικών διεργασιών στη θανάτωση MO

Μία συγκεκριμένη μείωση του αριθμού των μικροοργανισμών μπορεί να επιτευχθεί υπό δια-

φορετικές συνθήκες χρόνου-θερμοκρασίας. Για να είναι εφικτή η σύγκριση διαφορετικών διεργασιών ως προς την ικανότητά τους για θανάτωση μικροοργανισμών, είναι απαραίτητος ο ορισμός της τιμής F . Η τιμή F είναι η διάρκεια (σε λεπτά) που απαιτείται για να επιτευχθεί μία συγκεκριμένη μείωση μικροοργανισμών σε κάποια συγκεκριμένη σταθερή θερμοκρασία και δίνεται στην εξίσωση:

$$F = D \log \left(\frac{N_0}{N} \right) \quad (1.5.)$$

Εάν, για παράδειγμα, το $\log (N_0/N) = 12$, τότε $F = 12D$. Για την επίτευξη της εμπορικής αποστείρωσης σε τρόφιμα χαμηλής οξύτητας, συνήθως απαιτείται μία μείωση 12 λογαριθμικών κύκλων ή 12D (Pflug and Odlaug 1978). Η πρακτική σημασία της μείωσης 12 λογαριθμικών κύκλων είναι ότι, εάν το τρόφιμο περιέχει 10^3 σπόρια ενός συγκεκριμένου μικροοργανισμού ανά γραμμάριο, τότε θα περιέχει 10^{-9} σπόρια αυτού του μικροοργανισμού μετά την επεξεργασία. Για παράδειγμα, εάν ένα τρόφιμο είναι συσκευασμένο σε επιμέρους συσκευασίες που περιέχουν 500 g η κάθε μία, τότε σε 2 εκατομμύρια κονσέρβες θα υπάρχει ένας επιζών σπόρος. Αυτός ο “**deterministic**” υπολογισμός αποτελεί υπεραπλούστευση της πραγματικότητας (Berk 2009). Ο ρυθμός θανάτωσης (L), που μετρείται σε min, πολλές φορές χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της θερμικής επεξεργασίας και αντιπροσωπεύει τον χρόνο κατά τον οποίο η θέρμανση του τροφίμου στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_0 = 121,1^\circ\text{C}$) θα επιφέρει την ίδια θερμική θανάτωση ενός συγκεκριμένου μικροοργανισμού που επιφέρει η θέρμανση σε μία τυχαία θερμοκρασία (T) (Holdsworth and Simpson 2007, Jowitt et al. 1983). Η τιμή L δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\log = 10^{(T-T_0)/s} \quad (1.6.)$$

T = τυχαία θερμοκρασία

T_0 = θερμοκρασία αναφοράς (= 121,1°C)

Πίνακας 1.1. Τιμές Z και D για διάφορους μικροοργανισμούς (Αρβανιτογιάννης και Μποσνέα, 2001, Αρβανιτογιάννης και συν. 2001).

Μικροοργανισμοί	D (min)	Z (°C)
Αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί Τρόφιμα χαμηλής οξύτητας (pH > 4,5)		
<i>B. stearotherophilus</i>	D _{121°C} : 4-5	7,8-12,2
<i>C. thermosaccharolyticum</i>	D _{121°C} : 3-4	8,9-12,2
<i>C. nigrificans</i>	D _{121°C} : 2-3	8,9-12,2
<i>C. botulinum</i> A, B	D _{121°C} : 0,1-0,2	7,8-10
<i>C. sporogenes</i>	D _{121°C} : 0,1-1,5	7,8-10
Όξινα τρόφιμα (pH ~ 4,5)		
<i>B. coagulans</i>	D _{121°C} : 0,01-0,07	7,8-10
<i>B. polymyxa</i>	D _{100°C} : 0,1-0,5	6,6-8,9
<i>B. macerans</i>	D _{100°C} : 0,1-0,5	6,6-8,9
<i>C. pasteurianum</i>	D _{100°C} : 0,1-0,5	6,6-8,9
Πολύ όξινα τρόφιμα (pH < 4)		
<i>Lactobacillus spp.</i>	D _{65,5°C} : 0,5-1	4,4-5,5
<i>Streptococcus spp.</i>	D _{65,5°C} : 0,5-1	4,4-5,5
Ζύμες και μύκητες	D _{90°C} : 1-2	4,4-5,5
Παθογόνοι μικροοργανισμοί		
<i>Coxiella burnetti</i>	D _{65,5°C} : 0,5-0,6	4,4-5,5
<i>Staphylococcus aureus</i>	D _{65,5°C} : 0,2-2	4,4-5,5
<i>Salmonella spp.</i>	D _{65,5°C} : 0,02-0,25	4,4-5,5
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	D _{65,5°C} : 0,2-0,3	4,4-5,5

Πίνακας 1.2. Τιμές Z για ορισμένους θερμοευαίσθητους παράγοντες / συστατικά.

Θερμοευαίσθητος παράγοντας	Τιμή Z (°C)
Σπόρια βακτηρίων	7-12
Βλαστικά κύτταρα	4-8
Βιταμίνες	25-30
Πρωτεΐνες	15-37
Ένζυμα	10-50
Οργανοληπτική ποιότητα	25-45
Υφή και μαγείρεμα	17-47
Υποβάθμιση χρώματος	17-57

Ο παρακάτω πίνακας (1.3.) παρουσιάζει τις τιμές L για Z = 10°C και T₀ = 121,1°C.

Πίνακας 1.3. Τιμές L για Z=10°C και T₀=121,1°C.

T(°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
90	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
91	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
92	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
93	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
94	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
95	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
96	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004
97	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005
98	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
99	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008
100	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010
101	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012
102	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,015	0,015
103	0,015	0,016	0,016	0,017	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019	0,019
104	0,019	0,020	0,020	0,021	0,021	0,022	0,022	0,023	0,023	0,024
105	0,025	0,025	0,026	0,026	0,027	0,028	0,028	0,028	0,029	0,030
106	0,031	0,032	0,032	0,033	0,034	0,035	0,035	0,036	0,037	0,038
107	0,039	0,040	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,046	0,047	0,048
108	0,049	0,050	0,051	0,052	0,054	0,055	0,056	0,058	0,059	0,060
109	0,062	0,063	0,065	0,066	0,068	0,069	0,071	0,072	0,074	0,076
110	0,078	0,079	0,081	0,083	0,085	0,087	0,089	0,091	0,093	0,095
111	0,098	0,100	0,102	0,105	0,107	0,110	0,112	0,115	0,117	0,120
112	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,148	0,141	0,145	0,148	0,151
113	0,155	0,158	0,162	0,166	0,170	0,174	0,178	0,182	0,186	0,191
114	0,195	0,200	0,204	0,209	0,214	0,219	0,224	0,229	0,234	0,240
115	0,245	0,251	0,257	0,263	0,269	0,275	0,282	0,288	0,295	0,302
116	0,309	0,316	0,324	0,331	0,339	0,347	0,355	0,363	0,372	0,380
117	0,389	0,398	0,407	0,417	0,427	0,437	0,447	0,457	0,468	0,479
118	0,490	0,501	0,513	0,525	0,537	0,550	0,562	0,575	0,589	0,603
119	0,617	0,631	0,646	0,661	0,676	0,692	0,708	0,724	0,741	0,759
120	0,776	0,794	0,813	0,832	0,851	0,871	0,891	0,912	0,933	0,955
121	0,977	1,000	1,023	1,047	1,072	1,096	1,122	1,148	1,175	1,202
122	1,230	1,259	1,288	1,318	1,349	1,380	1,413	1,445	1,479	1,514
123	1,549	1,585	1,622	1,660	1,698	1,738	1,778	1,820	1,862	1,905
124	1,950	1,995	2,042	2,089	2,138	2,188	2,239	2,291	2,344	2,399
125	2,455	2,512	2,570	2,630	2,692	2,754	2,818	2,884	2,952	3,020
126	3,090	3,162	3,236	3,311	3,388	3,467	3,548	3,631	3,715	3,802
127	3,890	3,981	4,074	4,169	4,266	4,365	4,467	4,571	4,677	4,786
128	4,898	5,012	5,129	5,248	5,370	5,495	5,623	5,754	5,888	6,026
129	6,166	6,310	6,457	6,607	6,761	6,918	7,079	7,244	7,413	7,586
130	7,762	7,943	8,128	8,318	8,511	8,710	8,913	9,120	9,333	9,550

1.4. Βιβλιογραφία

- Berk, Z. 2009. Chapter 17. Thermal Processing. In: *Food Process Engineering and Technology*, Berk, Z. (ed.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 355-373.
- Fellows, P. 2000. In: *Food Processing Technology. Principles and Practice*, Second Edition, Fellows, P. (ed.). CRC Press, pp. 235.
- Holdsworth, D. and Simpson, R. 2007. Sterilization, Pasteurization and Cooking Criteria. In: *Thermal Processing of Packaged Foods*, Second Edition, Springer Science + Business Media, LLC, pp. 100-123.
- Pflug, I.J. and Odlaug, T.E. 1978. A review of z- and f-values used to ensure the safety of low-acid canned foods. *Food Technology*, 32(6): 63-70.
- Viljoen, J.A. 1926. Heat resistance studies. 2. The protective effect of sodium chloride on bacterial spores in

- pea liquor. *Journal of Infectious Diseases*, 39: 286-290.
- Zeuthen, P. and Bøgh-Sørensen, L. (eds.) 2003. *Food preservation techniques*. CRC Press LLC.
- Jowitt, R., Escher, F., Hallstrom, B., Meffert, H.F.Th., Spiess, W. and Vos, G. 1983. *Physical Properties of Foods*. Applied Science, London, U.K.
- Αρβανιτογιάννης, Ι.Σ. και Μποσνέα, Α. 2001. *Στοιχεία Τεχνολογίας, Μεταποίησης & Συσκευασίας Τροφίμων*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Αρβανιτογιάννης, Ι.Σ., Σάνδρου, Δ. και Κούρτης, Α. 2001. *Ασφάλεια Τροφίμων: Εφαρμογή της Ανάλυσης Επικινδυνότητας και Κρίσιμων Σημείων Ελέγχου (HACCP) στη Βιομηχανία Τροφίμων & Ποτών*. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.