

NUEVO ENFOQUE DEL FACTOR Q_{10} SEGÚN LA TEORÍA DE LA CONCEPCIÓN B PARA EL CÁLCULO DEL EFECTO F DE ESTERILIZACIÓN

Luis F de la Cruz Figueroa

Centro de Biomateriales, Universidad de la Habana, Ave. Universidad entre G y Ronda, Plaza 10400. Ciudad de la Habana.

ABSTRACT

It is known the Q_{10} factor for comparing different microorganism types and strains and different biological reactions which follow first order kinetics law. This empirical value at its time introduced on a similar basis as the Vant-Hoff's thermal coefficient for reaction rates, is thereby analyzed and a new $Q_{10} = 10^{10.B/[T(T+10)]}$ dependence evolved on an Arrhenius equation basis with the help of the B-Conception theory for sterilization practice. It is ascertained in this way, that the Q_{10} magnitude is actually temperature-dependent and changes for the analyzed microorganisms in the study ranges $1.8 \leq Q_{10} \leq 12$ approximate interval. These are very different values from those usually accepted as a $2 \leq Q_{10} \leq 4$ interval for empirical calculations.

Key words: sterilization, F-effect, microorganism, disinfection, Arrhenius, Q_{10} -factor

Biotecnología Aplicada 1996;13:89-91

RESUMEN

Se conoce el factor $Q_{10} = 10^{10/Z}$ para la caracterización de diferentes tipos y/o cepas de microorganismos y reacciones biológicas, que siguen la ley de primer orden. Se analiza aquí este valor empírico introducido por similitud con el coeficiente térmico de Vant-Hoff de las velocidades de reacción, y se obtiene una dependencia $Q_{10} = 10^{10.B/[T(T+10)]}$ sobre la base de la ecuación de Arrhenius mediante la teoría de la Concepción B para la esterilización. Se comprueba de esta forma que la magnitud Q_{10} no es independiente de la temperatura y varía para los microorganismos analizados en los rangos de estudio en el intervalo $1,8 \leq Q_{10} \leq 12$ aproximadamente. Estos valores son muy diferentes de los valores usualmente aceptados para $2 \leq Q_{10} \leq 4$ en los cálculos aproximados.

Palabras claves: esterilización, efecto F, microorganismo, desinfección, Arrhenius, factor Q_{10}

Introducción

La teoría empírica Q_{10} de Bigelow (1) ha sido ampliamente empleada para el cálculo de los efectos de esterilización. Según esta teoría el factor Q_{10} muestra en cuántas veces varía la velocidad de muerte de los microorganismos si se cambia la temperatura de calentamiento en 10 K (2) o en cuántas veces disminuye el tiempo D de reducción decimal de los microorganismos a temperatura constante, cuando la temperatura se aumenta en $T = 10$ K (3). El factor Q_{10} se ha considerado vinculado directamente con el valor empírico Z de termorresistencia:

$$\log Q_{10} = 10/Z \quad [1]$$

donde:

Z : coeficiente de termorresistencia, K

El factor Q_{10} se ha introducido por similitud con el coeficiente térmico de las velocidades de reacción de Vant-Hoff (4). Se considera que la velocidad de una reacción química aumenta de dos a cuatro veces al elevarse la temperatura en $\Delta T = 10$ K. El coeficiente se da por:

$$\gamma = k_{(T+10)} / k_T \quad [2]$$

A los efectos prácticos este coeficiente se ha estimado en $\gamma = 3$ como término medio (5).

Desde hace varios años prácticamente no existen publicaciones relacionadas con este tema, a pesar de que se ha insistido reiteradamente en la literatura sobre la inconsistencia de la aseveración de la independencia del valor Z con respecto a la temperatura (2, 6-10). En este tema, nuestras investigaciones han conducido a la teoría de la Concepción B (11, 12) basada en la ecuación de Arrhenius:

$$k = A \cdot \exp [-E_a / (RT)] \quad [3]$$

donde:

k : constante de velocidad de inactivación, min^{-1}

A : factor de frecuencia, min^{-1}

E_a : energía de activación, J/mol;

R : constante universal de los gases, J/(mol.K), y

T : temperatura absoluta, K

Es conocido que (2, 13):

$$\tau = n \cdot D; \quad D = 2,303 / k \quad [4]$$

donde:

n : grado de esterilización (número de órdenes logarítmicos disminuidos en la cantidad de microorganismos viables)

$D = D_T$: tiempo de reducción decimal, min

τ : tiempo de muerte térmica, min (2, 13).

Sustituyendo [3] en [4], transformando y agrupando

1. Aiba S, Humphrey AE and Millis NF. *Biochemical Engineering*. Academic Press, New York 1970;186-244.
2. Tanchev S. *Tehnologija na konservirane to na plodove i zelenchusti*. Izd G danov Plovdiv 1981;94-182.
3. Tanchev S, Videv K. *Teorija na sterilizatsijata*. Izd Zemizdat, Sofija 1986; 25-183.
4. Brdichka R. *Fizikohimija*. Izd Tehnika, Sofija 1965;816-899.
5. Guerasimov Y, Dreving V, Eriomin E, Kiseliov A, Lebedev V, Panchenkov G, Shliguin A. *Curso de química física*. IV Edición, Tomo II, Editorial Mir, Moscú 1986;15-392.
6. Loncin M and Merson RL. *Food engineering. Principles and selected Applications*. London, Academic Press, N.Y. 1979;215-258.
7. Thijsen MAC, Kerkhoff JAA and Liefkens AAA. *Short-cut method for the calculation of sterilization yielding optimum quality retention for conduction type heating of packaged foods*. *J of Food Science* 1976;43:1976-1986.
8. Lenz MK and Lund DB. *The lethality-Fourier number method: experimental verification of a model for calculating temperature profiles and lethality in conduction heating canned foods*. *J of Food Science* 1977;42:989-996.
9. Wang DIC, Cooney CL, Demain AL, Dunnill P and Humphrey AC. *Fermentation and enzyme technology*. John Wiley, N.Y. 1979;138-156.

$$\log \tau = \log A_0 + BT^{-1} \quad [5]$$

donde:

A_0 : constante característica, min

$$B = E_a / (2,3026.R) \quad [6]$$

donde:

B : coeficiente de termosensibilidad, K

Para cualesquiera temperaturas $T_b > T_a$,

$$\tau_b = \tau_a \log [B(T_b^{-1} - T_a^{-1})] \quad [7]$$

donde el operador:

$$\text{alog } [f(x)] = 10^{f(x)} \quad [8]$$

$$\text{De [7]: } B = \log (\tau_b / \tau_a) / (T_b^{-1} - T_a^{-1}). \quad [9]$$

Además, para T_r, T constante, entonces $F_r = \tau_r$, y $F = \tau$.

$$F_r = \tau_r \cdot \text{alog } [B (T_r^{-1} - T^{-1})] = F \cdot K_B \quad [10]$$

$$F = F_r K_B^{-1} \quad [11]$$

donde:

$K_B = \text{alog } [B(T_r^{-1} - T^{-1})]$ - nuevo coeficiente de velocidad letal

T_r : temperatura absoluta de referencia (patrón), K;

τ_r : tiempo de muerte térmica a la temperatura T_r de referencia, min

La energía de activación E_a de Arrhenius es un parámetro más estable y consistente que Z ; por ello, también lo es el coeficiente B . La importancia del valor B exige precisar su relación con el factor Q_{10} y el coeficiente térmico γ . Esta dependencia no está suficientemente desarrollada.

El objetivo del presente trabajo comprende el determinar los vínculos existentes entre los valores Q_{10} , γ y B , y definir una relación más estable y consistente para el valor Q_{10} .

Materiales y Métodos

Se analizaron datos cinéticos de muerte térmica de microorganismos reportados por Akterjan *et al.* (14, 15) y del *Clostridium botulinum* publicados por Esty y Meyer (16).

El tratamiento estadístico de los datos se realiza por métodos usuales de regresión lineal (17).

Resultados y Discusión

Análisis teórico

Sea el coeficiente térmico γ de velocidad de inactivación de los microorganismos (ec.[2]). Puesto que de [4]:

$$k = 2,3026/D, \text{ min}^{-1}; \tau = n.D, \text{ min} \quad [12]$$

sustituyendo en [2]

$$\gamma = D_T / D_{(T+10)} = \tau_T / \tau_{(T+10)} = Q_{10} \quad [13]$$

Se evidencia que el factor γ , el cual indica en cuántas veces se incrementa la velocidad de inactivación, es equivalente a la disminución del valor D de termorresistencia o la disminución del tiempo de muerte térmica de los microorganismos al incrementarse la temperatura en $\Delta T = 10$ K. Esto por definición es igual al valor Q_{10} (3).

En concordancia con nuestra teoría de la Concepción B (11, 12) de [5] y [13] asignando, y sustituyendo se obtiene

$$\log Q_{10} = B \cdot [T^{-1} - (T+10)^{-1}] \quad [14]$$

Transformando [14],

$$\log Q_{10} = 10.B / [T(T+10)] \quad [15]$$

$$\text{Definiendo: } W = 10 / [T(T+10)], K^{-1} \quad [16]$$

sustituyendo [16] en [15]

$$\log Q_{10} = B.W \quad [17]$$

donde:

$$Q_{10} = 10^{B.W} = \text{alog } (B.W) = \gamma \quad [18]$$

La dependencia [15] demuestra que Q_{10} no es independiente de la temperatura, a diferencia de lo que se venía asumiendo hasta ahora según [1] y [2].

El factor Q_{10} [1] se estimó constante hasta ahora por haberse determinado en función de Z . De [13]:

$$Q_{10} = \tau_t / \tau_{(t+10)}, \quad [19]$$

donde:

t : temperatura, °C

Puesto que, según la teoría Q_{10} , se ha supuesto que

$$\tau_t = \tau_{(t+10)} \cdot 10^{[(t+10)-t]/Z}, \text{ min} \quad [20]$$

$$\text{entonces: } Q_{10} = 10^{10/Z} \quad [21]$$

$$\text{y } \log Q_{10} = 10/Z \quad [22]$$

La ecuación [22] es idéntica a la [1], en ella el valor Z es tomado erróneamente como constante. Es por ello que las dependencias [22] y [15] no coinciden.

El vínculo [15] parte de una relación más confiable de las velocidades de inactivación en función de la temperatura, lo cual se obtiene de la ecuación de Arrhenius (4).

En concordancia con esto, la relación [15] es más confiable y real, y considera además la influencia de la temperatura.

Discusión

En la Tabla I se muestra los resultados del análisis de la magnitud Q_{10} para microorganismos según (15, 16).

Se observa una gran variación respecto a los valores estimados para las reacciones químicas. En la tabla se dan los valores de Q_{10} calculados por Z : Q_{10}^Z . Se constata que más del 66 % de los valores

10. Matvejev BE. Osnovi aseptiki v tehnologii chistih microbiologicheskii preparatov. Izd. Liogkaja i pishchevaja promishlennost, Moskva 1981;109-130.

11. De la Cruz Figueroa LF, Tanchev S, Videv K, Akterjan S. B-kontseptsija za izchizliavane na F-efakta pri sterilizatsija chrez zavimostta na Arrhenius. Hranitelnopromishlena nauka 1987; 3:59-66.

12. De la Cruz Figueroa LF. Cálculo del efecto F de esterilización según la nueva Concepción B aplicado a microbiota termorresistente. Revista Biología UH. 1995;9:83-89.

13. Stumbo CR. Thermobacteriology in Food Processing. 2nd. ed., Academic Press, N.Y. and London 1973;70-142.

14. Akterjan S, de la Cruz Figueroa LF, Videv K, Tanchev S. Sravnitelnen analiz na modeli za toplinnata inaktivatsia na Clostridium Botulinum i drugui mikroorganizmi. Hranitelnopromishlena Nauka, Sofija 1987a;3:46.

15. Akterjan S, de la Cruz Figueroa LF, Videv K, Tanchev S. Sravnitelnen analiz na modeli za toplinnata inaktivatsia na Bacillus Stearothermophilus i Bacillus Mesentericus Bulgatus. - Hranitelnopromishlena Nauka, Sofija 1987b;3:13.

16. Esty JR and Meyer KF. The heat resistance of the spores of *B. Botulinus* and allied anaerobes. J of Infectious Diseases 1922;31:650-657.

17. Martínez Canalejo H y Santana Porben S. Manual de procedimientos bioestadísticos. Tomo 1, Ed. ISCM, C. Habana 1990;133-197.

Tabla 1. Valores límites de Q_{10}^B y Q_{10}^Z para microorganismos reportados por Akterjan (14, 15). ($B = Ea/(2,3026.R)$ es el coeficiente de termosensibilidad de acuerdo con [6]).

Microorganismo	Cepa	Medio	Intervalo de temp., °C	Z, K	B, K	Q_{10}^Z	$(Q_{10}^B)_{\text{máx}}$	$(Q_{10}^B)_{\text{mín}}$
<i>Cl. botulinum</i>	A	pH = 7	100-120	10,3	14200	9,35	9,84	7,87
	-	ikrá	115-121	8,8	17400	13,69	13,36	12,37
	B-364	ensalada	115-121	10,1	15200	9,77	9,63	9,0
	-	carne	100-125	29,3	5080	2,19	2,27	2,05
<i>Bac. subtilis</i>	1 578	-	100-130	8,8	7150	13,69	13,76	10,71
	-	carne	100-125	38,1	3870	1,83	1,86	1,73
	-	almíbar	100-125	21,0	7090	2,99	3,13	2,73
<i>Bac. stearothermophilus</i>	-	petitpois	104-121	11,2	13290	7,81	8,13	6,83
	-	zanahoria	110-147	17,1	9460	3,84	4,25	3,34
	7 954	agua	103-119	10,6	13930	8,78	9,1	7,64
	-	-	118-160	9,5	17930	11,29	13,89	8,19
<i>Bac. mesentericus</i>	-	pescado	100-125	3,4	3980	1,85	1,9	1,76
	-	caldo	100-125	36,3	4100	1,88	1,94	1,79
Termófilos	26	extracto de maíz	100-140	11,7	13250	7,16	8,45	5,73
	1 390	-	100-140	11,8	13140	7,04	8,3	5,64
	1 503	pH = 6,1	100-135	11,0	13900	8,11	9,38	6,52
	1 592	-	100-140	11,4	13600	7,54	8,94	6,0
	1 356	pH = 6,1	100-125	10,0	14890	10,0	11,00	8,25
Varios	-	pasta tomate	85-130	19,3	7540	3,3	3,73	2,84
	-	-	92-135	16,6	9040	4,0	4,57	3,38
	-	pH = 4,5	71-100	14,9	8650	4,69	9,75	4,04

están por encima del valor medio $Q_{10} = 3$ generalmente aceptado y a su vez son inferiores a $(Q_{10}^B)_{\text{máx}}$ y superiores a $(Q_{10}^B)_{\text{mín}}$ correspondientes a sus intervalos de temperatura, por lo que al emplearlos se introducirán errores apreciables en la evaluación de la proporción de los cambios en la velocidad de inactivación o de los cambios en los tiempos de muerte térmica de los microorganismos.

Al analizar los valores de $(Q_{10}^B)_{\text{máx}}$ se detecta que más del 71 % de los valores analizados superan al valor medio de Q_{10} . Al observar los valores de $(Q_{10}^B)_{\text{mín}}$ se encuentra que más del 61 % de los mismos superan a dicho valor medio Q_{10} .

Debe interpretarse que para las reacciones de inactivación de los microorganismos no se debe emplear el valor $Q_{10} = 2$ a 4, ni su valor medio $Q_{10} = 3$. El valor Q_{10}^Z no es aceptable para los cálculos.

Conclusiones

Se ha encontrado una nueva dependencia Q_{10} (ec. [18]) de la temperatura por medio del coeficiente B

de termosensibilidad la cual se considera más adecuada, estable y consistente que la anteriormente conocida en función de Z en la esterilización. Se observa que para una misma temperatura, al aumentar el valor B se incrementa la proporción en que disminuye el tiempo de muerte térmica si se aumenta la temperatura en $\Delta T = 10$ K.

El factor Q_{10}^Z no es adecuado para evaluar cambios de la proporción en que disminuyen los tiempos de muerte térmica de los microorganismos al aumentar la temperatura en $\Delta T = 10$ K.

La función Q_{10} es equivalente al coeficiente térmico [18] de las velocidades de reacción.

No se debe emplear valores empíricos medios de Q_{10} para la evaluación de velocidades de inactivación de los microorganismos, puesto que en determinados intervalos la disminución de Q_{10}^B con la temperatura puede alcanzar hasta $\Delta Q_{10}^B \approx 5$.