

Teorie pasterace piva a jiných nápojů

663.461.1 579 663.6/.8
663.8.053.6

Ing. JAN ŠAVEL, Jihočeské pivovary, k. p., České Budějovice

Klíčová slova: pivo, nealkoholické nápoje, pasterace, mikroorganismy, inaktivace, tepelná odolnost

Úvod

V poslední době se v pivovarské literatuře znova objevují články, zabývající se pasterací piva. Vzrůstající ceny energie a snaha o nejmenší smyslové poškození piva pasterací jsou hlavními důvody pro stanovení minimální pasterační dávky. Ze stejných důvodů se snižují pasterační dávky i při výrobě jiných nápojů.

V roce 1971 jsme v přehledném článku shrnuli teoretické základy pasterace piva, založené na klasickém způsobu hodnocení pasteračního účinku [1]. Tento způsob vychází z teorie sterilace potravin v konzervárenství. Sterilaci potravin a substrátů pro různé technologie se rovněž zabývá bioinženýrství, které používá odlišný způsob vyjadření závislosti inaktivacní konstanty na teplotě. Tento moderní způsob se však v potravinářství nerozšířil.

V roce 1976 uveřejnil časopis Průmysl potravin studii o sterilaci potravin, zaměřenou na konzervárenství [2]. Pasterací nápojů se v české literatuře zabývá jen málo sdělení. Teorií pasterace, stanovením tepelné odolnosti mikroorganismů, měřením a kontrolou pasteračního účinku jsme se podrobně zabývali v práci [3].

Kinetika hynutí mikroorganismů

Hynutí mikroorganismů při pasteraci, nebo sterilaci se řídí kinetickou rovnicí prvého řádu. Odchylky od tohoto pravidla jsou častější při tepelné inaktivaci spor, ale i při zahřívání vegetativních forem mikroorganismů se hynutí nemusí řídit tímto vztahem.

V sterilačních a pasteračních výpočtech se diferenciální rovnice prvého řádu přesto používá pro jednoduché matematické zpracování:

$$DN/d\tau = -kN \quad (1)$$

kde N je počet mikroorganismů v čase τ , k je rychlosť konstanta inaktivace (specifická inaktivacní rychlosť). Při sledování inaktivace mikroorganismů v jednotkovém objemu suspenze se počet mikroorganismů nahradí jejich koncentrací.

Specifická inaktivacní rychlosť je funkcí teploty a pro každou teplotu číselně vyjadřuje tepelnou odolnost mikroorganismu. Její hodnota závisí nejen na druhu a kmenu mikroorganismu, ale také na jeho fyziologickém stavu, podmínkách kultivace a složení inaktivacního prostředí. Hodnoty rychlostní konstanty se obvykle stanovují za podmínek největší tepelné odolnosti mikroorganismů, ve stejném prostředí, v jakém se v praxi steriluje.

Rychlosť inaktivace mikroorganismů značně závisí na teplotě. V konzervárenství se tato závislost vyjadřuje vztahem [2], v bioinženýrství se aplikuje Arrheniova rovnice, obvyklá v chemické kinetice [3]:

$$k = a \exp(bt) \quad (2)$$

$$k = A \exp(-E/RT) \quad (3)$$

kde a , b jsou parametry závislosti [2], A — frekvenční faktor, E — aktivační energie, R — plynová konstanta, t , T — teploty ve °C a K.

Pasterační zákony

Ve starší literatuře se udávaly dva pasterační zákony, odvozené za předpokladu homogenity mikrobiální suspenze a stejné tepelné odolnosti všech buněk. Oba zákony se získají integrací rovnice (1).

Podle prvého zákona pasterace klesá při konstantní teplotě počet mikroorganismů exponenciálně s časem:

$$N = N_0 \exp(-k\tau) \quad (4)$$

$$\log N = -(k/\ln 10)\tau + \log N_0 \quad (5)$$

Vztah (4) se často používá v logaritmickém tvaru (5), neboť závislost $\log N$ na čase je přímková. Převrácená hodnota směrnice přímky (5) se nazývá decimální redukční čas D , který udává dobu potřebnou k snížení počtu přežívajících mikroorganismů o jeden řád (na desetinu původního počtu). Inaktivacní časy pro jiná poměrná snížení se vypočítou podle:

$$\tau_i = D \log(N_0/N_i) \quad (6)$$

$$D = (\ln 10)/k \quad (7)$$

kde τ_i je inaktivacní doba pro snížení počtu živých mikro-

organismů z N_0 na N_i . V praxi se hodnotou D často charakterizuje tepelná odolnost mikroorganismů.

Podobně jako konstanta k závisí i D na teplotě a musí se proto udávat i hodnoty teploty. Hodnota D pro libovolnou teplotu se vypočte podle vztahů (2) nebo (3) a (7), nebo ze známé hodnoty D pro referenční teplotu.

$$D = D_r \exp b(t_r - t) = D_r 10^{(t_r - t)/z} \quad (8)$$

kde D_r je hodnota D pro referenční teplotu t_r a z je parametr závislosti tepelné odolnosti na teplotě (viz dále).

Druhý pasterací zákon udává závislost doby pasterace na teplotě pro konstantní poměrné snížení počtu mikroorganismů:

$$\tau_i = (\ln N_0/N_i)/k \quad (9)$$

kde τ_i je inaktivací doba pro snížení počtu přežívajících mikroorganismů z N_0 na N_i . Pro snížení jejich počtu na desetinu je doba inaktivace D . V konzervárenství se závislost k vyjadřuje vztahem (2), což vede k lineární závislosti $\log \tau_i$ na teplotě:

$$\log \tau_i = -(b/\ln 10)t + \log(\ln N_0/N_i)/a \quad (10)$$

$$\log \tau_i = (t_r - t)/z + \log D_r (\log N_0/N_i) \quad (11)$$

Převrácená hodnota směrnice přímky (10) se nazývá parametr z , který udává počet °C, potřebných pro pokles sterilační doby na desetinu (o jeden řád).

$$z = (\ln 10)/b \quad (12)$$

Dosazení vztahu (3) do rovnice (9) vede rovněž k lineární závislosti $\log \tau_i$ na převrácené hodnotě absolutní teploty a tepelná odolnost se pak charakterizuje aktivační energií a hodnotou D . V současné literatuře se však tepelná odolnost mikroorganismů při pasteraci nápojů vyjadřuje stále dvojicí hodnot D a z . D pro teplotu t (°C) se v literatuře označuje jako D_t .

Hodnoty tepelné odolnosti mikroorganismů

Tepelná odolnost mikroorganismů závisí na mnoha faktorech. Nejdůležitější z nich jsou druh a kmen mikroorganismu, jeho fyziologický stav, složení zahřívacího prostředí, jeho pH a podmínky stanovení přežívajících mikroorganismů. Tepelnou odolnost značně ovlivňuje i stáří mikrobiální kultury.

Literatura udává jen malý počet údajů o tepelné odolnosti mikroorganismů. V některých sděleních se nedodržují experimentální podmínky pro stanovení parametrů D a z , nebo se neuvádějí všechny hodnoty, nutné pro jejich výpočet, např. počáteční počet mikroorganismů. Mikroorganismy se ohřívají v jiném prostředí, než při provozní pasteraci, např. v pufru s odlišným pH.

Kombinace letálních dob a teplot někdy nepostačují k výpočtu parametrů D a z , chybí údaje o kultivačních podmínkách před ohřevem a popis stanovení přežívajících mikroorganismů.

Přehled prací, zabývajících se stanovením tepelné odolnosti pivovarských mikroorganismů jsme shrnuli v práci [3]. V současnosti literatura udává hodnoty parametrů D a z u většího počtu mikroorganismů, zahříváných v pivu [4, 5]. Příklady hodnot těchto parametrů obsahuje tab. 1.

Údaje o tepelné odolnosti mikroorganismů při pasteraci nealkoholických nápojů jsou rovněž nedostatečné. Dvě práce udávají tepelnou odolnost většího počtu kvasinek jako kombinaci letálních dob a teplot [9, 10], příkladem číselných hodnot jsou údaje o pasteraci kvasničné kontaminace v pomerančové šťávě ($D_{60} = 0,237$ min, $z = 5,3$ °C) [11].

Příklady

Vypočtěte čas potřebný pro inaktivaci 10^8 buněk *Sacch. uvarum* (kmen č. 2 z tab. 1) při 52 °C.

Tab. 1. Příklady hodnot D a z pro mikroorganismy piva

Mikroorganismus	Rozmezí teplot (°C)	D_{60} [min]	z [°C]	citace
1. <i>Saccharomyces uvarum</i> ^a	56—62	0,139	7,54	6
2. <i>Saccharomyces uvarum</i> ^a	43—51	0,004	4,42	4
3. <i>Saccharomyces uvarum</i> ^a	48—53	0,046	5,76	3
4. Cizí kvasinky	56—62	0,440	7,55	6
5. <i>Saccharomyces willianus</i>				
tepelně odolné	47—53	0,0019	2,74	4
tepelně citlivé	43—49	0,0009	4,12	4
6. Cizí kvasinky	50—54	0,0076	3,71	3
7. <i>Lactobacillus frigidus</i>	47—53	0,440	15,40	4
8. <i>Lactobacillus delbrückii</i>	43—49	0,091	12,26	4
9. <i>Pediococcus acidilactici</i>	47—53	0,867	11,17	4
10. <i>Lactobacillus</i> sp. kmen I	57—64	0,062	6,60	5
11. <i>Lactobacillus</i> sp. kmen K	57—64	0,042	5,20	5
12. <i>Lactobacillus</i> sp. kmen G	57—64	4,400	8,00	5
13. <i>Lactobacillus</i> sp. kmen 4	53—58	0,242	4,90	3
14. <i>Lactobacillus</i> sp. kmen 5	53—58	0,209	4,90	3
15. <i>Lactobacillus brevis</i>	55—58	—	8,33	7
16. Směs kontaminantů	49—66	—	6,94	8

a — dříve *Sacch. carlsbergensis*

Podle (6) a (8):

$$D_{52} = 0,004 \cdot 10^{(60-52)/4,42} = 0,26 \text{ min}$$

$$\tau_i = 0,26 \cdot \log 10^8 = 2,1 \text{ min}$$

Vypočtěte závislost letální doby (min) na teplotě (°C) pro *Lactobacillus frigidus* (kmen č. 8 z tab. 1) pro pasteraci 100 hl piva v láhvích s počáteční koncentrací 1 buňka . ml⁻¹.

Podle (11):

$$\log \tau_i = (60 - t)/15,40 + \log (0,440 \cdot \log 10^7)$$

$$\log \tau_i = -0,0649 t + 4,385$$

Literatura

- [1] ŠAVEL, J.: Kvas. prům. **17**, 1971, s. 184.
- [2] KYZLINK, V.: Prům. potrav. **27**, 1976, č. 4—6 (příloha).
- [3] ŠAVEL, J.: Kandidátská disertační práce. VŠCHT Praha 1982.
- [4] TSANG, E. W. T. - INGLEDEW, W. M.: ASBC J. **40**, 1982, s. 1.
- [5] OHKOCHI, M. - TAKAHASHI, R.: Mschr. Brau. **35**, 1982, s. 317.
- [6] CLAVEAU, J. - SCRIBAN, R. - STROBBEL, B. - CARPENTIER, Y.: J. Inst. Brew. J. **104**, 1968, č. 8, s. 47.
- [7] KING, L. M. - EGAN, L. - SCHISLER, D. - HAHN, CH W.: ASBC J. **36**, 1978, s. 144.
- [8] DEL VECCHIO, H. W. - DAYHARSH, C. A. - BASELT, F. C.: ASBC Proc. 1951, s. 45.
- [9] PUT, H. M. C. - JONG, J. - SAND, F. E. M. J. - GRINSVEN, A. M.: J. Appl. Bact. **40**, 1976, s. 135.
- [10] ROTH, K.: Erfrischungsgetränk **22**, 1969, s. 1079.
- [11] KOPELMAN, I. J. - SCHYER, M.: Lebensm. Wiss. Technol. **9**, 1976, s. 91.

Šavel, J.: Teorie pasterace piva a jiných nápojů. Kvas. prům. **30**, 1984, č. 4, s. 78—80.

Článek uvádí základní vztahy používané pro výpočet inaktivace mikroorganismů při pasteraci piva a nápojů. Podle klasické koncepce se v potravinářství dosud udává

tepelná odolnost mikroorganismů v hodnotách D a z , zatímco v bioinženýrství hodnotami E a D . Uvádějí se hodnoty D a z pro různé mikroorganismy a příklady výpočtů.

Шавел, Я.: Теория пастеризации пива и других напитков. Квас. прум. 30, 1984, № 4, стр. 78—80.

Статья приводит основные отношения, применяющиеся для расчета инактивирования микроорганизмов при пастеризации пива и напитков. По классической концепции в области пищевой промышленности до сих пор приводится термоустойчивость микроорганизмов в величинах D и z , затем что для целей биоинженерства при помощи величин E и D . Приводятся D и z для разных микроорганизмов и примеры расчетов.

Šavel, J.: Theory of Pasteurisation of Beer and Other Beverages. Kvas. prum. 30, 1984, No. 4, pp. 78—80.

Basic equations for the calculation of the inactivation of microorganisms during pasteurisation of beer and be-

verages are shown. According to clasic conception, the thermal resistance of microorganisms is described by the values of D and z in food industry while the symbols of E and D are used in bioengineering. The values of D and z for various microorganisms and examples of the calculation are given in the article.

Šavel, J.: Theorie der Pasteurisation von Bier und anderen Getränken. Kvas. prüm. 30, 1984, Nr. 4, S. 78—80.

Der Artikel enthält die Grundbeziehungen, die für die Errechnung der Inaktivierung der Mikroorganismen bei der Pasteurisierung von Bier und weiteren Getränken appliziert werden. Nach der klassischen Konzeption wird in der Lebensmittelindustrie die Wärmebeständigkeit der Mikroorganismen in den Werten D und z angegeben, wogegen nach dem Bioengineering-System die Werte E und D angewendet werden. Im weiteren werden die Werte D und z für verschiedene Mikroorganismen und auch Berechnungsbeispiele angeführt.