

Z výzkumu a praxe

Vázková analýza kvašení v malých nádobkách

Ing. Jan ŠAVEL, CSc., Budějovický Budvar, n.p. České Budějovice

Klíčová slova: kvašení, vázková analýza, zdánlivý extrakt, skutečný extrakt, původní extrakt, alkohol

1. ÚVOD

Vázková analýza kvašení umožnila v počátcích pivovarské vědy stanovit exaktní vztahy mezi množstvím zkvašeného extraktu, množstvím vzniklého alkoholu, oxidu uhličitého a pomnožených kvasnic. Z výsledků stanovení vznikl základní vztah pivovarské analytiky, Ballingův vzorec.

Kromě základních produktů vzniká při kvašení také malé množství těkavých látek a glycerinu. Kvasnice se tvoří v prvních fázích kvašení, zatímco kvašení substrátu pokračuje, i když se kvasnice již nepomnožují. Zpravidla se také uvádějí dvě bilanční rovnice, oxidační a kvasná, uplatňující se v různé míře.

Z toho je patrné, že hmotnostní poměry, stanovené pro analýzu piva, nemusí exaktně platit pro všechny fáze kvašení. K tomu přistupují rozdílné výsledky, získané při vázkové analýze kvašení různými autory. Podrobný přehled této problematiky uvádí práce [1].

Přesto se Ballingův vzorec používá pro analýzu piva ve všech fázích kvašení, dokonce i při kvašení piv s nízkým obsahem alkoholu.

K posouzení průběhu kvašení v laboratorních podmínkách se často používá vážení baněk s kvasící mladinou. Výsledek se obvykle vyjadřuje pouze úbytkem hmotnosti baněk, charakterizovaným jako množství uvolněného oxidu uhličitého.

K ověření vztahu mezi množstvím uvolněného oxidu uhličitého a množstvím vzniklého alkoholu a biomasy se při kvašení vážily míchané nádoby o objemu 1,5 l [1]. Stejná práce uvádí program pro výpočet vztahu mezi množstvím uvolněného oxidu uhličitého a množstvím zkvašeného extraktu.

Je paradoxní, že analýza průběhu kvašení podle množství uvolněného oxidu uhličitého nalezla uplatnění v průmyslu, zatímco v laboratorii se téměř výhradně používají analýzy odebraných vzorků jinými metodami, obvykle s využitím moderních analyzátorů.

Každý odběr vzorku z malé kvasné nádoby přitom mění poměry v kvasné nádobce zmenšením kvasného objemu. To také prakticky brání miniaturizaci kvašení. V tomto směru je ideální analýza vážením úbytku hmotnosti kvasných baněk.

2. TEORIE VÝPOČTU

2.1 Kvašení bez korekce na ztrátu vlhkosti

2.1.1 Výpočet výsledků analýzy

Předpokládá se, že při kvašení uniká pouze suchý oxid uhličitý a že lze vážením a výpočtem stanovit jeho celkové

množství d . Kvašením e g extraktu vznikne 1 g alkoholu, c g oxidu uhličitého a k g kvasnic. Pro klasický Ballingův vztah je $e = 2,0665$, $c = 0,9565$ a $k = 0,11$.

Při kvašení m gramů navážky mladiny s původním extraktem p vznikne množství piva b (g):

$$b = m - (1+k/c) \cdot d \quad (1)$$

Pro koncentraci vznikajícího alkoholu A , skutečného extraktu n a původního extraktu P platí:

$$A = 100 \cdot d / (c \cdot b) \quad (2)$$

$$n = 100 \cdot (m \cdot p / 100 - e \cdot d / c) / b \quad (3)$$

$$P = 100 \cdot (e \cdot A + n) / (100 + A \cdot (k+c)) \quad (4)$$

Tato rovnice umožňuje vypočítat výsledky rozboru přímo z celkového úbytku oxidu uhličitého, navážky mladiny a jejího původního extraktu. Původní extrakt p se experimentálně stanoví před kvašením, původní extrakt P se počítá pro kontrolu z bilančních rovnic.

Při kvašení část oxidu uhličitého unikne, část se rozpustí v kvasícím pivu. Celkové množství oxidu uhličitého odpovídá vztahu.

$$d = u + a \cdot b \quad (5)$$

kde u je úbytek hmotnosti kvasné baňky, zjištěný vážením, a je rozpustnost oxidu uhličitého v kvasící mladině, udávaná jako hmotnostní zlomek oxidu uhličitého (procentický obsah/100). Spojením vztahů (1) a (5) se získá výsledný vztah:

$$d = (u + a \cdot m) / (1 + a \cdot (1 + k/c)) \quad (6)$$

Po zahájení kvašení se oxid uhličitý rozpouští v kvasící mladině a nelze proto zaznamenat úbytek hmotnosti ($u=0$). Za podmínky, že $u = 0$ se dosazením d ze vztahu (6) do rovnic (2,3 a 4), výpočtem nejnížší hodnoty A, n, p , které lze touto metodou teoreticky stanovit.

2.1.2 Stanovení bilančních koeficientů

Pro zpětné stanovení bilančních koeficientů e, c, k je nutno rovnice (2), (3) upravit po dosazení b z rovnice (1) a připojit k nim látkovou bilanci koeficientů:

$$(m/d - 1) \cdot c - k = 100/A \quad (7)$$

$$(m \cdot (1 - p/n) / d - 1) \cdot c - k + 100 \cdot e / n = 0 \quad (8)$$

$$c + k - e = -1 \quad (9)$$

Řešením této soustavy rovnic se získají vztahy:

$$e = (p \cdot (100 - A) - 100 \cdot n) / (A \cdot (100 - p)) \quad (10)$$

$$c = 100 \cdot d \cdot (100 - A - n) / (m \cdot A \cdot (100 - p)) \quad (11)$$

$$k = 100 \cdot (1 - d / m) \cdot (100 - A - n) / (A \cdot (100 - p)) - 100 / A \quad (12)$$

2.2 Kvašení s korekcí na ztrátu vlhkosti

2.2.1 Výpočet výsledků analýzy

Předpokládá se, že unikající oxid uhličitý obsahuje nasycenou vodní páru, popř. těkavé složky s výslednou hmotností w . V důsledku toho se rovnice (5) změní na vztah:

$$d = u + a \cdot b - w \quad (13)$$

a rovnice (1) na vztah:

$$b = m - (1 + k / c) \cdot d - w \quad (14)$$

jejichž spojením se pro výpočet množství oxidu uhličitého získá vztah:

$$d = (u + a \cdot m - (a + 1) \cdot w) / (1 + a \cdot (1 + k / c)) \quad (15)$$

Upravené hodnoty se dosadí do vztahů (2), (3), (4) a výpočtou se výsledky analýzy.

2.2.2 Stanovení bilančních koeficientů

S použitím rovnic (13) a (14) se stejným postupem, jako v odstavci 2.1.2 vypočtou vztahy pro výpočet koeficientů e, c, k :

$$e = (p \cdot (100 - A) - 100 \cdot (1 - w / m) \cdot n) / (A \cdot (100 \cdot (1 - w / m) - p)) \quad (16)$$

$$c = 100 \cdot d \cdot (100 - A - n) / (m \cdot A \cdot (100 \cdot (1 - w / m) - p)) \quad (17)$$

$$k = 100 \cdot (1 - d / m) \cdot (100 - n - A) / (A \cdot (100 \cdot (1 - w / m) - p)) - 100 / A \quad (18)$$

PRAKTICKÉ POZNÁMKY K MĚŘENÍ

3.1 Kvašení bez korekce na ztrátu vlhkosti

Po navážení mladiny se musí mladina zakvasit. Doporučuje se kvasnice odsát v Büchnerově nálevce, nebo odstředit, aby se do mladiny vneslo co nejméně volné vody. Potřebné množství kvasnic se naváží a po přidavku mladiny kvantitativně převede do prázdné baňky, v níž se zváží. K tomu se přihlíží při výpočtu navážky mladiny. Uvedené hodnoty se zpravidla uvádějí v gramech.

Za úbytek hmotnosti u se může považovat úbytek hmotnosti baňky se zakvašenou mladinou v jednotlivých dnech kvašení. Množství rozpuštěného oxidu uhličitého v pivu se může vypočítat ze součinu $a \cdot b$, nebo se stanoví

experimentálně vytřepáním piva po ukončení kvašení a zahrne do celkového množství oxidu uhličitého d .

K získání výsledků analýzy je nutno měřit tyto hodnoty:

1. hmotnost prázdné baňky,
2. hmotnost baňky se zakvašenou mladinou před kvašením,
3. hmotnost kvasnic, přidávaných do mladiny,
4. hmotnost baňky se zakvašenou mladinou v jednotlivé dny kvašení,
5. původní extrakt mladiny před zakvašením.

Pro stanovení bilančních koeficientů kvašení je nutno dále znát výsledky chemického rozboru piva nezávislou metodou.

3.2 Kvašení s korekcí na ztrátu vlhkosti

Experimentálně lze postupovat stejně jako v předchozím odstavci a k výpočtu použít upravených vztahů podle odstavce 2.2. Předpokládáme-li, že unikající oxid uhličitý obsahuje pouze sytou vodní páru, lze hodnotu w odhadnout ze vztahu:

$$w = u \cdot P_w \cdot M_w / (M_c \cdot (P_f - P_w)) \quad (19)$$

kde P_w je parciální tlak syté vodní páry, M_w a M_c jsou molární hmotnosti vody a oxidu uhličitého a P_f je tlak při kvašení.

Při přímém stanovení hodnoty w lze kvasit s kvasným uzávěrem s hygroskopickou látkou (silikagel, konc. kyselina sírová), pohlcující vlhkost, ale ne oxid uhličitý. Hodnota w potom udává přírůstek hmotnosti kvasného uzávěru.

Ve vztahu (13) nebo (15) se potom musí za u dosadit experimentálně stanovený úbytek hmotnosti kvasné baňky, zvětšený o experimentálně stanovený přírůstek w , aby se mohly použít výpočtové vzorce v původním znění.

Uvedené vztahy lze řešit a graficky znázornit na osobním počítači. Úpravou se také získá vztah pro průběh zdánlivého extraktu. Příslušný program jsme ověřili na našem pracovišti. Teoreticky lze takto sledovat průběh kvašení pouze vážením kvasných baněk, což by mělo význam při hodnocení kvasničných kmenů, laboratorním sledování různých vlivů při kvašení apod. Těmto postupům se budeme věnovat v našem příštím sdělení.

LITERATURA

- [1] DAOUD, J.S.-SEARLE, B.A., J.Inst.Brew., 96, 1990, s.297.

SEZNAM SYMBOLŮ

- e - bilanční koeficient pro skutečný extrakt (g/g alkoholu)
 c - bilanční koeficient oxidu uhličitého (g/g alkoholu)
 k - bilanční koeficient přírůstku kvasnic (g/g alkoholu)
 b - hmotnost piva po kvašení (g)

- d* - hmotnost oxidu uhličitého, vzniklého kvašením (g)
- A* - obsah alkoholu v % hm
- n* - skutečný extrakt v % hm
- p* - původní extrakt mladiny před kvašením v % hm
- P* - původní extrakt mladiny v % hm (výpočtem z analýzy piva)
- u* - hmotnostní úbytek kvasné baňky po kvašení (g)
- a* - rozpustnost oxidu uhličitého (hmotnostní zlomek)
- m* - hmotnost mladiny před kvašením (g)
- w* - hmotnostní úbytek vodní páry (popř. i těžkých látek) při kvašení (g)
- P_w* - parciální tlak vodní páry
- P_f* - celkový tlak při fermentaci
- M_w* - molární hmotnost vody
- M_c* - molární hmotnost oxidu uhličitého

*Lektoroval Ing. P. Dostálek, CSc.
Do redakce došlo 23.4.1993*

ŠAVEL, J.: Vázková analýza kvašení v malých nádobkách.
Kvas. prům., 39, 1993, č. 8 s. 226 - 228

Článek pojednává o možnostech výpočtu hodnot alkoholu, skutečného a původního extraktu z úbytku hmotnosti kvasných nádobek při laboratorním kvašení. Obecné látkové bilance umožňují výpočet klasické chemické analýzy piva i výpočet bilančních koeficientů udávajících množství zkvašeného extraktu, vzniklého oxidu uhličitého a kvasnic, připadajících na 1 g alkoholu. Výpočty se řeší s korekcí na vlhkost, unikající s oxidem uhličitým i bez této korekce. Program vycházející z těchto výpočtů umožňuje jednoduše sledovat kvašení při výběru kvasničných kmenů a laboratorním hodnocení vlivů, působících na kvašení.

Шавел, Я.: Весовой анализ брожения в склянках. Квас. прум., 39, 1993, №8, стр. 226 - 228

Статья обсуждает возможности расчета величин алкоголя, фактического и исходного экстрактов по убыли массы

дрожжевых склянок при лабораторном брожении. Общие весовые балансы позволяют расчет классического химического анализа пива и расчет коэффициентов баланса, приводящих количество сброженного экстракта, возникшей двуокиси углерода и дрожжей, приходящихся на 1 г алкоголя. Расчеты решаются с коррекцией на влагу, выделяющуюся вместе с двуокисью углерода и без этой коррекции. Программа, исходящая из этих расчетов позволяет несложным способом исследовать брожение при выборе дрожжевых штаммов и лабораторной оценке влияний, действующих на брожение.

ŠAVEL, J.: Weight Analysis of Fermentation in Small Vessels.
Kvas. prům., 39, 1993, No. 8, pp 226 - 228

The article describes a possible application of the calculation of alcohol quantity, the actual and initial contents of extract from the decreased weights of fermentation vessels during a laboratory fermentation. General mass balances permit the calculation of a classical chemical beer analysis and balance coefficients which describe the quantity of fermented extract, CO₂ formed and biomass produced in relation to 1 g of alcohol. The calculations can be performed with respect to the loss of humidity outgoing with CO₂ as well as without this correction. The described calculation procedure is a simple method applicable for the selection of various yeast strains and for a description of effects influencing the fermentation.

ŠAVEL, J. - Gewichtsanalyse der Gärung in kleinen Gefäßen.
Kvas. prům., 39, 1993, Nr. 8, S. 226 - 228

In dem Artikel werden die Möglichkeiten der Berechnung der Werte von Alkohol, wirklichem und ursprünglichem Extrakt aus der Masseabnahme der Gärkleingefäße bei der Laborgärung behandelt. Die allgemeinen Stoffbilanzen ermöglichen die Errechnung der klassischen Bieranalyse, sowie auch der Bilanzkoeffizienten, welche die Menge der vergärten Extrakts, des gebildeten Kohlendioxids und der auf 1 g Alkohol entfallenden Hefe angeben. Die Berechnungen können mit der Korrektur auf die Feuchtigkeit erfolgen, die mit dem Kohlendioxid entweicht, oder auch ohne diese Korrektur. Das auf diesen Berechnungen basierende Programm ermöglicht eine einfache Verfolgung der Gärung bei der Auswahl von Hefestämmen und bei der Laborbewertung der Einflüsse auf die Gärung.