

黄酒前酵中生物胺生成规律的研究

张无疾¹, 夏小乐¹, 张斌², 夏梅芳², 杨海麟¹, 王武¹

(1. 江南大学生物工程学院, 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏无锡 214122)

(2. 南通白蒲黄酒有限公司, 江苏如皋 226500)

摘要: 本研究对黄酒前酵工序的生物胺生成规律及影响因素进行了分析探讨。采用反相高效液相色谱技术, 改进了生物胺定量检测法, 该检测体系准确可靠, 样品峰型对称分离度好且缩短了检测时间。分析了前酵工序中主要微生物、氨基酸、发酵醪酸度、糖度、酒精度、pH 对生物胺生成的影响。发现前酵工序对成品酒生物胺的影响度为 77.67%, 第一次开耙阶段生物胺总量增幅最大, 达到 7.63 mg/L。研究发现主要酿造微生物中乳酸菌总数与生物胺总量成正相关, 乳酸菌在搭窝期间生长速率最大, 为 7.13×10^6 CFU/(mL h)。在前酵工序中生物胺总量与发酵醪酸度、酒精度、pH 呈显著正相关, 与糖度呈负相关; 前酵过程中主要生物胺与前体氨基酸也呈明显正相关。本研究分析了黄酒前酵中生物胺生成规律, 有助于建立降低黄酒生物胺含量的更安全、科学的工艺。

关键词: 生物胺; 黄酒; RP-HPLC; 前酵工序; 乳酸菌; 氨基酸

文章编号: 1673-9078(2015)10-269-274

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.10.044

Patterns in the Formation of Biogenic Amines in Chinese Rice Wine during Primary Fermentation Process

ZHANG Wu-ji¹, XIA Xiao-le¹, ZHANG Bing², XIA Mei-fang², YANG Hai-lin¹, WANG Wu¹

(1.School of Engineering, The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China) (2.Nantong Baipu Chinese Rice Wine Co. Ltd, Rugao 226500, China)

Abstract: The patterns of biogenic amine formation during primary fermentation of Chinese rice wine and the factors influencing these formation patterns were analyzed. Reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC) was used for quantitative determination of biogenic amines. This method was accurate and reliable, showing symmetrical peak shapes, good resolution, and a rapid analysis time. The effects of dominant microbes, amino acids, acidity of fermented mash, sugar content, alcohol content, and pH value on the formation of biogenic amines were analyzed. The results showed that the degree of influence of the primary fermentation process on the formation of biogenic amine was 77.67%, with the highest increase in biogenic amine level (7.63 mg/L) occurring during the first harrowing period. The total content of biogenic amines was positively correlated with the number of lactic acid bacteria in brewing microorganisms, and the highest growth rate of lactic acid bacteria (7.13×10^6 CFU/(mL h)) was found during the nest period. Moreover, the total content of biogenic amines was also positively correlated with the acidity of fermented mash, alcohol content, pH value, and precursor amino acids, but negatively correlated with the sugar content during primary fermentation. The pattern in biogenic amine formation during primary fermentation was analyzed in this study. These results can be used to develop a safer and more reasonable process for lowering the content of biogenic amines in Chinese rice wine.

Key words: biogenic amines; Chinese rice wine; reverse phase high performance liquid chromatography; primary fermentation process; lactic acid bacteria; amino acids

黄酒是民众日常性饮品, 随着对食品安全问题的关注度不断提高, 黄酒中含有生物胺也成为值得关注的议题。生物胺是一类带胺基的脂肪族、芳香族或杂环类小分子化合物, 主要是通过氨基酸的酶促脱羧作

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 江苏省产学研联合项目 (BY2013015-07); 博士后面上基金项目 (2013M531273)

作者简介: 张无疾 (1988-), 男, 硕士, 研究方向: 发酵工程

通讯作者: 王武 (1952-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 发酵工程

用生成的^[1]。对于人体而言, 食品中存在安全标准以下的生物胺含量并不影响健康, 但超量则引起人体毒性反应, 严重的将危及生命。生物胺中的组胺对人类健康的影响最大, 其次是酪胺, 如组胺可导致食源性中毒, 造成腹部痉挛、呕吐和腹泻等症状, 酪胺和 β -苯乙胺可导致特定病人的高血压和偏头痛。有些生物胺, 如尸胺、精胺、腐胺可与亚硝酸盐反应生成致癌物质^[2]。人体内存在着单胺氧化酶, 可分解部分生物胺, 具有一定的解毒功能, 但酒精能够抑制单胺氧化

酶的活性^[3],从而对人体造成更大的危害。目前,生物胺的检测方法主要有高效液相色谱法(HPLC)、气相色谱法(GC)、毛细管电泳法(CE)、薄层色谱法(TLC)、离子色谱法(IC)等^[4]。其中,HPLC具有分析速度快、柱效高、检测灵敏度高、定量分析准确的特点,是食品中生物胺含量分析测定的主要手段。

半开放式的黄酒酿造工艺中,糖化、乳酸菌生成、酵母发酵等生物过程相继发生^[5],酿造中究竟哪些因素影响生物胺的生成,值得深入探究。张凤杰等^[6]分析了黄酒酿造原料、发酵剂和不同年份酒中的生物胺含量,并对传统工艺和机械化生产过程中生物胺含量的变化进行了跟踪分析。栾同青^[7]对工业化黄酒酿造过程中生物胺含量变化情况进行了跟踪,研究并探讨了贮存条件对黄酒中生物胺含量的影响。关于黄酒前酵过程中生物胺的生成规律及相关影响因素等少见报道,尤其是关键微生物、氨基酸等与生物胺的关系。

本研究改进了精确定量分析生物胺的方法,用之测定黄酒前酵工序中生物胺含量变化,并研究了前酵工序的主要酿造微生物、氨基酸、发酵醪酸度,糖度,酒精度,pH对黄酒中生物胺生成的影响,为进一步控制黄酒中生物胺含量和提高黄酒品质提供了理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

1.1.1 样品

黄酒样品均由南通某黄酒公司提供。

1.1.2 仪器与设备

日立 Chromaster 5430 高效液相色谱仪,二极管阵列检测器(DAD); Agilent Extend-C18 柱(150mm×4.6mm, 2.5 μm); 安捷伦 Agilent 1100 液相色谱仪; Sigma 3K15 台式冷冻离心机; PHS-3C 型酸度计; SHB-III 型循环水式多用真空泵; KQ-500DE 型数控超声清洗器; WH-861 型涡旋振荡器; FA1204B 型电子天平(精确至 0.0001g); SZ-97A 型自动三重纯水蒸馏器; LS-B 50L 型立式圆形压力蒸气灭菌器; SW-CJ-1FD 型超净工作台; GNP-9080 隔水式恒温培养箱; 190-2545 Syringe Filters 0.45 μm 针头微孔滤膜过滤器。

1.1.3 主要化学试剂

腐胺、β-苯乙胺、色胺、尸胺、酪胺、组胺、亚精胺、精胺,1,7-二氨基庚烷(内标),丹磺酰氯(衍生剂),均购于 Sigma 公司;氨基酸标准品购于 Waters 公司;自制超纯水,乙腈和丙酮为色谱纯;氨水、盐

酸、氢氧化钠、碳酸氢钠均为分析纯。

1.2 试验方法

1.2.1 反相高效液相色谱分析

标准样品和黄酒样品的前处理及衍生参照国家标准 GB/T 5009.208-2008《食品中生物胺含量的测定》^[8]。

色谱条件如下:色谱柱为 Agilent Extend-C18 柱(150mm×4.6mm, 2.5 μm),流动相 A 为超纯水,流动相 B 为乙腈,柱温为 30℃,采用梯度洗脱,洗脱程序见表 1。流速为 1.5 mL/min,进样量为 20 μL,紫外检测波长为 254 nm。

表 1 梯度洗脱生物胺

Table 1 Gradient elution of biogenic amines

流动相	时间/min							
	0	5	9	15	20	27	30	35
A	55	60	65	70	70	90	100	55
B	45	40	35	30	30	10	0	45

1.2.2 氨基酸、糖度、酸度、酒精度、pH 的测定方法

氨基酸的测定采用 PITC 柱前衍生高效液相色谱法^[9];糖度、酸度、酒精度、pH 的测定参照国家标准 GB/T 13662-2008《黄酒》^[10]。

1.2.3 微生物计数方法

霉菌、酵母菌的计数参照 Tournas 等^[11]的方法,乳酸菌的计数参照 Sanna Taskila 等^[12]的方法。

1.2.4 数据处理

应用 Origin8.5 作图和 SPSS10.0 进行相关性分析和单因素方差分析, P<0.05 视为差异显著。

2 研究结果

2.1 反相高效液相色谱法定量分析生物胺

2.1.1 色谱条件的选择与优化

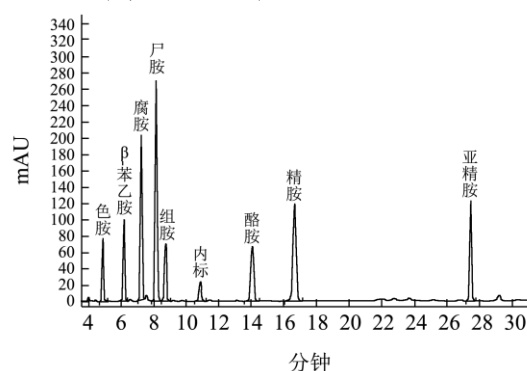


图 1 生物胺混合标准品的色谱图

Fig.1 Chromatogram for mixed biogenic amine standards

实验先参照李志军^[13]的方法,采用甲醇和超纯水为流动相,但由于本研究用的色谱柱是粒径为 2.5 μm 的 C18 短柱,其柱压大,柱效高,出峰快,对所用的流动相要求较高,所以得到的色谱图效果不佳。后确定用乙腈和超纯水为流动相,并采用表 1 所示的梯度程序洗脱。生物胺混合标准品的色谱图见图 1。

图 1 的结果表明 8 种组分能有效分离,各峰分布明显且峰和峰之间间隙分明。对比国标^[8],样品的分析时间由 45 min 缩减到 35 min,为大批量的样品检测节约了时间。

表 2 RP-HPLC 法测生物胺的线性方程,相关系数,检出限,精密度及回收率结果 (n=3)

Table 2 Linear equation, R², detection limits, precision and recovery of biogenic amines detected by RP-HPLC

生物胺	线性方程	相关系数(R ²)	LOD(S/N =3)/(mg/L)	RSD/%	回收率/%
色胺 Try	y=0.05257x-0.0049	0.99850	0.20	3.37	96.72
β-苯乙胺 Phe	y=0.03489x-0.00292	0.99951	0.10	3.28	100.41
腐胺 Put	y=0.01502x-0.004	0.99871	0.05	4.73	99.96
尸胺 Cad	y=0.01104x-0.00186	0.99883	0.10	4.79	97.32
组胺 His	y=0.03147x-0.00423	0.99857	0.25	5.64	96.23
酪胺 Tyr	y=0.02924x+0.0023	0.99752	0.20	3.66	100.65
亚精胺 Spd	y=0.01573x+0.000867	0.99839	0.05	2.71	98.05
精胺 Spm	y=0.02142x-0.000561	0.99394	0.05	6.69	98.63

由表 2 可见, DAD 检测器测定的 8 种标准生物胺在 1.00~50.00 mg/L 线性范围内均呈良好的线性相关,相关系数均大于 0.993。以 3 倍信噪比(S/N)作为判断标准,8 种生物胺的检测限范围为 0.05~0.25 mg/L。证明该方法对测定八种生物胺具有良好的可靠性。

以黄酒样品为基质,添加生物胺混合标准溶液,各组分加标水平为 1.00 mg/L,按测定方法进行回收试验,分析样品回收率。结果表明,八种生物胺的平均回收率均在 96%~101%之间,变异系数均小于 10%,可见该方法回收率较高,精密度良好。

2.2 黄酒前酵过程中生物胺含量变化跟踪分析

为了探究黄酒前酵阶段生物胺生成的关键点,本研究跟踪检测了搭窝来浆(第 1.5 d)、搭窝结束(第 3 d)、第一次开耙(第 5 d)、第二次开耙(第 6 d)、第三次开耙(第 7 d)、前酵结束(第 11 d)六个工艺中八种生物胺的含量,结果见图 2。

前酵结束时检出的黄酒醪液中各生物胺单体比例见图 3。腐胺是醪液中的最主要的生物胺,到前酵结束含量为 33.01 mg/L,占生物胺总量的 45.60%。其次为酪胺,含量为 23.24 mg/L,占生物胺总量的 32.10%。生物胺总量为 72.39 mg/L,远远高于啤酒的

2.1.2 标准曲线的线性方程、方法的检测限、精密度和回收率实验

以生物胺混合标准溶液进行线性试验,系列浓度分别为: 1.00、2.50、5.00、10.00、15.00、25.00、50.00 mg/L,按照 1.2.1 中说明进行衍生、测定,每个浓度重复测定三次。计算各生物胺和内标的峰面积比,以标准系列溶液的质量为纵坐标,以各生物胺和内标的峰面积比为横坐标,绘制标准曲线进行线性回归计算,结果见表 2。

生物胺范围(2.20~42.03 mg/L)和葡萄酒的生物胺范围(6.34~39.05 mg/L)^[13]。而成品黄酒的生物胺总量为 93.18 mg/L,前酵工序对成品酒生物胺的贡献率为 77.67%。可见要进一步控制黄酒中生物胺含量,提高黄酒品质,控制前酵过程中生物胺的生成是一个重要的突破口。

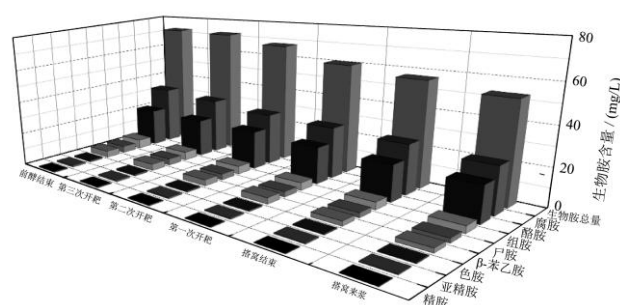


图 2 前酵过程中生物胺的变化趋势

Fig.2 Change in the trends of the total biogenic amines during primary fermentation process

2.3 黄酒前酵过程中生成生物胺影响因素研究

2.3.1 黄酒前酵过程中糖度、酸度、酒精度、pH 对生物胺含量的影响

黄酒酿造过程中,醪液的糖度、酸度、酒精度、

pH是酿酒师们判断发酵进行程度的重要指标。本文为了研究酿造的理化环境对生物胺形成的影响，跟踪分析了黄酒酿造糖度、酸度、酒精度、pH的变化情况。如图4所示。

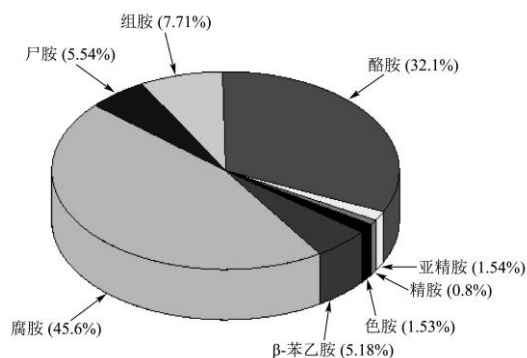


图3 前酵结束时黄酒醪液中各生物胺单体所占比例

Fig.3 Proportion of biogenic amine monomer in Chinese rice wine mash at the end of the primary fermentation process

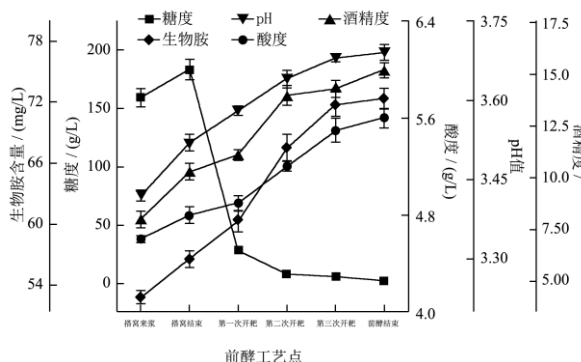


图4 前酵过程中糖度、酸度、酒精度、pH及生物胺总量的变化趋势

Fig.4 Change in the trend of sugar content, acidity, alcohol content, pH and the total biogenic amine content of primary fermentation process

表3 前酵过程中生物胺总量与糖度、酸度、酒精度和pH的相关性分析

Table 3 Analysis of the correlation of the content of biogenic amines with sugar content, acidity, alcohol content, and pH of primary fermentation process

	糖度	酸度	酒精度	pH
Pearson 相关性	-0.871*	0.989**	0.985**	0.974**
生物胺总量 显著性(双侧)	0.024	0.000	0.000	0.001
N	6	6	6	6

注: *在 0.05 水平(双侧)上显著相关, **在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

图4结果显示,在前酵阶段主要进行的是糖化作用和酒精发酵。糖度在搭窝来浆至搭窝结束阶段由于酶系的糖化作用,急剧增加到最大值 183.14 g/L,之后由于微生物的生长代谢作用,糖度又急剧的降低,到

前酵结束仅为 2.07 g/L。前酵开始时,酵母菌迅速繁殖,活动剧烈,发酵产酒精,酒精度快速升高。酒精度的快速增加使乳酸菌活性受到抑制,产酸能力降低,故酸度和 pH 增加缓慢,前酵结束酸度和 pH 分别为 5.62 g/L, 3.68。前酵工序中生物胺总量与糖度、酸度、酒精度和 pH 的相关性分析结果见表3。由表3可知,在前酵阶段生物胺总量与酸度,酒精度, pH 呈正显著相关,且相关性极显著,与糖度呈负显著相关。这说明了乳酸菌在相对低酸,营养匮乏和生长受到抑制的条件下,为了维持自身生长,受胁迫机制调控而代谢产生生物胺^[4]。

2.3.2 黄酒前酵过程中主要酿造微生物对生物胺含量的影响

黄酒发酵实质上是霉菌、酵母菌、细菌的多菌种混合发酵过程。为了发掘出前酵过程中主要酿造微生物对生物胺含量的影响,本研究跟踪分析前酵过程中霉菌、酵母菌、乳酸菌的总量变化,它们与生物胺含量的关系见图5。

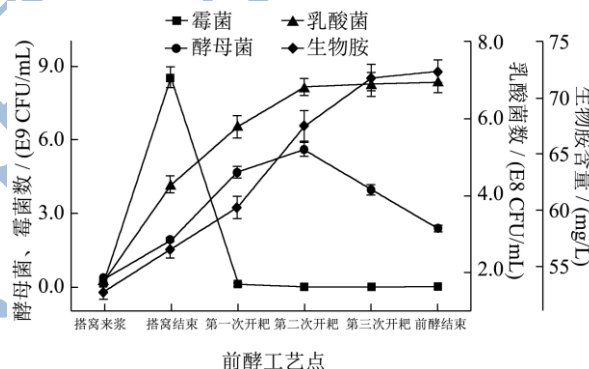


图5 前酵过程中霉菌、酵母菌、乳酸菌总数及生物胺总量的变化趋势

Fig.5 Change in the trend of the total numbers of mold, yeast, lactic acid bacteria as well as the total biogenic amine content during the primary fermentation process

图5结果表明,霉菌总数在搭窝期间急剧增加到最大值 8.52×10^9 CFU/mL,最大生长速率为 2.37×10^8 CFU/(mL h),之后至第一次开耙又急剧减少到 7.44×10^7 CFU/mL。在搭窝阶段由于麦曲酶系的作用,发酵醪液里营养成分富足,霉菌总数呈指数级增长。随着发酵的进行,醪液的酸度、酒精度逐渐升高,溶氧降低,霉菌的生长受到严重抑制,总数急剧下降,到前酵结束霉菌总数为 5.38×10^4 CFU/mL。霉菌在整个前酵阶段主要提供高活性的淀粉酶、糖化酶、蛋白酶等酶系,将发酵原料中的淀粉和蛋白质分解为酵母菌和乳酸菌可利用的营养物质和生物胺的前体氨基酸。

酵母菌总数在搭窝至第二次开耙阶段快速增加

到最大值 5.61×10^9 CFU/mL, 最大生长速率为 5.88×10^7 CFU/(mL h), 之后随着醪液理化环境的改变和营养物质的减少, 其数量迅速下降, 到前酵结束酵母菌总数为 2.45×10^9 CFU/mL。酵母在整个前酵阶段主要发酵糖产酒精并产生一系列的醇、醛、酸、酯等多种风味物质。

表4 前酵过程中生物胺与微生物的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between content of biogenic amines and the microbes during the primary fermentation process

	乳酸菌	霉菌	酵母菌
Pearson 相关性	0.912*	-0.434	0.541
生物胺 显著性(双侧)	0.011	0.390	0.268
N	6	6	6

注: *在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

乳酸菌总数在搭窝期间快速增加, 最大生长速率为 7.13×10^6 CFU/(mL h), 在第二次开耙之后同样由于醪液的理化和营养条件的改变, 其增长速度开始变缓, 到前酵结束乳酸菌总数为 6.93×10^9 CFU/mL。乳酸菌

在整个前酵阶段主要发酵糖产大量乳酸, 其代谢产物胺是机体的应激机制。在前酵工序中生物胺与主要微生物的相关性见表 4。由表 4 可知, 乳酸菌与生物胺的相关系数为 0.912, 显著性 $p=0.011 < 0.05$, 呈正显著相关, 有统计学意义。霉菌与生物胺的相关系数为 -0.434, 这与霉菌主要参与搭窝期间的糖化作用而后期生长受到严重抑制有关^[5]。可见降低黄酒中产生生物胺乳酸菌数量是控制黄酒生物胺含量的关键之一。

2.3.3 黄酒前酵过程中氨基酸含量对生物胺含量的影响

生物胺是由相应前体氨基酸在脱羧酶作用下经过脱羧反应转化而来, 因此前体物浓度影响生物胺的含量。黄酒发酵过程中氨基酸含量的变化是一个动态过程: 一方面, 蛋白酶不断水解蛋白质成氨基酸, 并且随着发酵的进行, 酵母等微生物自溶后内容物析出, 氨基酸含量增加; 另一方面, 酵母菌、乳酸菌生长发酵, 消耗部分氨基酸^[6]。本研究跟踪了黄酒前酵过程中氨基酸含量的变化, 结果见表 5。

表5 黄酒前酵过程中氨基酸含量变化 (mg/L)

Table 5 Change in the trends of the amino acids during the primary fermentation process

氨基酸	前酵工艺点					
	搭窝来浆	搭窝结束	第一次开耙	第二次开耙	第三次开耙	前酵结束
天冬氨酸(Asp)	56.76	78.39	89.17	112.24	125.28	132.39
谷氨酸(Glu)	58.71	111.71	120.95	143.43	145.64	156.71
丝氨酸(Ser)	25.12	32.33	41.12	47.85	56.29	76.95
组氨酸(His)	12.81	17.47	23.81	38.49	44.49	53.03
甘氨酸(Gly)	74.62	85.07	86.18	90.58	130.62	155.11
苏氨酸(Thr)	21.49	22.99	35.26	44.92	57.07	58.73
精氨酸(Arg)	124.28	129.34	180.72	212.71	257.17	279.08
丙氨酸(Ala)	103.28	147.59	165.96	177.52	277.72	277.98
酪氨酸(Tyr)	56.97	111.20	115.96	136.92	168.72	191.35
胱氨酸(Cys)	28.01	29.12	53.62	61.09	67.08	80.26
缬氨酸(Val)	32.21	37.21	49.01	60.29	76.97	105.01
蛋氨酸(Met)	25.89	29.21	48.19	52.33	58.23	89.43
苯丙氨酸(Phe)	50.11	51.66	83.68	94.89	141.26	158.83
异亮氨酸(Ile)	26.31	34.91	38.19	72.95	78.22	88.79
亮氨酸(Leu)	37.29	51.49	93.18	127.13	141.28	168.81
赖氨酸(Lys)	30.81	61.62	99.11	151.95	203.77	222.42
脯氨酸(Pro)	117.09	141.29	180.04	188.11	226.43	227.53
氨基酸总量	881.76	1172.60	1504.15	1813.40	2256.24	2522.41

从表 5 中可以看出, 氨基酸含量在整个前酵阶段快速增加。这是因为在前酵阶段, 麦曲和霉菌产生蛋白酶将蛋白质进行水解, 醪液中的氨基酸含量迅速增加。前酵工序氨基酸含量增加最大的是赖氨酸、丙氨酸、精氨酸、酪氨酸, 分别达到 191.61、174.70、154.80、

134.38 mg/L。腐胺是由鸟氨酸通过脱羧作用生成, 而鸟氨酸又是由精氨酸在精氨酸酶分解作用下生成; 酪胺直接由酪氨酸脱羧生成^[13]。本研究分析了前酵过程中精氨酸、酪氨酸、氨基酸总量与生物胺之间的关系, 结果如图 6 所示。

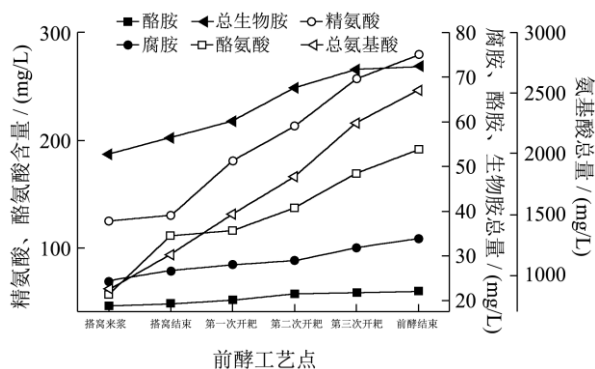


图6 前酵过程中氨基酸总量,精氨酸,酪氨酸与生物胺的关联性

Fig.6 Correlations of total amino acids, arginine, and tyrosine with the total biogenic amine content during primary fermentation process

图6表明,腐胺、酪胺,以及生物胺总量随着精氨酸、酪氨酸、氨基酸总量的增加而增加,呈明显正相关。精氨酸和酪氨酸是前酵工序中含量增加最大的两种氨基酸,而腐胺和酪胺则是黄酒中含量最多的两种生物胺,由此可见前体氨基酸浓度对促成生物胺生成有积极的影响。因此在实际生产中,我们可以通过控制氨基酸含量水平,尤其是精氨酸和酪氨酸的水平,来达到控制生物胺含量的目的。

3 结论

3.1 采用并优化了反相高效液相色谱定量测定黄酒中生物胺的方法。此法快速、稳定、灵敏度高,所检测的八种生物胺在1.00~50.00 mg/L浓度范围内,呈现良好的线性相关($R^2 > 0.993$)。回收率实验亦表明该定量检测法重现性好,为黄酒中生物胺的快速、准确测定提供了新的技术保证。

3.2 检出了黄酒前酵过程中生成的八种主要生物胺,其中腐胺含量最高。发现整个前酵阶段中生物胺增量相对明显,第一次开耙时生物胺增幅尤为突出,达到7.63 mg/L。前酵工序所产生的生物胺占了成品酒生物胺总量的77.67%。

3.3 研究发现黄酒前酵过程中生物胺生成与糖度和霉菌成负相关性,与氨基酸、乳酸菌、酸度、酒精度、pH呈正相关性,尤其是乳酸菌和精氨酸、酪氨酸的增量对于生物胺具有明显的促成作用。可见控制黄酒前酵过程中产生物胺乳酸菌的菌体量和氨基酸含量特别是精氨酸、酪氨酸含量是控制生物胺含量的关键。

参考文献

[1] Alvarez M A, Moreno-Arribas M V. The problem of biogenic amines in fermented foods and the use of potential biogenic

amine-degrading microorganisms as a solution [J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 39(2): 146-155

[2] Lorencová E, Buňková L, Pleva P, et al. Selected factors influencing the ability of *Bifidobacterium* to form biogenic amines [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 49(5): 1302-1307

[3] Zaman M Z, Abu Bakar F, Jinap S, et al. Novel starter cultures to inhibit biogenic amines accumulation during fish sauce fermentation [J]. International journal of food microbiology, 2011, 145(1): 84-91

[4] Loizzo M R, Menichini F, Picci N, et al. Technological aspects and analytical determination of biogenic amines in cheese [J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 30(1): 38-55

[5] 毛青钟. 黄酒生产特点的探讨 [J]. 酿酒科技, 2005, 26(1): 65-67

MAO Qing-Zhong. Investigation on Production Characteristics of Yellow Rice Wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2005, 26(1): 65-67

[6] 张凤杰, 薛洁, 王异静, 等. 黄酒中生物胺的形成及其影响因素 [J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(2): 62-68

ZHANG Feng-Jie, XUE Jie, WANG Yi-Jing, et al. Study on Biogenic Amines Formation and Influencing factors in Chinese Rice Wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39 (2): 62-68

[7] 栾同青. 黄酒酿造过程生物胺变化规律及其产生菌株研究 [D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2013

LUAN Tong-Qing. The Study of Variation of Biogenic Amines and the Producing Strains During the Rice Wine Formation [D]. Ji Nan: Qilu University of Technology, 2013

[8] GB/T 5009.208-2008. 食品中生物胺含量的测定 [S]

GB/T 5009. 208-2008. Determination of Biogenic Amine in Foods [S]

[9] Zhihong Shi, Hui Li, Zhimin Li, et al. Pre-column Derivatization RP-HPLC Determination of Amino Acids in Asparagi Radix before and after Heating Process [J]. IERI Procedia, 2013, 5: 351-356

[10] GB/T 13662-2008. 黄酒 [S]

GB/T 13662-2008. Chinese Rice Wine [S]

[11] Tourmas VH, Katsoudas E, Miracco EJ. Moulds, yeasts and aerobic plate counts in ginseng supplements [J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 108(2): 178-181

[12] Taskila S, Kronlöf J, Ojamo H. Enrichment Cultivation of Beer-Spoiling Lactic Acid Bacteria [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2011, 117(3): 285-294

- [13] 李志军.食品中生物胺及其产生菌株检测方法研究[D].青岛:中国海洋大学,2007
LI Zhi-Jun. Methods for Determination of Genetic Amines in Food and Amine-Producing Bacteria and Its Application [D]. Qing Dao: Ocean University of China, 2007
- [14] González de Llano D, Cuesta P, Rodríguez A. Biogenic amine production by wild lactococcal and leuconostoc strains [J]. Letters in applied microbiology, 1998, 26(4): 270-27

现代食品科技