

红枣白兰地发酵过程中酒醅氨基酸和有机酸的变化分析

严超,侯丽娟,齐晓茹,赵欢,王颖*

(河北农业大学食品科技学院,河北保定 071000)

摘要:利用高效液相色谱法(HPLC)对红枣白兰地酒醅发酵过程中的氨基酸和有机酸含量,及发酵过程中酒度、酸度的动态变化进行了分析研究。研究表明:红枣白兰地发酵酒醅中检测到16种氨基酸和7种有机酸,其中脯氨酸、天冬氨酸、谷氨酸是红枣白兰地发酵的主要氨基酸,发酵过程中平均含量分别为39.749、35.477、11.888 mg/g;乙酸、苹果酸、乳酸是红枣白兰地发酵的主要有机酸,在发酵结束时含量分别为8.189、4.243、3.646 mg/g。发酵过程中,氨基酸和有机酸整体含量呈增长趋势;甜味氨基酸和鲜味氨基酸为总氨基酸含量的45.39%、35.79%,苦味氨基酸含量较低,酒醅中氨基酸是红枣白兰地中风味成分的重要前体物质,并赋予红枣白兰地柔和的风味;比例协调的有机酸有利于增强酒的醇厚口感。

关键词:红枣白兰地,酒醅,氨基酸,有机酸,动态变化

Variation of amino acids and organic acids in fermented grains during fermentation of jujube brandy

YAN Chao, HOU Li-juan, QI Xiao-ru, ZHAO Huan, WANG Jie*

(Food Science and Technology College, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract: The dynamic changes of amino acids and organic acids during grains fermentation of jujube brandy were analyzed with high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that 16 amino acids and 7 organic acids were detected, proline, aspartic acid, glutamic acid showed the highest content and were dominant, the average content in the fermentation process were 39.749, 35.477, 11.888 mg/g. Acetic acid, malic acid, lactic acid were the main organic acids, the final content were 8.189, 4.243, 3.646 mg/g. At the end of the fermentation, the summation of amino acids and organic acids revealed a tendency to generally ascend, the amount of sweet amino acids and flavor amino acids were 45.39% and 35.79%, but the proportion of bitter amino acid was smaller. The proportions of amino acids and organic acids made the red jujube brandy a good flavor.

Key words: jujube brandy; fermented grains; amino acids; organic acids; dynamic change

中图分类号:TS262

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2017)14-0121-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.14.024

枣为鼠李科枣属植物—枣树的成熟果实,我国红枣产量占世界总产量的90%以上^[1]。以红枣为原料发酵、蒸馏而成的红枣白兰地枣香浓郁,风味独特,且保留了红枣的营养价值及药用价值^[2]。红枣白兰地作为一种功能性蒸馏酒,在我国已有小规模的生产^[3]。

红枣白兰地发酵过程与酒醅微生物生长代谢密切相关,在发酵过程中,微生物此消彼长,通过代谢作用产生醇、酸、酯等香气物质,赋予了红枣白兰地特殊的风味物质。其中氨基酸和有机酸是红枣白兰地重要的呈味物质,它们作为酒体风味的前体物质

直接影响酒的口感品质。氨基酸本身就呈现丰富的味道^[4],如丝氨酸、丙氨酸、苏氨酸、甘氨酸、脯氨酸、组氨酸呈甜味;天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸呈鲜味;精氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸呈苦味;半胱氨酸、苯丙氨酸呈芳香味^[5-6]。这些氨基酸除了为酒体提供直接的感官特征、参与风味物质的代谢外,还与酒中醇、酯、酮等协同作用构成红枣白兰地特有的风味物质。氨基酸是酵母赖以生存的氮源之一,尤其是谷氨酸、天冬氨酸,氮元素缺乏会导致酒精发酵迟缓^[7];而缺乏 α -氨基酸不能实现转氨作用,会使糖类代谢合成酮酸,脱酸还原成高级醇,高级醇

收稿日期:2017-01-02

作者简介:严超(1992-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工与安全,E-mail:1970280122@qq.com。

*通讯作者:王颖(1959-),男,博士,教授,研究方向:枣酒酿造及水产品加工,E-mail:wj591010@163.com。

基金项目:国家自然科学基金(31371815)。

的含量直接影响酒体风味^[8]。褚小米等^[9]对黄酒发酵过程中糖类和氨基酸的代谢途径进行了研究和分析;白卫东等^[10]研究了不同红曲对广东客家黄酒发酵过程中氨基酸含量的影响,研究发现复配酿制的黄酒中氨基酸总量、氨基酸风味和必需氨基酸含量明显优于单用红曲酿制的黄酒;田园等^[11]研究了赤霞珠干红葡萄酒发酵过程中氨基酸的转化及利用。商敬敏等^[12]对桑葚酒发酵过程中的有机酸含量变化进行了研究,对比了果汁发酵前后有机酸的变化;曹云刚等^[13]采用气相色谱质谱对汾酒酒醅发酵过程中的有机酸进行测定,结果表明酒醅中乳酸含量最高,乙酸次之,且含量随发酵进行呈整体上升趋势。牟穰^[14]研究了清爽型黄酒不同发酵时期有机酸和氨基酸的变化情况,并与微生物进行相关性分析。

本实验首次以红枣白兰地为对象,研究发酵过程中酒醅氨基酸和有机酸风味物质的变化情况。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红枣 市售阜平红枣;稻壳 保定市槐茂有限公司;酿酒高活性干酵母 安琪酵母股份有限公司;浓盐酸、乙酸钠、三乙胺、冰醋酸、碳酸钠、碳酸氢钠、磷酸、磷酸氢二铵 天津市天力化学试剂有限公司(分析纯);乙腈 MREDA TECHNOLOGY INC(色谱纯);2,4-二硝基氯苯 山东西亚化学试剂有限公司(分析纯);氨基酸标准品(天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸、丝氨酸、精氨酸、甘氨酸、苏氨酸、牛磺酸、脯氨酸、丙氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸)、有机酸标准品(草酸、酒石酸、丙酮酸、苹果酸、乙酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸) 上海源叶生物科技有限公司(色谱纯)。

Waters Breeze 高效液相色谱仪(含 2489 紫外检测器、自动进样器和 CLASS-VP 工作站);HH-2 电热恒温水浴锅 上海比朗仪器有限公司;AR423CN 型电子天平 奥豪斯仪器(上海)有限公司;CP214 分析天平 上海菁海仪器有限公司;SPX 型生化培养箱 宁波东南仪器有限公司;SK5200H 超声仪 上海科导超声仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 原料→剪碎→浸泡 12 h→加入稻壳→蒸煮处理→酵母活化接种→发酵→蒸馏。

原料:挑选无病虫害的红枣清洗、沥干,去枣核,将枣肉剪碎,加水室温浸泡 12 h,添加稻壳,发酵原料中枣、水、稻壳比例为 6:6:1。

热处理:将搅拌均匀的原料于密闭容器中进行 100 °C 蒸汽加热 30 min。

活化:将红枣质量 1.5% 的安琪酵母加入 30 mL 2% 的葡萄糖溶液中溶解,先置于 45 °C 水浴锅中活化 15 min,之后置于 30 °C 水浴锅中活化 1 h。

发酵:接入酵母后,于(30 ± 1) °C 培养箱中发酵 5 d。从开始发酵,每隔 12 h,取酒醅进行测样。

蒸馏:取 200 g 发酵结束后的原料放于蒸馏烧瓶中,添加 300 mL 去离子水,蒸馏,收集馏出液,得到红枣蒸馏酒。

1.2.2 氨基酸测定

1.2.2.1 溶液配制 缓冲盐溶液:0.53 g Na₂CO₃ 和 0.42 g NaHCO₃ 分别溶于 10 mL 水中,取 700 μL Na₂CO₃ 溶液加入到 10 mL NaHCO₃ 溶液中;衍生剂:0.3 g 2,4-二硝基氯苯溶于 1 mL 乙腈中。

1.2.2.2 样品前处理 取 3 g 酒醅加入 10 mL 6 mol/L 的 HCl 溶液,放入烘箱 110 °C 下水解 20 h。水解完全后,取上清液 1 mL 于试管中,在 90 °C 下用真空泵抽干。再用 2 mL 0.1 mol/L 的 HCl 溶液回溶,涡旋混合过无机膜,放入小离心管中待衍生。取 100 μL 待衍生样品,加入 200 μL 缓冲盐溶液,100 μL 衍生剂,在 90 °C 恒温水浴锅内衍生 90 min。加入 50 μL 10% 乙酸溶液,加水定容至 1 mL,混匀,排气泡,取上清液用 0.22 μm 有机膜过滤,待测。氨基酸混标进行衍生同样品,待测^[15]。

1.2.2.3 色谱条件 色谱柱:Agilent Eclipse XDB-C₁₈ (5 μm × 4.6 mm × 250 mm);流动相 A:纯乙腈;流动相 B:2.5 g 乙酸钠、1.5 mL 三乙胺、1.17 mL 冰乙酸溶于 1 L 水中,抽滤过膜,超声;洗脱程序:T(min)/B(%):0/82、10/82、15/80、30/55、35/55、38/45、42/40、45/82;检测波长:360 nm,参比波长 400 nm;柱温:40 °C;流速:1 mL/min;进样量:10 μL。

1.2.3 有机酸测定

1.2.3.1 样品前处理 取 15 g 酒醅,用 50 mL 纯净水浸出其可溶性成分 30 min,减压抽滤,10000 r/min 离心 10 min。取滤液 5 mL,加入 0.2 mL 1 mol/L 磷酸溶液,纯净水定容至 10 mL,0.22 μm 滤膜过滤,待测^[16]。

1.2.3.2 色谱条件 色谱柱:Diamonsil Plus C₁₈-A (5 μm × 4.6 mm × 250 mm);流动相:0.01 mol/L 磷酸氢二铵溶液,用磷酸调 pH 至 2.7;检测波长:210 nm;柱温:30 °C;流速:1 mL/min;进样量:10 μL^[17]。

1.3 酒精度测定

蒸馏-酒精计法^[18]。

1.4 酸度测定

酸度:100 g 酒醅消耗 1 mmol NaOH 为一度酸度。采用酸碱滴定法^[19]。

1.5 数据处理

实验数据采用 SPSS 17.0 统计软件进行统计分析,差异显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 红枣白兰地发酵过程中酒精度的变化

对发酵过程中红枣白兰地酒醅进行蒸馏后测酒精度,其变化见图 1。酒精含量在发酵过程中呈先增长后逐渐平稳的趋势。因为在发酵初期,在微生物作用下,酵母利用原料中还原糖进行酒精发酵,产生酒精,随着发酵进行,酒醅中还原糖和氧气含量逐渐减少,酒精发酵逐渐停止。

2.2 红枣白兰地发酵过程中酒醅酸度的变化

对发酵过程中酒醅进行酸度测定,其变化见图 2。酸是形成酒中香味成分的前体物质,也是酒中主要的呈味物质。酒醅在发酵过程中由于各种微生物及酶系的作用,酸度会逐渐上升,在发酵后期,酸度

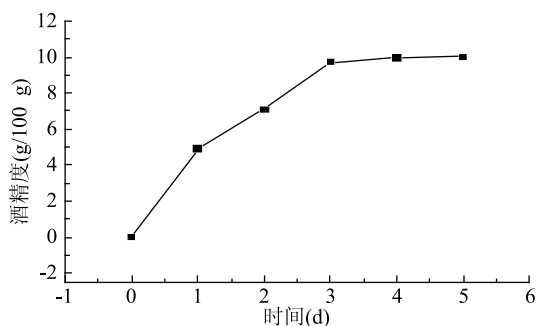


图1 酒醅发酵过程中酒精度变化

Fig.1 Changes of fermented grains' alcohol degree in fermentation process

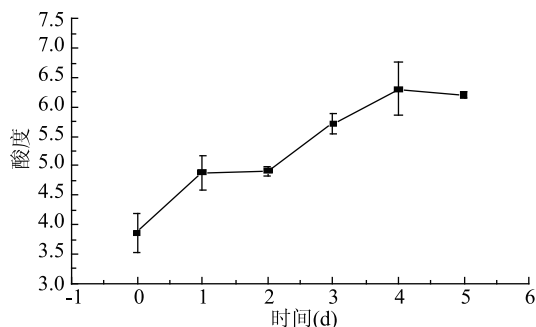


图2 酒醅发酵过程中酸度变化

Fig.2 Changes of total acids in fermentation process

变化逐渐变缓,趋于平稳。

2.3 红枣白兰地发酵过程中酒醅氨基酸的变化

用各氨基酸标准溶液的保留时间进行定性,用氨基酸梯度浓度的混合标品进行定量。图3~图4分别为氨基酸混合标品和样品的液相色谱图。通过对液相色谱图进行数据分析,得到的样品中各氨基酸含量变化见表1。

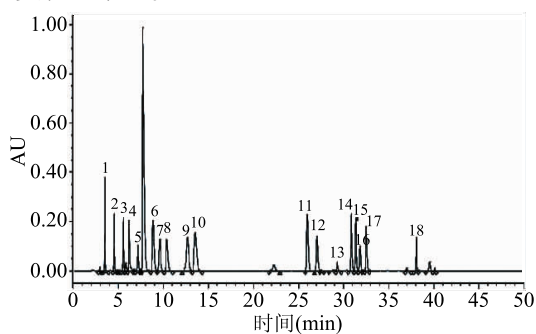


图3 氨基酸混合标品色谱图

Fig.3 The liquid chromatogram of calibration amino acid mixtures

注:1-天冬氨酸;2-谷氨酸;3-组氨酸;4-丝氨酸;5-精氨酸;6-甘氨酸;7-苏氨酸;8-牛磺酸;9-脯氨酸;10-丙氨酸;11-缬氨酸;12-甲硫氨酸;13-胱氨酸;14-异亮氨酸;15-亮氨酸;16-色氨酸;17-苯丙氨酸;18-赖氨酸;图4同。

由表1可知,在红枣白兰地发酵过程中的酒醅氨基酸种类丰富,且随着发酵时间的变化,氨基酸含量也发生了显著的变化。其中包含有人体所必需的除色氨酸以外的7种必需氨基酸:赖氨酸、苯丙氨

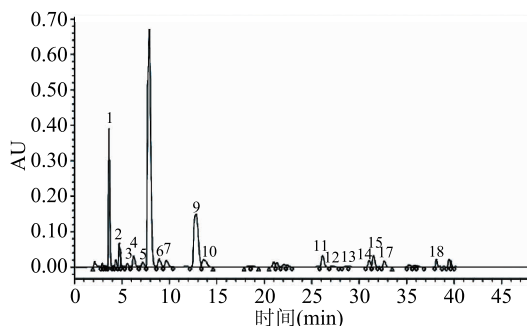


图4 红枣白兰地发酵酒醅氨基酸色谱图

Fig.4 The liquid chromatogram of jujube brandy fermented grains amino acids

酸、甲硫氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸。在发酵过程中,含量相对较高的氨基酸为脯氨酸、天冬氨酸、谷氨酸,平均含量分别为39.749、35.477、11.888 mg/g。

表1 红枣白兰地发酵过程中酒醅氨基酸含量变化(mg/g)

Table 1 Variation of amino acids in fermented grains during jujube brandy fermentation(mg/g)

氨基酸种类	发酵时间(d)				
	1	2	3	4	5
天冬氨酸	39.089 ^b	35.644 ^{ab}	36.027 ^{ab}	34.027 ^a	32.598 ^a
谷氨酸	9.739 ^a	10.758 ^a	13.004 ^b	13.005 ^b	12.936 ^b
组氨酸	1.959 ^b	1.913 ^{ab}	2.008 ^b	1.875 ^{ab}	1.708 ^a
丝氨酸	6.594 ^b	5.485 ^a	6.917 ^b	6.922 ^b	6.743 ^b
精氨酸	4.959 ^a	4.874 ^a	5.495 ^b	5.814 ^c	5.395 ^b
甘氨酸	3.979 ^a	4.413 ^{ab}	5.300 ^b	5.048 ^b	4.766 ^{ab}
苏氨酸	5.010 ^a	5.128 ^a	5.563 ^b	5.582 ^b	5.754 ^b
脯氨酸	38.015 ^a	39.127 ^a	40.185 ^a	40.607 ^a	40.810 ^a
丙氨酸	5.313 ^a	5.618 ^{ab}	6.439 ^c	6.562 ^c	6.091 ^{bc}
缬氨酸	5.394 ^a	5.436 ^a	5.149 ^a	5.226 ^a	5.140 ^a
甲硫氨酸	1.030 ^{ab}	0.914 ^a	1.164 ^b	0.933 ^a	0.915 ^a
胱氨酸	2.338 ^a	2.627 ^b	2.729 ^c	2.682 ^{bc}	2.641 ^b
异亮氨酸	3.049 ^{ab}	2.891 ^a	3.256 ^{ab}	3.172 ^{ab}	3.369 ^b
亮氨酸	5.389 ^{ab}	4.937 ^a	5.872 ^b	5.563 ^{ab}	5.932 ^b
苯丙氨酸	3.608 ^a	3.725 ^{ab}	3.988 ^b	3.609 ^a	4.024 ^b
赖氨酸	4.823 ^a	6.173 ^b	6.494 ^b	7.423 ^c	6.701 ^{bc}

注:同行上标字母不同表示差异显著($p < 0.05$);表2同。

在酒醅氨基酸中天冬氨酸、组氨酸、丝氨酸、精氨酸、甲硫氨酸含量随着发酵时间的延长,呈现先减少后增加再减少的趋势,其中天冬氨酸、组氨酸、甲硫氨酸在发酵结束时的含量低于开始发酵时的含量。谷氨酸、丙氨酸、胱氨酸、赖氨酸含量的变化趋势相似,呈现先增后减的变化趋势,但发酵结束时,谷氨酸、丙氨酸、胱氨酸、赖氨酸含量都显著高于发酵开始时的含量。而缬氨酸则呈现先增后减再增再减的变化趋势。红枣白兰地发酵过程中,酿酒酵母可以利用氨基酸合成蛋白质,用来生长酵母菌体及合成酶类,也可以作为酵母的氮源使用,氨基酸被酵母分解,分子中的氮以氨的形式释放出来用作合成细胞含氮组织^[20]。同时酿酒原料的蛋白质在微生物和酵母的作用下,分解成低分子肽和氨基酸,使酒醅

中氨基酸含量增加。脯氨酸和苏氨酸在发酵过程中基本上不被酵母利用^[21],随着酒精发酵的进行还会生成一定量的脯氨酸和苏氨酸。苯丙氨酸在发酵过程中呈现先增再减再增的趋势,且最终含量高于发酵初期。

将酒醅中检测到的 16 种氨基酸按照其呈味特征分类,可以分为四类:甜味氨基酸包括丝氨酸、丙氨酸、苏氨酸、甘氨酸、脯氨酸、组氨酸;鲜味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸;苦味氨基酸包括精氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸;芳香氨基酸包括胱氨酸、苯丙氨酸。从呈味特征方面对酒醅氨基酸进行分析,结果见图 5。

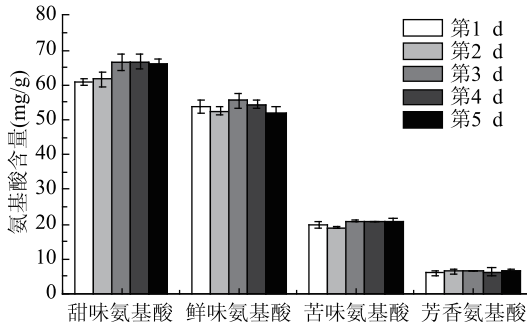


图5 红枣白兰地发酵酒醅氨基酸风味分析

Fig.5 Flavor amino acid analysis of jujube brandy fermented grains

由图 5 可知,在酒醅氨基酸中甜味氨基酸含量最高,其次是鲜味氨基酸、苦味氨基酸、芳香氨基酸。在发酵过程中,甜味氨基酸含量随发酵时间延长呈增长趋势,在第 4 d 达到最高 66.695 mg/g;鲜味氨基酸呈现先减后增再减的趋势,在第 3 d 含量最高为 55.525 mg/g;苦味氨基酸和芳香氨基酸在发酵过程中含量变化不显著。脯氨酸是红枣白兰地发酵酒醅中的主体氨基酸成分,正是由于氨基酸的不同呈味特征及其与醛、酯等其它呈味物质的协同作用,赋予了红枣白兰地协调的口感风味^[22]。发酵结束时,甜味氨基酸、鲜味氨基酸、苦味氨基酸和芳香氨基酸分别为氨基酸总量的 45.39%、35.79%、14.30%、4.52%。氨基酸总含量随着发酵时间的延长呈现先减后增再减的趋势,发酵结束时氨基酸总量高于开始发酵时的氨基酸总量。

2.4 红枣白兰地发酵过程中酒醅有机酸变化

用各有机酸标准溶液的保留时间进行定性,用有机酸梯度浓度的混合标品进行定量。图 6~图 7 分别为有机酸混合标品和样品有机酸的液相色谱图。通过对液相色谱图进行数据分析,得到的样品中各有机酸含量变化见表 2。

“无酸不成味”,酸是酒中重要的一种味感,而有机酸则是酒中酸味的主要来源^[23]。有机酸除来自原料以外,还在发酵过程中酵母、霉菌等微生物的代谢作用下产生,如酒精发酵、苹果乳酸发酵、乙醇的氧化反应等^[24]。由表 2 可知,在红枣白兰地发酵酒醅中检测到的 7 种有机酸,其中乙酸、苹果酸、乳酸含量较高,是红枣白兰地发酵中的主要有机酸,在发酵后期乙酸含量最高达到 8.189 mg/g,其次是苹果酸含

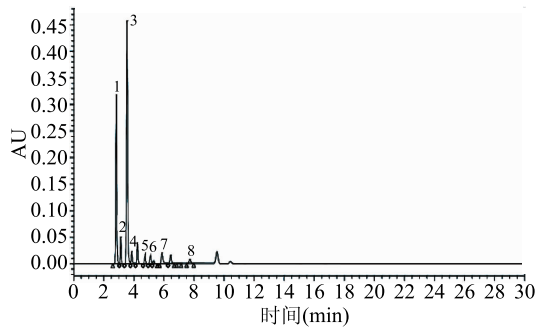


图6 有机酸混合标品色谱图

Fig.6 The liquid chromatogram of calibration organic acid mixtures

注:1-草酸;2-酒石酸;3-丙酮酸;4-苹果酸;
5-乳酸;6-乙酸;7-柠檬酸;8-琥珀酸。

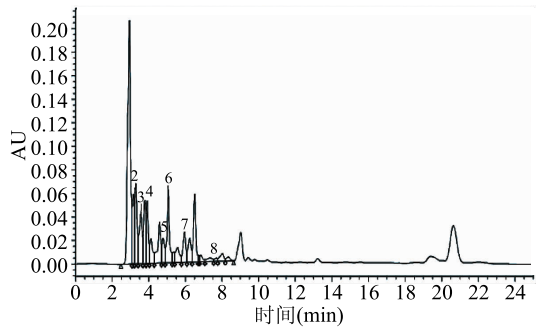


图7 红枣白兰地酒醅有机酸色谱图

Fig.7 The liquid chromatogram of jujube brandy fermented grains organic acids

注:2-酒石酸;3-丙酮酸;4-苹果酸;5-乳酸;
6-乙酸;7-柠檬酸;8-琥珀酸。

表2 红枣白兰地发酵过程中酒醅有机酸含量变化(mg/g)

Table 2 Variation of organic acids in fermented grains during jujube brandy fermentation(mg/g)

有机酸种类	发酵时间(d)				
	1	2	3	4	5
酒石酸	2.243 ^a	2.419 ^a	2.837 ^b	2.778 ^b	2.688 ^b
丙酮酸	0.444 ^a	1.301 ^d	1.004 ^c	0.751 ^b	0.541 ^a
苹果酸	2.558 ^a	4.927 ^b	4.499 ^b	4.488 ^b	4.243 ^b
乳酸	2.184 ^a	3.601 ^c	3.050 ^b	3.057 ^b	3.646 ^c
乙酸	3.407 ^a	4.058 ^{ab}	4.963 ^{bc}	5.966 ^c	8.189 ^d
柠檬酸	1.999 ^{cd}	1.860 ^{bc}	1.586 ^a	1.623 ^{ab}	2.225 ^d
琥珀酸	0.369 ^a	0.713 ^b	0.684 ^b	0.667 ^b	0.631 ^b

注:上标字母表示同一种有机酸不同发酵时间含量的差异性比较。

量为 4.243 mg/g,乳酸含量为 3.646 mg/g。随着发酵时间的延长,酒石酸、丙酮酸、苹果酸、琥珀酸的含量呈现先增后减的趋势,乙酸的含量一直呈现增长趋势,柠檬酸含量则是先减少后增加。在酒精发酵开始时,酵母利用多糖产生有机酸,三羧酸循环使柠檬酸、琥珀酸、苹果酸发生合成和转化作用^[13];同时琥珀酸是酒精发酵的副产物,所以在发酵结束时琥珀酸的含量较发酵开始时有显著性提高。乳酸随着发酵进行,含量先增再减再增,这可能是由于菌株通过

己糖-磷酸途径将生成的5-磷酸-核酮糖裂解为3-磷酸甘油醛,再通过EMP途径生成丙酮酸并还原为乳酸^[25]。

有机酸对酒品发酵过程中的微生物抑制和酒的风味有重要影响,含酸量少的酒,味道寡淡;但如果酸味过大,又会影响酒的风味和品质^[26]。比例协调的有机酸能够抑制杂菌的生长,增强酒的醇厚口感,降低腥甜味,促进芳香酯的形成^[27]。其中乳酸酸味柔和醇厚,而且是形成芳香物质乳酸乙酯的前体物质。乙酸含量少时也能产生愉快的醋香味,为红枣白兰地提供良好的风味口感。不同有机酸在酒的风味形成中既发挥各自独特的作用,又会相互协调,是形成红枣白兰地独特风味的重要成分。

3 结论

本文利用高效液相色谱仪研究了红枣白兰地发酵过程酒醅中氨基酸和有机酸含量及发酵过程中酒度、酸度的动态变化。检测到16种氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸、丝氨酸、精氨酸、甘氨酸、苏氨酸、脯氨酸、丙氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸)和7种有机酸(酒石酸、丙酮酸、苹果酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、琥珀酸)。其中,脯氨酸、天冬氨酸、谷氨酸含量较高,是红枣白兰地发酵产生的主要氨基酸,发酵过程中平均含量达到39.749、35.477、11.888 mg/g;乙酸、苹果酸、乳酸含量较高,是红枣白兰地发酵中的主要有机酸,在发酵结束时含量分别为8.189、4.243、3.646 mg/g。氨基酸和有机酸作为呈味物质,对红枣白兰地的口感和风味有重要的影响,因此研究发酵过程中氨基酸和有机酸的生成机理及动态变化,可以为红枣白兰地风味成分的形成机理研究提供理论基础和实验依据。

参考文献

[1] 曲泽洲. 中国果树志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
 [2] 温凯, 赵华, 张小燕. 枣酒发酵工艺的研究[J]. 酿酒, 2004, 31(6): 65-67.
 [3] 夏亚男. 红枣白兰地香气成分及影响因素研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2014.
 [4] 杨波, 张婷, 罗瑞明, 等. 沙葱发酵过程中氨基酸组成与含量变化对其营养与风味的影响[J]. 食品科技, 2014(11): 74-79.
 [5] BASSOLI A, BORGONOVO G, CAREMOLI F, et al. The taste of D- and L- amino acids; *In vitro* binding assays with cloned human bitter (TAS2Rs) and sweet (TAS1R2/TAS1R3) receptors [J]. Food Chemistry, 2014, 150(2): 27-33.
 [6] ARDO Y. Flavor formation by amino acid catabolism [J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(2): 238-242.
 [7] ARIAS - GIL M, GARDE - CERDAN T, ANCIN - AZPILICUETA C. Influence of addition of ammonium and different

amino acid concentrations on nitrogen metabolism in spontaneous must fermentation [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1312-1318.

[8] EDEN A, NEDERVELDE L V, DRUKKER M, et al. Involvement of branched-chain amino acid aminotransferases in the production of fusel alcohols during fermentation in yeast [J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2001, 55(3): 296-300.
 [9] 褚小米, 应维茂, 申超. 黄酒香气成分的影响因素分析[J]. 酿酒科技, 2014(5): 84-88.
 [10] 白卫东, 黄敏欣, 洪泽洋, 等. 红曲对广东客家黄酒发酵过程中氨基酸的影响[J]. 食品工业, 2015(12): 46-49.
 [11] 田园, 刘蕊, 潘秋红. '赤霞珠'干红葡萄酒发酵过程中氨基酸的转化与利用[J]. 中国酿造, 2012, 31(10): 26-30.
 [12] 商敬敏, 牟京霞, 孟庆山, 等. 桑椹酒发酵过程中有机酸含量变化[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 241-242.
 [13] 曹云刚, 马丽, 杜小威, 等. 汾酒酒醅发酵过程中有机酸的变化规律[J]. 食品科学, 2011(7): 229-232.
 [14] 牟穰. 清爽型黄酒酿造微生物群落结构及其与风味物质相关性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
 [15] 尤晓蒙. 饲料中氨基酸的HPLC检测方法研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
 [16] 刘坚, 林汲, 雷振河, 等. 汾酒酒醅有机酸的研究及酿造工艺的优化[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 83-87.
 [17] 余宁华, 陆震鸣, 许伟, 等. 基于主成分分析的中国发酵食醋有机酸含量差异性分析[J]. 食品与发酵工业, 2010(10): 144-148.
 [18] 梁晓静. 浓香型酒醅窖期发酵参数变化规律研究[J]. 酿酒科技, 2011(1): 65-67.
 [19] 杜木英, 伍怡娜, 阙建全等. 传统青稞酒发酵过程中化学成分动态变化的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(9): 94-98.
 [20] 曾新安, 于淑娟. 酿造过程中葡萄酒氨基酸的变化[J]. 酿酒科技, 2006(4): 50-51.
 [21] 高年发, 李磊, 邓旭衡, 等. 葡萄酒酿造过程中氨基酸含量变化的研究[J]. 中国酿造, 2011(1): 28-33.
 [22] 张婷, 杨波, 罗瑞明, 等. 苦苦菜发酵过程中氨基酸组成与含量变化对其营养与风味的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 367-371.
 [23] 刘芸雅. 绍兴黄酒发酵中微生物群落结构及其对风味物质影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
 [24] 冯爱军, 赵文红, 白卫东, 等. 不同黄酒中有机酸的测定[J]. 中国酿造, 2010(8): 144-146.
 [25] 吕艳歌, 马海乐, 张志燕, 等. 山西老陈醋醋酸发酵过程中有机酸的变化分析[J]. 中国酿造, 2013, 32(5): 55-58.
 [26] 杨江威. 酵母发酵葡萄汁过程中几种有机酸的消长[D]. 大连: 大连工业大学, 2012.
 [27] PERES R G, MORAES E P, MICKEL G A, et al. Rapid method for the determination of organic acids in wine by capillary electrophoresis with indirect UV detection [J]. Food Control, 2009, 20(6): 548-552.