

基于酸水解法酿酒糯高粱与粳高粱结合态香气研究

Research of bound aromas based on acid hydrolysis in glutinous and non-glutinous sorghums

吕佳慧^{1,2} 范文来^{1,2} 徐 岩^{1,2}

LU Jia-hui^{1,2} FAN Wen-lai^{1,2} XU Yan^{1,2}

(1. 教育部工业生物技术重点实验室, 江苏 无锡 214122;

2. 江南大学生物工程学院酿造微生物与应用酶学研究室, 江苏 无锡 214122)

(1. Lab of Brewing Microbiology and Applied Enzymology, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为探索糯高粱和粳高粱对酿酒品质的影响,采用固相萃取吸附前体物质、酸水解释放挥发性成分,应用 HS—SPME 结合 GC—MS 定性、定量高粱结合态香气成分。在两种高粱中共检测到 21 种结合态香气物质(其中 3 种为临时性鉴定的),包括 5 种醇类、7 种醛酮类、5 种芳香族、3 种萜烯及降异戊二烯类和 1 种呋喃类化合物。研究发现,糯和粳高粱结合态香气化合物总量分别为 7 192,6 922 $\mu\text{g}/\text{kg}$,糯高粱水解后香气化合物总量比粳高粱高 3.90%。含量差异较大的是醛酮类化合物,其次是萜烯及降异戊二烯类化合物。2,2,6-三甲基环己酮、TDN、异佛尔酮首次在高粱结合态香气中检测到。

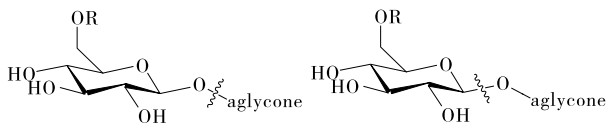
关键词:糯高粱;粳高粱;结合态风味;顶空固相微萃取

Abstract: In order to explore the effect of glutinous and non-glutinous sorghums on Chinese liquor's quality, the SPE column was used for adsorbing bound precursors, and then, which were hydrolyzed by acid to release volatile compounds. The HS—SPME coupled with GC—MS was employed to identify and quantify sorghums' bound aroma compounds. 21 kinds of aroma compounds were detected in two sorghums, including 5 alcohols, 7 aldehydes and ketones, 5 aromatic compounds, 3 terpenoids and 1 furan. Among these, 3 volatiles were identified tentatively. The total content of glutinous and non-glutinous sorghums' bound aromas was 7 192 $\mu\text{g}/\text{kg}$ and 6 922 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The content of aroma compounds in the glutinous sorghum was 3.90% higher than in the non-glutinous sorghum and major differences of these compounds were aldehydes and ketones

followed by terpenoids. 2,2,6-trimethylcyclohexanone, TDN, isophorone were first detected in sorghums' bound aromas.

Keywords: glutinous sorghum; non-glutinous sorghum; bound aromas; HS—SPME

结合态香气(bound aromas)是不挥发的糖苷类前体(常见的是 *O*- β -D-糖苷或 *O*-双糖苷)在酸解或酶解条件下释放出的具有香气的挥发性成分(见图 1)。来源于原料的风味物质主要是以结合态的、不挥发性的、无气味的糖苷形式存在与积累于植物中^[1]。国外已对酿酒葡萄结合态风味进行了广泛研究,形成了一整套包括检测方法^[2]、风味组成^[3]和风味修饰机制^[4]等技术。学者^[5]发现甘薯中存在结合态形式的里哪醇(linalol)、香叶醇(geraniol)、橙花醇(nerol)和松油醇(α -terpinol),且单萜醇对甘薯烧酒的风味有一定的感官贡献。



R. 表示氢原子或者其它的糖单元

图 1 糖苷类前体酸解(左)和酶解(右)反应的断键方式
Figure 1 Modes of cleavage of glucosides by acid (left) and enzyme (right) hydrolysis

白酒是以谷物为原料,经蒸煮、糖化、酒曲发酵、蒸馏、贮存、勾兑而成的传统蒸馏酒。白酒酿造原料以高粱为主,玉米、小麦、豌豆等也可作为酿酒原料。

高粱是中国白酒生产的主要原料,酿酒常用的高粱有杂交粳高粱和糯高粱两种。中国研究人员更多关注酿酒高粱的理化特性如淀粉、脂肪和单宁等物质含量^[6]以及其对白酒产量和质量的影响^[7],而原料高粱对白酒风味的影响以及高

基金项目:十三五国家重大专项(编号:2016YFD0400500);国家高技术研究发展计划(863 计划)(编号:2013AA102108)

作者简介:吕佳慧,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:范文来(1966—),男,江南大学研究员。

E-mail: wenlai.fan@163.com

收稿日期:2017—01—16

梁结合态风味的相关研究极少。早期曾经研究过杂交粳高粱与糯高粱的酿酒特性^[8-11]；也对高粱蒸煮后的香气进行过初步研究^[12]。前几年,研究人员^[13]基于酸水解法研究了高粱、玉米、大麦、小麦、大米、糯米 6 种谷物原料的结合态香气,检测到 35 种挥发性成分,并比较了 6 种谷物香气的差异,但未涉及糯高粱与粳高粱的结合态香气。

为更好地了解酿酒糯高粱与粳高粱结合态香气,本研究拟采用 C₁₈固相萃取小柱吸附前体物质,酸水解释放风味物质,结合 HS—SPME—GC—MS 技术研究高粱的结合态香气组成,以期从结合态香气角度了解高粱对白酒风味的贡献。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 材料与试剂

红缨子糯高粱:贵州某酒厂;
杂交粳高粱:山东某酒厂;
NaCl、盐酸、Na₂HPO₄、柠檬酸、NaOH:分析纯,上海国药集团;

乙醇、甲醇、表 1 中鉴定出的 18 种化合物标准品:色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司。

1.1.2 主要仪器设备

气相色谱质谱联用仪:GC 6890N-MSD 5975 型,美国 Agilent 公司;
自动进样器:MPS2 型,德国 Gerstel 公司;
DVB/CAR/PDMS 萃取头:57329-U Supelco 50/30 μm,美国 Supelco 公司;
FFAP 毛细管柱:60 m×0.25 mm×0.25 μm,美国 Supelco 公司;
Supelco 固相萃取装置:Visiprep DL 型,美国 Supelco 公司;
LC-C₁₈固相萃取小柱:2 g/10 mL,上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 结合态香气前体提取和分离 根据文献^[14]修改如下:2 g 高粱样品用 30 mL 乙醇提取,37 ℃摇床过夜,转速 200 r/min,过滤;30 mL 甲醇相同条件再次提取;合并提取液,35 ℃旋转蒸发,用 30 mL 超纯水复溶,12 000 r/min 离心 30 min,取上清液。固相萃取操作:10 mL 色谱级甲醇活化 C₁₈柱子;10 mL 超纯水平衡柱子;上清液上样;90 mL 超纯水去除糖和酸;5 mL 色谱级甲醇洗脱。收集洗脱液,缓慢氮吹至干。

1.2.2 结合态香气前体酸解 10 mL 复溶的缓冲液用盐酸调至 pH 为 1,100 ℃反应 1 h,反应完用固体 NaOH 调至 pH 为 7(在冰浴中进行),保证溶液体积不变。

1.2.3 HS—SPME—GC—MS 分析 根据文献^[15]修改如下:准确吸取 8 mL 酸解液于顶空瓶中,加入 3 g NaCl 和 5 μL 浓度 81.90 mg/L 的内标 2-辛醇溶液,旋紧瓶盖,进行 HS—SPME—GC—MS 分析。

色谱条件:载气 He,流速 2 mL/min,不分流进样,进样量 1 μL;色谱柱 DB-FFAP(60 m×0.25 mm×0.25 μm),进样口温度 250 ℃;升温程序:初始温度 50 ℃,2 min 后以 4 ℃/min 升温至 230 ℃,保持 15 min^[15]。HS—SPME 条件:DVB/CAR/PDMS 三相萃取头,45 ℃预热 2.5 min,吸附 45 min 直接进样,GC 解吸 5 min。质谱条件:EI 电离源,电子能量 70 eV,离子源温度 230 ℃,全扫描模式。

1.2.4 酸解产物定性定量分析 定性:化合物通过 NIST 05.L 库的标准图谱及标准品的保留指数(RI)比对定性;没有标准品的化合物,参考文献^[16]RI 定性。定量:化合物稀释成一系列浓度的标准溶液,内标为 2-辛醇,HS—SPME—GC—MS 分析,用选择离子法(SIM)计算化合物峰面积,以化合物与内标物的峰面积比为横坐标、质量浓度比为纵坐标建立标准曲线。其中,1,3,5-三甲基苯、2,5-二甲基苯甲醛和 1-十二醇为临时性鉴定、半定量,化合物的质量浓度是内标的质量浓度、化合物与内标的峰面积比的乘积。

检测限(LOD)为 3 倍信噪比时物质的质量浓度;定量限(LOQ)为 10 倍信噪比时物质的质量浓度。回收率按式(1)计算:

$$R = \frac{C_x - C_0}{C_s} \times 100\%,$$

(1)

式中:

R——回收率,%;

C_x——在样品中添加一定浓度标准品后检测到的化合物的质量浓度,μg/L;

C₀——在样品中不加入标准品时所能检测到的化合物的质量浓度,μg/L;

C_s——添加的标准品的质量浓度,μg/L。

2 结果与讨论

2.1 结合态香气物质定性和定量

参考葡萄前体物质酸水解、释放结合态香气物质的最优条件^[3],采用 100 ℃,pH 1 的条件水解高粱结合态香气前体物质。水解后 GC—MS 测定结果表明,在糯高粱和粳高粱酸水解液中共鉴定出 21 种化合物,包括 5 种醇类、7 种醛酮类、5 种芳香族、3 种萜烯及降异戊二烯类和 1 种呋喃类化合物(见图 2)。

21 种物质中,除了 1,3,5-三甲基苯、2,5-二甲基苯甲醛和 1-十二醇为临时性鉴定、半定量,其余 18 种物质建立标准曲线(见表 1),R² 为 0.980 7~0.999 7,线性良好;回收率在 85%~113%,RSD 在 8% 以内,适于结合态香气物质的定量。

2.2 糯高粱与粳高粱结合态香气物质分析

从水解液检测结果看,醇类和醛酮类是糯高粱和粳高粱结合态香气物质中含量较丰富的化合物,醇类化合物含量占糯高粱和粳高粱结合态香气物质总量的 28.75%和 29.14%,醛酮类化合物占 28.79%和 28.16%,其次是萜烯及降异戊二烯类化合物。从单个化合物含量来看,2-乙基己醇的含量最高,其次是 β-苯乙醇、1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘(TDN)。

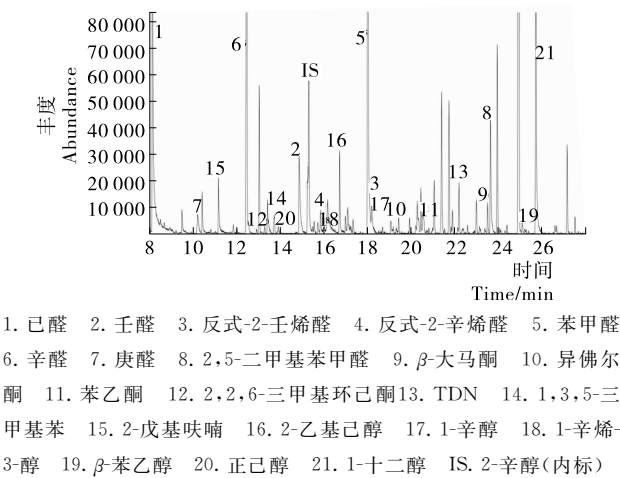


图 2 高粱酸水解后挥发性物质 GC—MS 总离子流图(TIC)
Figure 2 GC—MS total ion current (TIC) chromatogram of sorghums' volatiles after acid hydrolysis

糯高粱和粳高粱结合态香气物质中检测到 5 种醇类化合物。其中,2-乙基己醇含量最高,糯和粳高粱中含量分别为 1 147 $\mu\text{g/kg}$ 和 1 085 $\mu\text{g/kg}$ 。正己醇、1-辛烯-3-醇是常见的糖苷前体水解产生的脂肪醇类物质^[17]。糖苷前体酸水解的断键方式是醚键(见图 1),形成碳正离子^[18],与氢氧根结合生成醇类化合物。

醛酮类化合物种类较丰富,检测到 6 种醛类和 1 种环酮类化合物。其中,反-2-辛烯醛含量最高,糯和粳高粱中含量分别是 558.9 $\mu\text{g/kg}$ 和 527.5 $\mu\text{g/kg}$ 。而反-2-壬烯醛是豉香

型白酒的关键香气,糯和粳高粱含量分别是 381.0 $\mu\text{g/kg}$ 和 359.1 $\mu\text{g/kg}$ 。醛类化合物可能是酸水解过程中的氧化产物^[17]。2,2,6-三甲基环己酮呈蔷薇花香,首次在高粱的结合态香气中检测,糯和粳高粱中含量分别是 85.34 $\mu\text{g/kg}$ 和 81.30 $\mu\text{g/kg}$ 。该化合物被认为是类胡萝卜素的降解产物。

芳香族类化合物分别占糯和粳高粱结合态香气总量的 18.44% 和 18.75%。其中, β -苯乙醇含量最高,糯和粳高粱中含量分别是 803.4 $\mu\text{g/kg}$ 和 792.9 $\mu\text{g/kg}$ 。 β -苯乙醇呈甜香、玫瑰花香和蜂蜜香,白酒中的浓度 0.06~9.26 mg/L ^{[19]133},是豉香型白酒的重要香气成分。苯甲醛广泛存在于酒类产品中,呈樱桃-杏仁蛋白软糖的气味^{[19]134},糯和粳高粱中含量分别是 103.2 $\mu\text{g/kg}$ 和 103.4 $\mu\text{g/kg}$ 。 β -苯乙醇和苯甲醛是常见的结合态香气物质。

两种高粱结合态香气物质中检测到 β -大马酮、1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘(TDN)、异佛尔酮 3 种萜烯及降异戊二烯类(norisoprenoids)化合物。其中,TDN 含量最高,糯和粳高粱中含量分别是 765.2 $\mu\text{g/kg}$ 和 723.2 $\mu\text{g/kg}$ 。TDN 被描述为汽油、煤油和柴油臭,是雷司令(Riesling)葡萄酒典型的老化风味,已在汾酒和郎酒检测到。此外,在高粱结合态风味中还检测到了 TDN 和异佛尔酮,二者来源于类胡萝卜素的降解及重排^{[19]284}。而 β -大马酮是清香型白酒的特征风味成分^{[19]299},糯和粳高粱中含量分别是 256.7 $\mu\text{g/kg}$ 和 264.0 $\mu\text{g/kg}$ 。在甘薯烧酒中,甘薯品种是决定酿造过程中 β -大马酮含量的重要因素^[20]。

表 1 高粱水解后挥发性物质标准曲线、回收率、检测限、定量限和相对标准偏差

Table 1 Calibration curves, recoveries, LOD, LOQ and RSD for sorghums' volatiles after hydrolysis

化合物名称	保留指数 (RI)	定量离子 (<i>m/z</i>)	标准曲线	相关系数 (<i>R</i> ²)	<i>n</i>	线性范围/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	回收率/ %	检测限/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	定量限/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	相对标准 偏差/%
己醛	1 071	44	$y = 0.045\ 81x + 0.012\ 13$	0.982 8	10	4.973~497 3	88	0.163 3	0.544 2	0.91
壬醛	1 379	57	$y = 1.319x + 0.543\ 4$	0.995 1	8	4.522~452 2	90	0.023 68	0.078 94	1.94
2-乙基己醇	1 468	57	$y = 1.211x + 1.951$	0.994 5	10	4.791~479 1	101	0.022 54	0.075 15	0.91
苯甲醛	1 521	77	$y = 9.471x + 0.111\ 2$	0.992 4	10	4.676~467 6	98	0.370 7	1.236	6.73
正辛醇	1 534	56	$y = 3.610x + 0.205\ 4$	0.997 7	8	4.336~433 6	88	0.016 67	0.055 55	2.07
异佛尔酮	1 587	82	$y = 3.844x + 0.759\ 4$	0.995 8	8	4.675~467 5	85	0.061 91	0.206 4	3.11
反式-2-壬烯醛	1 520	55	$y = 1.467x + 0.581\ 6$	0.995 7	10	6.194~619 4	102	0.023 42	0.078 08	5.33
2-戊基呋喃	1 205	81	$y = 0.815\ 1x + 0.441\ 3$	0.994 3	9	3.018~301 8	105	0.029 08	0.096 92	1.85
β -大马酮	1 772	177	$y = 5.660x + 0.417\ 9$	0.995 4	10	5.062~506 2	98	0.026 61	0.088 71	3.89
β -苯乙醇	1 843	91	$y = 27.97x + 1.254$	0.996 1	10	3.230~323 0	99	0.191 9	0.639 6	1.83
辛醛	1 275	84	$y = 6.147x + 0.685\ 8$	0.980 7	10	4.455~445 5	113	0.010 60	0.035 35	0.68
1-辛烯-3-醇	1 426	57	$y = 1.795x - 0.358\ 6$	0.995 8	10	4.214~421 4	102	0.022 85	0.076 17	3.41
苯乙酮	1 636	120	$y = 10.29x - 0.763\ 3$	0.993 0	10	2.127~212 7	95	0.022 88	0.076 25	0.25
反式-2-辛烯醛	1 402	83	$y = 4.935x + 0.967\ 1$	0.997 9	7	4.983~498 3	98	0.012 35	0.041 17	0.25
2,2,6-三甲基环己酮	1 364	82	$y = 1.305x + 0.146\ 6$	0.998 3	10	3.541~454 1	87	0.021 84	0.072 80	0.50
庚醛	1 145	70	$y = 7.675x + 0.493\ 8$	0.999 7	9	4.440~444 0	94	0.134 9	0.449 6	1.21
正己醇	1 330	69	$y = 36.04x + 0.364\ 5$	0.999 7	9	4.000~400 0	99	0.105 7	0.352 5	7.18
1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	1 757	157	$y = 0.726\ 2x + 1.328$	0.991 9	10	4.800~480 0	98	0.015 11	0.050 36	0.20

表 2 糯高粱与粳高粱结合态香气化合物含量[†]

Table 2 Contents of bound aroma compounds in glutinous and non-glutinous sorghums (*n* = 3)

化合物	结合态香气化合物	RI	糯高粱含量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	粳高粱含量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
醇类	2-乙基己醇	1 468	1 147±1.042	1 085±6.048
	1-辛醇	1 534	130.3±2.693	123.5±1.624
	1-辛烯-3-醇	1 426	199.6±6.814	185.0±9.488
	正己醇	1 334	585.6±1.416	609.7±1.580
	1-十二醇 ^a	1 872	5.545±0.357 7	13.74±1.900
醛酮类	己醛	1 071	9.351±0.085 13	8.904±0.575 8
	壬醛	1 379	324.1±6.283	305.6±8.324
	反式-2-壬烯醛	1 520	381.0±2.084	359.1±1.915
	反式-2-辛烯醛	1 402	558.9±1.418	527.5±2.408
	辛醛	1 275	395.5±2.691	372.4±1.505
	庚醛	1 161	315.5±0.820 5	294.5±3.550
	2,2,6-三甲基环己酮	1 364	85.94±0.429 4	81.30±0.414 2
芳香族	苯甲醛	1 521	103.2±2.594	103.4±3.615
	苯乙酮	1 636	393.1±1.680	365.9±0.923 8
	β -苯乙醇	1 843	803.4±3.637	792.9±1.454
	2,5-二甲基苯甲醛 ^a	1 777	23.78±1.501	32.63±1.154
	1,3,5-三甲基苯 ^a	1 325	2.429±0.167 1	2.965±0.265 6
呋喃类	2-戊基呋喃	1 205	254.4±0.144 6	240.0±1.185
萜烯及降异戊二烯类	β -大马酮	1 772	256.7±9.982	264.0±3.113
	1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	1 711	765.2±1.503	723.2±0.516 4
	异佛尔酮	1 587	451.7±1.405	430.6±2.001

[†] a 表示无标准品,为半定量结果

在糯高粱和粳高粱中,结合态香气总量分别是 7 192 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 6 922 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (见表 2),糯高粱含量比粳高粱高 3.90%。含量差异较大的是醛酮类,糯高粱比粳高粱高 6.21%。其次是萜烯及降异戊二烯类、醇类化合物,糯高粱高 3.94%和 2.53%。从单个化合物来看,糯高粱和粳高粱含量差异较大的是 1-十二醇、2,5-二甲基苯甲醛,粳高粱 1-十二醇含量比糯高粱高 59.6%,2,5-二甲基苯甲醛高 27.1%。而糯高粱的大多数化合物含量比粳高粱高,在这些化合物中含量差异较大的是 1-辛烯-3-醇、苯乙酮,糯高粱中 1-辛烯-3-醇含量比粳高粱高 7.86%,苯乙酮高 7.43%。此外,糯和粳高粱水解反应后的溶液颜色也存在一定的差异,分别呈枣红色和黄色,可能是高粱多酚及水解产物不同而引起的。

3 结论

本研究采用 HS—SPME—GC—MS 定量了 21 种化合物。醇类和醛酮类是两种高粱结合态香气中含量较丰富的化合物,其次是萜烯及降异戊二烯类化合物。其中,醛酮类化合物种类较丰富,还检测到了 2,2,6-三甲基环己酮、TDN、异佛尔酮。

在糯和粳高粱的醇提酸解挥发性成分中,结合态香气总量分别是 7 192 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 6 922 $\mu\text{g}/\text{kg}$,含量差异较大的是醛

酮类化合物,其次是萜烯及降异戊二烯类、醇类化合物。单个化合物来看,糯和粳高粱含量差异较大的是 1-十二醇、2,5-二甲基苯甲醛。本研究探讨了酸性环境下糯高粱和粳高粱的结合态香气的差异,为原料对白酒的风味贡献研究提供了新的思路。原料结合态香气的来源包括糖苷和类胡萝卜素,因此笔者后续将对高粱的结合态香气产生途径和来源进行探究,进一步了解酿造原料对白酒酒质的影响。

参考文献

[1] WINTERHALTER P, SKOUROUMOUNIS G K. Glycoconjugated aroma compounds: occurrence, role and biotechnological transformation[J]. Biotechnology of Aroma Compounds, 1997, 55: 73-105.

[2] VILLENA M A, PEREZ J D, UBEDA J F, et al. A rapid method for quantifying aroma precursors: Application to grape extract, musts and wines made from several varieties[J]. Food Chemistry, 2006, 99(1): 183-190.

[3] HAMPEL D, ROBINSON A L, JOHNSON A J, et al. Direct hydrolysis and analysis of glycosidically bound aroma compounds in grapes and wines: comparison of hydrolysis conditions and sample preparation methods[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2014, 20(3): 361-377.

(下转第 26 页)

[11] 张艳. 高产细菌素乳酸菌的分离鉴定及其相关基因的克隆[D]. 成都: 西南民族大学, 2012.

[12] 崔琴. 甘南牧区发酵牦牛酸乳中优良乳酸菌的筛选及发酵性能的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.

[13] 张丽. 传统发酵牦牛奶中益生乳杆菌筛选 及其免疫调节功能研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.

[14] BENSALAH F, DELORME C, RENAULT P. Characteris-ation of thermotolerant cocci from indigenous flora of ‘leben’ in algerian arid area and DNA identification of atypical *Lactococcus lactis* strains [J]. Current Microbiology, 2009, 59(2): 139-146.

[15] 淮骏. 广谱乳酸菌素产生菌的筛选及其发酵研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2011.

[16] 周德庆. 微生物学实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 136-137, 283-289.

[17] CASTA D, REQUENA T, GOMEZ R. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from goat, s milk and artisanal cheeses: characteristics of a bactericin produced by lactobacillus curvatus IFPL. 105[J]. Appl Bacteriology, 1996, 81: 35-41.

[18] 董彩文, 毛多斌, 白燕红, 等. 产广谱细菌素口乳杆菌菌株的筛选和鉴定[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 129-133.

[19] 张艾青, 刘书亮, 敖灵. 产广谱细菌素乳酸菌的筛选[J]. 中国酿造, 2007, 34(2): 45-48.

[20] ENNAHAR S, CAI Y, FUJITA Y. Phylogenetic diversity of lactic acid bacteria associated with paddy rice silage as determined by 16S ribosomal DNA analysis[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2003, 69(1): 444-451.

[21] EI-NAGGAR N E A, HAROUN S A, OWEIS E A, et al. I-identification of newly isolated Talaromyces pinophilus and statistical optimization of β -glucosidase production under solid-state fermentation[J]. Preparative Biochemistry & Biotechnology, 2015, 45(7): 712-729.

[22] TAMURA K, PETERSON D, PETERSON N, et al. MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods [J]. Molecular Biology and Evolution, 2011, 28(10): 2 731-2 739.

[23] 杨尚娇, 倪亚雯, 倪永清. 新疆传统干酪中 1 株产广谱细菌素乳酸菌的筛选及其生物学特性[J]. 中国酿造, 2015, 34(1): 38-41.

[24] 吴敬. 酸马奶酒中乳酸菌的分离及抗菌特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2002: 33-34.

[25] 姚丽娅, 徐为民, 诸永志, 等. 产细菌素乳酸菌的筛选及鉴定 [J]. 食品工业科技, 2008, 29(1): 160-164.

[26] 曹珂珂, 王娣, 李妍. 1 株产广谱细菌素乳酸菌的筛选及其抑菌物质的特性[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(11): 88-91.

[27] 张彦斌, 方芳, 李莉, 等. 内蒙古传统乳制品中产细菌素乳酸菌的筛选及鉴定[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(8): 9-12.

[28] SHIBA Prosad Banerjee, KRUSHNA Chandra Dora, SUPRA-TIM Chowdhury. Detection, partial purification and characterization of bacteriocin produced by *Lactobacillus brevis* FPTLB3 isolated from freshwater fish[J]. J. Food Sci. Technol., 2013, 50(1): 17-25.

[29] HAGHSHENAS B, NAMI Y, ABDULLAH N, et al. Potentially probiotic acetic acid bacteria isolation and identification from traditional dairies microbiota[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2015, 50(4): 1 056-1 064.

(上接第 16 页)

[4] POGORZELSKI E, WILKOWSKA A. Flavour enhancement through the enzymatic hydrolysis of glycosidic aroma precursors in juices and wine beverages: a review [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2007, 22(4): 251-254.

[5] OHTA T, OMORI T, SHIMOJO H, et al. Identification of monoterpene alcohol beta-glucosidases in sweet-potatoes and purification of a shiro-koji beta-glucosidase[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1991, 55(7): 1 811-1 816.

[6] 袁蕊, 罗惠波. 南北方几种高粱酿酒品质分析[J]. 酿酒科技, 2011(12): 33-36.

[7] 田殿梅, 霍丹群, 张良. 3 种不同品种高粱发酵酒糟及基酒品质的差异[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(7): 74-78.

[8] 廖建民, 曾庆曦, 唐玉明. 杂交高粱酿酒配套特性配套技术及效益分析[J]. 酿酒科技, 1992, 49(1): 6-9.

[9] 曾庆曦, 廖建民, 唐玉明. 杂交梗高粱的特性与酿酒工艺参数的研究[J]. 酿酒科技, 1983(3): 18-19.

[10] 江苏泗阳县洋河酒厂. 提高杂交高粱的酒质和出酒率及新酒人工老熟[J]. 食品与发酵工业, 1978(4): 32-34.

[11] 泸州市酿酒研究所. 梗高粱酿造泸型酒配套工艺研究简报[J]. 酿酒, 1989(5): 34-37.

[12] 练顺才, 谢正敏, 叶华夏, 等. 高粱蒸煮香气成分的研究[J]. 酿酒科技, 2012(3): 40-42.

[13] 朱伟岸, 吴群, 李记明, 等. 白酒酿造谷物类原料中结合态香气物质的分离及检测分析[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(5): 456-462.

[14] CAI Jin-bao, LIU Bai-zhan, LING Ping, et al. Analysis of free and bound volatiles by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2002, 947: 267-275.

[15] FAN Hai-yan, FAN Wen-lai, XU Yan. Characterization of Key Odorants in Chinese Chixiang Aroma-Type Liquor by Gas Chromatography-Olfactometry, Quantitative Measurements, Aroma Recombination, and Omission Studies [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(14): 3 660-3 668.

[16] 范文来, 徐岩. 应用液液萃取结合正相色谱技术鉴定汾酒与郎酒挥发性成分[J]. 酿酒科技, 2012(2): 17-26.

[17] STAHLBISKUP E, INTERT F, HOLTHUIJZEN J, et al. Glycosidically Bound Volatiles: A Review[J]. Flavour and Fragrance Journal, 1993, 8: 61-80.

[18] PUGLISI C J. The role of acetylenic and allenic precursors in the formation of β -damascenone[D]. Adelaide: Flinders University, 2007: 24-27.

[19] 范文来, 徐岩. 酒类风味化学[M]. 北京: 轻工业出版社, 2014.

[20] YOSHIZAKI Y, TAKAMINE K, SHIMADA S, et al. The Formation of beta-Damascenone in Sweet Potato Shochu[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2011, 117(2): 217-223.