

三种不同产地高粱模拟浓香型白酒 发酵过程中发酵特性的研究

杨文斌,艾涛波,罗 玥,刘茂坪,马玥玲,吴思佳,陈 雨

(四川省食品药品检验检测院,四川成都 610000)

摘 要:以东北粳高粱、自贡本地小高粱和泸州糯高粱为实验对象,研究3种高粱在实验室条件下,采用控温发酵的方式模拟浓香型白酒酿造过程的发酵特性。定期对糟醅进行取样分析,并对发酵结束后的糟醅进行出甑蒸馏。结果表明,泸州糯高粱在淀粉分解、利用及产酒精方面的效果更优,出酒率为33.9%,优于自贡本地小高粱的31.7%和东北粳高粱的27.3%。同时,在发酵过程中,泸州糯高粱糟醅的水分含量、酸度、微生物数等指标更适宜酿酒。故泸州糯高粱相比自贡本地小高粱和东北粳高粱,更适宜浓香型白酒的酿造。

关键词:高粱,浓香型白酒,发酵特性

Fermentation Characteristics of Three Kinds of Sorghum Simulated Luzhou-flavor Liquor during Fermentation

YANG Wen-bin, AI Tao-bo, LUO Yue, LIU Mao-ping, MA Yue-ling, WU Si-jia, CHEN Yu

(Sichuan Food and Drug Inspection and Testing Institute, Chengdu 610000, China)

Abstract: Taking the northeast japonica sorghum, Zigong local sorghum and Luzhou glutinous sorghum as experimental subjects, the fermentation characteristics of these three kinds of sorghum simulated luzhou-flavor liquor during fermentation were studied under the laboratory conditions by temperature-controlled. The samples were taken regularly and analyzed. After the end of the fermentation, the distilled grains was subjected to distillation. The results showed that Luzhou glutinous sorghum had a better effect on starch decomposition, utilization and alcohol production, and the liquor yield was 33.9%, which was better than 31.7% of Zigong local sorghum and 27.3% of northeast japonica sorghum. At the same time, in the fermentation process, the moisture content, acidity and microbial number of the distilled grains of Luzhou glutinous sorghum were more suitable for liquor brewing. Therefore, Luzhou glutinous sorghum was more suitable for the brewing of luzhou-flavor liquor than Zigong local sorghum and northeast japonica sorghum.

Key words: sorghum; luzhou-flavor liquor; fermentation characteristics

中图分类号: TS261.4⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)14-0170-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.028

引文格式: 杨文斌,艾涛波,罗玥,等.三种不同产地高粱模拟浓香型白酒发酵过程中发酵特性的研究[J].食品工业科技,2019,40(14):170-173,181.

我国高粱种类多,分布广,根据淀粉结构的不同可以分为糯高粱和粳高粱,粳高粱多产于北方,糯高粱多产于南方。南方糯高粱中的淀粉颗粒主要为支链淀粉,以泸州糯红高粱为典型代表;北方粳高粱中的淀粉颗粒多为直链淀粉,以东北粳高粱为典型代表^[1]。支链淀粉较直链淀粉而言在酿酒生产上有众多优点,如更易吸水、糊化^[2],支链淀粉有更多的酶作用点,使得含支链淀粉较高的南方糯高粱更容易吸水糊化,然后被淀粉酶水解为还原糖,被微生物利用,产生酒精^[3]。相对于其他淀粉质原料而言,高粱淀粉结构更疏松,在蒸煮、糊化之后更有利于水解,然后被微生物利用,生成酒精,是白酒酿造生产的重要原料^[4]。

大曲酒是利用大曲来糖化高粱等淀粉质原料进行发酵的蒸馏酒,是千百年来我国独特的传统生产工艺的一种产品^[5]。浓香型大曲酒即以高粱为酿酒原粮,优质小麦或大麦、小麦、豌豆混合配料,培制中、高温大曲,泥窖固态发酵,采用续糟配料,混蒸混烧,量质摘酒,原度酒贮存,精心勾兑^[6],是大曲酒中产量最大的酒种^[7]。高粱主要由淀粉质颗粒,蛋白质和脂肪组成,其中淀粉质颗粒占主要部分,蛋白质和脂肪构成胶粒层。南方糯高粱中的淀粉颗粒主要为支链淀粉,以泸州糯红高粱为典型代表;北方粳高粱中的淀粉颗粒多为直链淀粉,以东北粳高粱为典型代表。

收稿日期:2018-11-01

作者简介:杨文斌(1989-),男,硕士,主要从事食品检测和发酵工程方面的研究,E-mail:yangwenbin118@163.com。

不同种高粱因其分子构成、理化特性的不同,发酵过程中的发酵特性及蒸馏酒的出酒率也会有较大差异^[8]。本实验模拟浓香型白酒大曲发酵,对发酵中期的糟醅和发酵结束后的蒸馏酒进行分析检测,比较其差异性,为酿酒高粱发酵工艺的优化及酿酒高粱品种的合理选用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

东北粳高粱、自贡本地小高粱、糠壳 四川省红茅烧酒业有限公司;泸州糯高粱、大曲 泸州老窖有限公司;盐酸、葡萄糖、氢氧化钠、酒石酸钾钠、结晶酚、亚硫酸钠 均为分析纯,成都科龙化工试剂厂。

DS-1 数字温度计 江苏精创电气股份有限公司;蒸锅、发酵陶坛 市售;DHG-9245A 电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;Super Alcomat 高精度数显酒精浓度计 GIBERTINI;SW-CJ-1D 超净工作台 苏净集团;LS-I201 生化培养箱 上海精宏;ProtoCOL 3 菌落计数分析仪 Synbiosis。

1.2 实验方法

1.2.1 培养基的配制及用途

1.2.1.1 细菌培养基 牛肉膏蛋白胨培养基:参照文献[9]。

1.2.1.2 酵母菌培养基 YPD 培养基:参照文献[10]。

1.2.1.3 霉菌培养基 抗菌素淀粉培养基:参照文献[9]制作淀粉培养基,灭菌后添加四环素盐酸盐 50 mg^[11]。

1.2.2 模拟发酵工艺流程 原料→润粮→配料→蒸粮→打量水→摊凉→撒曲→发酵→出甑蒸馏

本实验参照冯兴垚等^[12]的方法,针对不同品种高粱采取不同的润粮、蒸煮工艺参数,使之糊化完全。采用控温发酵^[13],将发酵陶坛放入生化培养箱,在糟醅入坛发酵时,将数字温度计埋入陶坛中部,对糟醅的实际发酵温度进行监控,通过控制培养箱温度对发酵温度进行调节,使三种高粱都在相同且较适宜的温度下进行发酵,使之遵循“前缓、中挺、后缓落”的变化趋势^[14],发酵温度的调控见图1。

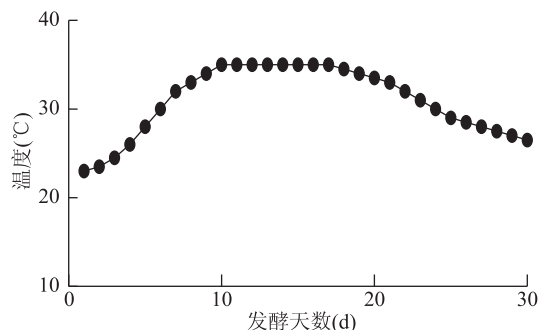


图1 发酵温度调控曲线

Fig.1 Control curve of fermentation temperature

1.2.3 分组及样品采集 当撒曲后糟醅品温达到入窖要求 22 °C 时,立即将每种高粱入窖糟转入 4 个经过酒精擦拭灭菌的陶坛中。其中 1#~3#陶坛用于发酵过程糟醅理化及微生物特性的测定,4#陶坛用于

发酵结束后出甑蒸馏。发酵周期 30 d。

在入窖前留取适量糟醅,发酵第 3、5、10 d 开启第 1#陶坛采集适量糟醅样品,第 15、20 d 开第 2#陶坛采集适量糟醅样品,发酵第 25、30 d 开第 3#陶坛采集适量糟醅样品。第 30 d 对 4#陶坛全部糟醅进行蒸馏接酒。每次每种高粱做 3 组平行试验用于发酵过程糟醅理化及微生物特性的测定。

1.2.4 分析检测

1.2.4.1 水分含量测定 烘干法^[15]。

1.2.4.2 还原糖含量的测定 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定^[16]。

葡萄糖标准曲线的制作:准确称量 1.00 g 无水葡萄糖,用去离子水溶解后定容至 1000 mL,制得质量浓度为 1.00 mg/mL 葡萄糖储备液,分别吸取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL 葡萄糖储备液分别对应加入 2.0、1.8、1.6、1.4、1.2、1.0、0.8 mL 去离子水,制备成不同质量浓度的葡萄糖标准液,于波长 520 nm 条件下测定吸光度值。以葡萄糖含量(x)为横坐标,吸光度值(y)为纵坐标绘制葡萄糖标准曲线。

还原糖的质量分数(%) = 还原糖的质量 × 100 / 糟醅的质量。

1.2.4.3 淀粉含量的测定 水解糖化后用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定^[16]。测定出的还原糖的质量分数乘以 0.9 的换算系数即为淀粉质量分数。

1.2.4.4 酸度的测定 中和滴定法^[17]。

1.2.4.5 微生物的分离培养计数 参照文献[11]。

1.2.4.6 出酒率的测定 对每一种高粱样品的出窖糟醅进行蒸馏,用酒精计测定酒样的酒度,对蒸馏酒进行称重,折算成 20 °C、60% vol 时的重量,出酒率(%) = $M_1 \times 100 / M_2$,式中, M_1 :折合 60% vol 酒样质量, M_2 :投料发酵高粱质量。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件对结果数据进行分析、作图,每次每种高粱进行 3 次平行试验。

2 结果与分析

2.1 糟醅水分含量的变化

由图 2 可以看出,整个发酵期内糟醅水分含量曲线变化平稳,水分含量大致在 50%~60% 范围内。水分在微生物的发酵过程中起着重要的作用,不仅是一种重要的溶剂,还是微生物生长代谢的重要物质,糟醅中的水分含量在发酵初期逐步增加,在发酵第 10 d 自贡本地小高粱和泸州糯高粱糟醅的水分含量达到最大值,在发酵第 15 d 东北粳高粱糟醅的水分含量达到最大值,这可能是因为是在发酵初期微生物的呼吸作用产生少量的水。

2.2 糟醅还原糖含量的变化

2.2.1 葡萄糖标准曲线的制备 由图 3 可以看出,吸光度 y 与葡萄糖含量 x 的线性关系为 $y = 0.6873x - 0.0388$,决定系数为 $R^2 = 0.9940$,说明葡萄糖标准曲线有很好的线性关系。

2.2.2 糟醅发酵过程中还原糖含量的变化 中国白酒的发酵是“双边发酵”即边糖化边发酵,在发酵过程中淀粉在淀粉酶水解作用下生成还原糖,同时被

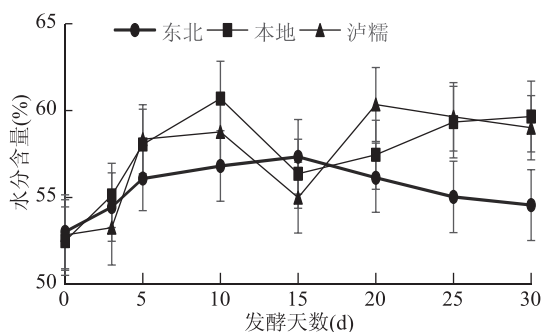


图2 糟醅中水分含量的变化

Fig.2 Changes of moisture content in distilled grains

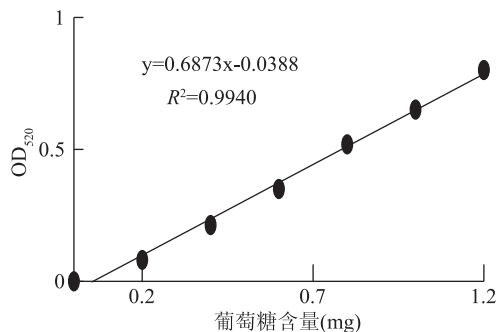


图3 葡萄糖标准曲线的制备

Fig.3 Standard curve of glucose

酵母菌利用生成酒精^[18]。从图4可以看出,在发酵前3 d,三种高粱还原糖含量快速增加,这一阶段糟醅中的微生物对还原糖的利用较少,糟醅中的淀粉在淀粉酶的作用下生成大量还原糖,在发酵第3 d开始糟醅中还原糖含量由于微生物数量的增加,呼吸作用加强,对还原糖的消耗增加,增速减慢,发酵第15 d还原糖含量达到最大值,泸州糯高粱糟醅中还原糖含量高于自贡本地小高粱高于东北粳高粱,这与不同种高粱淀粉结构及含量不同有关,支链淀粉较直链淀粉更容易被糊化、水解,泸州糯高粱支链淀粉含量较高,其还原糖含量也较高。在发酵第15 d之后由于淀粉酶的作用减弱,微生物的含量达到较大值,呼吸作用加强,对还原糖的消耗增大,糟醅中还原糖含量减少,发酵结束时东北粳高粱糟醅中还原糖含量高于自贡本地小高粱和泸州糯高粱。

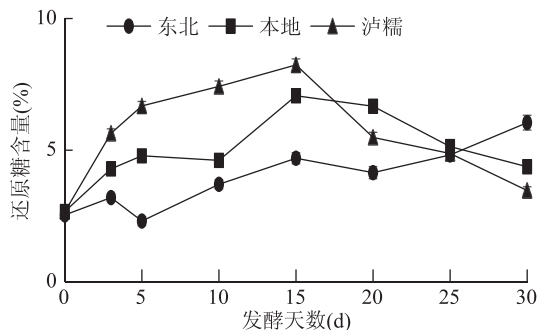


图4 糟醅中还原糖含量的变化

Fig.4 Changes of reducing sugar content in distilled grains

2.3 糟醅淀粉含量的变化

从图5可知,随着发酵天数的增加,糟醅中的淀粉在淀粉酶的作用下不断水解为还原糖,被微生物

利用,淀粉含量呈递减趋势。在发酵初始阶段,东北粳高粱糟醅中的淀粉含量最高,自贡本地小高粱最低,随着发酵的进行,糟醅中的淀粉含量逐渐减少,到发酵结束,东北粳高粱糟醅淀粉含量最高,泸州糯高粱最低。泸州糯高粱糟醅的淀粉含量在整个发酵周期内的减少量最大,这与高粱中淀粉含量及结构有关,泸州糯高粱支链淀粉含量最高,所以泸州糯高粱更容易被糊化、水解、利用。

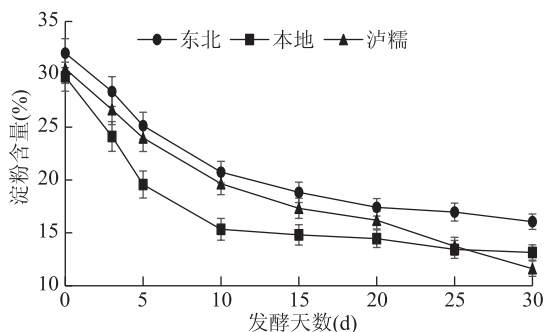


图5 糟醅中淀粉含量的变化

Fig.5 Changes of starch content in distilled grains

2.4 糟醅酸度的变化

酸度是指糟醅中的含酸量,酸类物质是形成浓香型大曲酒香味物质的前驱物质,可以与醇发生酯化反应生成酯类物质,其本身也是一种重要的呈香物质^[19]。在发酵过程中,有机酸类物质主要是由细菌代谢作用生成的^[20],由图6可以看出,从发酵初始到发酵第5 d,糟醅中的酸度急速增大,这与发酵前期糟醅中的细菌数急速增长有关。随后糟醅中的酸度逐渐增长,到发酵结束,东北粳高粱糟醅的酸度最高,泸州糯高粱最低。

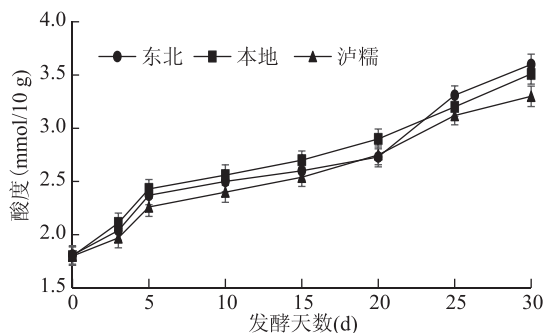


图6 糟醅中酸度的变化

Fig.6 Changes of the acidity of distilled grains

2.5 糟醅中微生物分离培养

由图7可以看出,从发酵初始阶段到第3 d,三种高粱糟醅中的细菌数都达到最大值,自贡本地小高粱糟醅中的细菌数高于东北粳高粱高于泸州糯高粱,这一阶段糟醅中的细菌迅速繁殖增长数量达到最多。随后直到发酵第10 d三种高粱糟醅中的细菌数急剧减少,这可能与发酵陶坛内氧气减少,糟醅酸度升高,酵母菌等的竞争作用增强有关。从发酵第10 d到发酵结束,糟醅中的细菌数逐渐减少到最小值。

由图8可以看出,从发酵初始到发酵第3 d,三

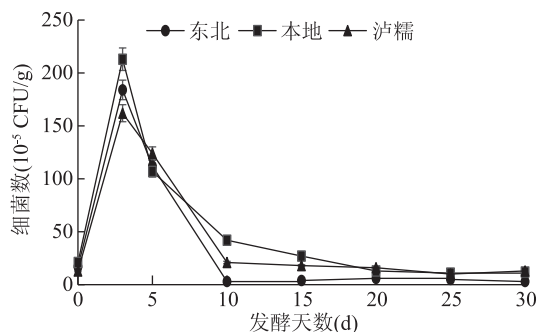


图7 酒醅发酵过程中细菌动态分析
Fig.7 Dynamic analysis of bacteria
in distilled grains' fermentation process

种高粱糟醅中的酵母菌数增长缓慢,之后快速增长,泸州糯高粱和自贡本地小高粱在发酵第10 d达到最大值,东北粳高粱在发酵第15 d达到最大值。这是因为微生物的发酵首先需要在淀粉吸水膨胀,晶体结构消失后,分解为小分子糊精才能被微生物分解利用。在相同的糊化温度及水分条件下,支链淀粉较直链淀粉有更复杂的分支结构,其分支间的空隙更容易吸收水分,从而膨胀糊化^[21],所以支链淀粉含量较高的泸州糯高粱和自贡本地小高粱糟醅中酵母菌生长状况更好。其后三种高粱糟醅中的酵母菌数逐步减少。

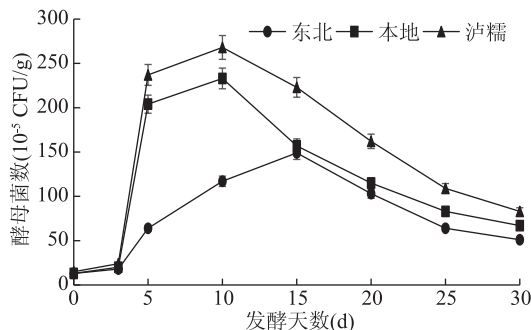


图8 糟醅发酵过程中酵母菌动态分析
Fig.8 Dynamic analysis of yeast
in distilled grains fermentation process

由图9可知,随着发酵天数的增加,糟醅中的霉菌数呈先增加后减少的趋势。从发酵初始到发酵第10 d,泸州糯高粱和本地小高粱糟醅中的霉菌数达到最大值,第15 d东北粳高粱糟醅中的霉菌数达到最大值,泸州糯高粱糟醅中霉菌数的最大值大于自贡本地小高粱大于东北粳高粱。这与高粱淀粉结构及含量有关,泸州糯高粱自贡本地小高粱支链淀粉含量较高,更容易被糊化、水解,然后被微生物利用,所以这两种高粱糟醅中的霉菌数比东北粳高粱更早达到最大值,而泸州糯高粱霉菌数的最大值也更大。随后糟醅中的霉菌数逐渐减少。

2.6 三种不同高粱出酒率分析

通过图10可以看出不同品种高粱在产酒上表现出一定的差异性,其中泸州糯高粱出酒率显著高于另外两种高粱($p < 0.05$),就出酒率而言,泸州糯高粱较为理想,适宜作为白酒酿造的原料。

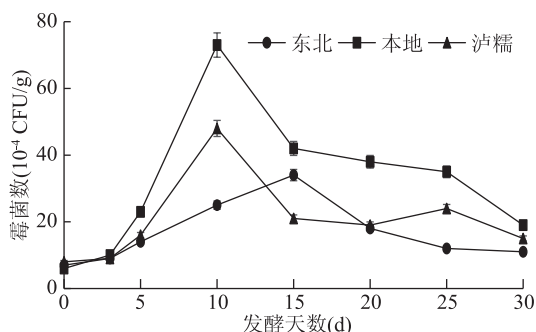


图9 酒醅发酵过程中霉菌动态分析
Fig.9 Dynamic analysis of mould
in distilled grains fermentation process

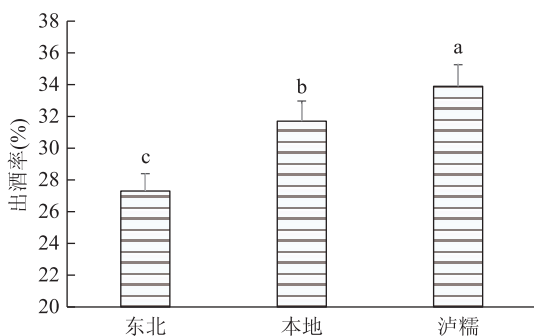


图10 三种高粱出酒率

Fig.10 Wine weight of three kinds of sorghum

注:不同小写字母代表差异性显著, $p < 0.05$ 。

3 结论

结果表明,整个发酵期内3种高粱发酵糟醅水分含量曲线变化平稳,水分含量大致在50%~60%范围内。由于3种高粱淀粉结构和含量的差异,泸州糯高粱所含淀粉更容易被微生物分解利用,产生酒精。虽然东北粳高粱籽粒淀粉含量为32.0%,高于泸州糯高粱的30.5%和自贡本地小高粱的29.8%,但是泸州糯高粱发酵结束糟醅中淀粉含量为11.6%,自贡本地小高粱为13.1%,东北粳高粱为16.1%,泸州糯高粱的淀粉利用率最高。在发酵进行到第15 d时3种高粱糟醅中的还原糖含量都达到最大值,泸州糯高粱糟醅中还原糖含量为8.2%,高于东北粳高粱的4.7%和自贡本地小高粱的7.1%。同时,在发酵过程中,泸州糯高粱发酵糟醅的酸度、微生物数及变化趋势更适宜浓香型白酒发酵。发酵结束后,泸州糯高粱出酒率为33.9%,优于自贡本地小高粱的31.7%和东北粳高粱的27.3%。所以,相较东北粳高粱和自贡本地小高粱,泸州糯高粱更适宜浓香型大曲白酒的酿造。

参考文献

- [1]郭敏,保玉心,黄永光,等.不同高粱品种酿造酱香型白酒发酵特性的研究[J].中国酿造,2018,37(1):102-107.
- [2]蒋兰.酿酒高粱淀粉含量测定及性质研究[D].重庆:重庆大学,2013.
- [3]焦梦悦,高涵,王伟娜,等.四种测定直链淀粉和支链淀粉方法的比较[J/OL].食品工业科技:1-9[2019-01-17].http://

(下转第181页)

inhibition of proliferation and induction of apoptosis in human gastric adenocarcinoma cells[J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43(10): 1557-1566.

[6] Suda I, Ishikawa F, Hatakeyma M, et al. Intake of purple sweet potato beverage affects on serum hepatic biomarker levels of healthy adult men with borderline hepatitis[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2008, 62(1): 60-67.

[7] Gradinaru G, Biliaderis C G, Kallithraka S, et al. Thermal stability of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanins in solution and in solid state: Effects of copigmentation and glass transition[J]. Food Chemistry, 2003, 83(3): 423-436.

[8] Tiwari B K, Odonnell C P, Muthukumarappan K, et al. Anthocyanin and colour degradation in ozone treated blackberry juice[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(1): 70-75.

[9] 吴彩娥, 徐克勇, 李元瑞, 等. 气流式锐孔法制作猕猴桃油微胶囊的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 133-136.

[10] 徐丽萍, 姚鹏程. 锐孔法制备玉米胚中还原型谷胱甘肽微胶囊[J]. 哈尔滨商业大学学报, 2011, 27(1): 47-50.

[11] 王丽玲, 候旭杰, 高超. 均匀设计优化红枣色素微胶囊化工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(5): 108-110.

[12] 陈虎, 吴晓梅, 李悦, 等. 黑果枸杞花青素微胶囊的稳定性及靶向释放特性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 22-28.

[13] 梅薇, 吴荣书. 锐孔法对玫瑰花花青素微胶囊包埋工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(7): 93-97.

[14] 史同瑞, 刘宇, 苏永福, 等. 壳聚糖-海藻酸钠微囊形成机理及制备方法研究进展[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2015(5): 11-13.

[15] 张辉青花, 徐斐, 袁敏. 酶法提取洛神花中花青素的工艺

优化[J]. 应用化工, 2017, 46(4): 607-610.

[16] 邵信儒, 孙海涛, 姜瑞平, 等. 短梗五加果花色苷微球的制备及其缓释效果评价[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 40-45.

[17] 曾哲灵. 响应面法优化玫瑰茄红色素提取工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 47-51.

[18] 谢岩黎, 史秀丽. 微胶囊化维生素 A 在模拟胃液中释放性能的研究[J]. 现代食品科技, 2007, 23(11): 27-29.

[19] 李超. 绿茶茶多酚的微胶囊化及其释放性能研究[J]. 食品工业, 2014, 35(11): 59-63.

[20] 丁保森, 袁武华. 锐孔法制备原花青素微胶囊工艺研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 214-217.

[21] 徐晶, 刘欢, 夏光辉, 等. β -环糊精包埋柠檬醛微胶囊工艺优化及其缓释性能[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 82-86.

[22] 阙森琳, 蒋玉蓉, 曹美丽, 等. 响应面试验优化藜麦种子多酚提取工艺及其品种差异[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 7-12.

[23] 代文亮, 程龙, 陶文沂, 等. 响应面法在紫杉醇产生菌发酵前体优化中的应用[J]. 中国生物工程杂志, 2007, 27(11): 66-72.

[24] Ge X, He J, Qi F, et al. Inclusion complexation of chlorophyll with β -cyclodextrin: Preparation, characterization and molecular modeling [J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy Section, 2011, 81(1): 397-403.

[25] Yamdech R, Pornanong Aramwit, Sorada Kanokpanont. Stability of anthocyanin from mulberry extracts in alginate microspheres at high temperature [J]. Advanced Materials Research, 2012, 506: 587-590.

[26] 曹龙奎, 李丽. 玉米黄色素的微胶囊化和稳定性研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(7): 45-49.

(上接第 173 页)

kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190115.1548.022.html.

[4] 杨玉波, 倪德让, 林琳, 等. 高粱蒸煮风味物质香气活力研究[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 222-226.

[5] 赵国敢, 陈城. 从产品分析看苏鲁豫皖与四川浓香型白酒的差异[J]. 酿酒科技, 2008(1): 88-93.

[6] 赖登辉. 中国十种香型白酒工艺特点、香味特征及品评要点的研究[J]. 酿酒, 2005, 32(6): 1-6.

[7] 李大和, 李国红. 浓香型白酒的独特魅力[J]. 酿酒科技, 2018(7): 140-144.

[8] 姚万春, 唐玉明, 任道群, 等. 不同品种大麦与高粱的酿酒性能对比[J]. 酿酒科技, 2018(11): 35-39.

[9] 沈萍, 范秀容, 李广武, 等. 微生物学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

[10] 张文学, 杨瑞, 曾里, 等. 从蒸馏废液中制造高香气米烧酒[J]. 酿酒, 2001(1): 66-70.

[11] 乔宗伟, 张文学, 张丽莺, 等. 浓香型白酒糟醅微生物分离培养基的选择研究[J]. 酿酒科技, 2004(6): 30-32.

[12] 冯兴焱, 杨文斌, 罗惠波, 等. 3 种酿酒高粱蒸煮工艺的优化[J]. 食品科技, 2017, 42(11): 187-194.

[13] 应静, 游玲, 邱树毅, 等. 温度对浓香型白酒发酵的影响[J]. 中国酿造, 2018, 37(8): 75-81.

[14] 周平, 罗惠波, 黄丹, 等. 不同热处理大曲对白酒酿造的影响研究[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 39-44.

[15] 毛洪川. 整粒高粱酿造浓香型白酒的工艺开发及应用研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2017.

[16] Wang Y, Yuan B, Ji Y, et al. Hydrolysis of hemicellulose to produce fermentable monosaccharides by plasma acid [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 97(2): 518-522.

[17] 王媚. 浓香型白酒糟醅窖内外发酵动态因子的初步研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015.

[18] Won K Y, Kim Y S, Oh K K. Comparison of bioethanol production of simultaneous saccharification and fermentation and separation hydrolysis and fermentation from cellulose-rich barley straw [J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2012, 29(10): 1341-1346.

[19] Wen X U, Chen Q, Yang Z, et al. Study on differences in procyanidine content between muscat hamburg grape from different producing areas [J]. Agricultural Biotechnology, 2019(1): 176-179.

[20] Santamaría-Fernández M, Ytting N K, Lübeck M. Influence of the development stage of perennial forage crops for the recovery yields of extractable proteins using lactic acid fermentation [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 218: 1055-1064.

[21] 田殿梅, 霍丹群, 张良, 等. 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.