

# 玉米威士忌生产工艺研究

宗绪岩, 李丽, 刁冲, 王飞

(四川理工学院生物工程学院, 四川 自贡 643000)

**摘要:**为降低生产成本、改善产品口味,将玉米粉作为威士忌生产原料,部分代替大麦芽用于制作谷物威士忌,以出酒率和感官得分作为产品的考核指标,对麦汁比例、酵母接种量、发酵温度、发酵时间等因素进行了研究。结果表明:出酒率的影响因素顺序为发酵温度影响最大,其次是发酵时间和接种量,麦汁比例的影响最小;感官得分的影响因素顺序为发酵温度影响最大,其次是接种量和发酵时间,麦汁比例的影响最小。出酒率的较优生产条件为麦汁添加比例为20%,添加1.0%的酵母在20℃条件下发酵11d;感官得分的最适条件为麦汁添加比例为25%,添加0.8%的酵母在16℃条件下发酵15d。

**关键词:**玉米;威士忌;感官;出酒率

**中图分类号:**TS261.4

**文献标志码:**A

威士忌是一种以谷物为原料,经过糖化、发酵、蒸馏、陈酿调配而成的一种蒸馏酒,是世界著名蒸馏酒种之一<sup>[1]</sup>。威士忌,被英国人称之为“生命之水”,更被世界各地的人们将其与“品味”、“成就”联系在一起<sup>[2]</sup>。中国快速成长起来的高净值人群,给威士忌带来了市场发展潜力<sup>[3]</sup>。越来越多的高端产品出现在货架上,众多威士忌生产商纷纷抢占这一市场<sup>[4-5]</sup>。数据显示,苏格兰威士忌的出口总值与10年前相比已上涨56%,市场对威士忌的需求依然强劲,尤其是单一纯麦威士忌,这类威士忌目前已占苏格兰威士忌出口总值的近25%,而5年前这个数字还是18%<sup>[6-7]</sup>。不仅是出口,每年在苏格兰举办的威士忌节以及各家酒厂的开放参观活动都吸引世界各地游客前去“朝圣”<sup>[8]</sup>。随着日本威士忌近

年突获殊荣,中国游客开始到日本寻找珍稀陈年佳酿,寻觅高端日本威士忌,供自己饮用或者以两倍、甚至高达6倍的价格在国内加价售卖<sup>[9]</sup>。

国内对威士忌的需求量很大,但目前国内还没有知名的威士忌生产厂家,更没有知名的威士忌国产品牌。

传统的威士忌生产多采用大麦芽作为原料,甚至是唯一原料<sup>[10]</sup>,但中国不是大麦的主产区,生产传统威士忌需要大量进口大麦,而作为三大玉米黄金带的中国盛产玉米,相对于其他谷物作物,玉米具有价格低廉,产量高,适于工业生产等优点,因此玉米既是粮食作物也是经济作物<sup>[11-12]</sup>。本文针对玉米的加工特点,研究了以玉米为主要原料,搭配麦芽,生产玉米威士忌的工艺,并试图以此为突破点,探索其他谷物用于威士忌生产。

收稿日期:2017-07-17

基金项目:酿酒生物技术及应用四川省重点实验室开放基金项目(NJ2012-09);固态酿造关键技术研究四川省院士(专家)工作站基金项目(GY2014-01);酿酒生物技术及应用四川省重点实验室开放基金项目(NJ2014-07)

作者简介:宗绪岩(1976-),男,黑龙江方正县人,副教授,博士,主要从事发酵过程控制与监测及食品生物化学方面的研究,(E-mail)suse62651@139.com

通信作者:李丽(1982-),女,辽宁北票人,副教授,博士,主要从事食品生物技术方面的研究,(E-mail)kokonice@139.com

## 1 材料与方 法

### 1.1 主要材料

酵母:酿酒生物技术及应用四川省重点实验室提供;玉米粉:市场采购;麦芽:华润雪花啤酒(自贡)有限责任公司提供;耐高温淀粉酶:诺维信(中国)生物技术有限公司;糖化酶:诺维信(中国)生物技术有限公司。

### 1.2 主要设备

自动糖化器(LB型,德国 LOCHNER);全自动啤酒分析仪(Alcolyzer Beer Analyzing System,德国安东帕);酒精度测试仪(Super Alcomat,意大利 Gibertini)。

### 1.3 原料制备方法

#### 1.3.1 麦汁的制备方法

参照啤酒麦汁制备方法<sup>[13]</sup>,将麦芽放入温水中浸渍30 s后粉碎。将麦芽粉投入自动糖化器中,加入3.5倍质量比的50℃水中,保温30 min,缓慢升温至62℃,保温30 min,再缓慢升温至68℃,保温糖化至碘反应不变色,升温至78℃,过滤,并用麦芽质量2倍的78℃水洗涤滤渣。将合并的滤液煮沸至14%(使用全自动啤酒分析仪测定)备用。

#### 1.3.2 玉米的糖化

参照诺维信公司提供的方法,将玉米粉投入自动糖化器中,与质量比4倍的水混合,加入耐高温淀粉酶,升温至90℃,保温30 min,煮沸10 min,降温至65℃,加入糖化酶,保温至碘反应不变色,升温至78℃,过滤,并用麦芽质量2倍的78℃水洗涤滤渣。将合并的滤液煮沸至14%(使用全自动啤酒分析仪测定)备用。

#### 1.3.3 菌种的培养

将酵母接种到含有10%麦汁的玉米糖化液中,在28℃下进行扩大培养24 h。

### 1.4 玉米威士忌生产流程

玉米威士忌的制作流程如图1所示。

### 1.5 单因素实验

#### 1.5.1 麦汁比例

按照麦汁占总量5%、10%、15%、20%、25%和30%配置,分别接入1%的扩培好的酵母,16℃发酵7 d,进行蒸馏,用酒精度测试仪测定酒精含量,计算出酒率,并分别进行感官评价。

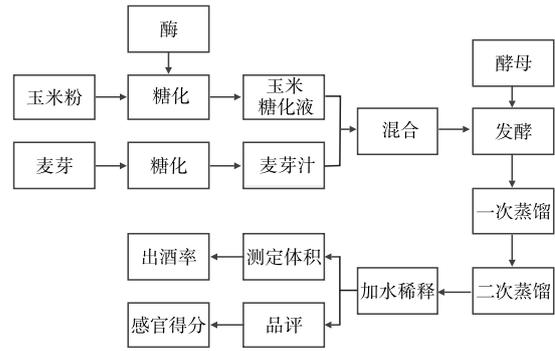


图1 玉米威士忌的制作流程图

#### 1.5.2 接种量影响

按照10%麦汁含量,分别接入0.2%、0.6%、0.8%、1%、1.4%和1.8%的酵母,16℃发酵7 d后进行蒸馏,用酒精度测试仪测定酒精含量,计算出酒率,并分别进行感官评价。

#### 1.5.3 发酵温度

按照10%麦汁添加量,分别接入1%的酵母,分别在8℃、12℃、16℃、20℃和24℃条件下发酵7 d后进行蒸馏,用酒精度测试仪测定酒精含量,计算出酒率,并分别进行感官评价。

#### 1.5.4 发酵时间

按照10%麦汁添加量,分别接入1%的酵母,在16℃条件下分别发酵5 d、7 d、9 d、11 d、13 d和15 d后进行蒸馏,用酒精度测试仪测定酒精含量,计算出酒率,并分别进行感官评价。

### 1.6 正交实验设计

根据单因素实验结果,对麦汁比例、接种量、发酵温度和发酵时间进行正交试验,选择L16(4<sup>5</sup>)进行正交试验<sup>[14]</sup>,其中第一列为空列,各因素取3个水平,用酒精度测试仪测定酒精含量,分别考察出酒率(换算成40% vol)顺序和感官评价得分。选取的因素水平见表1。

表1 正交试验因素水平表

	麦汁比例/%	接种量/%	发酵温度/℃	发酵时间/d
1	15	0.4	8	9
2	20	0.6	12	11
3	25	0.8	16	13
4	30	1.0	20	15

#### 1.7 出酒率的测定

准确称量发酵液放入带温度计蒸馏装置内,加入2~3粒玻璃珠于蒸馏瓶中,连接蛇形冷凝器装置,以三

角瓶作接收器(外加冰浴),开启冷却水(冷却水温度宜低于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),缓慢加热蒸馏,收集馏出液至温度升至 $85\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,取下三角瓶,将馏出液重复进行二次蒸馏,用酒精度测试仪测定酒精含量,用蒸馏水稀释至 $40\text{ }\% \text{ vol}$ 测量体积备用。

稀释后的馏出液体积除以发酵液体积,即为出酒率。

### 1.8 感官分析

对具有食品专业背景的96人按照GB/T 10345-2007《白酒分析方法》国家标准进行调查,初筛出具有兴趣、健康良好、时间充裕等符合品评要求的62人,再通过调查表筛选、敏锐性实验、排序/打分实验,最终通过综合评定筛选出24人,包括12男12女,年龄 $20\sim 35$ 岁之间,进行4轮培训。

正式实验过程在标准品评室完成。将以3位数字随机编号的 $20\text{ mL}$ 左右的酒样品呈递给品评人员。品评杯具为透明郁金香酒杯,样品随机放置。品评者将对样品的色泽特征、香气特征、口味特征及风格属性等4个属性进行描述打分<sup>[15]</sup>,实验重复3次。所有感官评价均采用定量描述分析法(Quantitative Descriptive Analysis, QDA),选取9点制标度:1~9(1=非常不喜欢;2=很不喜欢;3=不喜欢;4=不太喜欢;5=一般;6=稍喜欢;7=喜欢;8=很喜欢;9=非常喜欢)<sup>[16]</sup>。

### 1.9 数据处理

各组数据均为3次重复测定求平均值,结果表示为平均值 $\pm$ 标准差。并采用OriginPro 2016作图。采用Excel对数据进行统计分析,并用SPSS Statistics Version 20进行显著性分析( $P < 0.05$ )和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 麦汁比例对玉米威士忌的影响

将麦汁按照占总量 $5\%$ 、 $10\%$ 、 $15\%$ 、 $20\%$ 、 $25\%$ 和 $30\%$ 的比例添加到玉米汁中,接入 $1\%$ 扩培好的酵母,在 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵7d,经过蒸馏后计算出酒率(换算成 $40\text{ }\% \text{ vol}$ )顺序并进行感官评价,结果如图2所示。

由图2可知,随着麦汁添加量的增加,出酒率变化不明显,由于麦汁和玉米汁固形物含量均为 $14\%$ ,说明在利用麦汁或玉米汁生产酒精过程中无特异需求;而蒸

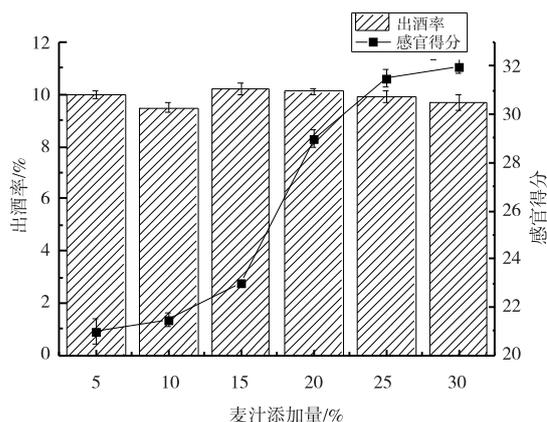


图2 麦汁添加量对出酒率和感官得分的影响

馏后酒液的感官得分随麦汁添加量增加而增加,但在低添加量及高添加量范围内变化较小,说明麦芽制作的威士忌的口味较玉米或其他谷物制作的威士忌从口味及其他感官角度更纯正,同时,以玉米为主要生产原料时,当麦汁添加量达到 $25\%$ 后,其口感并没有继续提高。

### 2.2 接种量影响

按照 $10\%$ 麦汁含量,分别接入 $0.2\%$ 、 $0.6\%$ 、 $0.8\%$ 、 $1\%$ 、 $1.4\%$ 和 $1.8\%$ 的酵母,在 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵7d后进行蒸馏,然后计算出酒率(换算成 $40\text{ }\% \text{ vol}$ )顺序并进行感官评价,结果如图3所示。

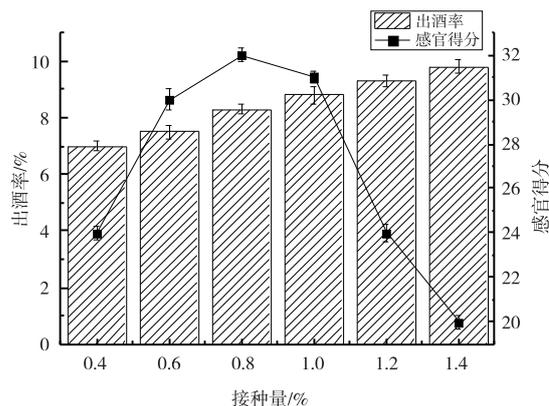


图3 酵母添加量对出酒率和感官得分的影响

由图3可知,随着酵母添加量的增加,出酒率在持续升高,这是由于酵母添加量的增加,减少了发酵过程酵母扩增的比例,减少了酵母繁殖消耗的营养物质,这一现象也符合发酵过程充氧量的变化。蒸馏得到的酒液的感官得分随着酵母添加量的增加出现了先增加后降低的倒“U”型,说明酵母添加过少会造成酵母大量繁殖,产生很多副产物,影响了口感,同时发酵体系中酵母

过少,容易造成杂菌污染,产生杂味物质;当酵母添加量增加后,酵母数增加,发酵速度过快,副产物增加,同时,酵母衰老也快,容易自溶,破坏口味。

### 2.3 发酵温度

按照 10% 麦汁添加量,分别接入 1% 酵母,分别在 8 °C、12 °C、16 °C、20 °C 和 24 °C 条件下发酵 7 d 后进行蒸馏,然后计算出酒率(换算成 40 % vol)顺序并进行感官评价,结果如图 4 所示。

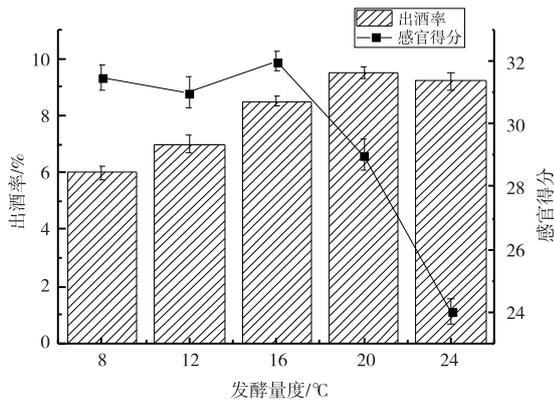


图4 发酵温度对出酒率和感官得分的影响

由图 4 可知,随着发酵温度的增加,出酒率升高,超过 20 °C 后出现稳定略有下降现象,这是由于温度升高,酵母代谢旺盛、代谢速度加快;低温时发酵慢,没有达到发酵终点,因此出酒率低,随着温度升高出酒率提升,在 20 °C 达到高峰,随着温度继续增加,酵母发酵完成后,进一步消耗乙醇等物质维持其生存,因此出现稳定或下降现象。蒸馏得到的酒液的感官得分随着发酵温度升高出现了先稳定后降低的形状,说明低温发酵虽然酵母发酵速度慢,代谢不旺盛,但产生的副产物少,经过蒸馏后口感较好,随着温度升高,发酵体系中杂味物质含量升高,造成感官评分降低。

### 2.4 发酵时间

按照 10% 麦汁添加量,分别接入 1% 的酵母,在 16 °C 条件下分别发酵 5 d、7 d、9 d、11 d、13 d 和 15 d 后进行蒸馏,然后计算出酒率(换算成 40 % vol)顺序并进行感官评价,结果如图 5 所示。

由图 5 可知,随着发酵时间的延长,出酒率开始增加,在第 9 天附近达到峰值,然后出现下降现象,这可能是由于随着发酵进行,乙醇代谢逐渐增加,使得出酒率增加,当达到峰值后,酵母开始利用乙醇,造成出酒

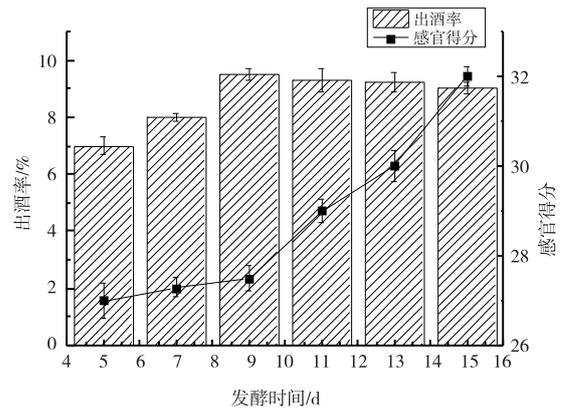


图5 发酵时间对出酒率和感官得分的影响

率下降现象。蒸馏酒液的感官得分随着发酵进行呈现持续增长趋势,在发酵达到峰值前,酒液的感官变化并不显著,随着发酵继续进行,酵母菌乙醇生成代谢停止,开始产生其他风味物质,使得酒液的口味提高,感官得分增加。

### 2.5 正交试验结果

根据单因素实验结果,对麦汁比例、接种量、发酵温度和发酵时间进行正交试验,选择 L16(4<sup>5</sup>) 进行正交试验,其中第一列为空列,各因素取 3 个水平,分别考察出酒率(换算成 40 % vol)顺序和感官评价得分。试验结果见表 2,方差分析结果见表 3 和表 4。

由正交试验的极差分析结果可知,出酒率的影响因素顺序为发酵温度 > 发酵时间 > 接种量 > 麦汁比例,感官得分的影响因素顺序为发酵温度 > 接种量 > 发酵时间 > 麦汁比例;可见发酵温度对出酒率和感官得分的影响都较明显,从方差分析结果知,其影响均极显著;而麦汁比例对于出酒率和感官得分的影响最弱,从方差分析结果知,其影响显著。

由正交试验的极差分析结果可知,最大出酒率的条件为麦汁添加比例为 20%,添加 1.0% 的酵母在 20 °C 条件下发酵 11 d,该条件未在正交试验中出现,进行验证试验,得到出酒率为 10.48%,超过试验最大值。感官得分的最适条件为麦汁添加比例为 25%,添加 0.8% 的酵母在 16 °C 条件下发酵 15 d,该条件也未在正交试验中出现,进行验证试验,得到感官得分为 32.44,超过试验最大值。见出酒率的最适条件和感官得分的最适条件不一致,可其主要原因是由于酒类的风味不是由酒精决定,而是由酒中其他风味物质组成及含量决定,出酒率主

表2 玉米威士忌生产工艺正交试验结果

	麦汁比例/%	接种量/%	发酵温度/℃	发酵时间/d	出酒率/%	感官得分
1	15	0.4	8	7	7.38	21.21
2	20	0.6	12	9	9.66	29.44
3	25	0.8	16	11	9.60	33.91
4	30	1.0	20	13	8.44	31.01
5	15	0.6	16	13	8.29	31.27
6	20	0.4	20	11	9.01	28.33
7	25	1.0	8	9	8.58	27.14
8	30	0.8	12	7	8.41	29.62
9	15	0.8	20	9	9.75	29.45
10	20	1.0	16	7	10.30	29.74
11	25	0.4	12	13	7.56	29.12
12	30	0.6	8	11	7.55	27.61
13	15	1.0	12	11	9.31	28.59
14	20	0.8	8	13	7.55	28.56
15	25	0.6	20	7	9.93	28.50
16	30	0.4	16	9	8.31	28.68
k11	8.68	8.07	7.77	9.01		
k12	9.13	8.86	8.74	9.08		
k13	8.92	8.83	9.13	8.87		
k14	8.18	9.16	9.28	7.96		
r1	0.95	1.09	1.52	1.12		
k21	27.63	26.84	26.13	27.27		
k22	29.02	29.21	29.19	28.68		
k23	29.67	30.39	30.90	29.61		
k24	29.23	29.12	29.32	29.99		
r2	2.04	3.55	4.77	2.72		

表3 出酒率方差分析结果

	偏差平方和	自由度	均方	F	显著值
a	2.011	3	0.670	15.711	0.024 *
b	2.603	3	0.868	20.339	0.017 *
c	5.570	3	1.857	43.526	0.006 * *
d	3.226	3	1.075	25.207	0.013 *
误差 Error	0.128	3	0.043		
总计 Total	1232.071	16			

注:  $R^2 = 0.991$  (调整  $R^2 = 0.953$ ), \* 为  $p < 0.05$ , \* \* 为  $p < 0.01$ 。

表4 感官得分方差分析结果

	偏差平方和	自由度	均方	F	显著值
a	9.296	3	3.099	16.296	0.023 *
b	26.440	3	8.813	46.352	0.005 * *
c	47.745	3	15.915	83.700	0.002 * *
d	17.624	3	5.875	30.896	0.009 * *
误差 Error	0.570	3	0.190		
总计 Total	13452.32	16			

注:  $R^2 = 0.994$  (调整  $R^2 = 0.972$ ), \* 为  $p < 0.05$ , \* \* 为  $p < 0.01$ 。

要考察的是酒精的生成量,而感官得分考察的是整体的综合组成;酒类饮料中很多风味物质都是在发酵过程中微生物代谢产生,并且往往是以乙醇代谢过程的中间产物或者乙醇为底物产生,因此风味物质的产生往往落后于乙醇的产生,并且会消耗乙醇,造成风味滞后于乙醇峰值;增加酵母的添加量和提高发酵温度会增加发酵速度,但也会加速一些杂味物质的产生,降低口感。

### 3 结束语

以出酒率和感官得分为评价指标,采用单因素试验和正交试验方法,考察了麦汁比例、酵母接种量、发酵温度和发酵时间四个因素的影响,并进行了数学分析。方差分析结果显示各因素与出酒率和感官得分关系均显著,出酒率的影响因素顺序为发酵温度 > 发酵时间 > 接种量 > 麦汁比例,感官得分的影响因素顺序为发酵温度 > 接种量 > 发酵时间 > 麦汁比例;最大出酒率的条件为麦汁添加比例为20%,添加1.0%的酵母在20℃条件下发酵11d;感官得分的最适条件为麦汁添加比例为25%,添加0.8%的酵母在16℃条件下发酵15d。后续研究将深入探索最适条件,并对得到的样品进行成分分析。

### 参考文献:

- [1] 沈怡方.白酒生产技术全书[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [2] ERIKSSON O, JONSSON D, HILLMAN K. Life cycle assessment of Swedish single malt whisky[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112(s1): 229-237.
- [3] 曾玩娴,熊含鸿.烈酒分析仪在快速鉴定干邑白兰地、威士忌真假的应用[J].酿酒, 2013, 40(5): 91-93.
- [4] LINTON J D. Teaching innovation to technologists (non-business people) and non-technologists (business people): Scotch Whisky as an exemplar of process changing product an alternative to traditional lectures[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2015, 100: 39-43.
- [5] HAN J, MA C, WANG B, et al. A Hypothesis-Free Sensor Array Discriminates Whiskies for Brand, Age, and

- Taste[J].Chem,2017,2(6):817-824.
- [6] SITTIKRUEAR S,BANGVIWAT A.Energy Efficiency Improvement in Community-Scale Whisky Factories of Thailand by Various Multi-criteria Decision Making Methods[J].Energy Procedia,2014,52:173-178.
- [7] KESHRI P,ROTELLO V M.Array-Based Sensing of Whisky:A Whiff of the Spirit World[J].Chem,2017,2(6):755-756.
- [8] SHAND C A,WENDLER R,DAWSON L,et al.Multi-variate analysis of Scotch whisky by total reflection x-ray fluorescence and chemometric methods:A potential tool in the identification of counterfeits[J].Analytica Chimica Acta,2017,976:14-24.
- [9] 利奥·刘易斯.中国游客为什么要去日本寻觅威士忌[N].消费日报,2016-9-22(A02).
- [10] MACLEAN C. World Whiskey [M]. New York: Dorling Kindersley Limited,2009.
- [11] 陈晓阳.玉米雄性不育基因 IPE1 克隆与功能分析[D].北京:中国农业大学,2017.
- [12] 张强,刘飞,纪磊,等.镉胁迫对玉米生物量、光合特性及镉积累的影响[J].核农学报,2017(8):1633-1639.
- [13] 宗绪岩.啤酒工艺学[M].北京:化学工业出版社,2016.
- [14] 李丽,宗绪岩,张静,等.啤酒糟复合即食营养糊的研制[J].酿酒科技,2013(11):92-97.
- [15] 秦献泉,李鸿莉,李冬波,等.基于模糊综合评判法的荔枝酒感官评价研究[J].西南农业学报,2016,29(6):1443-1447.
- [16] 刘文丽,孙舒扬,贡汉生,等.不同酿酒酵母发酵的干红樱桃酒酒体成分及感官质量分析[J].食品与发酵工业,2016,42(1):157-166.

## Study on the Process of Corn Whisky

ZONG Xuyan, LI Li, DIAO Chong, WANG Fei

(School of Biotechnology Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

**Abstract:** For reducing costs and improving taste, the factors such as wort ratio, yeast inoculation, fermentation temperature and fermentation time were studied to make whisky with corn. The results showed that the factors influencing the liquor yield were the fermentation temperature > fermentation time > inoculation amount > wort ratio. The factors of sensory score were fermentation temperature > inoculation amount > fermentation time > wort ratio. The maximum liquor yield was 20% wort and 1% yeast fermented at 20°C for 11 days. The optimum condition of sensory score was 25% wort and 0.8% yeast fermented at 16°C for 15 days.

**Key words:** corn; whiskey; senses; liquor yield