

芝麻香型丢糟酒生产过程中 糖化酶应用

宗绪岩^{1,2}, 王祥余³, 李 丽^{1,*}, 刘 杰⁴, 廖华桥¹

(1. 四川理工学院, 四川自贡 643000;

2. 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川自贡 643000;

3. 青岛根源生物技术集团有限公司, 山东青岛 266000;

4. 日出东方太阳能股份有限公司检测中心, 江苏连云港 222005)

摘要: 研究了三种类型的糖化酶在芝麻香型丢糟酒的应用。对比了三种糖化酶(液体糖化酶 E1, 固体糖化酶 E2, 液体复合糖化酶 E3) 在大生产条件和实验室模型中成熟酒醅的残淀粉量、酒精含量、残糖含量以及乳酸和醋酸的含量, 并通过气质联用仪和感官评价方法对大生产成熟酒醅蒸馏获得的原酒进行了分析。结果表明, E3 残淀粉含量最低, 大生产和实验室条件分别为 3.26% 和 3.62%; E1、E2 和 E3 的小试成熟酒醅中酒精含量远高于大生产, E3 在成熟酒醅酒精含量方面明显高于其他两种糖化酶, 分别达到了 2.01% 和 0.76%; 大生产条件和实验室模型 E3 成熟酒醅残糖含量最低, 优于 E1 同 E2, 均低于入窖时残糖含量; 大生产和实验室条件下 E1、E2 和 E3 成熟酒醅乳酸含量及入窖酒醅乳酸含量差异不大($p > 0.05$); 大生产和实验室条件下 E1、E2 和 E3 成熟酒醅醋酸含量及入窖酒醅醋酸含量均无显著性差异($p > 0.05$); 酯类物质含量 E2 最接近于合理比例, 其次是 E3, 最后是 E1; 醇类和酸类物质 E2 与 E3 较好, E1 较差。对三种酶进行电泳分析可以得出, E3 多出的条带可能与 E3 对丢糟中残淀粉的高效利用有关。

关键词: 丢糟, 糖化酶, 芝麻香型白酒, 气质联用, 感官评价

Application of glucoamylase in waste lees Baijiu production of sesame-flavor

ZONG Xu-yan^{1,2}, WANG Xiang-yu³, LI Li^{1,*}, LIU Jie⁴, LIAO Hua-qiao¹

(1. Sichuan University of Science & Engineering Zigong 643000, China;

2. Liquor Making Bio-Technology & Application of Key Laboratory of Sichuan Province Zigong 643000, China;

3. Qingdao Genyuan Biotechnology Group Co., Ltd., Qingdao 266000, China;

4. Sunrise SolarEast Co., Ltd., Testing Center, Lianyungang 222005, China)

Abstract: Three types of glucoamylase were studied in Baijiu production from waste lees of sesame-flavor. E1 is liquid glucoamylase, E2 is solid glucoamylase, E3 is liquid complex glucoamylase. It was compared of the amount of residual starch, the amount of alcohol, the amount of residual glucose and the accumulation of lactic acid and acetic acid in pit-out waste lees that used with three types of glucoamylase in large scale and lab scale. Pit-out waste lees of large scale were also analyzed with GC-MS and sensory evaluation. The results showed that residual starch contents in fermented grains with E3 were lower than the other two types of glucoamylase for large scale and lab scale were 3.26% and 3.62% respectively. The alcohol contents in fermented grains with E1, E2 and E3 for lab scale were higher than for large scale. The alcohol contents in fermented grains with E3 were higher than the other two types of glucoamylase for large scale and lab scale were 2.01% and 0.76% respectively. The residual sugar contents in fermented grains with E3 were lower than the other two types of glucoamylase for large scale and lab scale. The residual sugar contents in fermented grains with three types of glucoamylase were lower than CK. There was a small difference ($p > 0.05$) in the accumulation of acetic acid in fermented grains with three types of glucoamylase for large scale and lab scale. There was no significant difference ($p > 0.05$) in the accumulation of acetic acid in fermented grains with three types of glucoamylase for large scale and lab scale. Ester content of Baijiu made with E2 was closest to the fair proportion, followed by made with E3, and made with E1 is the last one. The contents of alcohols and acids of Baijiu made with E2 and E3 was closest to the fair proportion, followed by made with E1. Electrophoretic analysis of the three enzymes could be concluded that the band

收稿日期: 2017-08-07

作者简介: 宗绪岩(1976-), 男, 博士, 副教授, 主要从事食品生物化学及发酵过程控制方面的研究, E-mail: suse62651@139.com。

* 通讯作者: 李丽(1982-), 女, 博士, 副教授, 主要从事食品生物化学方面的研究, E-mail: kokonice@139.com。

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(NJ2017-10); 固态酿造关键技术研究四川省院士(专家)工作站开放基金项目(GY2014-01); 四川省大学生创新创业训练计划项目(201710622087)。

in E3 may be related to the efficient use of residues with E3.

Key words: waste lees; glucoamylase; sesame-flavor Baijiu; GC-MS; sensory evaluation

中图分类号: TS262.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2018)07-0078-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.07.016

引文格式: 宗绪岩, 王祥余, 李丽, 等. 芝麻香型丢糟酒生产过程中糖化酶应用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 78-82

在我国传统的固态白酒发酵过程中丢糟是一种主要的副产物, 据统计其每年产量高达 2500 万吨, 而且这些丢糟成分复杂, 容易腐坏造成环境污染, 处理十分困难^[1-3]。在众多香型白酒的丢糟中, 芝麻香型白酒的丢糟淀粉含量整体较高(10%~12%), 富含发酵过程中残留的各种香气物质^[4-6]。

目前针对白酒生产的酶制剂研究已经有很多^[7-10], 本文利用已建立的芝麻香型丢糟酒实验室生产模型预测各种糖化酶的使用效果, 同时在相应酒厂的生产线上同步进行实验, 考察不同糖化酶对芝麻香型丢糟酒生产的实际影响, 同时考察该模型的预测效果。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

丢糟 山东地区某著名酒厂丢糟, 丢糟前期发酵工艺为传统芝麻香发酵工艺, 使用窖池为砖垒花洞塞泥窖; **酵母菌** 安琪酵母股份有限公司生产; **液体糖化酶(E1)** 安琪酵母股份有限公司生产, 15 万 U/g; **固体糖化酶(E2)** 江苏博力生物制品有限公司, 8 万 U/g; **液体复合糖化酶(E3)** 青岛根源生物集团生产, 18 万 U/g; **酒石酸钾钠(分析纯)** Aladdin®; **五水硫酸铜、NaOH(分析纯)** MERCK; **葡萄糖、麦芽糖、果糖、乙酸、乳酸、甘油、琥珀酸、三糖、四糖、五糖、多糖、淀粉分解糊精、双乙酰、甲醇、乙醇、NaOH 等** 均为色谱纯 Sigma 公司。

ME3002 天平、万分之一天平 Mettler; **Waters 1515 高效液相色谱(配备 Waters 2414 Refractive Index Detector、Waters 2707 Autosampler、Aminex® HPX-87H Column 300 mm × 7.8 mm 色谱柱)** Bio-Rad 生产; **Milli-Q 纯水机** Merck; **样品制备仪** SPEX® Sample Prep 1600; **水浴锅** Heto; **烘箱** BINDER; **摇床** Innova® 44; 其余玻璃器皿 德国 Duran。

1.2 实验方法

1.2.1 实验室丢糟酒发酵 参照文献[11], 稍有改进。使用 1 L 发酵瓶, 每个发酵瓶中加入新鲜丢糟酒醅 600 g, 0.12 g 安琪高活性酵母(使用前用 32 °C 去离子水 5 mL 活化 15 min), 酶制剂使用剂量为糖化酶酶活 17 U/g 丢糟酒醅, 充分混匀, E1、E2 和 E3 分别做 5 个平行样; 封口前用 75% 酒精将发酵瓶口部及酒糟没有接触到的发酵瓶上部消毒, 用保鲜膜封口置于环境温度为 22 °C 培养箱中避光发酵 30 d。以大生产入窖丢糟酒醅为对照(CK)。

1.2.2 工厂芝麻香型丢糟酒发酵 在正常生产芝麻香型白酒的成熟酒醅完成蒸酒后, 待酒醅温度低于 35 °C 时按照糖化酶酶活 17 U/g 丢糟酒醅分别加入 E1、E2 和 E3 以及 0.2 kg/t 安琪高活性酵母(提前活

化)并混匀, 每种酶制剂分别做 5 个窖池, 入砖垒花洞塞泥窖密封发酵 30 d。以大生产入窖丢糟酒醅为对照(CK)。

1.2.3 样品处理 实验室样品: 为保证实验室数据的准确性, 在实验室中需将发酵瓶中的发酵物全部转移到密封袋中, 仔细混匀后方可取样; 取得的样品主要进行残淀粉测定和成熟酒醅成分测定。关于实验室入窖酒醅的残淀粉测定也需遵循混匀后取样的原则。

工厂样品: 为保证工厂数据的准确性, 在工厂中需对每一甬的样品进行取样, 取样点分为中央和四周五个点, 共计每个窖池需取样 30 个, 混匀后取 1 kg 作为样品带回实验室分析。将各样品分别用 10 倍质量、100 倍质量的超纯水混合振荡后离心, 上清液过 0.45 μm 滤膜后备用。

1.2.4 残淀粉检测 残淀粉的检测方法为酶法, 原理与 Megazyme 试剂盒一致, 利用诺维信复合淀粉酶和糖化酶代替 Megazyme 所用酶制剂以取得更稳定的检测结果。

残淀粉含量(%) = 酶解液中还原糖量/样品量 × 100

1.2.5 成熟酒醅成分检测 成熟酒醅的成分检测使用 Waters 1515 高效液相色谱, 柱温为 65 °C, 流动相为 5 mmol/L H₂SO₄, 流速 0.6 mL/min, 分析时间为 30 min。将标准品配制成不同浓度的单标溶液, 分别进样确定出峰时间和峰面积与浓度关系, 然后将样品提取液分别进样分析, 计算出酒精、葡萄糖、乳酸、醋酸含量。

1.2.6 原酒香气物质检测 使用 GC-MS 检测原酒中的香气物质, 第三方机构负责检测, 检测方法见参考文献[12]。

1.2.7 感官分析 参考国家标准 GB/T 33404-2016《白酒感官品评导则》和 GB/T 33405-2016《白酒感官品评术语》。实验采用暗酒明评方式, 选择 5 位省级以上专业品评员, 将酒样分为 3 轮随机呈送, 酒杯采用标准白酒品酒杯, 每杯倒酒约 20 mL, 经品评后集体讨论, 给出描述性语言定性评价结果。通过感官定量描述分析方法对产品特征进行品评, 特征定性表达可参考白酒感官特征描述语库, 选择合适词汇描述酒样中的感官特征, 或者选择未涉及的其他特征描述语定性。

1.2.8 酶制剂电泳检测 固体的 E2 进行酶制剂电泳检测, 方法是使用 pH4.6 的醋酸-醋酸钠溶液以 1:10 溶解并稀释酶制剂, 在层析柜中用磁力搅拌器于 4 °C 搅拌 2 h, 最后在 4 °C 以 4000 r/min 离心 10 min, 取上清液过 0.22 μm 微晶纤维素膜备用; 液体的 E1 和 E3 则需用 pH 为 4.6 的醋酸-醋酸钠溶液以 1:10 稀释, 按照处理 E2 的方法处理即可。电泳

的具体方法参见文献[13]。

1.2.9 数据处理 采用 Excel 作图。采用 SPSS V17.0 软件,对实验结果进行统计分析,统计方法采用 ANOVA(方差分析)进行各实验组间的显著性检验。

2 结果与分析

2.1 发酵成熟酒醅残淀粉分析

采用酶法测定实验室及出窖酒醅样品中的淀粉含量,结果分析如图1所示。

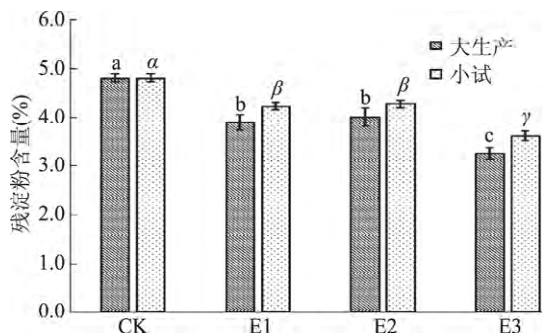


图1 不同生产条件下成熟酒醅的残淀粉含量

Fig.1 Residual starch of pit-out waste lees by different production conditions

注:不同小写拉丁字母和不同小写希腊字母分别代表大生产和小试结果差异显著($p < 0.05$),图2~图5同。

从图1的结果可以看出,E1、E2和E3在生产和实验室条件下出窖酒醅残淀粉与入窖酒醅残淀粉(CK)含量具有显著差异($p < 0.05$),且大生产条件下和实验室模拟的结果是一致的,即残淀粉最低的是E3,大生产时为3.26%,实验室条件为3.62%,其次是E1,大生产时为3.90%,实验室条件为4.24%,残淀粉含量最高的是E2,大生产时为4.01%,实验室条件为4.28%,且残淀粉含量均低于入窖酒醅中残淀粉含量(CK)4.82%。上述结果表明:实验室模型能够预测出不同酶制剂在大生产条件下出窖酒糟残淀粉方面表现的优劣。复合型糖化酶E3在发酵中表现明显优于普通的糖化酶。固体糖化酶在表现上与液体糖化酶无显著差异。实验室条件下标准差比大生产条件低,表明实验室模型的稳定性明显高于大生产条件。

2.2 发酵成熟酒醅酒精含量分析

采用 HPLC 法测定实验室及大生产出窖后酒醅样品中的酒精含量,结果分析如图2所示。

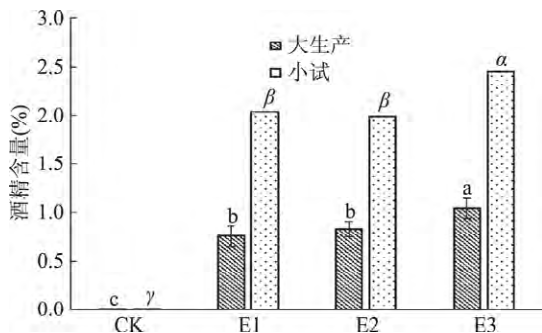


图2 不同生产条件下成熟酒醅的酒精含量

Fig.2 Alcohol yield in pit-out waste lees by different production conditions

从图2的结果可以看出,由于实验室混匀更加充分,因此成熟酒醅的酒精含量也更高,使用E1、E2和E3的小试成熟酒醅中酒精含量分别达到了2.01%、1.99%和2.45%,远高于大生产样品中酒精含量0.76%、0.83%和1.04%,同文献[11]结果相一致。复合糖化酶E3在成熟酒醅酒精含量方面明显高于其他两种糖化酶E1和E2。比较大生产条件与实验室条件下成熟酒醅酒精含量的标准差,得到的结论与残淀粉的表现一致,即实验室模型较大生产具有更高的稳定性。结合成熟酒醅残淀粉和成熟酒醅酒精含量可知复合酶E3相对于E1和E2多分解的残淀粉有一定数量是被微生物转化为酒精,从而提高了成熟酒醅的酒精含量,另外不同条件和酶制剂作用下成熟酒醅的残淀粉和酒精含量的不同也与残淀粉分解转化为酒精的代谢路径相吻合^[11]。

2.3 发酵成熟酒醅残糖含量分析

采用 HPLC 法测定实验室及大生产出窖后酒醅样品中的残糖含量,结果分析如图3所示。

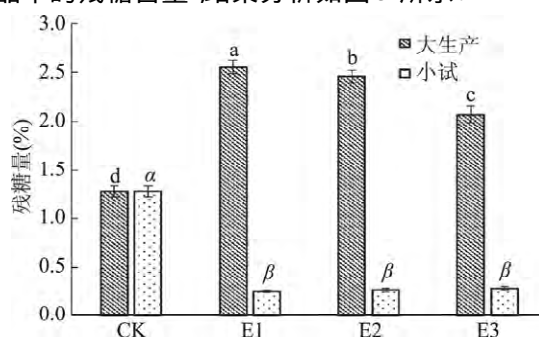


图3 不同生产条件下成熟酒醅的残糖含量

Fig.3 Residual glucose in pit-out waste lees by different production conditions

从图3数据可以看出,对比相同条件下不同酶制剂的结果,大生产条件下E3成熟酒醅残糖含量最低为2.07%,E2与E1残糖含量差异显著($p < 0.05$),分别为2.56%和2.46%,均高于入窖时残糖含量1.28%;在实验室条件下情况有所区别,残糖含量分别为0.25%、0.26%和0.28%,均低于入窖时残糖含量1.28%,但是三种酶制剂成熟酒醅的残糖含量之间无显著性差异;对比不同条件下相同酶制剂的残糖含量可知,大生产条件下的成熟酒醅残糖含量比实验室条件下均高出近10倍,大生产条件下残糖的含量明显偏高的现象表明在大生产条件下能够利用和消耗葡萄糖的微生物特别是酵母菌的数量及其活性是明显不足的,这种不足既来源于酵母的活化工艺不足,也来源于物料的混合均匀度^[3]。

结合本文残淀粉的结论可知,酶制剂的不同虽然使得成熟酒醅残淀粉的含量有所不同,但对这些残淀粉来说即使所有残淀粉的最大差距(E3: 3.71% - 3.26% = 0.45%,转化为葡萄糖的含量应该低于0.5%)均转化为葡萄糖且这些葡萄糖均得以残留在成熟酒醅中也不能造成多达2%的残葡萄糖的差异,证明成熟酒醅中的残葡萄糖含量不可能仅仅受到残淀粉分解量高低的影响,更受到发酵过程中葡萄糖被微生物的分解利用的限制,同时大生产条件下三

种酶制剂的残葡萄糖含量均远高于成熟酒醅残淀粉差异所能造成的残葡萄糖含量差异,进一步证明了这种限制在大生产条件下的普遍性。

结合成熟酒醅酒精含量的分析可知,如果大生产成熟酒醅中的残葡萄糖含量均以最大的转化效率(酵母厌氧呼吸条件下葡萄糖转化为酒精的转化率为51.1%)转化为酒精,则大生产条件下E1、E2和E3可多得的酒分别是1.31%、1.26%、1.06%,加上已经存在的出酒率,理论最高可分别达到2.07%、2.09%、2.10%,与实验室条件下所得的成熟酒醅酒精含量2.04%、1.99%和2.45%较为接近。综上所述,提高成熟酒醅酒精含量的关键仍是设法减少成熟酒醅中的残糖含量。

2.4 发酵成熟酒醅乳酸含量的分析

采用HPLC法测定实验室和大生产入窖后成熟酒醅样品中的乳酸含量,结果分析如图4所示。

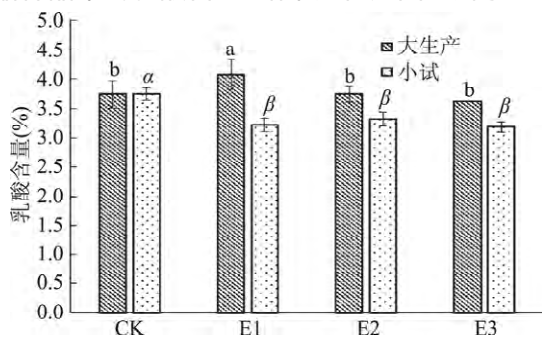


图4 不同生产条件下成熟酒醅的乳酸含量

Fig.4 Lactic acid in pit-out waste lees by different production conditions

从图4结果可以看出,大生产条件下E1、E2和E3成熟酒醅同入窖酒醅乳酸含量存在差异,分别为4.08%、3.74%、3.63%和3.74%,而CK、E2和E3的差异不显著($p > 0.05$);E1乳酸含量最高,与仅次于它的CK存在一定差异。

在实验室条件下E1、E2和E3成熟酒醅乳酸含量差异均不显著($p > 0.05$),同入窖酒醅乳酸含量有差异,分别为3.22%、3.32%、3.19%和3.74%。比较不同条件下相同酶的乳酸积累差距,结果表明在大

生产条件下的乳酸含量均高于实验室条件,证明发酵环境的乳酸菌数量对发酵成熟酒醅中的乳酸积累有着明显的影响。这也可能是大生产条件下葡萄糖积累的原因之一,乳酸含量的增加抑制了部分微生物,尤其是产乙醇的酵母的活性,造成其发酵变弱,类似的结果在文献[14-15]中也有报道。

2.5 发酵成熟酒醅醋酸含量的分析

采用HPLC法测定大生产和实验室入窖后酒醅样品中的醋酸含量,结果分析如图5所示。

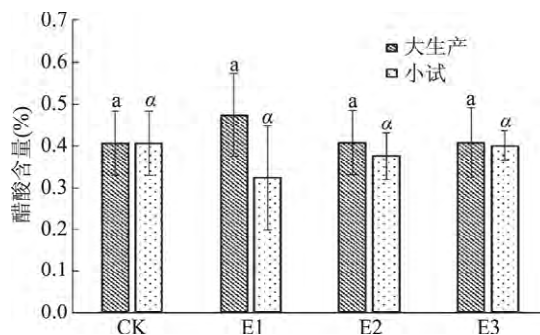


图5 不同生产条件下成熟酒醅的醋酸含量

Fig.5 Acetic acid in pit-out waste lees by different production conditions

如图5所示,大生产和实验室条件下E1、E2和E3成熟酒醅醋酸含量及入窖酒醅醋酸含量均无显著差异($p > 0.05$),大生产分别为0.47%、0.41%、0.41%和0.41%,小试分别为0.32%、0.38%、0.40%和0.41%。比较不同条件下相同酶制剂的成熟酒醅醋酸含量,结果显示醋酸含量无统计学差异($p > 0.05$),证明发酵环境的醋酸菌数量及发酵过程中醋酸的积累无影响,远不如乳酸菌的影响明显,与文献[16]的结论相吻合。

2.6 大生产发酵原酒检测

如表1所示,根据GC-MS结果,将大生产条件下酯类物质、醇类物质和酸类物质的比例同标准的芝麻香型白酒酯类物质(乙酸乙酯、己酸乙酯、乳酸乙酯和丁酸乙酯的比例为1:0.9:0.3:0.1)、醇类物质(正丙醇、异戊醇、异丁醇和正丁醇的比例为1:0.7:0.3:0.2)和酸类物质(乙酸、乳酸、己酸和丁酸的比例

表1 大生产实验原酒的气质联用检测结果(mg/L)

Table 1 GC-MS results of original liquor of distillery experiments(mg/L)

酶制剂	乙酸乙酯	己酸乙酯	乳酸乙酯	丁酸乙酯	比例
E1	110.0	55.9	468.5	6.0	1:0.51:4.26:0.05
E2	108.2	96.0	484.7	12.4	1:0.89:4.48:0.11
E3	154.0	96.5	452.4	15.3	1:0.63:2.94:0.10
	正丙醇	异戊醇	异丁醇	正丁醇	
E1	123.4	64.3	15.2	41.5	1:0.52:0.12:0.34
E2	100.1	84.1	42.7	29.2	1:0.84:0.43:0.29
E3	78.5	62.2	10.9	28.6	1:0.79:0.14:0.36
	乙酸	乳酸	己酸	丁酸	
E1	647.6	834.1	167.5	111.8	1:1.29:0.26:0.17
E2	654.3	421.9	266.3	131.0	1:0.64:0.41:0.20
E3	825.8	574.6	263.2	136.6	1:0.70:0.32:0.17

为 1:0.4:0.2:0.1) 合理比例^[17] 进行比较可知: 酯类物质 E2 最接近于合理比例, 其次是 E3, 最后是 E1; 醇类和酸类物质 E2 与 E3 较好, E1 较差。

在原酒口感上, 经过专业品酒师感官评价得出结论: E1 香气带有淡淡的泥香, 酒体清雅淡爽, 后尾味短淡, 风格与芝麻香型丢糟酒相比有所改变; E2 香气带有愉快的焦香, 味醇甜爽口, 后味焦味较好; E3 香气带有愉快的焦香, 味醇甜爽口, 后味焦味较好, 尾比 E2 稍淡。结合发酵成熟酒醅酒精含量分析的结果可知 E3 生产原酒比 E2 味道清淡的原因应该是发酵过程中成熟酒醅中酒精含量明显高于 E2, 高出约 25% 稀释了成熟酒醅中的香气物质所致。

2.7 酶制剂电泳检测

如图 6 所示, 对 E1、E2 和 E3 进行电泳检测, 发现 E1 条带最为简单, E3 最复杂, 明显有多出的条带, E2 则与 E1 类似。结合发酵的结果, 可以推测 E3 中多出的条带可能对丢糟中残淀粉的高效利用有促进作用, 但需进一步的研究。

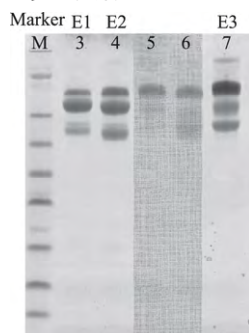


图 6 酶制剂电泳检测结果

Fig.6 Electrophoresis result of enzyme

3 结论与讨论

通过三种糖化酶(液体糖化酶 E1, 固体糖化酶 E2, 液体复合糖化酶 E3) 在大生产条件和实验室模型中应用, 对比了入窖酒醅同两种条件下成熟酒醅的残淀粉量、酒精含量、残糖含量以及乳酸和醋酸含量, 并对酒醅进行了色谱分析和感官分析。E3 残淀粉含量最低; E1、E2 和 E3 的小试成熟酒醅中酒精含量远高于大生产, E3 在成熟酒醅酒精含量方面明显高于其他两种糖化酶; 大生产条件和实验室模型 E3 成熟酒醅残糖含量最低, 优于 E1 同 E2, 均低于入窖时残糖含量; 大生产和实验室条件下 E1、E2 和 E3 成熟酒醅乳酸含量及入窖酒醅乳酸含量差异不大 ($p < 0.05$); 大生产和实验室条件下 E1、E2 和 E3 成熟酒醅醋酸含量及入窖酒醅醋酸含量均无显著性差异 ($p < 0.05$); 酯类物质含量 E2 最接近于合理比例, 其次是 E3, 最后是 E1; 醇类和酸类物质 E2 与 E3 较好, E1 较差。对三种酶进行电泳分析可以得出 E3 多出的条带可能与 E3 对丢糟中残淀粉的高效利用有关。综合分析, 液体复合糖化酶 E3 效果最好, 优于固体糖化酶 E2 和液体糖化酶 E1。

芝麻香型丢糟酒实验室生产模型可以预测实际工厂生产过程中成熟酒醅的残淀粉、出酒率、残葡萄糖等关键指标, 为筛选合适的发酵剂提供方便; 在实际工

厂的生产中物料的混匀度对成熟酒醅中出酒率、残淀粉有着显著影响, 同时微生物的活性特别是酵母的活化效果对成熟酒醅出酒率及残葡萄糖含量有着更显著影响; 复合酶制剂对丢糟酒出酒率和口感均存在显著影响, 确定复合酶制剂中对丢糟酒生产有利的酶分子对提高丢糟酒产量和质量有着一定的科研和应用价值。

参考文献

- [1] Wang L, Wang Q, Cai W, et al. Influence of mixing proportion on the solid-state anaerobic co-digestion of distiller's grains and food waste [J]. Biosystems Engineering 2012, 112(2): 130-137.
- [2] 沈小娟, 何新新, 王毅斌, 等. 碱前处理白酒丢糟生物转化苏云金芽胞杆菌培养基 [J]. 生物技术进展, 2016, 6(5): 357-360.
- [3] 王祥余, 刘杰, 田小敏, 等. 浓香型白酒丢糟酒生产的实验室模型建立 [J]. 食品研究与开发, 2016, 37(16): 96-99.
- [4] 赵东瑞, 张丽末, 张锋国, 等. 固相微萃取-液液萃取结合气相色谱-质谱法分析芝麻香型白酒中的含硫化合物 [J]. 食品科学, 2016, 37(22): 99-106.
- [5] 车明秀, 胡明燕, 王骏, 等. 芝麻香型白酒风味物质主体成分研究进展 [J]. 酿酒科技, 2016(11): 97-99.
- [6] 曹广勇, 赵章报, 赵雷光, 等. 再议芝麻香型白酒 [J]. 酿酒科技, 2013(11): 50-52.
- [7] 张崇军, 周文, 唐贤华. 川法小曲白酒质量提升过程中酶工程技术的运用研究 [J]. 现代食品, 2016, 4(18): 94-95.
- [8] 唐取来, 李晶晶, 李玲玲, 等. 新型液态发酵生产米香型白酒的研究 (I) ——酶制剂在液态发酵米香型白酒中的应用 [J]. 酿酒科技, 2015, 9(9): 8-11.
- [9] 孙金旭. 糖化酶用量对酱香型白酒杂油醇的影响研究 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 73-76.
- [10] 李季鹏. 淀粉酶、蛋白酶在芝麻香型白酒中的应用 [D]. 济南: 济南大学, 2013: 47-58.
- [11] 宗绪岩, 王祥余, 刁冲. 芝麻香型丢糟酒实验室生产模型建立 [J]. 中国酿造, 2017, 36(3): 71-74.
- [12] Wang X, Fan W, Xu Y. Comparison on aroma compounds in Chinese soy sauce and strong aroma type liquors by gas chromatography-olfactometry, chemical quantitative and odor activity values analysis [J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(5): 813-825.
- [13] Wang X, Hwang S, Cong W, et al. Advanced negative detection method comparable to silver stain for SDS-PAGE separated proteins detection [J]. Analytical Biochemistry, 2016, 510: 21-25.
- [14] 梁欣泉, 李宁, 任勤, 等. 代谢工程改造酿酒酵母生产 L-乳酸的研究进展 [J]. 中国生物工程杂志, 2016, 36(2): 109-114.
- [15] Tristezza M, Feo L, Tufariello M, et al. Simultaneous inoculation of yeasts and lactic acid bacteria: Effects on fermentation dynamics and chemical composition of Negroamaro wine [J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 66: 406-412.
- [16] Su J, Wang T, Wang Y, et al. The use of lactic acid-producing malic acid-producing, or malic acid-degrading yeast strains for acidity adjustment in the wine industry [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(6): 2395-2413.
- [17] 吕磊. 芝麻香型白酒关键微生物产香分析研究 [D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014: 6-11.