

挤压大米啤酒辅料糖化工艺参数对糖化过程的影响^{*}

左 锋¹ 申德超² 钱丽丽¹ 吴 艳¹

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 大庆 163319; 2. 山东理工大学农业工程与食品学院, 淄博 255049)

【摘要】 为了合理确定挤压蒸煮大米啤酒辅料的糖化工艺参数,采用二次正交旋转组合试验,研究挤压蒸煮大米糖化工艺参数对麦汁主要考察指标的影响规律。研究表明,当65℃糖化时间为60 min,71℃糖化时间为15 min, α -淀粉酶添加量为2.1 mL时,糖化麦汁的浸出物收得率可达76.25%,麦汁的碘值降至0.15,辅料中的淀粉残留率降至0.52%。另外,麦汁各项指标的检测结果表明,挤压膨化大米作啤酒辅料的糖化工艺是可行的。

关键词: 挤压 大米 啤酒辅料 糖化 试验

中图分类号: TS262.5; TS261.4⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)02-0144-05

Effect of Saccharification Technology Parameters on Saccharifying for Extrusion Rice Used as Beer Adjunct

Zuo Feng¹ Shen Dechao² Qian Lili¹ Wu Yan¹

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China

2. College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract

For reasonably determining the parameters of saccharification technology for extrusion cooked rice used as beer adjunct, influence regularity of the parameters of saccharification technology was studied through experiments. These parameters included saccharification time of 65℃, saccharification time of 71℃, the add content of thermostable α -amylase. The indexes included the recoverable ratio of wort extract, the iodine value of mash and the ratio of starch residues in adjunct. The research results indicated the recoverable ratio of wort extract for extruded rice was 76.25%, the iodine value of mash was 0.15, the ratio of starch residues in adjunct was 0.52%, when the saccharification time of 65℃ was 60 min, the saccharification time of 71℃ was 15 min, the add content of thermostable α -amylase was 2.1 mL. In addition, it was proved that the extruded rice could be used as beer adjunct with the chemical analysis of mash.

Key words Extrusion, Rice, Beer adjunct, Saccharification, Experiment

引言

在啤酒生产中应用挤压膨化技术比传统啤酒生产工艺具有很大的优越性:提高啤酒麦汁收得率,增加出酒率;减少酶的用量,提高辅料用量;膨化后物料有利于酵母发酵,缩短发酵周期;省去蒸煮或糊化工序,提高了生产效率和节约成本^[1~4]。

因此,挤压技术是现代啤酒酿造主要研究方向之一。

国内外研究表明:挤压蒸煮大米啤酒辅料对应的醪液难于糖化,容易在糖化结束仍然存在碘检变色问题,即挤压大米在糖化过程中淀粉分解不完全^[5~8],是阻碍挤压技术应用于啤酒工业化生产主要原因。近年来,经实验室和生产试验研究均表明,

收稿日期:2010-04-11 修回日期:2010-05-27

^{*} 国家火炬计划资助项目(2004EB020042)

作者简介: 左锋,讲师,主要从事农产品、食品加工研究,E-mail: zuofeng-518@126.com

通讯作者: 申德超,教授,博士生导师,主要从事农产品、食品加工研究,E-mail: shendc@126.com

只要控制好糖化工艺条件,发挥麦芽中的 α -淀粉酶、 β -淀粉酶和添加的耐高温 α -淀粉酶的作用,能够使醪液中经挤压蒸煮而充分糊化的大米淀粉顺利完成液化过程。所以,挤压蒸煮啤酒辅料对应的醪液难于糖化的问题完全可以解决^[9]。

本试验以挤压蒸煮大米为试验原料,通过二次正交旋转组合试验方法,研究挤压蒸煮大米啤酒辅料糖化工艺参数对其糖化过程的影响,以便为该项技术的产业化应用奠定理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 主要设备与材料

单螺杆挤压机:自行研制,生产率为 100 ~ 150 kg/h,螺杆转速为 0 ~ 1 200 r/min,套筒温度为 0 ~ 300℃ 连续可调。

大米:购于山东淄博潘成粮油市场,原料主要成分(质量分数):水分 11.2%,蛋白质 7.2%,碳水化合物 77.8%。挤压蒸煮大米:按文献[4]和文献[7]的挤压蒸煮啤酒辅料的方法,加工制成。大麦芽:澳大利亚麦芽(烟台麦芽厂生产),法国麦芽(燕京啤酒厂提供)。液态耐高温 α -淀粉酶:NOVO 公司生产,活力 20 000 U/mL。

1.2 试验方法

1.2.1 分析方法

麦汁的浸出物收得率按文献[10]的有关方法进行测定。麦汁的碘值按文献[11]的有关方法进行测定。滤渣中的淀粉含量按 GB/T 16287—1996 的有关方法进行测定。大米含水率按 GB/T 5497—85 标准方法进行测定。蛋白含量按 GB/T 6432—94 标准方法进行测定。还原糖含量按康·爱农法测定。 α -氨基氮按茚三酮法测定。色度按 EBC 法测定。总酸按电位滴定法测定。TBA 按分光光度计法测定。

1.2.2 辅料中淀粉残留率

辅料中淀粉残留率计算公式为

$$Y_3 = \frac{m_1w_1 - m_2w_2}{m_3w_3} \times 100\%$$

式中 m_1 ——试验滤渣干质量,g
 w_1 ——试验滤渣中的淀粉质量分数,%
 m_2 ——空白试验滤渣干质量,g
 w_2 ——空白试验滤渣淀粉质量分数,%
 m_3 ——辅料的干质量,g
 w_3 ——辅料中的淀粉质量分数,%

1.3 糖化工艺流程

挤压蒸煮大米辅料的单醪糖化工艺^[1-3,12]为:麦芽粉碎物 163 g、挤压大米粉碎物 70 g 和水 932 mL,水温 38℃ 投料,添加适量的耐高温 α -淀粉

酶。此混合物 38℃ 保温并搅拌 15 min;再升温至 48℃,保温并搅拌 60 min;升温至 65℃,保温并搅拌 65 min。再升温至 71℃,保温并搅拌 10 min;最后升温至 78℃,将麦汁醪液过滤。

普通大米辅料的传统糖化工艺^[10,13-15]为:普通大米粉碎物 70 g 和水 315 mL,水温 60℃ 投料,添加适量的耐高温 α -淀粉酶。此糊化醪液 60℃ 保温并搅拌 10 min;加热至 90℃,保温并搅拌 20 min;再升温至 100℃,保温并搅拌。同时,取麦芽 163 g 和水 617 mL,水温 38℃ 投料,此糖化醪液保温并搅拌 15 min;然后,取体积约 1/3 升温至 100℃ 并保温 10 min糊化醪液与糖化醪液混合,使混合醪液升温至 48℃,保温并搅拌 60 min;再将剩余糊化醪液与之混合,并使合醪醪液温度达到 65℃,保温并搅拌 65 min;再升温至 71℃,保温并搅拌 10 min;最后升温至 78℃,将麦汁醪液过滤。

空白试验:进行每次试验同时,分别取等量的麦芽粉碎物,然后按照相同的糖化工艺进行糖化,糖化结束将麦汁醪液过滤,得滤渣。

1.4 试验设计

研究发现,对于挤压蒸煮大米啤酒辅料,造成碘检不通过、淀粉分解不完全的主要原因在于没有充分发挥麦芽中的 α -淀粉酶及添加耐高温 α -淀粉酶的作用,即醪液没有 在 α -淀粉酶最适温度 71℃,停留适当的时间间隔,不能使经挤压蒸煮而糊化的大米淀粉,进一步液化,充分降解成低聚糖、无色糊精,完成液化过程^[16-18]。另外,在糖化过程中还需充分发挥 β -淀粉酶的作用。因此确定试验因素为:65℃ 液化时间 X_1 、71℃ 液化时间 X_2 和 α -淀粉酶添加量 X_3 ,采用二次正交旋转组合设计进行试验研究,考察指标的测试结果均为至少 2 次重复试验的均值^[19],因素水平安排如表 1 所示。

表 1 因素水平编码

Tab.1 Factors and levels of experiment

水平	因素		
	X_1/min	X_2/min	X_3/mL
-1.682	40	5	0.91
-1	48	9	1.40
0	60	15	2.10
1	72	21	2.80
1.682	80	25	3.29

由于实际生产中耐高温淀粉酶用量为每吨辅料加 0.3 L,在试验过程中,先将淀粉酶稀释 100 倍后,按辅料量 70 g 计算加酶量作为零水平。

2 结果分析

2.1 试验安排与试验结果

试验安排及结果如表 2 所示。用 REDA 软件处理表 2 中试验数据。设 x_1 、 x_2 、 x_3 分别为 X_1 、 X_2 和 X_3 相应的编码值,各试验因素对诸考查指标影响规律的回归方程为

$$Y_1 = 76.700 + 0.570x_1 + 0.419x_2 + 0.061x_3 - 0.312x_1^2 + 0.025x_1x_2 + 0.032x_1x_3 - 0.364x_2^2 - 0.003x_2x_3 + 0.197x_3^2 \quad (\alpha = 0.05) \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.153 - 0.018x_1 - 0.045x_2 - 0.006x_3 + 0.070x_1^2 + 0.019x_1x_2 + 0.001x_1x_3 + 0.020x_2^2 + 0.009x_2x_3 + 0.007x_3^2 \quad (\alpha = 0.05) \quad (2)$$

$$Y_3 = 0.52 - 0.05x_1 - 0.07x_2 - 0.02x_3 - 0.01x_2^2 \quad (\alpha = 0.05) \quad (3)$$

通过 REDA 软件分别优化回归方程(1) ~ (3),

表 2 糖化工艺参数对考察指标影响的试验安排及结果
Tab.2 Arrangement and results of experiment for the influence of parameters of saccharification technology on observed indexes

试验 序号	x_1	x_2	x_3	浸出物 收得率 $Y_1/\%$	碘值 Y_2	辅料中 淀粉残留 率 $Y_3/\%$
1	1	1	1	77.18	0.14	0.35
2	1	1	-1	76.83	0.14	0.43
3	1	-1	1	76.29	0.19	0.49
4	1	-1	-1	76.19	0.21	0.54
5	-1	1	1	75.70	0.16	0.46
6	-1	1	-1	75.74	0.15	0.52
7	-1	-1	1	75.17	0.27	0.60
8	-1	-1	-1	74.94	0.31	0.65
9	1.682	0	0	76.96	0.15	0.40
10	-1.682	0	0	75.28	0.17	0.56
11	0	1.682	0	76.82	0.13	0.34
12	0	-1.682	0	75.12	0.26	0.61
13	0	0	1.682	77.61	0.15	0.47
14	0	0	-1.682	77.51	0.17	0.53
15	0	0	0	76.38	0.15	0.51
16	0	0	0	77.04	0.18	0.49
17	0	0	0	76.31	0.14	0.50
18	0	0	0	76.99	0.17	0.49
19	0	0	0	76.38	0.14	0.52
20	0	0	0	77.24	0.16	0.48
21	0	0	0	77.03	0.14	0.58
22	0	0	0	76.84	0.15	0.54
23	0	0	0	75.99	0.15	0.56

x_1 为 1.02, x_2 为 0.60, x_3 为 1.682 时 Y_1 为 77.80%;
 x_1 为 -0.90, x_2 为 1.682, x_3 为 -0.52 时 Y_2 为 0.12%;
 x_1 为 1.682, x_2 为 1.682, x_3 为 1.682 时 Y_3 为 0.19%。
糖化过程中各因素对考察指标的因子贡献率如表 3 所示。

表 3 挤压大米啤酒辅料糖化工艺主要参数的因子贡献率
Tab.3 Factor contribution ratio of main parameters of saccharification technology for extrusion cooking rice used as beer adjunct

考察指标	X_1	X_2	X_3
浸出物收得率	1.828	1.824	0.679
碘值	1.857	2.524	0.917
辅料中淀粉残留率	1.260	1.480	0.890

各单因素对诸考察指标影响的分析如下:

对于回归方程(1):

$x_2 = 0.60, x_3 = 1.682$ 时

$$Y_1 = f(x_1) = -0.312x_1^2 + 0.637x_1 + 77.475$$

$x_1 = 1.02, x_3 = 1.682$ 时

$$Y_1 = f(x_2) = -0.364x_2^2 + 0.440x_2 + 77.667$$

$x_1 = 1.02, x_2 = 0.60$ 时

$$Y_1 = f(x_3) = 0.197x_3^2 + 0.092x_3 + 77.091$$

由表 3 可见,对于麦汁的浸出物收得率,65℃糖化时间和 71℃糖化时间对其影响比较重要,而耐高温 α-淀粉酶添加量的影响较小。从优化值下各参数的降维分析可知:其他参数在最优水平时,麦汁的浸出物收得率 Y_1 随 65℃糖化时间 x_1 的延长先增多后减小,但是减少幅度不明显,当 x_1 取 1.02 水平时, Y_1 最大;麦汁的浸出物收得率 Y_1 随 71℃糖化时间 x_2 的延长先增多后缓慢减少,主要由于在此温度下随时间延长酶的活力会逐渐丧失,影响了麦汁的收得率,当 x_2 在 0.60 水平时, Y_1 最大;麦汁的浸出物收得率 Y_1 随耐高温 α-淀粉酶添加量 x_3 增加先减小后增大,在 x_3 取 1.682 水平时, Y_1 最大,但是 α-淀粉酶添加量 x_3 对麦汁的浸出物收得率总体影响不大,主要由于在糖化过程中麦芽中包含的酶对淀粉分解起着主要作用。

对于回归方程(2):

$x_2 = 1.682, x_3 = -0.52$ 时

$$Y_2 = f(x_1) = 0.0070x_1^2 + 0.0130x_1 + 0.0131$$

$x_1 = -0.90, x_3 = -0.52$ 时

$$Y_2 = f(x_2) = 0.0200x_2^2 - 0.0660x_2 + 0.1805$$

$x_1 = -0.90, x_2 = 1.682$ 时

$$Y_2 = f(x_3) = 0.0070x_3^2 + 0.0075x_3 + 0.1268$$

由表 3 可见,对于麦汁的碘值,71℃糖化时间对

其影响最重要,65℃糖化时间影响次之,α-淀粉酶添加量的影响最小。从优化值下各参数的降维分析可知:其他参数在最优水平时,麦汁的碘值 Y_2 随 65℃糖化时间 x_1 先减小后增加,在 x_1 取 -0.90 水平时, Y_2 最低,即此时麦汁中的可溶性淀粉和低聚糊精含量最少;其他参数在最优水平时,麦汁的碘值 Y_2 随 71℃糖化时间 x_2 的延长逐渐减小,这主要由于 α-淀粉酶在 71℃时发挥了较好的作用,此时 α-淀粉酶迅速作用于淀粉分子,将其降解成无色糊精,从而使麦汁的碘值下降,当 x_2 在 1.682 水平时, Y_2 最低;其他参数在最优水平时,α-淀粉酶添加量 x_3 对麦汁的碘值 Y_2 影响较小。

对于回归方程(3):
$$x_2 = 1.682, x_3 = 1.682 \text{ 时}$$
$$Y_3 = f(x_1) = -0.050\,0x_1 + 0.340\,3$$
$$x_1 = 1.682, x_3 = 1.682 \text{ 时}$$
$$Y_3 = f(x_2) = -0.010\,0x_2^2 - 0.070\,0x_2 + 0.402\,3$$
$$x_1 = 1.682, x_2 = 1.682 \text{ 时}$$
$$Y_3 = f(x_3) = -0.020\,0x_3 + 0.290\,2$$

由表 3 可见,对于辅料中淀粉残留率,71℃糖化时间对其影响最重要,65℃糖化时间影响次之,α-淀粉酶添加量的影响最小。从优化值下各参数的降维分析可知:其他参数在最优水平时,辅料中淀粉残留率 Y_3 随 65℃糖化时间 x_1 的延长而减小,这是由于 65℃是 β-淀粉酶最佳作用温度,可以使淀粉水解成为麦芽糖和界限糊精,在 x_1 取 1.682 水平时, Y_3 最小;辅料中淀粉残留率 Y_3 随 71℃糖化时间 x_2 的延长逐渐减小,这主要是由于随 71℃糖化时间的延长,辅料中的淀粉被 α-淀粉酶的作用逐渐降解低聚糊精及少量的麦芽糖, x_2 在取 1.682 水平时, Y_3 达到最小值;滤渣中淀粉含量 Y_3 随 α-淀粉酶添加量 x_3 增加逐渐减少,在 x_3 取 1.682 水平时, Y_3 最小,但总体变化幅度不大。

由以上分析结果可知:当 65℃糖化温度 X_1 , 71℃糖化时间 X_2 , α-淀粉酶添加量 X_3 分别取零水平时,麦汁的浸出物收得率较高、麦汁碘值较低,辅料中淀粉残留率较低,即挤压大米的淀粉分解完全。

2.2 验证与对比试验

取较优糖化工艺参数,即 65℃糖化时间为 60 min,71℃糖化时间为 15 min,耐高温 α-淀粉酶添加量为 2.1 mL 时,利用挤压蒸煮大米辅料,进行糖化试验,得 $Y_1 = 76.25\%$, $Y_2 = 0.15$, $Y_3 = 0.52\%$ 。同时按照传统工艺使用普通大米作辅料,进行对照试验,得 $Y_1 = 72.28\%$, $Y_2 = 0.27$, $Y_3 = 0.68\%$ 。

挤压蒸煮大米辅料的糖化结果与普通大米辅料的糖化结果相比,对应的麦汁浸出物收得率,前者比

后者提高了 3.97 百分点;对应的麦汁碘值,前者仅为后者的 55.56%,而辅料中的淀粉残留率前者只为后者的 76.47%。因此,在较优糖化工艺下经挤压蒸煮大米啤酒辅料中的淀粉,淀粉的降解程度明显优于传统糖化工艺的普通大米啤酒辅料。

2.3 麦汁成分分析

较优糖化工艺条件下使用挤压蒸煮大米辅料制得麦汁与传统糖化工艺使用普通大米辅料制得麦汁的成分分析结果如表 4 所示。

表 4 麦汁成分分析结果
Tab.4 Analysis results of wort

参数	挤压膨化大米 辅料的麦汁	未挤压膨化大米 辅料的麦汁
麦芽糖/ $\text{g} \cdot (100\text{ mL})^{-1}$	9.47	8.70
浓度/ $(^\circ\text{P})$	11.047	10.892
色度(碘法)	0.44	0.44
pH 值	5.41	5.21
糖与非糖比	1:0.23	1:0.28
总酸/ $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	1.00	0.90
α-氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	186	183
浊度(EBC)	1.48	1.47
TBA	0.213	0.225

由表 4 可知,优化条件下使用挤压膨化大米辅料制得麦汁与传统糖化工艺使用普通大米辅料制得麦汁相比,对于麦汁的麦芽糖含量及糖与非糖比,前者均高于后者,说明在糖化过程中形成适当可发酵糖;对于 TBA 值,前者低于后者,可能是由于挤压大米辅料省去了传统大米辅料的蒸煮工艺,降低了糖化过程中的热负荷,减少了麦汁中还原物质的氧化,对成品啤酒的风味是有利的;麦汁其他指标的分析结果接近。因此,在较优的糖化工艺条件下使用挤压膨化大米辅料生产的麦汁符合啤酒生产要求。

3 结论

(1)只要糖化工艺主要参数选择合适,挤压蒸煮大米可以作啤酒辅料,并且挤压大米辅料中的淀粉可以在糖化过程中降解较彻底,淀粉的利用率较高。

(2)挤压蒸煮大米作啤酒辅料糖化工艺的较优参数为 65℃糖化时间 60 min,71℃糖化时间 15 min, α-淀粉酶添加量为 2.1 mL,在较优参数下,糖化麦汁的浸出物收得率可达 76.25%,碘值降低到 0.15,挤压大米辅料中的淀粉残留率只有 0.52%。

(3)在较优糖化参数通过挤压大米辅料制得的麦汁中的成分符合啤酒生产的要求。

参 考 文 献

- 1 申德超,孟阳. 挤压膨化大米做啤酒辅料的试验研究[J]. 农业工程学报,2002,18(1):132~134.
Shen Dechao, Meng Yang. Experimental study on extruded rice used as beer adjunct[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(1): 132~134. (in Chinese)
- 2 申德超,侯旭杰,李宏军,等. 膨化大米辅料酿造啤酒的中试生产研究[J]. 农业工程学报,2004,20(4):212~215.
Shen Dechao, Hou Xujie, Li Hongjun, et al. Intermediate productive test study on extruded rice adjunct for brewing beer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(4): 212~215. (in Chinese)
- 3 申德超. 膨化啤酒辅料酿造啤酒的试验研究[J]. 农业工程学报,2002,18(2):123~126.
Shen Dechao. Test study on extruded beer adjunct for brewing beer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(2): 123~126. (in Chinese)
- 4 毕德成,刘秀河. 挤压加工技术在高辅料啤酒生产在中应用[J]. 广州食品工业科技,1999,12(4):8~9,30.
- 5 Frame N D. The technology of extrusion cooking[M]. Greate Britain: St. Edimundsbury Press Ltd. ,1994:237~250.
- 6 Briggs D E, Wadeson A. The use of extruded barley, wheat and maize as adjuncts in mashing[J]. Journal of the Institute of Brewing, 1986, 92(4): 468~474.
- 7 Dale C J, Young T W, Makinde A. Extruded sorghum as a brewing raw material[J]. Journal of the Institute of Brewing, 1989, 95(5): 157~167.
- 8 Delcour J A, Hennebert M E, Vancraenenbroeck R. Unmalted cereal products for beer brewing. part I the use of high percentages of regular corn starch and sorghum[J]. Journal of the Institute of Brewing, 1989, 95(3): 271~276.
- 9 申德超,左峰,段提勇,等. 挤压蒸煮大米啤酒辅料的糖化过程分析[J]. 农业工程学报,2007,23(1):242~245.
Shen Dechao, Zuo Feng, Duan Ti Yong, et al. Analys is of saccharifying mash of extrusion cooked rice as beer adjunct[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(1): 242~245. (in Chinese)
- 10 顾国贤. 酿造酒工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001:14~22.
- 11 张祖莲. 浅谈糖化生产控制与麦汁碘值的关系[J]. 啤酒科技,2005(12):36~37.
- 12 申德超. 挤压膨化啤酒辅料的加工方法、加工装置和糖化方法:中国,00122033.0[P]. 2000-08-03.
- 13 周广田,聂聪,崔云前,等. 啤酒酿造技术[M]. 济南:山东大学出版社,2004:147~156.
- 14 [德]Wolfgang Kunze. 啤酒工艺实用技术[M]. 湖北啤酒学校翻译组,译. 北京:中国轻工业出版社,1998:240~276.
- 15 管敦仪. 啤酒工业手册:上册[M]. 北京:轻工业出版社,1986:318~327.
- 16 沈同,王镜岩. 生物化学:上册[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,1993:32.
- 17 无锡轻工大学,天津轻工学院. 食品分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,2002:182~192.
- 18 姜锡瑞,段纲. 酶制剂实用手册[M]. 北京:中国轻工业出版社,2003:21~25.
- 19 徐中儒. 农业试验最优回归设计[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1988:359~368.
- 20 申德超,王国庆,马成业. 低温挤压加酶大米作啤酒辅料的糖化试验[J]. 农业机械学报,2010,41(10):152~158.
Shen Dechao, Wang Guoqing, Ma Chengye. Saccharification experiments of extruded at low temperature rice beer adjunct with enzyme preparation added[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 152~158. (in Chinese)