

挤压蒸煮大麦作啤酒辅料的糖化试验研究^{*}

申德超 李 杨 吴 勃

【摘要】 采用二次正交旋转组合试验方法,研究了作啤酒辅料的大麦挤压蒸煮系统的模孔孔径、套筒温度、大麦含水率、螺杆转速和模板内表面至螺杆末端端面的距离,对醪液的主要考察指标——麦汁的过滤速度、碘值、浸出物收得率的影响规律。研究表明,挤压蒸煮大麦可以作啤酒辅料,且麦汁浸出物收得率为72.04%,高于传统不挤压大麦辅料的麦汁浸出物收得率。

关键词: 大麦 挤压 啤酒 辅料 糖化

中图分类号: TS262.5; TS261.4

文献标识码: A

Study on Saccharification Experiment for Extrusion Cooked Barley Used as Beer Adjunct

Shen Dechao^{1,2} Li Yang² Wu Bo¹

(1. Shandong University of Technology 2. Northeast Agricultural University)

Abstract

In this paper the influence regularity of the main parameters of the extrusion cooking system of barley used as beer adjunct on indexes observed was studied by experiments at the laboratory. These parameters are diameter of nozzle, barrel temperature, moisture content percentage of barley, screw speed and the distance from the internal surface of die plate to the end surface of the end of screw. The indexes include the filtration speed, the recoverable ratio of wort extract and iodine value of wort. The research results indicate the extruded barley may be used as beer adjunct. Meanwhile the recoverable ratio of wort extract for extruded barley is higher than that for the traditional non-extruded barley.

Key words Barley, Extrusion, Beer, Adjunct, Saccharification

引言

试验研究表明,挤压蒸煮大米啤酒辅料比传统煮沸大米辅料的麦汁浸出物收得率多1.3%~3%,即多出酒1.3%~3%,成品啤酒达到国家规定的质量标准^[1~4]。该技术与目前普遍采用的双醪糖化法^[5](包括外加酶糖化法)相比,使麦芽粉粒、挤压蒸煮啤酒辅料粉粒和水同时投入糖化锅进行糖化,即挤压蒸煮啤酒辅料的单醪糖化法,省去目前传统啤

酒辅料双醪糖化法的大米辅料蒸煮糊化工序和设备。

大米的成本高于大麦,两者化学成分接近,此外大麦的基本组成与大麦芽相同,用大麦作辅料生产的麦汁成分与全麦芽麦汁成分相仿,两者的啤酒口感相差不多^[5~7]。采用挤压蒸煮大麦代替挤压蒸煮大米作啤酒辅料,关键是挤压蒸煮啤酒辅料的糖化过程能否顺利进行。为此,本文进行挤压蒸煮大麦作啤酒辅料的糖化过程的试验研究。

收稿日期:2006-10-23

^{*} 山东理工大学基金项目(项目编号:2004KJZ05)、国家级火炬计划项目(项目编号:2004EB020042)、农业科技成果转化资金资助项目(项目编号:05EFN21370051)和山东理工大学创新研究团队支持计划资助项目(项目编号:CX0601)

申德超 山东理工大学轻工与农业工程学院 教授 博士生导师(东北农业大学),255049 淄博市

李 杨 东北农业大学工程学院 硕士生,150030 哈尔滨市

吴 勃 山东理工大学轻工与农业工程学院 本科生

1 试验

1.1 设备与材料

1.1.1 设备

挤压设备为自制的单螺杆挤压膨化机,生产率为 50 kg/h,它由组合套筒和螺杆组成,如图 1 所示。螺杆转速为 0~1 200 r/min 无级可调,套筒温度为 0~300 °C 连续可调,配有温度数显仪表闭环自控系统,挤压机模卡孔孔径有级可调。

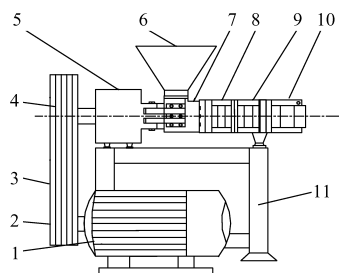


图 1 单螺杆啤酒辅料挤压蒸煮设备结构简图

Fig. 1 Single extruder for extrusion cooking of beer adjunct

1. 电动机 2. 小带轮 3. 传动带 4. 大带轮 5. 轴承座 6. 喂料斗 7. 第 1 节套筒 8. 第 2 节套筒 9. 第 3 节套筒 10. 第 4 节套筒 11. 机架

1.1.2 材料

大麦品种为澳大利亚斯库娜(烟台麦芽厂购买),粉碎后其平均粒径 $d=0.55$ mm,其含水率 $W=9.5\%$ 。

麦芽为澳大利亚麦芽(烟台麦芽厂生产)。

耐高温 α -淀粉酶(泰安华星生物技术有限公司生产)。

1.2 分析方法

麦汁的过滤速度测定:醪液糖化结束后即过滤,记录过滤前 100 mL 醪液所需的时间,然后换算成单位时间内过滤的醪液体积。使用器皿:直径 95 mm 玻璃漏斗,200~500 mL 量筒,普通滤纸。

麦汁的浸出物收得率:按文献[5]的有关方法进行测定。

麦汁的碘值:按文献[8]的有关方法进行测定。

大麦含水率:采用 GB5497-85 标准测定。

挤压蒸煮大麦的糖化工艺为:①麦芽粉碎物 35 g、挤压蒸煮大麦粉碎物 15 g 和水 200 mL,水温 50 °C 投料,添加适量耐高温 α -淀粉酶、石膏和乳酸,保温并搅拌 60 min。②再升温至 65 °C,保温并搅拌 50 min。③升温至 71 °C,保温并搅拌 10 min。④碘检合格,再升温至 73 °C,将麦汁醪液过滤。

不挤压蒸煮大麦的传统糖化工艺为:①将大麦粉碎物 15 g 和水 70 mL,水温 50 °C 投料,添加适量

耐高温 α -淀粉酶、石膏和乳酸,加热至 90 °C,保温并搅拌 20 min。②再升温至 100 °C,保温并搅拌 15 min。③与此同时,麦芽粉碎物 35 g 和水 130 mL,水温 50 °C 投料,添加适量石膏和乳酸,保温并搅拌 60 min。④将上述 2 种醪液混合,即合醪,醪液温度为 65 °C,保温并搅拌 60 min。⑤然后作碘检,碘检合格后再升温至 73 °C,将麦汁醪液过滤。

2 试验结果分析

2.1 试验安排及其结果

试验因素为:模孔孔径 Φ 、挤压机套筒温度 T 、大麦的含水率 W 、螺杆转速 N 和模板内表面至螺杆末端端面的距离 δ ,分别记为 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 ,其因素水平见表 1。啤酒辅料糖化过程主要是辅料中的淀粉在麦芽中多种酶和外加酶制剂作用下降解成糊精、低聚糖和以麦芽糖为主的可发酵糖的过程。糖化过程进行得彻底,则麦汁的过滤速度较快、浸出物收得率较高、碘值较低^[5,8]。

表 1 因素水平表

Tab. 1 Factors and their levels

水平	X_1 /mm	X_2 /°C	X_3 /%	X_4 /r·min ⁻¹	X_5 /mm
-2	8	40	14	100	5
-1	10	50	17	150	10
0	12	60	20	200	15
1	14	70	23	250	20
2	16	80	26	300	25

为此,考察指标定为麦汁的过滤速度 Y_1 、浸出物收得率 Y_2 和碘值 Y_3 。采用二次正交旋转组合设计,进行试验研究。试验安排及结果见表 2。

2.2 结果分析

用 REDA 软件处理表 2 中的试验数据。各试验因素对诸考察指标影响规律的回归方程为

$$Y_1 = 9.564 - 0.205x_1 - 0.818x_2 - 0.073x_3 - 0.367x_4 - 0.192x_5 - 0.275x_1^2 - 0.915x_1x_2 + 1.266x_1x_3 - 0.075x_1x_4 + 0.940x_1x_5 - 0.834x_2^2 - 0.066x_2x_3 - 0.565x_2x_4 - 0.480x_2x_5 - 1.251x_3^2 + 0.574x_3x_4 + 0.521x_3x_5 - 0.193x_4^2 - 1.06x_4x_5 + 1.20x_5^2 \quad (\alpha=0.05) \quad (1)$$

$$Y_2 = 68.058 - 0.805x_1 + 1.062x_2 - 0.746x_3 + 0.008x_4 - 0.178x_5 + 0.568x_1^2 - 0.708x_1x_2 + 1.344x_1x_3 + 1.256x_1x_4 + 0.094x_1x_5 + 0.298x_2^2 + 0.503x_2x_3 + 1.629x_2x_4 + 0.928x_2x_5 - 0.585x_3^2 + 0.577x_3x_4 + 1.881x_3x_5 + 0.755x_4^2 + 0.869x_4x_5 + 0.410x_5^2 \quad (\alpha=0.05) \quad (2)$$

$$Y_3 = 0.070 - 0.002x_1 - 0.002x_2 - 0.004x_3 - 0.002x_4 + 0.006x_5 + 0.002x_1^2 + 0.001x_1x_2 + 0.008x_1x_4 - 0.002x_2 + 0.002x_2x_3 - 0.008x_2x_5 - 0.004x_3x_4 - 0.009x_3x_5 - 0.001x_4x_5 - 0.002x_5^2 \quad (\alpha=0.05) \quad (3)$$

由式(1)~式(3)及表3可知,对于过滤速度,套筒温度对其影响是主要的;模板内表面至螺杆末端端面的距离和大麦的含水率的影响是较次要的;模

表2 试验安排及结果

Tab. 2 Experiment arrangement and its results

序号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	过滤速度 Y_1 /mL·min ⁻¹	浸出物收 得率 Y_2 /%	碘值 Y_3
1	1	1	1	1	1	6.40	78.45	0.055
2	1	1	1	-1	-1	5.34	65.85	0.067
3	1	1	-1	1	-1	5.78	71.94	0.069
4	1	1	-1	-1	1	7.18	64.86	0.068
5	1	-1	1	1	-1	10.89	66.68	0.052
6	1	-1	1	-1	1	11.74	67.62	0.064
7	1	-1	-1	1	1	7.85	65.16	0.103
8	1	-1	-1	-1	-1	6.99	72.62	1.038
9	-1	1	1	1	-1	9.49	69.36	0.061
10	-1	1	1	-1	1	6.62	72.14	0.071
11	-1	1	-1	1	1	6.10	74.54	0.076
12	-1	1	-1	-1	-1	12.88	77.17	0.070
13	-1	-1	1	1	1	6.49	64.88	0.057
14	-1	-1	1	-1	-1	4.71	67.91	0.071
15	-1	-1	-1	1	-1	12.51	69.85	0.052
16	-1	-1	-1	-1	1	9.51	70.22	0.116
17	2	0	0	0	0	8.88	67.82	0.081
18	-2	0	0	0	0	8.27	71.04	0.076
19	0	2	0	0	0	4.16	67.38	0.053
20	0	-2	0	0	0	8.52	69.32	0.071
21	0	0	2	0	0	6.01	63.71	0.066
22	0	0	-2	0	0	3.33	65.93	0.064
23	0	0	0	2	0	6.57	69.61	0.068
24	0	0	0	-2	0	11.24	70.75	0.067
25	0	0	0	0	2	15.00	68.61	0.066
26	0	0	0	0	-2	13.95	68.99	0.057
27	0	0	0	0	0	14.60	67.62	0.081
28	0	0	0	0	0	12.15	66.80	0.056
29	0	0	0	0	0	9.11	65.39	0.080
30	0	0	0	0	0	8.54	69.02	0.070
31	0	0	0	0	0	10.22	70.60	0.061
32	0	0	0	0	0	7.34	69.80	0.068
33	0	0	0	0	0	8.02	63.77	0.069
34	0	0	0	0	0	9.66	71.91	0.076
35	0	0	0	0	0	7.80	68.61	0.069
36	0	0	0	0	0	7.98	68.86	0.071
没膨化大麦对应醪液						4.16	61.61	0.038

孔孔径对其影响是次要的;螺杆转速是最次要的。对于麦汁浸出物收得率,模孔孔径和套筒温度对其影响是主要的;大麦的含水率和螺杆转速对其影响是次要的;模板内表面至螺杆末端端面的距离对其影响是最次要的。对于麦汁碘值,模板内表面至螺杆末端端面的距离对其影响是主要的;大麦的含水率和模孔孔径对其影响是次要的;套筒温度和螺杆转速对其影响是最次要的。

表3 大麦啤酒辅料挤压蒸煮系统主要参数的因子贡献率
Tab. 3 The factor contribution ratio of main parameters of extrusion system of wheat used beer adjunct

考察指标	挤压系统主要参数的因子贡献率				
	$X_1(\Phi)$	$X_2(T)$	$X_3(W)$	$X_4(N)$	$X_5(\delta)$
过滤速度	1.094	1.931	1.408	0.528	1.626
浸出物收得率	1.848	1.781	1.690	1.566	0.952
碘值	1.212	0.890	1.538	0.756	2.082

由表2可知,当模孔孔径 X_1 、套筒温度 X_2 、大麦的含水率 X_3 、螺杆转速 X_4 和模板内表面至螺杆末端端面的距离 X_5 分别取零水平(即 $x_1=x_2=x_3=x_4=x_5=0$)时,麦汁的过滤速度较快、浸出物收得率较高和碘值较低。

表4为大麦啤酒辅料挤压蒸煮系统主要参数较优值验证结果。

表4 大麦啤酒辅料挤压蒸煮系统主要参数较优值验证结果

Tab. 4 The verified result of better values for main parameters of extrusion system for wheat beer adjunct

挤压系统主要参数的最优值					验证结果		
Φ /mm	T /C	W /%	N /r·min ⁻¹	δ /mm	Y_1 /mL·min ⁻¹	Y_2 /%	Y_3
12	60	20	200	15	13.33	72.04	0.012
传统不挤压蒸煮大麦辅料对照试验					4.16	61.61	0.038

对于回归方程式(1):

$$x_2 = x_3 = x_4 = x_5 = 0 \text{ 时}$$

$$Y_1 = f(x_1) = -0.275x_1^2 - 0.205x_1 + 9.564$$

$$x_1 = x_3 = x_4 = x_5 = 0 \text{ 时}$$

$$Y_1 = f(x_2) = -0.834x_2^2 - 0.818x_2 + 9.564$$

$$x_2 = x_1 = x_4 = x_5 = 0 \text{ 时}$$

$$Y_1 = f(x_3) = -1.252x_3^2 - 0.073x_3 + 9.563$$

$$x_2 = x_3 = x_1 = x_5 = 0 \text{ 时}$$

$$Y_1 = f(x_4) = -0.193x_4^2 - 0.367x_4 + 9.564$$

$$x_2 = x_3 = x_4 = x_1 = 0 \text{ 时}$$

$$Y_1 = f(x_5) = 1.200x_5^2 - 0.192x_5 + 9.564$$

可见,在较优参数试验范围内,即其他参数取零

水平时,随模孔孔径的增加过滤速度 Y_1 先增加后减小,模孔孔径取 $-1\sim 0$ 水平时, Y_1 较大。其他参数取零水平时,随套筒温度的增加过滤速度 Y_1 先增加后减小,套筒温度取 $-1\sim 0$ 水平时, Y_1 较大。其他参数取零水平时,随大麦的含水率的增加过滤速度 Y_1 先增加后减小,大麦的含水率取 0 水平时, Y_1 较大。其他参数取零水平时,随螺杆转速的增加过滤速度 Y_1 变化不大,螺杆转速在 $-2\sim 0$ 水平时, Y_1 较大。其他参数取零水平时,随模板内表面至螺杆末端端面的距离的增加过滤速度 Y_1 先减小后增加,模板内表面至螺杆末端端面的距离取 -2 和 2 水平时, Y_1 较大。

对于回归方程式(2):

$$x_2=x_3=x_4=x_5=0 \text{ 时}$$

$$Y_2=f(x_1)=0.568x_1^2-0.805x_1+68.058$$

$$x_1=x_3=x_4=x_5=0 \text{ 时}$$

$$Y_2=f(x_2)=0.298x_2^2+1.062x_2+68.058$$

$$x_2=x_1=x_4=x_5=0 \text{ 时}$$

$$Y_2=f(x_3)=-0.585x_3^2-0.746x_3+68.058$$

$$x_2=x_3=x_1=x_5=0 \text{ 时}$$

$$Y_2=f(x_4)=0.755x_4^2+0.008x_4+68.058$$

$$x_2=x_3=x_4=x_1=0 \text{ 时}$$

$$Y_2=f(x_5)=0.410x_5^2-0.178x_5+68.058$$

可见,在较优参数试验范围内,即其他参数取零水平时,麦汁浸出物收得率 Y_2 随模孔孔径的增加先减少后增加,孔径取 -2 水平时, Y_2 较大。 Y_2 随套筒温度的增加而增加,套筒温度取 2 水平时, Y_2 较大。 Y_2 随大麦含水率的增加先增加后减少,取 -1 和 0 水平时, Y_2 较大。 Y_2 随螺杆转速的增加先减少后增加,螺杆转速取 -2 和 2 水平时, Y_2 较大。 Y_2 随模板内表面至螺杆末端端面的距离的增加先减少后增加,模板内表面至螺杆末端端面距离取 -2 和 2 水

平时, Y_2 较大。

对于回归方程式(3):

$$x_2=x_3=x_4=x_5=0 \text{ 时 } Y_3=f(x_1)\approx 0.070$$

$$x_1=x_3=x_4=x_5=0 \text{ 时 } Y_3=f(x_2)\approx 0.070$$

$$x_2=x_1=x_4=x_5=0 \text{ 时 } Y_3=f(x_3)\approx 0.070$$

$$x_2=x_3=x_1=x_5=0 \text{ 时 } Y_3=f(x_4)\approx 0.070$$

$$x_2=x_3=x_4=x_1=0 \text{ 时 } Y_3=f(x_5)\approx 0.070$$

可见,在较优参数试验范围内,即各参数取零水平时,任一参数的变化对麦汁的碘值 Y_3 的影响较小,较优参数对应的麦汁碘值 Y_3 约为 0.07 。

由表4可见,没挤压蒸煮的大麦啤酒辅料按前述的传统糖化工艺进行糖化,其过滤速度明显低于本试验的较优参数对应的醪液的过滤速度,其浸出物收得率也比本试验的较优参数对应浸出物收得率低,且麦汁的碘值较高。表明挤压蒸煮的大麦啤酒辅料的淀粉在糖化过程中,淀粉的降解程度优于没挤压蒸煮的大麦啤酒辅料。

试验表明,只要大麦啤酒辅料的挤压蒸煮系统主要参数选择合适,挤压蒸煮大麦作啤酒辅料制备的麦汁,其糖化和过滤是可以顺利进行的。随后的麦汁煮沸、酒花添加和发酵等工艺过程,均同传统的啤酒酿造工艺。

3 结束语

大麦啤酒辅料的挤压蒸煮系统主要参数选择合适,挤压蒸煮大麦可以作啤酒辅料,其麦汁的糖化和过滤能够顺利进行,且麦汁浸出物收得率较高。挤压系统优化参数为模孔孔径 12 mm ,套筒温度 $60 \text{ }^\circ\text{C}$,物料含水率 20% ,螺杆转速 200 r/min ,模板内表面至螺杆末端端面距离 15 mm 。

参 考 文 献

- 1 申德超,孟阳. 挤压膨化大米作啤酒辅料的试验研究[J]. 农业工程学报,2002,18(1):132~134.
- 2 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.
- 3 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.
- 4 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[P]. 中国专利:00122033.0,2000-08-03.
- 5 顾国贤. 酿造酒工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001.
- 6 徐斌. 啤酒生产问答[M]. 北京:中国轻工业出版社,2000.
- 7 程殿林. 啤酒生产技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- 8 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.