

膨化带胚玉米作啤酒辅料的试验研究

申德超 孟 阳

(东北农业大学)

周 欣

(佳木斯大学工学院)

张 俐 王晓凯

(东北农业大学)

王丽玮

(青岛海尔公司)

摘 要 通过试验,研究了带胚玉米挤压膨化系统的诸参数(物料含水率,螺杆转速,套筒温度,模孔孔径)对各考查指标(糊化度、浸出率、脂肪、总还原糖、总酸)的影响规律,及其系统最优参数。结果表明,只要膨化系统诸参数选择合适,不加酶制剂,带胚玉米膨化物对应的麦汁醪液的糖化和过滤也可以顺利进行。

关键词 带胚玉米 挤压 啤酒辅料

挤压膨化能使谷物的淀粉降解,还原糖和糊精增多;使蛋白质的大分子变成中分子和小分子;使谷物的脂肪减少;使谷物的可溶性物质增加^[1~3]等。为此,各国学者都在探讨用挤压膨化啤酒辅料酿造啤酒,缩短发酵周期,节省大麦芽用量,降低啤酒成本^[4~8]。有关资料报道,挤压膨化啤酒辅料是 90 年代啤酒酿造技术发展趋势之一^[9]。从 1989 年开始,我们分别用挤压膨化的带胚玉米、脱胚玉米和大米作啤酒辅料,制备麦汁,酿制啤酒。糖化结果表明,前者优于后者。它们的生啤酒的检查指标均达到国家要求^[10]。我们还发现:可以用挤压膨化啤酒辅料代替传统的蒸煮糊化啤酒辅料;挤压膨化可使玉米的绝干浸出率增加 8.5%;使用带胚玉米膨化物作啤酒辅料酿制啤酒(不加酶制剂),可节省大麦芽用量 10%^[10]。对于年产 5 万 t 啤酒厂,可降低成本至少 100 万元。国外学者发现:用膨化啤酒辅料制备的麦汁,其糖化和过滤困难^[4~7]。我们也发现:带胚玉米膨化物作啤酒辅料,其麦汁的糖化、过滤性能变差。使具有广阔应用前景的膨化啤酒辅料,至今不能在啤酒生产中广泛应用。

为了使这种具有显著经济效益和社会效益的膨化啤酒辅料,在生产中早日应用。有必要研究目前国内外学者普遍关注的膨化啤酒辅料对应的麦汁难以糖化、过滤的难题。

1 试验研究

1.1 设备与材料

挤压设备为自制的单螺杆挤压膨化机,生产率为 100~150 kg/h。它由组合式套筒和螺杆组成。螺杆转速为 0~1200 r/min 无级可调。套筒温度为 0~300℃ 连续可调,配有温度数显仪表闭环自控系统。挤压机模孔孔径有级可调。

供试材料为大米(哈尔滨啤酒厂)、玉米(东北农业大学饲料厂)、带胚玉米膨化物(用自制单螺杆挤压机加工)和麦芽(哈尔滨啤酒厂),粉碎后其平均粒径 d 为: $d_{\text{大米}} = 0.65 \text{ mm}$, $d_{\text{膨化玉米}} = 0.51 \text{ mm}$, $d_{\text{未膨化玉米}} = 0.53 \text{ mm}$, $d_{\text{麦芽}} = 0.5 \text{ mm}$ 。其含水率 w 为: $w_{\text{大米}} = 10\% \sim 13\%$,

收稿日期: 1999-02-26

申德超,教授,哈尔滨市香坊区 东北农业大学工程学院,150030

$w_{\text{膨化玉米}} = 7\% \sim 9\%$, $w_{\text{未膨化玉米}} = 10\% \sim 12\%$, $w_{\text{麦芽}} = 86.7\%$ 。

1.2 分析方法

含水率测定采用烘干法^[8]。玉米膨化物和玉米的脂肪测定采用 GB 2906-82 标准规定的步骤进行。浸出率的测定采用“德克拉克法”^[8]。糊化度的测定采用“酶水解法”^[9]。总糖的测定采用“比色滴定法”^[8]。总还原糖浓度(实际浓度, 原麦汁浓度), 糖与非糖比等指标的测定参考文献[8]。

2 试验与结果分析

2.1 试验安排及其结果

参考有关文献[2~ 5]确定挤压温度 T , 模孔孔径 Q , 物料含水率 w , 和螺杆转速 n 为试验因素, 其水平安排见表 1。带胚玉米膨化物与大麦芽比例为 4:6, 制

备麦汁的工艺过程为: 带胚玉米膨化物 20 g、大麦芽 30 g 和水 250 mL 混合后, 加热至 37℃, 保温 10 min。升温至 50℃, 保温 50 min。升温至 68℃, 保温 60 min(碘反应)。然后升温至 76℃, 过滤。未膨化脱胚玉米或大米与大麦芽比例为 3:7, 制备麦汁的工艺过程为: 未膨化脱胚玉米粉(或大米粉) 30 g 和 110 mL 水混合, 加热至 37℃, 保温 10 min。加热至 70℃, 保温 20 min。加热 100℃, 保温 40 min。与此同时, 大麦芽 70 g 和水 390 mL 混合, 加热至 37℃, 保温 10 min。升温至 50℃, 保温 50 min。然后上述两种物料混合, 加热至 68℃, 保温 60 min(碘反应)然后升温至 76℃, 过滤。考查指标为带胚玉米膨化物的糊化度、浸出率、脂肪及其麦汁的总还原糖。

表 2 试验安排及试验结果

Tab 2 Test arrangement and results

试验号	A	B	A × B		C	A × C		B × C		D		A × D		B × D		C × D		总还原糖	糊化度	浸出率	脂肪*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	/g · L ⁻¹	/%	/%	/%
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	78.8	89.90	66.77	0.595
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	76.1	96.27	66.93	0.930
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	87.0	94.51	78.15	1.065
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	88.9	98.67	91.97	1.115
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	102.9	91.30	68.62	1.165
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	103.7	92.90	88.57	0.875
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	75.2	85.20	58.22	1.260
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	105.4	92.00	69.48	1.280
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	83.8	89.50	78.15	1.110
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	84.7	90.60	72.94	1.150
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	82.4	91.10	57.49	1.725
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	73.6	85.80	67.77	1.150
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	83.0	91.27	78.15	1.050
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	88.9	100.00	67.77	1.385
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	69.0	99.29	67.78	1.110
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	75.0	91.72	67.76	1.580

*: 指游离脂肪。

表 1 中各因素安排在 $L_{16}(2^{15})$ 中进行正交试验研究, 试验安排及结果见表 2。试验物料为带胚玉米膨化物。对照样(未膨化脱胚玉米)的糊化度为 100%, 浸出率(指风干, 下同)为

 © 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

79.13%, 脂肪为 3.8%~4.2%, 其麦汁的总还原糖为 89.2 g/L。为了进一步研究各因素对诸考查指标的影响规律, 我们扩大各因素的试验范围 (详见表 3), 将其安排在四因素正交旋转组合设计表中进行试验研究。

考查指标为带胚玉米膨化后的脂肪、浸出率、糊化度及其麦汁的总还原糖、总酸。试验安排及试验结果见表 4。各试验因素对诸考查指标的影响规律见方程 (1) 至 (5)。设 y_1, y_2, y_3, y_4 和 y_5 分别代表浸出率、糊化度、脂肪、总还原糖和总酸, x_1, x_2, x_3 和 x_4 分别代表模孔孔径、挤压温度、物料含水率和螺杆转速。

表 3 试验因素水平表

Tab 3 Test factors and levels

	φ/mm	$T/^\circ\text{C}$	$w/\%$	$n/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$
- 2	4	70	10	220
- 1	6	105	15	250
0	8	140	20	280
1	10	175	25	310
2	12	210	30	340

表 4 四因素正交旋转组合设计及试验结果

Tab 4 Orthogonal rotation combination design of four factors and its test results

因素 试验号	φ	T	w	n	糊化度 /%	浸出率 %	脂肪 %	总还原糖 / $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	总酸 / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$
1	1	1	1	1	68.12	81.50	1.153	85.59	26.05
2	1	1	1	- 1	72.73	82.48	1.469	88.13	27.05
3	1	1	- 1	1	78.40	82.49	1.052	93.15	27.45
4	1	1	- 1	- 1	96.91	90.08	1.125	93.52	27.00
5	1	- 1	1	1	72.00	74.00	1.271	82.39	28.05
6	1	- 1	1	- 1	79.50	81.01	1.361	83.85	27.10
7	1	- 1	- 1	1	94.87	82.53	0.853	86.32	25.75
8	1	- 1	- 1	- 1	95.65	87.75	0.486	87.09	27.50
9	- 1	1	1	1	80.00	79.54	1.244	87.48	26.40
10	- 1	1	1	- 1	83.67	80.50	1.618	88.13	27.45
11	- 1	1	- 1	1	97.06	84.10	1.584	90.62	27.95
12	- 1	1	- 1	- 1	97.89	84.72	1.615	90.79	27.45
13	- 1	- 1	1	1	58.87	70.50	2.014	83.64	28.15
14	- 1	- 1	1	- 1	76.29	72.93	2.049	84.86	28.25
15	- 1	- 1	- 1	1	91.43	76.07	2.668	88.97	25.85
16	- 1	- 1	- 1	- 1	93.62	81.46	1.395	89.39	27.75
17	2	0	0	0	68.18	84.40	1.206	93.57	28.25
18	- 2	0	0	0	97.92	82.56	1.536	75.58	28.00
19	0	2	0	0	99.61	90.88	1.147	93.99	27.75
20	0	- 2	0	0	68.91	79.51	1.698	84.55	27.25
21	0	0	2	0	64.28	79.65	1.747	86.32	27.55
22	0	0	- 2	0	121.69	86.69	1.167	94.08	27.30
23	0	0	0	2	82.88	70.88	0.969	92.89	27.60
24	0	0	0	- 2	120.93	84.71	1.072	107.67	27.80
25	0	0	0	0	74.78	87.26	0.842	100.69	25.45
26	0	0	0	0	100.95	70.49	1.166	88.78	25.25
27	0	0	0	0	82.57	72.80	1.099	98.12	26.25
28	0	0	0	0	91.35	71.46	0.980	99.78	25.80
29	0	0	0	0	83.49	72.41	1.262	88.59	24.50
30	0	0	0	0	95.49	71.84	1.317	91.80	24.25
31	0	0	0	0	108.08	76.06	1.423	95.78	25.35
32	0	0	0	0	87.91	70.88	1.474	91.42	24.85
33	0	0	0	0	109.09	73.75	1.396	93.65	25.70
34	0	0	0	0	65.55	77.41	0.966	102.27	25.80
35	0	0	0	0	85.71	76.06	1.137	108.93	24.60
36	0	0	0	0	97.17	77.56	1.271	106.65	25.35

则回归方程如下:

$$y_1 = 74.83 + 1.49x_1 + 2.58x_2 - 2.53x_3 - 2.41x_4 + 1.88x_1^2 - 1.04x_1x_2 - 0.06x_1x_3 - 0$$



$$71x_{1x4}+2\ 31x_2^2+0\ 75x_{2x3}+0\ 62x_{2x4}+1\ 80x_3^2+0\ 47x_{3x4}+0\ 46x_4^2$$

(α= 0 01)

$$y_2=90\ 18-3\ 34x_1+3\ 08x_2-11\ 23x_3-5\ 48x_4-2\ 95x_1^2-4\ 02x_{1x2}+0\ 48x_{1x3}$$

- 0 46x_{1x4}-2\ 64x_2^2+1\ 45x_{2x3}+0\ 02x_{2x4}-0\ 46x_3^2-0\ 68x_{3x4}+1\ 77x_4^2

(α= 0 05)

$$y_3=1\ 20-0\ 25x_1-0\ 1x_2+0\ 11x_3+0\ 02x_4+0\ 06x_1^2+0\ 18x_{1x2}+0\ 13x_{1x3}-0\ 06x_{1x4}$$

+

$$0\ 08x_2^2-0\ 07x_{2x3}-0\ 14x_{2x4}+0\ 08x_3^2-0\ 15x_{3x4}-0\ 03x_4^2$$

(α= 0 01)

$$y_4=97\ 21+1\ 34x_1+2\ 07x_2-2\ 14x_3-1\ 55x_4-3\ 71x_1^2+0\ 66x_{1x2}-0\ 28x_{1x3}-0$$

17x_{1x4}-2\ 54x_2^2-0\ 11x_{2x3}-2\ 31x_3^2-0\ 26x_{3x4}+0\ 21x_4^2

(α= 0 1)

$$y_5=25\ 27-0\ 12x_1-0\ 18x_4+0\ 63x_1^2+0\ 48x_2^2-0\ 48x_{2x3}-0\ 11x_{2x4}+0\ 46x_3^2+0$$

53x_4^2

(α= 0 01)

由于本次试验中总酸变化不大, 故它不作为主要考查指标。表 5 是对方程(1)至(4)的三组最佳参数进行考查的结果。

表 5 最佳参数膨化带胚玉米对指标的影响结果

Tab 5 Influence of maize with germ extruded at optimum parameters upon the indexes

最佳参数	考查指标				
	糊化度	浸出率	总还原糖	总 酸	过滤速率*
	/%	%	/g · L ⁻¹	/mmol · L ⁻¹	/mL · min ⁻¹
φ 12 mm, w = 10 % T = 70 , n = 220 r/m in	115. 15	78. 16	106. 0	19. 25	10
φ 8 mm, w = 18 % T = 155 , n = 220 r/m in	103. 00	73. 52	97. 6	18. 75	5
φ 6 mm, w = 10 % T = 174 , n = 220 r/m in	121. 00	77. 43	98. 5	19. 50	4

* : 过滤条件为: 滤液温度 31 , 使用器皿: 直径 95 mm 的漏斗, 200 mL 锥形瓶, 普通滤纸。

由表 5 可见, 参数: φ 12 mm, w = 10 % , T = 70 , n = 220 r/m in 对应的浸出率, 总还原糖和过滤速度均较好。表 6 是这组最佳参数的带胚玉米膨化物对应的麦汁(按前述工艺制备)与对照的不膨化大米, 脱胚玉米对应的麦汁(按前述工艺制备)的检测结果。

2 2 试验结果分析

综合表 2, 表 5 和方程(1)~ (4), 由方差分析可知, 模孔孔径对糊化度影响最大, 其次是物料含水率, 挤压温度和螺杆转速。挤压温度对浸出率影响最大, 其次是物料含水率, 模孔孔径和螺杆转速。模孔孔径对膨化物中游离脂肪酸变化影响较大, 其次是物料含水率, 挤压温度和螺杆转速。挤压温度对麦汁总还原糖含量影响最大, 其次是物料含水率, 模孔孔径和螺杆转速。由降维分析可知: 模孔孔径减小, 物料含水率减小, 挤压温度升高, 螺杆转速下降, 使糊化度下降, 同时, 使游离脂肪减少。由于上述因素的变化, 使挤压腔中物料所受剪切强度增加, 滞留时间增加。使淀粉分子中氢键易被剪断, 糊化度增加, 同时, 部分游离脂肪易与直链淀粉形成淀粉脂络



合物等^[10],使游离脂肪含量减少。挤压温度增加,物料含水率减少,螺杆转速降低,使浸出率增加,也使还原糖增加,因为麦汁还原糖高,其对应辅料的浸出率也高。上述因素的变化,使挤压腔中物料受到的剪切强度增加,淀粉易降解。物料挤出后,膨胀度大,表面积增加,易被酶水解,使浸出率和还原糖均增加。

试验表明,挤压膨化使带胚玉米中游离脂肪减少,由 3.8%~4.2% 减至 0.35%。减少的游离脂肪与直链淀粉形成络合物等物质^[10]。这种物质对啤酒稳定性的影响,需进一步研究。

麦汁在糖化过程中,利用麦芽的酶类,使辅料中的淀粉降解为小分子糊精和麦芽糖等。传统蒸煮辅料对应的麦汁醪液,通常用碘液检查其糖化程度,即使碘液不变色,认为糖化结束。对于挤压带胚玉米辅料,尽管其各项检测指标均优于对照样(详见表 6),但碘反应仍为兰色。这表明有淀粉颗粒存在,即有淀粉与游离脂肪的络合物存在。

表 6 检测结果

Tab. 6 Checking and measuring results

指 标	物 料		
	脱胚玉米	带胚玉米膨化物	大米
浓度/%	12.7	13.9	12.9
pH	6.27	6.25	6.28
总酸/mm $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	8.0	8.4	7.2
色度/EBC	7.5	8.5	8.5
麦芽糖/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	92.0	102.8	90.9
糖 非糖	1.093	1.035	1.042
$\alpha\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	209	207	198
碘反应(60 min 计时)	绛紫色	兰紫色	黄中带淡兰色
过滤速率* 均值/ $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$	6.67	10	8.33

* : 过滤速率是指过滤条件同表 5 的过滤速率。

所以,不能单纯用碘液来判断膨化带胚玉米啤酒辅料的麦汁醪液糖化过程是否终止。试验表明,在不膨化的大米(或脱胚玉米)对应的麦汁的糖化时间(60 min)内,带胚玉米膨化物的麦汁,已经糖化结束,且各项指标优于前者(详见表 6)。

麦汁醪液糖化后过滤的快慢取决于滤层的结构。辅料在挤压膨化过程中被剪切的强度愈大,它被细碎的程度愈大。合适的细碎程度将使滤层结构变好,过滤速度加快。表 6 中最佳挤压系统参数的带胚玉米膨化物对应的麦汁过滤速度快于对照的不膨化大米(或脱胚玉米)的过滤速度。试验表明,这组参数对应的滤层结构和过滤速度较好。

文献[11]指出:高压下,“在压力低于 100 MPa 时,淀粉根本不发生糊化”。常压下,“在低于 75℃ 时加热,不管多长时间总有未糊化的淀粉存在”。我们的研究表明,带胚玉米在挤压腔体中受到的压力低于 100 MPa,挤压温度为 70℃ 时,有的糊化度值已经达到和超过 100%。可见,螺杆挤压比单纯加压或单纯加热对应的糊化度效果好些。理论上,糊化度不应超过 100%,从表 4、表 5 可见,有些试验的糊化度测试结果超过 100%,有的达到 121.5%。这是我们按文献[9]中有关糊化度测定的操作程序得到的测定结果。考虑试验误差,测试误差,我们的测试结果仍需进一步研究。但这些数据的群体,已经表现出试验因素对糊化度的影响规律。

3 结 论

- 1) 对于啤酒辅料糊化,可以用挤压膨化代替传统的蒸煮糊化。
- 2) 可以用挤压膨化带胚玉米作啤酒辅料,代替目前传统的蒸煮糊化大米辅料或脱胚玉米辅料。
- 3) 带胚玉米膨化物作啤酒辅料,对应的麦汁糖化过程,可以顺利进行。在传统大米辅料对应的糖化时间内,各项指标优于大米或脱胚玉米的指标。



4) 只要带胚玉米啤酒辅料的挤压膨化系统参数选择合适, 不加任何酶制剂, 其麦汁的过滤可以顺利地进行。

5) 带胚玉米挤压膨化过程中, 其游离脂肪减少, 形成直链淀粉与脂肪的络合物等。这种络合物对啤酒稳定性的影响, 尚需进一步研究。

参 考 文 献

- 1 轻工业部食品工业公司, 轻工业部食品发酵研究所. 90 年代啤酒酿造技术展望. 啤酒工业快报, 1991, 2: 16
- 2 王秀道. 膨化原料在啤酒酿造中的应用, 食品与发酵工业, 1986, 4: 97~ 104
- 3 D E Briggs, et al. The use of extruded barley, wheat and maize as adjuncts in mashing. J of the Institute of Brewing, 1986, 92: 468~ 474
- 4 C J Dale, et al. Extruded sorghum as a brewing raw material. J of the Institute of Brewing, 1989, 95: 157~ 167
- 5 J A Dekour, et al. Unmalted cereal products for beer brewing (Part1): The use of high percentages of regular corn starch and sorghum. J of the Institute of Brewing, 1989, 95: 271~ 276
- 6 秦日山. 啤酒膨化原料在糖化中的应用试验. 酿酒科技, 1990, 2: 19~ 20
- 7 申德超. 膨化玉米作啤酒辅料的可行性试验研究. 农业工程学报, 1996, 12(3): 196~ 198
- 8 管敦仪. 啤酒工业手册(中册). 北京: 轻工业出版社, 1986. 184~ 216
- 9 无锡轻工业学院, 天津轻工业学院. 食品分析. 北京: 轻工业出版社, 1985. 189~ 192
- 10 孙福来. 玉米挤压糊化度和脂肪含量的研究. 郑州粮食学院学报, 1997, 18(1): 52~ 55
- 11 马成林, 左春桢, 张守勤等. 高压对玉米淀粉糊化度影响的研究. 农业工程学报, 1997, 13(1): 172~ 176

Test Study on Extrusion Maize With Germ as Beer Adjunct

Shen Dechao Meng Yang

(Northeast Agricultural University, Harbin, 150030)

Zhou Xin

(Technology Institute of Jiamusi University)

Zhang Li Wang Xiaokai

(Northeast Agricultural University)

Wang Liwei

(Qingdao Haier Company)

Abstract The influence of parameters (diameter of die nozzle, temperature of barrel, speed of screw, material moisture) of extrusion of maize with germ on the observed indexes (dextrinisation degree, extract content, fat, fermentable saccharide, total acid) and the optimum parameters of this extrusion system were studied. Experimental results indicate that if parameters of this extrusion system are quantified reasonably, the saccharification and filtration of wort which includes malt and extruded maize with germ as adjunct may go on successfully without adding any enzyme.

Key words maize with germ, extrusion, beer adjunct