

杜 菲,郑 慧,李宏军. 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺优化[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):306-309.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.11.109

以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺优化

杜 菲,郑 慧,李宏军

(山东理工大学农业工程与食品科学学院,山东淄博 255091)

摘要:以水料比、膨化小麦比例、50 ℃蛋白质休止时间、62 ℃糖化时间、70 ℃糖化时间为糖化工艺参数,以还原糖含量为主要考察指标,通过对挤压蒸煮小麦辅料酿造啤酒的糖化工艺进行响应面法优化,得到最佳的糖化工艺参数:水料比为 3.7 mL : 1 g,膨化小麦比例为 32%,50 ℃蛋白质休止时间为 53 min,62 ℃糖化时间为 47 min,70 ℃糖化时间为 31 min。此时,对应的麦汁还原糖含量为 86.1 mg/mL。

关键词:挤压蒸煮;小麦;啤酒;还原糖;糖化工艺;膨化;响应面法

中图分类号:TS262.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)11-0306-04

21 世纪我国麦芽和大米等粮食价格大幅上涨,造成啤酒生产成本大幅度上升,啤酒酿造企业利润减少^[1]。采用适量辅料替代部分大麦芽酿造啤酒,是降低生产成本的有效方法^[2]。在我国,小麦是第二大粮食作物,其种植面积以及总产量仅次于水稻。小麦籽粒富含淀粉,并且小麦的无水浸出物含量较高,可用于啤酒酿造。我国小麦深加工程度不够,附加值低,农民增产不增收,利用挤压蒸煮小麦作辅料酿造啤酒,可以丰富啤酒品种,简化糖化工艺,增加小麦附加值,提高农民收入和啤酒企业的利润^[3]。麦汁中的还原糖是啤酒酵母可以直接利用的可发酵性糖,不仅可以促进酵母细胞的正常生长代谢,而且有利于提高成品啤酒的质量。小麦辅料挤

压膨化后,淀粉的晶体结构被破坏,呈坚实的多孔状结构,酶与辅料的作用面积增大,提高了淀粉的酶解速度、原料利用率以及麦汁还原糖的含量。在挤压过程中,淀粉发生糊化, α -度增加,有利于糖化,可以省去糊化或蒸煮工艺,简化工艺并节约能源^[4-5]。本研究以挤压膨化小麦作辅料,采用 Box-Behnken 中心组合设计试验,用 Design-Expert 8.0.5 软件对糖化工艺参数间的相互作用进行响应面分析^[6-9],建立糖化工艺参数对麦汁还原糖含量影响的数学模型,得到以还原糖含量为指标的最优糖化工艺条件。

1 材料与方法

1.1 试验材料

大麦芽(澳麦,山东省莱芜市麦芽厂);小麦品种淄麦 12 号(市购);低温挤压膨化小麦(自制)。

1.2 小麦挤压方法

本研究中小麦的挤压参数^[10-11]:直径为 12 mm 的挤压机模孔 3 个;三节套筒温度分别为 20、40、60 ℃,小麦粉的水分质量分数为 22%,螺杆转速 220 r/min,模板与挤压螺杆

647-650。

[4]段江莲,徐建国. 桑椹红色素抑菌作用的研究[J]. 食品科学, 2007,28(10):87-89.

[5]冯大伟,周家春. 益生乳酸菌的纸片扩散法药敏性试验评价[J]. 微生物学通报,2010,37(3):454-464.

[6]王海云,周 涛. 香辛料提取物对肉制品中常见致病菌的抑菌作用[J]. 食品科学,2009,30(21):148-151.

[7]SC/T 3103—2010 鲜、冻鲳鱼[S]. 北京:中国农业出版社,2010.

[8]GB/T 5009—2008 食品理化检验:半微量定氮法[S]. 北京:中国标准出版社,2010.

[9]GB 4789.2—2010 食品微生物学检验:菌落总数测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.

[10]张苗苗. Nisin、溶菌酶及蜂胶应用于盐水鹅保鲜效果的研究[D]. 扬州:扬州大学,2009.

[11]张雁南,宁志亮,陈长武,等. 丁香、甘草协同抑菌作用研究[J]. 食品科学,2010,31(21):65-68.

收稿日期:2013-12-11

基金项目:山东省科技发展计划(编号:2012GSF12019)。

作者简介:杜 菲(1989—),女,山东邹城人,硕士研究生,主要从事啤酒酿造研究。E-mail:dufei19890105@163.com。

通信作者:李宏军(1968—),男,辽宁铁岭人,博士,教授,主要从事食品及农产品加工研究。E-mail:lhj6812@163.com。

3 结论

综上所述,丁香和甘草提取液的抑菌效果最好,将 2 种提取液进行复配时,表现出一定的协同抑菌作用,当 $V_{\text{丁香}}:V_{\text{甘草}}$ 为 3:2 时,对鱼体分离出的腐败菌 P_1 的 MIC 为 3.125 mg/mL。丁香-甘草复合保鲜液在应用于鲳鱼保鲜方面有很明显抑菌和抗氧化作用,0 ℃下贮藏银鲳的货架期延长了 5~6 d,说明该天然保鲜液有良好的应用前景。

参考文献:

[1]李 磊. 功能性香辛料的最新研究进展[J]. 中国调味品,2012,37(4):5-9,13.

[2]郭红珍,姚越红,王秋芬. 大蒜抑菌作用的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(2):414-415.

[3]Menon K V, Garg S R. Inhibitory effect of clove oil on *Listeria monocytogenes* in meat and cheese[J]. Food Microbiology, 2001,18(6):

的轴头间隙为 15 mm,用山东理工大学自制挤压机进行加工。

1.3 麦汁制备工艺

本研究采用的麦汁制备工艺流程见图 1。

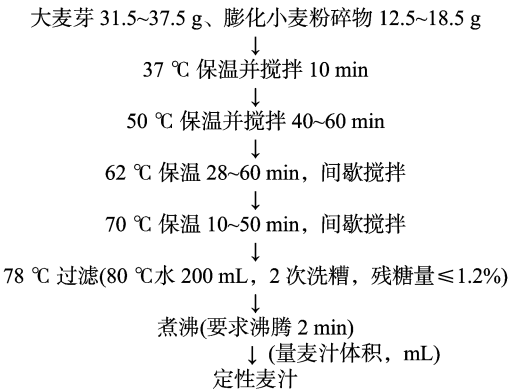


图1 挤压蒸煮小麦辅料麦汁制备工艺流程

1.4 还原糖含量的测定

麦汁还原糖含量的测定参照文献[12]。

1.5 试验设计

本试验在 500 mL 三角瓶内进行,总投料量固定在 50 g。选择水料比(mL : g)、膨化小麦比例(%)、50 ℃ 蛋白质休止时间(min)、62 ℃ 糖化时间(min)、70 ℃ 糖化时间(min)为试验因素,以麦汁还原糖含量(g/mL)为考察指标进行糖化试验^[13-14],具体试验设计如表 1 所示。

表 1 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化
工艺因素水平及编码

因素 水平	X ₁ :水料比 (mL : g)	X ₂ :膨化 小麦比例 (%)	X ₃ :50 ℃ 蛋 白质休止 时间(min)	X ₄ :62 ℃ 糖化时间 (min)	X ₅ :70 ℃ 糖化时间 (min)
-2	3.0 : 1	25	40	28	10
-1	3.5 : 1	28	45	36	20
0	4.0 : 1	31	50	44	30
1	4.5 : 1	34	55	52	40
2	5.0 : 1	37	60	60	50

2 结果与分析

2.1 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺参数响应曲面分析结果

采用 Box - Behnken^[15] 的中心组合设计试验,试验安排及结果如表 2 所示。利用 Design - Expert 8.0.5 软件对挤压小麦比例、水料比、50 ℃ 蛋白质休止时间、62 ℃ 糖化时间和 70 ℃ 糖化时间对麦汁还原糖含量的影响规律进行分析,以麦汁还原糖含量为响应值(Y),对试验所得数据进行多元回归拟合,用回归方差分析的方法进行显著性检验,结果见表 3、表 4。从表 3 可以看出,模型的常数项(P < 0.000 1),一次项 X₁(P = 0.005 4 < 0.01)、X₃(P < 0.000 1)、X₄(P < 0.000 1)极显著,交互项 X₁X₂(P = 0.003 9 < 0.05)和 X₂X₃(P = 0.002 7 < 0.05)显著,其他不显著。方差分析结果(表 4)表明,模型的确系数 R² = 0.885 2,模型的线性回归极显著(P < 0.000 1),交互项(P = 0.020 8 < 0.025)和总回归(P = 0.000 6 < 0.05)显著。

表 2 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化
工艺试验设计与结果

试验 号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y (mg/mL)
1	4.5	34	55	52	40	86.3
2	4.5	34	55	36	20	83.9
3	4.5	34	45	52	20	82.5
4	4.5	34	45	36	40	82.2
5	4.5	28	55	52	20	85.8
6	4.5	28	55	36	40	84.5
7	4.5	28	45	52	40	86.6
8	4.5	28	45	36	20	84.8
9	3.5	34	55	52	20	88.6
10	3.5	34	55	36	40	87.1
11	3.5	34	45	52	40	86.2
12	3.5	34	45	36	20	82.5
13	3.5	28	55	52	40	86.6
14	3.5	28	55	36	20	84.8
15	3.5	28	45	52	20	86.0
16	3.5	28	45	36	40	83.1
17	5.0	31	50	44	30	84.2
18	3.0	31	50	44	30	86.3
19	4.0	37	50	44	30	84.6
20	4.0	25	50	44	30	84.8
21	4.0	31	60	44	30	86.5
22	4.0	31	40	44	30	83.0
23	4.0	31	50	60	30	84.8
24	4.0	31	50	28	30	82.4
25	4.0	31	50	44	50	83.5
26	4.0	31	50	44	10	82.5
27	4.0	31	50	44	30	83.8
28	4.0	31	50	44	30	84.2
29	4.0	31	50	44	30	85.3
30	4.0	31	50	44	30	84.5
31	4.0	31	50	44	30	83.9
32	4.0	31	50	44	30	85.9
33	4.0	31	50	44	30	83.7
34	4.0	31	50	44	30	84.8
35	4.0	31	50	44	30	84.1
36	4.0	31	50	44	30	85.1

利用 Design - Expert 8.0.5 软件对表 2 还原糖含量的结果进行多元二次回归拟合分析,方程的响应面分析结果如图 2 所示。图 2 - a 为 50 ℃ 蛋白质休止时间,62、70 ℃ 糖化时间分别为 50、44、30 min 时,麦汁中糖化还原糖含量受水料比和膨化小麦比例影响的响应曲面图。当 X₁ 处于较低水平时,麦汁中还原糖含量随 X₂ 加入量的增大而增加;当 X₁ 处于较高水平时,麦汁中还原糖含量随 X₂ 的增大而降低。当 X₂ 较低时,麦汁中还原糖含量值随 X₁ 的增大有下降的趋势;当 X₂ 处于高水平时,麦汁还原糖含量值随着 X₁ 的增大而明显降低。可见这 2 个因素之间的交互作用明显。水料比为 4.0 mL : 1 g、62 ℃ 糖化时间固定在 44 min、70 ℃ 糖化时间固定在 30 min 时,麦汁中的还原糖含量随挤压膨化小麦辅料加入比例和 50 ℃ 蛋白质休止时间变化的响应曲面图见图 2 - b。当 X₃ 处于较高水平时,麦汁还原糖含量随 X₂ 的增加而增加;当 X₃

表 3 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺
回归方程系数显著性检验结果

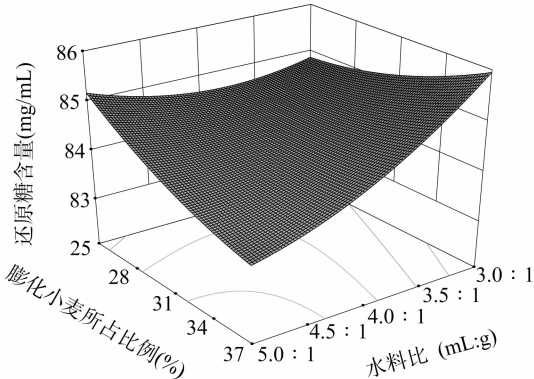
系数项	系数估计值	标准误差	t	P
常数项	84.429 8	43.066 6	2.83	0.012 5
X_1	-1.041 6	7.605 3	1.39	0.183 9
X_2	-0.275 0	1.338 0	-1.69	0.111 6
X_3	1.725 0	0.796 2	-1.84	0.085 2
X_4	1.708 3	0.453 4	1.23	0.238 7
X_5	0.475 0	0.351 2	-0.68	0.509 4
X_1X_1	1.320 8	0.555 6	2.38	0.031 2
X_2X_1	-2.675 0	0.131 0	-3.40	0.003 9
X_2X_2	0.770 8	0.015 4	1.39	0.185 6
X_3X_1	-1.225 0	0.078 6	-1.56	0.139 9
X_3X_2	2.825 0	0.013 1	3.60	0.002 7
X_3X_3	0.820 8	0.005 6	1.48	0.160 3
X_4X_1	-1.025 0	0.049 1	-1.30	0.211 8
X_4X_2	0.025 0	0.008 2	0.03	0.975 0
X_4X_3	-0.425 0	0.004 9	-0.54	0.596 5
X_4X_4	-0.329 1	0.002 1	-0.59	0.562 4
X_5X_1	0.375 0	0.039 3	0.48	0.640 1
X_5X_2	1.225 0	0.006 5	1.56	0.139 9
X_5X_3	-0.225 0	0.003 9	-0.29	0.778 5
X_5X_4	0.475 0	0.002 5	0.60	0.554 6
X_5X_5	-0.929 1	0.001 4	-1.67	0.115 2

在较低水平时,麦汁中的还原糖含量随 X_2 的增大而降低,且 2 个因素间的交互作用比较明显。当 X_2 在低水平时,麦汁中

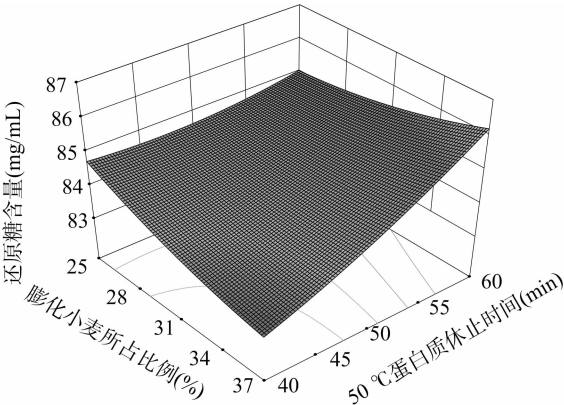
表 4 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化
工艺变量方差分析结果

变异类型	变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值
回归	线性	5	43.682 1	54.13	14.15	<0.000 1
	二次项	5	7.968 5	9.87	2.58	0.070 8
	交互项	10	19.786 2	24.52	3.20	0.020 8
	总回归	20	71.436 8	88.52	5.78	0.000 6
残差	失拟	6	44.481 0	0.746 8	1.41	0.309 8
	随机误差	9	4.781 0	0.531 2		
	总残差	15	9.262 0	0.617 5		
总和		35				

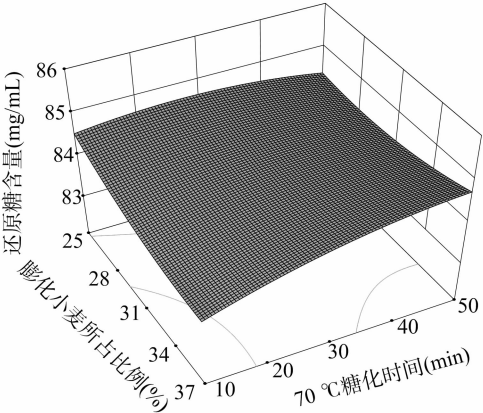
的还原糖含量随着 X_3 的延长而明显下降;当 X_2 在高水平时,麦汁中的还原糖含量随着 X_3 的延长而明显增大。水料比为 4.0 mL : 1 g、50 ℃ 蛋白质休止时间为 50 min、62 ℃ 糖化时间固定在 44 min 时,麦汁中的还原糖含量受膨化小麦比例和 70 ℃ 糖化时间影响的响应曲面图见图 2 - c。当 X_3 保持不变时,还原糖含量随着 X_2 的增加整体呈下降趋势;当 X_2 不变时,麦汁还原糖含量随 X_5 的延长而增加,到达一定程度后含量上升缓慢,因为此时糖化已接近完全,还原糖含量不再增加。水料比为 4.0 mL : 1 g、膨化小麦比例是 31%、50 ℃ 蛋白质休止时间固定在 50 min 时,麦汁中的还原糖含量受 62、70 ℃ 糖化时间影响的响应曲面图见图 2 - d。当 X_4 不变时,麦汁还原糖含量值随 X_5 的增加呈先增大后降低的趋势;当 X_5 不变时,麦汁还原糖含量值随 X_4 的延长而升高。



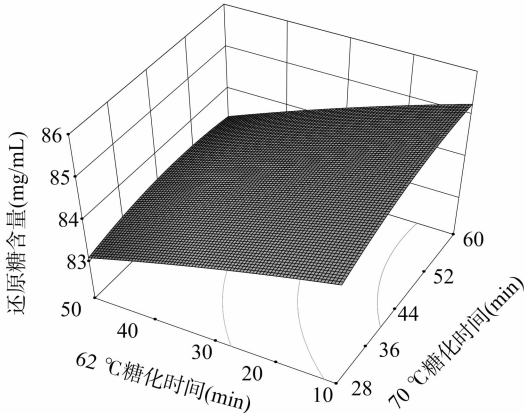
a.水料比(X_1)和膨化小麦所占比例(X_2)



b.膨化小麦比例(X_2)和50 ℃ 蛋白质休止时间(X_3)



c.70 ℃ 糖化时间(X_5)和膨化小麦比例(X_2)



d.62 ℃ 糖化时间(X_4)和70 ℃ 糖化时间(X_5)

图2 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺多元二次回归方程的响应面分析结果

2.2 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺最佳条件的确定

以麦汁还原糖含量为考察指标,用岭回归寻找最优糖化工艺参数范围,岭回归寻优分析结果见表 5。从表 5 可知,在

编码半径范围内,还原糖含量的变化不大,还原糖含量的最优工艺参数范围为:水料比 3.4 ~ 3.7 mL : 1 g,膨化小麦比例 32% ~ 33% ,50 ℃ 蛋白质休止时间 50 ~ 55 min,62 ℃ 糖化时间 44 ~ 47 min,70 ℃ 糖化时间 30 ~ 31 min。

表 5 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺岭回归寻优分析结果

编码半径	还原糖含量(mg/mL)		因子预测值				
	预测值	标准差	X_1 (mL : g)	X_2 (%)	X_3 (min)	X_4 (min)	X_5 (min)
0.0	84.4	0.245 01	4.0 : 1	31.0	50.0	44.0	30.0
0.1	84.7	0.245 08	4.0 : 1	31.0	50.6	44.9	30.3
0.2	85.0	0.246 02	3.9 : 1	31.2	51.3	45.7	30.5
0.3	85.4	0.250 07	3.8 : 1	31.4	51.9	46.2	30.7
0.4	85.8	0.260 64	3.8 : 1	31.7	52.5	46.6	31.0
0.5	86.2	0.281 65	3.7 : 1	32.1	53.1	46.9	31.0
0.6	86.7	0.316 30	3.6 : 1	32.4	53.7	47.2	31.2
0.7	87.3	0.366 28	3.6 : 1	32.8	54.2	47.4	31.3
0.8	87.9	0.431 84	3.5 : 1	33.1	54.7	47.6	31.4
0.9	88.6	0.512 44	3.5 : 1	33.5	55.3	47.8	31.5
1.0	89.4	0.607 26	3.4 : 1	33.9	55.8	47.9	31.7

2.3 以还原糖含量为指标的膨化小麦辅料麦汁糖化工艺最佳参数的验证试验结果

在最优范围内进行验证试验,试验结果(表 6)表明,麦汁还原糖含量为 85.5 ~ 87.6 mg/mL,在预测范围以内验证优化参数,结果显示这些优化的参数是可靠的。

表 6 还原糖含量验证试验结果

编号	X_1 (mL : g)	X_2 (%)	X_3 (min)	X_4 (min)	X_5 (min)	Y (mg/mL)
1	3.7 : 1	32	53	47	31	86.1
2	3.6 : 1	32	52	47	31	85.5
3	3.5 : 1	32	55	47	31	87.6

3 结论

采用 Box - Behnken 中心组合试验设计,使用 Design - Expert 8.0.5 软件进行回归分析,得到糖化工艺参数水料比、膨化小麦比例、50 ℃ 蛋白质休止时间、62 ℃ 糖化时间和 70 ℃ 糖化时间对麦汁还原糖含量的回归模型,方差检验结果证明了该模型的可靠性。利用 Design - Expert 8.0.5 软件对影响麦汁还原糖含量的糖化工艺参数间的相互作用进行响应面分析,通过岭回归得到最优糖化工艺参数:水料比为 3.7 mL : 1 g,膨化小麦比例为 32% ,50 ℃ 蛋白质休止时间为 53 min,62 ℃ 糖化时间为 47 min,70 ℃ 糖化时间为 31 min。对应的麦汁还原糖含量为 86.1 g/mL。

参考文献:

[1] 满娟娟. 小麦啤酒糖化工艺研究[D]. 淄博: 山东理工大学,2010.
[2] 倪应应,胡鹏刚. 高浓酿造法生产高辅料啤酒的研究[J]. 中国酿

造,2012,31(4):72 - 74.
[3] 王海明. 论小麦辅料啤酒的酿造[J]. 啤酒科技,2000(2): 20 - 23.
[4] 陆 燕,徐 岩,徐文琦,等. 膨化技术及其在酿酒工业中的应用[J]. 酿酒,2002,29(5):75 - 78.
[5] 杨铭铎. 谷物膨化机理的研究[J]. 食品与发酵工业,1988(4): 7 - 16.
[6] 姚 芳,祁兴普,刘 萍. 复合蛋白酶水解低值淡水鱼工艺的响应面优化[J]. 江苏农业科学,2012,40(6):229 - 233.
[7] 刘尼亚. 挤压蒸煮小麦辅料在啤酒糖化中应用的试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2007.
[8] 张 硕,张崇禧. 响应面法优化海参复合植物保鲜剂配方[J]. 江苏农业科学,2012,40(6):254 - 257.
[9] 朱兴一,陈 秀,谢 捷,等. 基于响应面法的闪式提取香菇多糖工艺优化[J]. 江苏农业科学,2012,40(5):243 - 245.
[10] 刘尼亚,申德超,李 杨,等. 挤压系统参数对挤压蒸煮小麦啤酒辅料抗性淀粉的影响[J]. 东北农业大学学报,2008,39(7): 127 - 130.
[11] 申德超,刘尼亚,王国庆. 挤压蒸煮小麦作啤酒辅料的糖化试验[J]. 农业机械学报,2008,39(3):71 - 74.
[12] 顾国贤. 酿造酒工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,1996: 131 - 133.
[13] 满娟娟,李宏军. 响应曲面法分析小麦啤酒糖化工艺参数对麦汁 α -氨基氮含量的影响[J]. 酿酒科技,2010(3):71 - 74.
[14] Liyana - Pathirana C, Shahidi F. Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology[J]. Food Chemistry,2005,93(1):47 - 56.
[15] 胡成旭,侯欣彤,冯永宁,等. 响应面法优化云芝多糖提取条件的研究[J]. 食品工业科技,2007,28(7):124 - 126,130.