

魔芋干制色泽褐变规律与模型的研究

邱 凌¹ 仇农学² 薛惠岚²

(1 西北农业大学干旱半干旱研究中心, 2 机械与电子工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘 要 采用二次正交旋转组合试验设计, 在 23 种工况下模拟魔芋片的热风干燥过程, 研究了干燥介质温度、流动速度与切片厚度 3 因素对产品色泽的影响规律, 得到定量描述产品色泽变化的数学模型和保证最佳产品色泽的干燥工艺参数。

关键词 魔芋, 产品色泽, 数学模型

中图分类号 TS255.36

魔芋系富含魔芋甘露聚糖、蛋白质、果胶、植物纤维、18 种氨基酸等营养物质的多年生块茎性草本植物, 能参与免疫、内分泌和神经系统等高级生命活动, 降低人体血液中胆固醇、血脂和血糖含量, 调节和改善机体新陈代谢, 是一种低热量、低脂肪、低胆固醇、低盐及具有减肥、抗癌、降压、健美作用的功能性保健食品^[1]。

魔芋干制过程是一个复杂的传热、传质过程, 在这个过程中, 由于芋片受到热、光、氧等物理、化学以及生物化学的综合作用而引起产品品质的一系列变化。这种变化在感观上的直接反映便是产品色泽的变化, 产品色泽的变化间接反映了芋片干燥过程中营养素的变化, 该变化不可能用一般的理论推导所预知。为此, 本文采用试验研究的方法, 应用回归分析和优化技术对影响产品色泽的主要参数进行了研究。

1 材料与方法

选择大小一致、表面光圆、无伤无病的陕南西乡县同一产地、生长年代相同的魔芋块茎做试验材料。原料清洗后, 保存于冰箱冷藏室备用。

干燥试验在自行设计制造的循环式热风干燥试验装置上进行^[2]。试验时, 首先预热试验装置, 待风温、风速稳定于设定值后, 将魔芋剥皮、切片(长×宽=40 mm×50 mm)、称重, 以 5 kg/m² 的装载量铺放于干燥室干燥, 当芋片含水率烘至 12% 时, 结束干燥。随后, 分组将烘干产品铺放在洁净的平台上, 按色泽白净程度依次排列, 用百分制计分, 其计分标准如下:

表 1 魔芋干制品色泽计分标准

| 颜色 | 洁白 | 白 | 微黄 | 浅黄, 略有褐变 | 浅黑 |
|----|-----|-------|-------|----------|-----|
| 计分 | >90 | 90~80 | 80~70 | 70~60 | <60 |
| 等级 | 特 | I | II | III | IV |

采用二次正交旋转组合试验设计, 对 3 因素 5 水平试验进行了设计和实施, 试验设计方案^[3]见表 2。

收稿日期: 1994-12-13

表2 魔芋干燥试验方案与产品色泽计分结果

| 试验编号 | 因素编码值 | | | 因素实际值 | | | 产品色泽 |
|------|-------|-------|-------|------------------|-------------------|------------------|-----------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | 风温 x_1 (°C) | 风速 x_2 (m/s) | 片厚 x_3 (mm) | CL (分) |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 58.11 | 0.7 | 6.62 | 60 |
| 2 | -1 | -1 | +1 | 58.11 | 0.7 | 11.38 | 47 |
| 3 | -1 | +1 | -1 | 58.11 | 1.3 | 6.62 | 69 |
| 4 | -1 | +1 | +1 | 58.11 | 1.3 | 11.38 | 56 |
| 5 | +1 | -1 | -1 | 81.89 | 0.7 | 6.62 | 82 |
| 6 | +1 | -1 | +1 | 81.89 | 0.7 | 11.38 | 64 |
| 7 | +1 | +1 | -1 | 81.89 | 1.3 | 6.62 | 88 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | 81.89 | 1.3 | 11.38 | 73 |
| 9 | -r | 0 | 0 | 50.00 | 1.0 | 9.00 | 40 |
| 10 | +r | 0 | 0 | 90.00 | 1.0 | 9.00 | 77 |
| 11 | 0 | -r | 0 | 70.00 | 0.5 | 9.00 | 66 |
| 12 | 0 | +r | 0 | 70.00 | 1.5 | 9.00 | 82 |
| 13 | 0 | 0 | -r | 70.00 | 1.0 | 5.00 | 84 |
| 14 | 0 | 0 | +r | 70.00 | 1.0 | 13.00 | 64 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 70 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 79 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 72 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 74 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 77 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 73 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 76 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 79 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 70.00 | 1.0 | 9.00 | 74 |

注:r=1.682

2 结果与分析

2.1 产品色泽数学模型的建立与检验

根据二次正交旋转组合试验设计,进行了23组干燥实验,并对干燥后的产品,按照表1的计分标准进行了评分,结果见表2。

应用二次正交旋转组合试验设计方法的计算机数据分析软件,对表2中的试验结果进行回归分析,得到产品色泽回归方程为:

$$CL = 74.8548 + 10.0482X_1 + 4.3867X_2 - 6.7831X_3 - 0.375X_1X_2 - 0.875X_1X_3 + 0.375X_2X_3 - 6.0132X_1^2 - 0.4954X_2^2 - 0.4954X_3^2 \quad (1)$$

方程(1)的显著性检验、拟合检验及回归系数检验结果见表3。

表3 产品色泽回归方程统计检验结果

| 检验项目 | F值 | 关系 | F _α 值 | 显著性 |
|-------------|--------|----|--------------------------------|-----|
| 显著性 | 41.29 | > | 4.19[F _{0.01} (9,13)] | ** |
| 拟合性 | 0.48 | < | 1.66[F _{0.25} (5,8)] | ** |
| x_1 系数 | 143.47 | > | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | ** |
| x_2 系数 | 27.34 | > | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | ** |
| x_3 系数 | 65.38 | > | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | ** |
| x_1x_2 系数 | 0.117 | < | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | |
| x_1x_3 系数 | 0.637 | < | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | |
| x_2x_3 系数 | 0.117 | < | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | |
| x_1^2 系数 | 59.78 | > | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | ** |
| x_2^2 系数 | 0.406 | < | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | |
| x_3^2 系数 | 0.407 | < | 9.07[F _{0.01} (1,13)] | |

统计检验结果表明,所得产品色泽回归方程极显著,其置信度 $>99\%$,并拟合得很好,表明方程可用于定量描述产品色泽随风温、风速、片厚的变化规律。

由表 3 可知,二次项 X_2^2 、 X_3^2 和所有交互项对方程影响不显著,故剔除影响不显著项后,得简化标准回归方程为:

$$CL = 74.8548 + 10.0482X_1 + 4.3867X_2 - 6.7831X_3 - 6.0132X_1^2 \quad (2)$$

2.2 产品色泽因素效应与褐变规律分析

2.2.1 主因素效应分析 根据方程(2)中各项偏回归系数的绝对值及表 3 中对应的 F 检验值的大小,可得出,影响产品色泽变化的主因素效应为:风温 $>$ 片厚 $>$ 风速。

2.2.2 单因素效应分析 对方程(2)进行降维处理,分别固定其它 2 个因素为零水平,得到各因素对应的一元降维回归方程子模型。

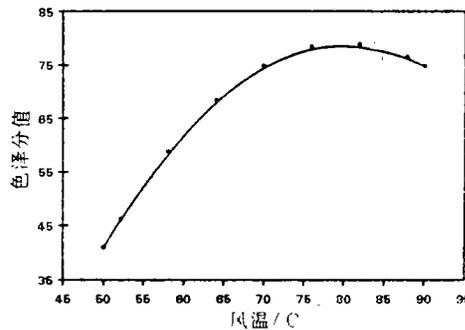
$$\left. \begin{aligned} CL(X_1) &= 74.8548 + 10.0482X_1 - 6.0132X_1^2 \\ CL(X_2) &= 74.8548 + 4.3867X_2 \\ CL(X_3) &= 74.8548 - 6.7831X_3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

对子模型(3)分别代入该因素不同水平的编码值,将计算结果制图,得图 1~图 3 所示产品色泽与各因素的效应曲线。

①产品色泽与风温的关系 由附图看,风温对产品色泽的影响效应最大,低温区产品色泽很差,随着温度的升高,产品色泽逐渐好转,当风温升高到某一水平值(80℃左右)时,色泽出现最高值,随后呈现下降趋势。究其原因,是低温干燥时,因干燥时间增长,酶的活性不能很快被抑制,使酶褐变和非酶褐变作用时间增长,加之一定的风速条件给芋片提供了丰富的氧,加速了这一反应的进程,从而引起色泽降低。随着风温的不断提高,酶活性不断下降,从而使褐变反应速度降低,色泽变好。当风温高于一定水平($>80^\circ\text{C}$)时,色泽逐渐下降。其原因是,高温干燥使魔芋中的甘露聚糖焦化及淀粉氧化褐变反应增强所致^[4]。

②产品色泽与片厚的关系 产品色泽与切片厚度呈线性负相关关系,色泽随切片增厚而下降。其原因是,切片越薄,干燥时间越短,氧化褐变反应时间和强度减弱,色泽随之提高。

③产品色泽与风速的关系 产品色泽与风速呈线性正相关关系,随风速的升高,产品色泽变好。其原因是,风速越高,干燥速率越高,干燥时间越短,芋片氧化褐变时间缩短,从而产品色泽较好。



附图 产品色泽与风温的关系

2.3 最佳产品色泽干燥工艺参数的优化

产品色泽反映了在干制过程中魔芋片氧化褐变的程度,体现了产品的感观质量,是检验和评价干制芋片质量的常用方法。研究芋片产品色泽数学模型的目的,是为了探知其色泽变化规律,从而为获得最佳产品色泽干燥工艺参数提供依据。为此,利用非线性优化方法——复合形法^[5],对所得产品色泽数学模型及约束条件进行优化求解,以期得到最佳工艺参数。

2.3.1 优化模型的建立

①目标函数。使产品色泽在试验设计范围内,达到最大值。即:

$$\min CL(x) = - [74.8548 + 10.0482X_1 + 4.3867X_2 - 6.7831X_3 - 6.0132X_1^2]$$

②约束条件。优化求解应在可行域内进行,即:

$$-1.682 \leq x_i \leq 1.682 \quad (i = 1, 2, 3)$$

2.3.2 优化求解与分析 这是3个变量、6个约束的单目标优化问题,通过应用复合形优化软件,在386微机上对上述优化模型进行优化求解,得到芋片最佳产品色泽干燥工艺参数为:风温80℃,风速1.5 m/s,切片厚度5 mm。在此条件下干燥,可获得高质量的魔芋干制品,其产品色泽评分高达97.84分,为特级产品。

3 结论

1)干制芋片产品色泽随风温、风速、片厚变化的规律由所得数学模型(2)定量描述,该模型置信度大于99%。

2)影响干制芋片产品色泽变化的主因素效应为:风温>片厚>风速;产品色泽与风温呈开口向下的二次抛物线关系,与片厚呈线性负相关关系,与风速呈线性正相关关系。

3)干制芋片最佳产品色泽干燥工艺参数为:风温80℃,风速1.5 m/s,切片厚度5 mm。在此条件下干燥,色泽评分为98分,产品为特级。

参 考 文 献

- 1 冲增哲编著.こんにやくの科学.(日)株式会社溪水社,1984
- 2 邱凌.魔芋热风干燥与真空冷冻干燥工艺的研究[学位论文].陕西杨陵:西北农业大学,1994
- 3 任露泉.试验优化技术.北京:机械工业出版社,1987
- 4 陈锦屏.果品蔬菜干制.北京:中国财政经济出版社,1983
- 5 汪萍,侯善华编者.机械优化设计.北京:中国地质大学出版社,1986

Regularity and Model of Konjak Color-Browning under Hot Air Drying

Qiu Ling¹ Qiu Nongxue² Xue Huilan²

(1 The Research Center on Arid and Semiarid Areas, 2 The College of Mechanical and Electronic Engineering,
Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract With the method of quadratic rotation-orthogonality the effects of the air temperature, air speed and sliced thickness on the color of the dried konjak produce have been studied under 23 different working conditions with simulating hot air drying tests. As a result, the mathematical model, which quantitatively explains produce color changes, and drying processing parameters, which ensures the optimum produce color, have been obtained.

Key words konjak (*Amorophophallus rivier*), produce color, mathematical model