

热风干燥温度对丹东板栗感官品质的影响

聂东梅, 段双平*

(西南科技大学土木工程与建筑学院, 绵阳 621000)

摘要: 目的 研究不同干燥温度对带壳丹东板栗干燥速率、含水率变化、板栗成品的组织状态、色泽以及口感的影响。**方法** 样品板栗分别进行在 40、45、50 °C 以及变温条件下的热风干燥实验。温度数据采集利用 T 型热电偶, 通过计算机控制安捷伦数据采集仪来记录。干燥后的板栗去壳、去红衣, 记录板栗仁的颜色变化、内部形态变化以及口感变化。**结果** 丹东板栗在 40 °C 干燥条件下的干燥成品质量好, 口感佳, 但效率低, 45 °C 条件下的干燥速率较高, 但是成品内部发生了皱缩, 50 °C 条件下的干燥速率最高, 但不仅成品内部发生了皱缩, 表皮颜色也呈褐色。变温干燥的干燥质量良好且干燥速率高。**结论** 变温干燥可以解决板栗在干燥过程中不同阶段对温度的敏感程度不一样带来的影响, 因此相对传统的单一温度干燥, 变温干燥更有研究前景。

关键词: 丹东板栗; 热风干燥; 干燥温度; 感官品质

Effect of hot air drying temperature on sensory quality of Dandong chestnut

NIE Dong-Mei, DUAN Shuang-Ping*

(College of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of different drying temperatures on the drying rate, moisture content, tissue status, color and taste of chestnut with shell. **Methods** The samples of chestnut were dried by hot air at 40, 45, 50 °C and variable temperature, respectively. Temperature data acquisition was recorded by T-type thermocouple and the Agilent data logger controlled by computer. After drying, shell and red clothes were removed to record the changes of color, internal morphology and taste of chestnut kernels. **Results** Dandong chestnut dried at 40 °C had good quality and good taste, but low efficiency. The drying rate at 45 °C was higher, but the inner part of the product shrunk. The drying rate at 50 °C was the highest. however, not only the inner part of the product shrunk, but also the skin color turned brown. The drying quality and drying rate of variable temperature drying were good. **Conclusion** Variable temperature drying can solve the influence of different temperature sensitivity in different stages of chestnut drying process. Therefore, compared with the traditional single temperature drying, variable temperature drying has more research prospects .

KEY WORDS: Dandong chestnut; hot air drying; drying temperature; sensory quality

1 引言

板栗是我国有名的传统农副产品, 已有数千年的栽

培历史。板栗仁富含糖、蛋白质、脂肪和多种维生素, 还含有钙、钾、磷等矿物质元素, 具有一定的保健功能, 素有“干果之王”的美称。但新鲜板栗受季节性影响较强, 每

*通讯作者: 段双平, 副教授, 主要研究方向为自然通风和太阳房热特性。E-mail: 375100079@qq.com

*Corresponding author: DUAN Shuang-Ping, Associate Professor, Southwest University of Science and Technology, 59 Qinglong Avenue, Fucheng District, Mianyang 621000, China. E-mail: 375100079@qq.com

年因霉烂、虫害、失水和发芽而造成的采后损失达总产量的 35%~50%，严重可达 70%，这造成了板栗资源的极大浪费，严重限制了板栗的运输、贮藏以及出口^[1]。解决这类新鲜板栗的问题需要开发出多样化、方便快捷、美味优质的新产品，因此，发展板栗系列产品的深加工就很有必要。板栗的深加工必须首先去除外壳和红衣，但由于新鲜的板栗含水量较高，外壳和红衣紧裹肉仁，去除非常困难，而通过对板栗进行干燥处理之后会更容易去除外壳和红衣，所以研究板栗干燥很有必要。

板栗对温度变化非常敏感，所以在板栗干燥过程中，温度控制不好会使板栗褐化、熟化；由于板栗受热、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，这种变化在感官上的直接反映便是产品色泽的变化，因此板栗的护色在板栗加工过程中非常重要^[2]；另外板栗在干燥过程中存在着湿度梯度和温度梯度，2 种梯度的方向相反^[3]，板栗的组织结构会发生皱缩，如何尽量维持原来的组织结构形态也是研究重点之一。

目前在对板栗干燥的研究中，主要以微波干燥、真空冷冻干燥为主。曹小红等^[4]研究了板栗微波干燥的特性以及板栗干燥后品质的变化；李云雁等^[5]研究了微波真空组合干燥板栗片；张乐等^[6]在此基础上研究了在微波真空干燥方式下，微波强度、腔体压力等参数对板栗片干燥过程中热质传递的影响规律。张会坡等^[7]以辽西板栗为试材，对其真空冷冻干燥工艺进行了研究；刘鹏飞等^[8]在前人的基础上以新鲜板栗为原料，进一步研究了真空冷冻干燥板栗仁的加工工艺。此外，姜正等^[9]将气体射流冲击干燥技术应用于板栗干燥，研究了板栗仁在不同风温和风速下的干燥特性。魏宗峰等^[10]以信阳大板栗为实验材料，运用直接干燥法对脱水板栗片的工艺进行了研究。

但以上干燥方法不仅成本较高，而且干燥对象都是板栗片或者板栗粉，需要进行不同程度上的预处理，一般适用于二次干燥处理，不适用于普通农家或者大量集中一次干燥。而热风干燥成本较低，操作简单，不需要预处理，有利于一次干燥^[11,12]。另外不同种类板栗初始含水率不同，不同种类的板栗对温度的敏感性也不同，其中，新鲜板栗的初始含水率通常在 40%~60%^[13]。丹东板栗是丹东的重要经济支撑，其种植面积和产量均占辽宁省第一。所以对新鲜丹东板栗如何快速经济大量地进行干燥是很有必要的。

鉴于此，本研究采用热风干燥法对带壳的丹东板栗进行干燥，研究干燥温度对板栗组织状态、色泽以及口感的影响，以期对带壳丹东板栗的热风干燥加工提供理论支撑。

2 实验方法

2.1 实验材料

2.1.1 样品来源

本实验用到的板栗是丹东板栗品种分类中的中国栗。这种丹东板栗壳薄，约为 0.5~0.6 mm，大小差异不大，平均长径为 33.48 mm，短径为 28.04 mm，厚度为 23.51 mm。

2.1.2 实验仪器

JA5003 电子天平(精度 0.001 g, 德国赛多利斯 Sartorius 公司); DHG-9030 鼓风干燥箱(上海捷呈实验仪器公司); 34972A 计算机控制安捷伦数据采集仪(美国安捷伦公司); AZ8888 红外测温仪(上海徐吉电气有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 前期准备

板栗分为 4 组，称重，计算各组的总体平均重量，再分别选择 4 颗样品，称重，计算各组样品的平均重量，直至样品的平均重量与总体平均重量之差小于 0.1 g，样品选择结束。标记好样品之后准备放入鼓风干燥箱进行干燥。

2.2.2 实验流程

板栗分别进行 40、45、50 °C 以及变温条件下的干燥实验。变温条件为：以 35 °C 为起始温度，以 5 °C/h 的速度增加到 50 °C，保持 1 h，再以 5 °C/h 的速度减小到 40 °C，保持 11 h，之后以 5 °C/h 的速度增加到 45 °C，保持 8 h，最后以 5 °C/h 的速度减小到 40 °C，直至板栗湿基含水率降到 13% 以下，即干燥完成。

温度数据采集利用 T 型热电偶，通过计算机控制安捷伦数据采集仪来记录，每 5 min 记录一次。干燥过程每过 1 h 测取样品的重量，计算重量变化，进而得到样品的含水率变化和干燥效率变化。干燥后的板栗去壳、去红衣，记录板栗仁的颜色变化、内部形态变化以及口感变化。

2.2.3 计算公式

湿基含水率的计算公式如公式(1)所示^[14]：

$$X = \frac{G_w}{G_w + G_d} \times 100\% \quad (1)$$

其中， X —湿基含水率，g 水/g 总物料；

G_w —物料中所含水的质量，g；

G_d —物料中所含干物料的质量，g。

干燥速率的计算公式：

$$N_A = \frac{dW}{Ad\tau} = -\frac{G_d dX}{Ad\tau} \quad (2)$$

其中， N_A —干燥速率，g/(m²·s)；

A —试样暴露于气流中的表面积，m²；

W —汽化的水分量，g；

τ —时间，s。

2.2.4 统计分析

单因素试验指标的差异采用 SPSS24.0 统计软件中均

值方差分析, 分析差异的显著性, 显著水平 $P \leq 0.01$, 不同字母表示差异性显著。

3 结果与分析

3.1 干燥温度对丹东板栗干燥过程含水率变化的影响

经实验测得本实验用到的丹东板栗的初始含水率为 47.4%。将风速固定在 1.5 m/s, 进行不同温度条件下的干燥实验, 根据实验结果得到丹东板栗的干燥曲线和干燥速率曲线如图 1 和 2 所示。

由图 1 可以看出, 板栗的湿基含水率随着干燥时间的延长而呈现降低的趋势, 温度越高干燥耗时越短, 含水率降低越快。丹东板栗在温度为 40、45、50 °C 和变温干燥条件下的达到目标湿基含水率所需时间分别 41、31、27 和 34 h。

由图 2 的干燥速率曲线可以看出, 40 °C 干燥条件下基本处于匀速状态; 45 °C 干燥阶段有增速阶段也有降速阶段; 50 °C 则处于明显降速阶段; 变温过程的干燥速率与所处阶段的干燥温度有关, 所以既有明显的增速阶段又有明显的降速阶段。这是因为在 40 °C 温度条件下由于温度很低, 蒸发界面没有发生明显的内移, 内部的水分扩散速度和蒸发面水分蒸发速度一致, 宏观上的干燥速率就没有明显变化。45 °C 条件下的干燥过程前几个小时出现的微增速阶段是因为蒸发界面没有明显内移, 内部水分充足, 表面水分蒸发速度略微上升, 后面因为板栗仁发生了不同程度的皱缩, 水分蒸发面发生内移, 内部水分减少, 表面水分蒸发速度降低, 从而降低了干燥速率。50 °C 干燥过程的明显降速过程同样也是因为板栗仁发生皱缩, 水分蒸发界面内移, 在核桃仁内部水分的扩散速度降低, 干燥速率降低。变温过程的速率变化则是因为温度的宏观调节导致的。

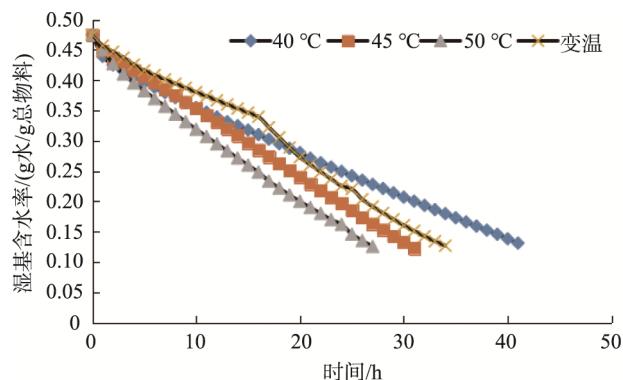


图 1 干燥曲线
Fig.1 Drying curve

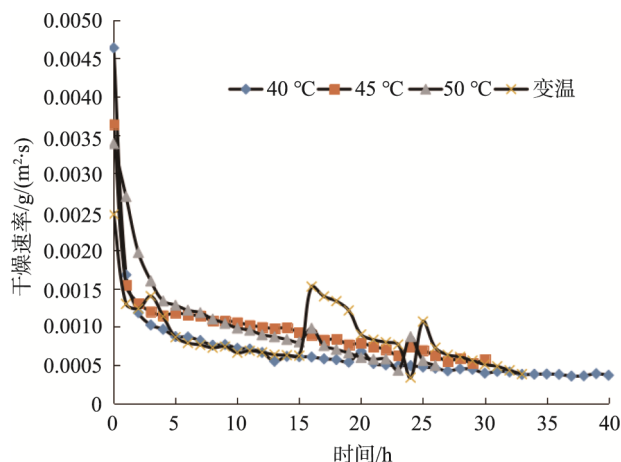


图 2 干燥速率曲线
Fig.2 Drying rate curve

3.2 干燥温度对板栗成品色泽的影响

由于干燥箱内部放置物料分为 2 层, 出风口位置在干燥箱偏下层位置, 所以干燥箱内部温度不是完全均匀的, 为了测试这给结果带来的影响, 在变温实验之后把干燥箱内部最高温处和最低温处干燥后的板栗单独比较了一下, 结果证明这 2 者低温处板栗内部颜色为黄色, 而高温处的板栗内部颜色浅黄色偏白, 颜色差别不大, 而且两者口感没有差别, 所以由于干燥箱内部温度不均匀所带来的影响可以忽略。

经方差分析, 干燥温度对板栗色泽的影响达到显著水平, 多重比较见表 1。由表可知, 不同的干燥温度对板栗色泽影响的显著水平不同, 50 °C 色差相对于其他种类最为明显, 变温干燥的色差最不明显, 说明变温干燥可以很好地保持板栗原有的颜色。这可能是因为板栗富含多酚类物质, 在干燥过程中发生酶促褐变以及非酶促褐变, 随着干燥温度的升高, 褐变指数则不同, 色差也随之不同。

表 1 干燥温度对板栗色泽影响比较

Table 1 Comparison of effect of drying temperature on chestnut color

温度/°C	求和	平均	方差	0.05	0.01
40	56.61	14.5575	0.369	d	B
45	69.77	17.4416	0.563	d	AB
50	78.02	19.0275	1.01	c	A
变温	65.44	16.3589	0.271	d	B

3.3 干燥温度对板栗成品口感的影响

将 4 组板栗干燥成品分别让 5 个受访者品尝, 对甜度以及脆度分别进行打分, 最高分为 9 分, 最低分为 1 分, 调查结果如表 2 和表 3 所示。对于板栗成品的甜度而言, 把对甜度比较敏感的受访者 3 去除, 其他受访者对各个温度

干燥的成品板栗甜度评价相差不大;而对于板栗成品的脆度而言,同样把对脆度极其不敏感的受访者 3 去除,其他受访者对各个温度干燥的成品板栗脆度评价相差不大。由结果可知,温度较高会导致板栗口感苦涩、韧;而低温干燥的成品口感清脆、甜。这可能是由于温度过高破坏了板栗内部微观结构,比如破坏了大多数学者认可的多羟基,导致了甜味的降低^[15];另外同样也由于温度过高板栗成品发生了皱缩,导致脆度降低。

表 2 受访者对不同干燥温度成品板栗甜度的打分
Table 2 Respondents' scores on the sweetness of finished chestnuts at different drying temperatures

受访者	甜度				
	40 °C	45 °C	50 °C	变温	级差
1	9	8	7	9	2
2	8	7	6	8	2
3	9	7	5	8	4
4	8	7	6	9	3
5	9	8	7	9	2

3.4 干燥温度对板栗成品组织形态的影响

图 3 从左到右分别是经过 40、45、50 °C 以及变温干燥后的成品图。可以看出,经过不同温度干燥后的各组板栗在外观上可以看出出现了不同程度的皱缩。这是因为热风干燥是由表往里的干燥过程,存在着温度梯度和湿度梯度,两种梯度方向相反。当温度较低的时候,两种方向虽然相反,但是速度基本一致,能保持相对的平衡,在外形变化上就表现地不明显,从而皱缩就不明显;而当温度相对较高时,水分迅速外扩,瞬间空气不能进入板栗内部,造成了局部真空形成内外压力差,在外形上就表现为直径变小,发生褶皱。

表 3 受访者对不同干燥温度成品板栗脆度的打分
Table 3 Respondents' ratings of crispness of finished chestnuts at different drying temperatures

受访者	脆度				
	40 °C	45 °C	50 °C	变温	级差
1	8	7	5	7	3
2	7	6	5	8	3
3	7	7	6	7	1
4	6	6	5	7	2
5	7	6	5	8	3



图 3 40、45、50 °C 和变温板栗干燥后的色泽和形态
Fig.3 color and shape of dried chestnut at 40, 45, 50 °C and different temperatures

4 讨论与结论

4.1 讨论

以上实验结果证明,不同温度干燥对板栗成品质量以及干燥效率都有影响,对于本实验用到的丹东板栗而言,40 °C 干燥条件下的干燥成品质量较好,但是干燥速率较低;45 °C 条件下的干燥速率略有提升,但是成品内部发生了皱缩;50 °C 条件下的干燥速率最高,但是成品表皮色泽参差不齐而且内部也发生了明显皱缩。证明丹东板栗对温度非常敏感,在干燥初期,高温容易熟化,所以在初期适合低温干燥,中期可以适当提高干燥温度,加快干燥速度,后期降低温度保证干燥品质。本研究丹东板栗的变温实验中由于第 1 次较高温阶段干燥时间太短,为了提高干燥效率,进行了第 2 次的较高温干燥,所以在之后对板栗进行

变温干燥研究时应确定高温阶段干燥时间,在保证成品质量的前提下,达到更高的干燥效率。

另外在测量样品的重量时为人工测量,每次在各个温度干燥下从干燥箱内部拿出来的样品表面温度与干燥箱内部温度基本相同,而外部空气温度远低于干燥温度,测量完之后虽以最快速度放回干燥箱内部原位置,但依然会导致干燥箱内部温度降低,这将会导致在下一段干燥初期进入一段短暂的预热阶段,这就给实验干燥过程带来了误差。所以如何减少人为因素在实验过程中带来的误差也是重点研究方向之一。

4.2 结论

本研究对热风干燥干燥温度对板栗感官品质影响进行了研究,结果发现变温干燥初期和末期进行低温干燥可

以保证成品质量良好, 中期升高温度提高干燥速率, 这可以解决板栗在干燥过程中不同阶段对温度的敏感程度不一样带来的影响, 因此相当对传统的单一温度干燥, 变温干燥更有研究前景。

参考文献

- [1] 黄礼平. 板栗常温保鲜贮藏的难点与对策[J]. 陕西林业科技, 2012, (4): 120-122.
Huang LP. Difficulties and countermeasures of chestnut storage at room temperature [J]. Shaanxi Forest Sci Technol, 2012, (4): 120-122.
- [2] 郑传祥. 板栗干燥特性及干燥机的开发研究[J]. 中国粮油学报, 2001, (5): 55-58.
Zheng CX. Study on drying characteristics of chestnut and development of dryer [J]. Chin J Grain Oil, 2001, (5): 55-58.
- [3] 朱京涛. 不同干燥方法对板栗的组织结构及色泽的影响[C] // 中国园艺学会干果分会. 第四届全国干果生产、科研进展研讨会论文集. 中国园艺学会干果分会: 中国园艺学会, 2005: 278-282.
Zhu JT. Effect of different drying methods on the structure and color of chestnut [C] // Dry Fruit Branch of Chinese Horticultural Society. Proceedings of the 4th national symposium on the progress of dry fruit production and scientific research. Dry fruit branch of Chinese Horticultural Society: Chinese Horticultural Society, 2005: 278-282.
- [4] 曹小红, 常学东. 板栗的微波干燥特性及其对干后品质的影响[J]. 食品工业科技, 2005, (1): 63-65.
Cao XH, Chang XD. Microwave drying characteristics of chestnut and its influence on the quality after drying [J]. Food Ind Sci Technol, 2005, (1): 63-65.
- [5] 李云雁, 宋光森, 杜宇, 等. 微波真空组合干燥法制备脱水板栗片的研究[J]. 食品科技, 2006, 31(8): 88-91.
Li YY, Song GS, Du Y, *et al.* Study on the preparation of dehydrated chestnut slices by microwave vacuum combined drying method [J]. Food Sci Technol, 2006, 31(8): 88-91.
- [6] 张乐, 赵守涣, 王赵改, 等. 板栗微波真空干燥特性及干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 206-210.
Zhang L, Zhao SH, Wang ZG, *et al.* Study on microwave vacuum drying characteristics and drying process of chestnut [J]. Food Mach, 2018, 34(4): 206-210.
- [7] 张会坡, 张子德, 陈志周, 等. 板栗真空冷冻干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2005, 21(2): 27-28, 31.
Zhang HP, Zhang ZD, Chen ZZ, *et al.* Study on vacuum freeze drying technology of chestnut [J]. Food Mach, 2005, 21(2): 27-28, 31.
- [8] 刘鹏飞, 周家华, 常虹, 等. 真空冷冻干燥板栗仁加工工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(10): 75-78.
Liu PF, Zhou JH, Chang H, *et al.* Study on the processing technology of vacuum freeze-drying chestnut kernel [J]. Food Sci Technol, 2011, 36(10): 75-78.
- [9] 娄正, 高振江, 肖红伟, 等. 板栗气体射流冲击干燥特性和工艺优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 368-373.
Lou Z, Gao ZJ, Xiao HW, *et al.* Characteristics and process optimization of chestnut air jet drying [J]. J Agric Eng, 2010, 26 (11): 368-373.
- [10] 魏宗烽, 邵颖, 魏明奎. 直接干燥法制备脱水板栗片的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(8): 55-58.
Wei ZF, Shao Y, Wei MK. Study on the preparation of dehydrated chestnut slices by direct drying [J]. Food Sci Technol, 2014, 39(8): 55-58.
- [11] 杨佳琪, 袁越锦, 王栋, 等. 不同干燥方式对香蕉切片干燥品质的影响试验[J]. 食品科技, 2019, 44(3): 74-79.
Yang JQ, Yuan YJ, Wang D, *et al.* Effects of different drying methods on the drying quality of banana slices [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(3): 74-79.
- [12] 赵昆. 热风干燥特性与工艺及其平衡含水率的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
Zhao K. Study on characteristics and technology of hot air drying and its equilibrium moisture content [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- [13] 刘洁, 李小昱, 李培武, 等. 基于近红外光谱的板栗水分检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 338-341.
Liu J, Li XY, Li PW, *et al.* Determination of chestnut water content based on near infrared spectroscopy [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2010, 26(2): 338-341.
- [14] 陈东, 谢继红. 热泵干燥装置[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
Chen D, Xie JH. Heat pump drying unit [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [15] 杨立军, 曹峥, 曾秋敏, 等. 板栗真空爆壳工艺及热力学过程分析[J]. 食品科技, 2012, 37(2): 108-110.
Yang LJ, Cao Z, Zeng QM, *et al.* The vacuum shelling process of Chinese chestnut [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(2): 108-110.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介

聂东梅, 硕士, 主要研究方向为热泵干燥。

E-mail: 17340153628_1@163.com

段双平, 副教授, 主要研究方向为自然通风和太阳房热特性。

E-mail: 375100079@qq.com