

王存堂,张雄峰,王伟,等.洋葱切片热风干制特性和数学模型的建立[J].江苏农业科学,2016,44(6):369-371.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.109

洋葱切片热风干制特性和数学模型的建立

王存堂¹,张雄峰²,王伟¹,李鑫¹,王璐瑶¹,王芝伟¹,李萌¹

(1. 齐齐哈尔大学食品与生物工程学院,黑龙江齐齐哈尔 161006; 2. 江西省烟叶科学研究所,江西省南昌市 330025)

摘要:研究洋葱切片在 60、70、80、90 °C 不同干制温度下薄层热风干制特性,建立干制过程中的数学模型,以分析热风干制温度对洋葱切片干制特性的影响。结果表明,洋葱切片热风干制过程以降速干燥为主,热风干制时的水分转移符合菲克(Fick)扩散模型,从确定系数(R^2)、卡方(χ^2)、均方根误差(RMSE)3个统计数据分析,Page 方程模型与洋葱切片干制过程的拟合度较高。

关键词:洋葱切片;干制特性;薄层干制模型;温度

中图分类号: TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)06-0369-03

洋葱(*Allium cepa*)系百合科葱属多年生草本植物,以肥大的肉质鳞茎供食用,营养价值较高,在欧美素有“蔬菜皇后”之美誉^[1]。洋葱在中国分布很广,南北各地均有栽培,而且种植面积还在不断扩大,是目前中国主栽蔬菜之一^[2]。洋葱收获季节相对比较集中,其鳞茎含水量高,易腐烂,贮藏难度大,在运输过程中损失较大,运输成本较高,因此,通常将洋葱干制脱水后再进行外销。洋葱有红皮洋葱、黄皮洋葱、白皮洋葱之分,本试验选用黄皮洋葱,其皮为黄色或淡黄色,扁圆形,直径 6~8 cm,肉质为鳞片状,组织细密,辣味较浓,产量虽比红皮种低,但品质较好,可作脱水加工用^[3]。

果蔬干制有晒干、烘干、减压干制及冷冻干制等多种方式。晒干过程果蔬容易被微生物污染,产品卫生质量差,质量不均一;烘干、冷冻干燥耗时耗能。为缩短干制时间,减少营养成分损失和能量消耗,物料切片后再干制被广泛应用于果蔬的脱水干制加工^[4]。但是,果蔬干制过程中水分变化对干燥过程的意义重大,将直接影响产品的品质,而限于现代干燥

技术,实现干燥过程中物料水分的在线检测是个难题。研究干燥过程中果蔬水分的变化规律,将为其实际脱水生产提供更多的数据支持。目前,已有学者对辣椒、番茄、胡萝卜、梨等果蔬物料切片进行热风干燥特性和动力学模型研究^[5-11],而关于洋葱切片热风薄层干制数学模型的研究鲜见报道。因此,本试验将洋葱进行切片处理并热风干制,考查洋葱切片热风干制温度对其干制特性的影响,建立干制过程中的数学模型,以期为洋葱的生产加工实践提供基础数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

无软烂、大小均一的新鲜黄皮洋葱,购于黑龙江省齐齐哈尔农贸市场。

1.2 主要仪器设备

数显 101A-2 型电热鼓风干燥箱,由上海浦东荣丰科学仪器有限公司生产;BS222S 电子天平,由赛多利斯科学仪器(北京)有限公司生产。

1.3 试验方法

干制之前,将洋葱外层干皮剥去,用刀将洋葱横切成宽度为(0.5±0.1) cm 的切片,切片大小均匀一致,初始的水分含量(M_0)为(10.43±0.52) g/g(水分质量/干物质质量,下同);干制试验前 2 h,将热风干燥箱开机并分别选定温度,以

收稿日期:2015-05-11

基金项目:黑龙江省自然科学基金面上项目(编号:C2015050);齐齐哈尔大学青年教师科研启动支持计划(编号:2014K-M25)。

作者简介:王存堂(1980—),男,甘肃高台人,博士,副教授,主要从事农产品储藏与加工研究。Tel: (0452) 2714727; E-mail: robbertwang@163.com。

蜜酒的最佳澄清剂,最佳添加量为 2.0 g/L。冷热处理及静置试验结果表明,红枣蜂蜜酒 18 °C 下胶 7 d、-5 °C 冷冻处理 3 d 为最佳冷处理方式,酒体不仅可以保持原酒的风味,而且稳定性得到明显提高,保存时间较长。

参考文献:

- [1] 田景芝,缪晓青,吴珍红. 蜂蜜酒的研究进展[J]. 中国蜂业, 2009,60(2):13-15.
- [2] 朱东涛. 蜂蜜低度酒澄清剂的研究[J]. 宝鸡文理学院学报:自然科学版,1995(3):42-44.
- [3] 卫春会,罗惠波,黄治国,等. 桑椹酒澄清剂的选择与处理工艺优化[J]. 现代食品科技,2013,29(4):812-816.

- [4] 左勇,刘利平,李东,等. 无花果果酒的澄清及稳定性研究[J]. 酿酒科技,2014,242(8):27-30.
- [5] 李艳敏,赵树欣. 不同酒类澄清剂的澄清机理与应用[J]. 中国酿造,2008,178(1):1-5.
- [6] 王森. 蜂蜜酒澄清技术的研究[J]. 云南农业大学学报,1999,14(1):64-66.
- [7] 隋秀芳,张建场,熊建军,等. 蓝莓发酵酒澄清剂的筛选[J]. 中国酿造,2014,33(2):97-100.
- [8] 王海明. 鱼胶和啤酒的澄清[J]. 酿酒科技,2003(1):66-67.
- [9] 高年发. 葡萄酒生产技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005:191-192.
- [10] 赵静,刘学文,宋娜. 冬枣果酒的澄清技术研究[J]. 中国酿造,2009,203(2):127-128.

获得稳定的干制条件;准确称取洋葱切片 200 g,单层平铺于铁丝网上,置于电热鼓风进行干燥,干制温度分别为 60、70、80、90 ℃,风速恒定为 1.0 m/s;每隔 10 min 记录 1 次洋葱切片的质量变化,精确至 0.01 g,每次称质量不超过 20 s,直至连续 3 次质量不发生变化为止。重复 3 次。

1.4 热风干制的特性

1.4.1 水分比和干制速率的计算 洋葱切片薄层干制试验的水分比(MR)和干制速率(DR)的计算方程分别为:

$$MR = (M - M_e) / (M_0 - M_e);$$
$$DR = (M_{t+dt} - M_t) / dt。$$

式中:M 为任意时刻的水分含量,M₀ 为初始水分含量,M_e 为平衡水分含量,M_t 为 t 时刻的水分含量,M_{t+dt} 为 t + dt 时刻的水分含量,单位均为 g/g;t 为干制的某一时刻,单位为 min。当干制时间较长时,与 M 或 M₀ 相比,M_e 值比较小时可以忽略不计,此时,MR = M/M₀。

1.4.2 相关系数和误差分析 利用 5 个常见的理论 - 扩散模型(表 1)分别描述洋葱切片的干制曲线^[5,8],以选择合适的数学模型描述洋葱切片的干制过程。

表 1 洋葱薄层干制拟合使用的数学模型

编号	模型名称	数学模型
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Two term exponential	$MR = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$
4	Henderson and Pabis	$MR = a\exp(-kt)$
5	Approximation of diffusion	$MR = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$

注:k、n、a、b 均为待定系数。

采用 OriginPro 8.5 数学统计软件分析线性和非线性回归方程,统计确定系数(R²)、卡方(χ²)、均方根误差(RMSE)3 个参数。χ²、RMSE 的计算方程分别为:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z};$$
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}。$$

式中:MR_{exp,i}、MR_{pre,i} 分别为试验 MR 值和预测 MR 值,N 为观测点数量,z 为干制数学模型中常数的数量。

2 结果与分析

2.1 洋葱切片的干制曲线

干制特性曲线是物料水分比(MR)与干制时间之间的关系曲线,可表明水分含量随干制时间延长而下降的过程。由图 1 可见,洋葱切片的 MR 值随干制时间延长而逐渐下降;热风温度对 MR 值的影响较为明显,温度分别为 60、70、80、90 ℃ 条件下,干制获得平衡水分的时间分别为 230、170、140、120 min;热风温度的增加加速了洋葱切片的干制过程,干制时间缩短。这在番茄片、梨切片、茄切片、苹果渣等^[6,8,12-13]干制过程中均有类似报道。

2.2 洋葱切片的干制速率

由图 2 可见,洋葱切片干制过程中只有极短时间的加速干燥,达到某一速率便依次进入减速干燥、降速干燥过程,洋葱切片干制没有出现恒速干燥过程。这主要是因为洋葱在干

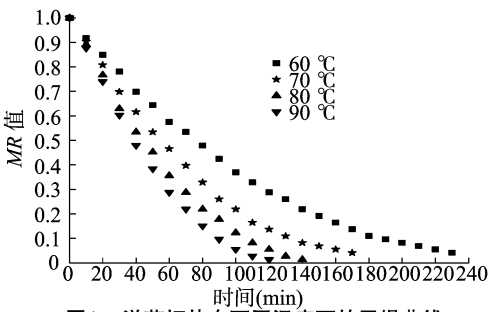


图1 洋葱切片在不同温度下的干燥曲线

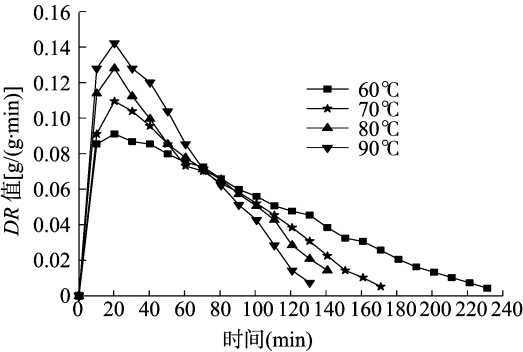


图2 洋葱切片不同温度条件下随时间的干制速率变化

制过程中,表面的水分扩散速率大于洋葱内部的水分转移速率,水分扩散过程很快,与 Vega 等的研究结果^[5,12-13]相似。由图 3 可见,随水分含量持续下降,洋葱切片的干制速率降低;洋葱切片干制速率大于 0.07 g/(g · min) 时,干制温度越高,干制速率越大,洋葱切片干制速率小于 0.07 g/(g · min) 时,干制温度越高,干制速率越小。干制后期,洋葱切片内部水分含量越低,干制的速率越小,水分也越难以除去。因此,在干制后期,可采用微波干制等干制方式以加快水分的蒸发,缩短干制时间^[7]。

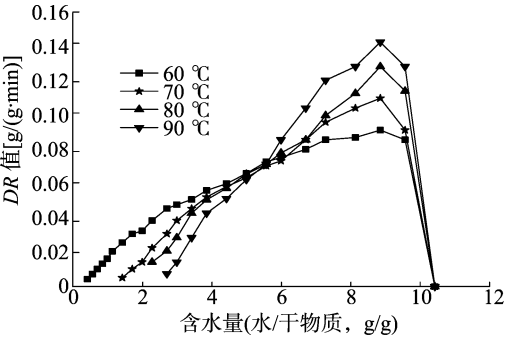


图3 不同温度下洋葱切片随水分含量的干燥速率变化

2.3 洋葱切片的热风干制模型

由表 2 可见,R²、χ²、RMSE 值的变化范围分别为 0.971 8 ~ 0.998 5、0.001 4 × 10⁻⁴ ~ 0.003 1、0.000 3 ~ 0.053 3;Page 模型计算得到的 R² 相对较大,χ²、RMSE 相对较小,这说明其拟合度相对较高,能很好地描述洋葱切片的薄层干制过程。由图 4 可见,Page 方程预测和试验数据测得的 MR 值非常吻合,这与 Demiray 等的研究结论^[6,8,12]类似。

3 结论

试验结果表明,热风温度对洋葱切片薄层热风干燥特性

表 2 不同薄层干制模型所模拟的统计结果

模型名称	干制温度 (℃)	统计参数		
		R^2	χ^2	$RSME$
Newton	60	0.985 3	0.001 3	0.035 2
	70	0.981 7	0.001 7	0.040 1
	80	0.977 6	0.002 3	0.046 2
	90	0.971 8	0.003 1	0.053 3
Page	60	0.998 0	$1.766\ 1\times 10^{-4}$	0.012 6
	70	0.998 5	$1.460\ 4\times 10^{-4}$	0.011 4
	80	0.997 4	$2.697\ 9\times 10^{-4}$	0.015 2
	90	0.997 7	$2.523\ 1\times 10^{-4}$	0.014 5
Twotern exponential	60	0.984 2	$0.001\ 4\times 10^{-4}$	0.000 3
	70	0.997 9	$1.959\ 1\times 10^{-4}$	0.012 4
	80	0.996 3	$3.915\ 4\times 10^{-4}$	0.016 7
	90	0.995 8	$4.660\ 6\times 10^{-4}$	0.017 6
Henderson and Pabis	60	0.988 9	$9.836\ 4\times 10^{-4}$	0.029 9
	70	0.986 3	0.001 3	0.034 1
	80	0.982 2	0.001 8	0.039 2
	90	0.976 9	0.002 6	0.046 5
Approximation of diffusion	60	0.972 3	0.002 4	0.045 6
	70	0.979 3	0.002 1	0.042 0
	80	0.973 8	0.002 7	0.046 1
	90	0.996 5	$3.892\ 8\times 10^{-4}$	0.017 1

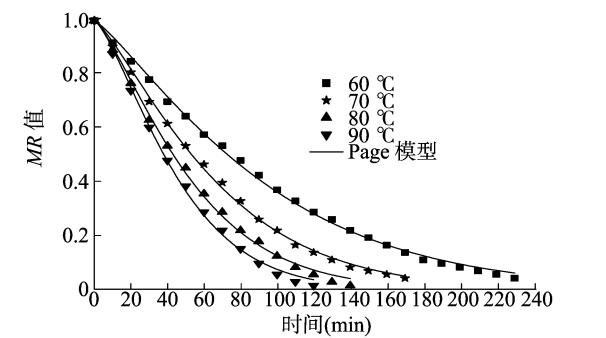


图4 洋葱切片干燥曲线MR试验值和Page模型拟合预测值比较

的影响十分明显,在 60 ~ 90 ℃ 试验温度范围内,热风温度越高,洋葱切片的干燥速率越快,干燥时间越短,其干燥过程为开始短暂的升速阶段,其后为降速干燥阶段,没有恒速干燥阶段。经验数学模型的拟和结果表明,Page 模型拟合度相对较高, R^2 值相对较高, χ^2 、 $RMSE$ 相对较小,是模拟洋葱切片薄层热风干燥过程最适合的数学模型,能准确表达和预测洋葱切片薄层热风干燥过程中不同温度条件任一时刻的水分含量和干燥速率。

参考文献:

[1]李祥睿. 洋葱的营养保健功能与开发利用[J]. 中国食物与营养,2009,32(9):55-57.
[2]梁 毅,王永勤,于春霞,等. 中国洋葱产业的回顾与展望[J]. 中国农学通报,2009,25(24):308-312.
[3]高金龙,张衍荣,郑锦荣,等. 我国洋葱产业发展的思考[J]. 广

东农业科学,2009,42(6):282-284.
[4]Erbay Z,Icier F. A review of thin layer drying of foods:theory,modeling,and experimental results[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition,2010,50(5):441-464.
[5]Vega A,Fito P,Andres A,et al. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo)[J]. Journal of Food Engineering,2007,79(4):1460-1466.
[6]Demiray E,Tulek Y. Thin-layer drying of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer[J]. Heat and Mass Transfer,2012,48(5):841-847.
[7]Arikan M F,Ayhan Z,Soysal Y,et al. Drying characteristics and quality parameters of microwave-dried grated carrots[J]. Food and Bioprocess Technology,2012,5(8):3217-3229.
[8]Doymaz İ,Ismail O. Experimental characterization and modelling of drying of pear slices[J]. Food Science and Biotechnology,2012,21(5):1377-1381.
[9]江 宁,李丽娟,李大婧,等. 莲藕片热风干燥特性及动力学模型[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):247-250.
[10]朱代根,陈君若,李 明. 胡萝卜热风干燥过程热质耦合传递分析[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):201-203.
[11]刘 轲,刘建华,李 方,等. 豆薯片热风干燥动力学研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):227-229.
[12]Doymaz İ,Gol E. Convective drying characteristics of eggplant slices[J]. Journal of Food Process Engineering,2011,34(4):1234-1252.
[13]Wang Z F,Sun J H,Liao X J,et al. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace[J]. Food Research International,2007,40(1):39-46.