

枸杞平衡含水率的测定及其干燥工艺的优化

李明滨¹, 张增², 慕松^{1,2}

(1. 宁夏大学新能源研究中心, 宁夏银川 750021) (2. 宁夏大学机械工程学院, 宁夏银川 750021)

摘要: 枸杞的平衡含水率是研究枸杞干燥特性和干燥工艺优化的基础。本文采用静态称重法, 利用 LHS-250HC-II 型恒温恒湿试验箱和 DHG-9240A 型电热鼓风干燥箱, 测得枸杞在温度为 40℃、50℃、60℃、70℃, 相对湿度为 40%、50%、60%、70% 的平衡含水率。通过对干燥特性曲线的分析, 得出干燥快速阶段干燥工艺参数为温度 40℃, 相对湿度 40%, 干燥恒速阶段干燥工艺参数为温度 50℃, 相对湿度 40%, 干燥降速阶段干燥工艺参数为温度 60℃, 相对湿度 40% 的工艺参数组合, 此干燥工艺干燥时间最短, 干燥品质最好。

关键字: 枸杞; 平衡含水率; 干燥工艺; 干燥品质

文章编号: 1673-9078(2013)2-284-286

Determination of Equilibrium Moisture Content of Wolfberry and Optimization of the Drying Process

LI Ming-bin¹, ZHANG Zeng², MU Song^{1,2}

(1. The Center of New Energy Research, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

(2. College of Mechanical Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Wolfberry equilibrium moisture content was an important parameter of wolfberry drying characteristics and drying process optimization. In this paper, static weighing method is used for measuring wolfberry equilibrium moisture content at temperature of 40℃-70℃ and relative humidity of 40%~70%. Based on the analysis of the drying characteristic curve, the best process parameters in rapid drying stagewere : temperature 40℃ and relative humidity 40%. In constant speed drying stage, the optimum temperature and relative humidity were 50℃ and 40%, respectively. In falling rate drying stage, the best temperature was 60℃ and the best relative humidity was 40%. Using the drying process, drying time was short and drying quality was good.

Key words: wolfberry; balanced moisture content; drying process; drying quality

枸杞为茄科落叶小灌木, 其果实为浆果, 成熟时为鲜红色, 习称枸杞子。果长 1~2.5 cm, 果径 0.6~1cm, 近似椭圆形。果实具有胶质果皮, 皮薄汁多, 一般鲜果含水分 80% 左右。我国枸杞资源丰富, 主要分布在宁夏、新疆、内蒙古、河北等省区, 宁夏的枸杞种植历史悠久, 品质优良, 蜚声海内外^[1]。但枸杞采摘后很少用于鲜食, 而是干燥后对干果进行加工、贮藏和使用。所谓干燥, 就是为了长期贮存物料而不破坏物料的营养成分, 通过一些方法使物料脱出一定的水分。枸杞的干燥通常采用晒干、烘干等传统干燥技术, 其生产成本低, 但有效成分损失严重, 干燥品质较差。

枸杞干燥机的性能主要由枸杞的干燥特性决定, 枸杞的品质又受到干燥工艺的影响。这些年来对枸杞干燥特性和干燥工艺都有所研究, 但还没有一个较好

的枸杞干燥工艺, 确定枸杞的干燥工艺大都靠直接观测试验结果和凭经验分析而实现的。很难及时有效地控制各工艺参数, 因而影响干燥品质且加工周期长。在设计枸杞干燥设备和研究枸杞干燥特性时, 枸杞的解吸平衡含水率是研究枸杞干燥特性和干燥工艺一个重要的参数, 它不但决定了在一定的干燥条件下枸杞鲜果所能达到的最低水分, 而且直接影响枸杞的干燥速度和枸杞的干燥品质^[2]。

试验利用试验设备对枸杞在温度为 40℃~70℃, 相对湿度为 40%~70% 范围内的解吸平衡含水率进行了测定, 分析温度和相对湿度对解吸平衡含水率的影响; 以枸杞干燥的品质和干燥速率为优化目标, 找出有利于枸杞干燥的温度和相对湿度的变化范围, 对枸杞的干燥提供一个较好的干燥工艺。

1 平衡含水率的原理

含有水分的枸杞, 其表面必有水蒸气分压力。枸

收稿日期: 2012-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11262018)

作者简介: 李明滨 (1956-), 男, 教授, 博士生导师

杞同周围空气的相互作用可以沿两个方向进行：一个方面是如果枸杞表面的水蒸气分压力 P_c 大于空气中的水蒸气分压力 P ，那么枸杞表面的水分就会向周围空气蒸发，使枸杞去湿而变干，称为解吸作用；另一方面是如果枸杞表面的水蒸气分压力 P_c 小于空气中的水蒸气分压力 P ，那么枸杞表面就会从周围空气中吸收水蒸气而变湿，称为吸湿作用。若将鲜枸杞置于温度和相对湿度为定值的空气中，不管是 $P_c > P$ ，还是 $P_c < P$ ，经过一段时间后，当 $P_c = P$ 时，出现动力学平衡状态，处于这种平衡状态的含水率就叫做枸杞的平衡含水率^[3]。

2 材料与方法

2.1 试验材料

试验采用的枸杞品种为宁杞2号，产于宁夏银川市西夏区，采收后鲜果的初始含水率为78%（湿基含水率）。

试验时，盛放枸杞试样的玻璃盘4个。

2.2 试验设备

2.2.1 LHS-250HC-II型恒温恒湿箱

LHS-250HC-II型恒温恒湿箱由箱体、工作室、温度和湿度控制装置、加热及制冷系统及加湿和气体循环装置等组成。

根据所需温度的高低，其加湿量的大小可以很灵活的设定温度和湿度值，可得到较小的温湿度波动度，温度控制范围为室温加-10℃~80℃，相对湿度范围为40%~95%，根据试验要求，本试验使用恒温恒湿箱可测出枸杞在温度为40℃~70℃，相对湿度为40%~70%范围内的解吸平衡含水率数据。

2.2.2 DHG-9240A型电热鼓风干燥箱

DHG-9240A型电热鼓风干燥箱由箱体、控温系统、电加热鼓风系统组成。本试验使用电热鼓风干燥箱测枸杞的初始含水率。

2.2.3 电子天平

选用上海舜宇恒平科学仪器有限公司生产的JA21002型电子天平，其最小称量是0.02g，最大称量为2100g，试验使用电子天平对枸杞进行称重。

2.3 试验方法

2.3.1 初始含水率的测定方法

采用适用于食品中水分含量的测定方法—直接干燥法。直接称取枸杞鲜果75g分为三份，分别装入洁净的玻璃盘内，置于85℃~95℃的烘箱内烘4h，取出盖上烘盒盖后放入干燥器内冷却，称量后再放入烘箱内烘干。这期间每隔4小时取出进行冷却、称量、烘干，直至前后两次质量差不超过0.03g即为恒重，

停止试验。

取3个试样进行测定试验，取试样恒重的平均值用来计算初始含水率。含水率计算公式为

$$\omega = \frac{25 - G_0}{25} \times 100\%$$

注： ω -湿基含水率/%； G_0 -枸杞干果试验恒重的平均值/g。

2.3.2 解吸平衡含水率的测定方法

温度为40℃、50℃、60℃、70℃，相对湿度为40%、50%、60%、70%的试验方法。

(1) 取湿基含水率 ω 为78%的枸杞75g，分成3份（每份25），放在玻璃盘内。

(2) 设置恒温恒湿箱，使工作室内部温度保持为40℃，相对湿度为40%。将玻璃盘放在恒温恒湿箱的工作室内的搁板上。开始试验，并记录试验数据。

(3) 试样重量每4小时测定一次，直到试样重量达到恒重（两次测重差不超过0.03g），将试样取出。根据试样重量计算出平衡含水率。

类似的方法做温度为40℃、50℃、60℃、70℃，相对湿度为40%、50%、60%、70%的其他组试验。

3 结果与讨论

3.1 不同的温度、相对湿度的平衡含水率

表1 不同温度、相对湿度的平衡含水率

Table 1 The equilibrium moisture content in different temperature and relative humidity

序号	温度/℃	湿度/%	平衡含水率/%	干燥品质
1	40	40	11.24	较好
2	40	50	24.39	较好
3	40	60	28.88	一般
4	40	70	34.57	一般
5	50	40	4.67	较好
6	50	50	17.80	一般
7	50	60	25.60	不好
8	50	70	31.0	不好
9	60	40	10.41	较好
10	60	50	11.67	较好
11	60	60	21.3	一般
12	60	70	30.45	不好
13	70	40	2.16	不好
14	70	50	7.19	不好
15	70	60	11.68	不好
16	70	70	24.18	不好

从表1中可以得出：不同的温度和不同的相对湿度，所得枸杞的平衡含水率不同。在相同的相对湿度条件下，枸杞的解吸平衡含水率会随着温度升高而减

小；在相同的温度条件下，枸杞的解吸平衡含水率会随着相对湿度的增大而增大。

3.2 枸杞干燥工艺的优化分析

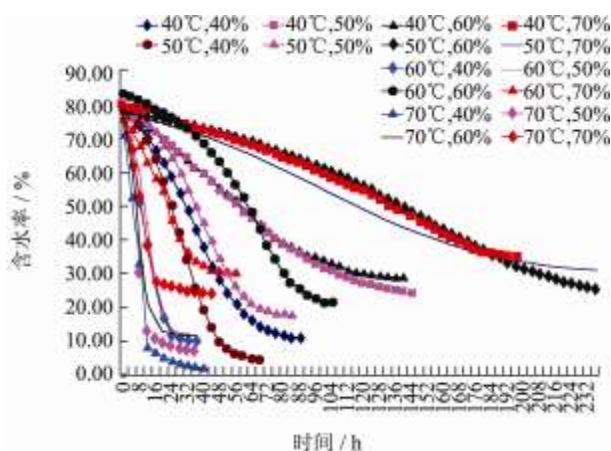


图 1 枸杞干燥曲线

Fig.1 Drying character curve of wolfberry

对枸杞进行干燥时，枸杞干燥快速阶段、干燥恒速阶段、干燥降速阶段会陆续发生，并先后会影响枸杞的干燥速率与干燥品质。根据文献枸杞安全储藏的条件含水率达到 13% 以下为宜^[5]，由图 1 枸杞的干燥曲线，从枸杞的干燥品质和干燥时间考虑，可以排除以下干燥参数组合，40 °C 60%、40 °C 70%、50 °C 60%、50 °C 70%、60 °C 65%、60 °C 70%、70 °C 40%、70 °C 50%、70 °C 60%、70 °C 70%。

3.2.1 枸杞干燥的快速阶段

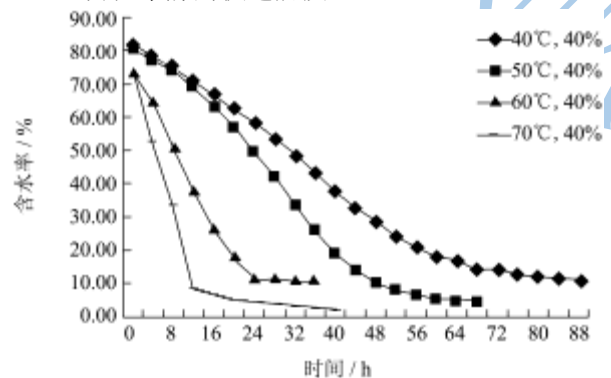


图 2 枸杞干燥快速阶段干燥曲线

Fig.2 Wolfberry drying character curve in rapid drying stage

干燥快速阶段，该时期较短，含水率一般为 60%~80%。在该阶段枸杞的温度较低，热空气传给枸杞的热量主要用于枸杞的升温，枸杞表面的水分逐渐被蒸发，干燥时，选用的温度和相对湿度都不宜太高，如果温度太高，枸杞表面将会出现表面硬化现象。如果相对湿度太大，则干燥时间过长，干燥品质也不是太好。因此，选用温度分别为 40 °C、50 °C、60 °C，相对湿度为 40% 进行分析比较，由图 2 可以得出此阶段干燥工艺参数为温度 40 °C，相对湿度 40%，干燥

时间 22 h，干燥出的枸杞品质较好。

3.2.2 枸杞干燥的恒速阶段

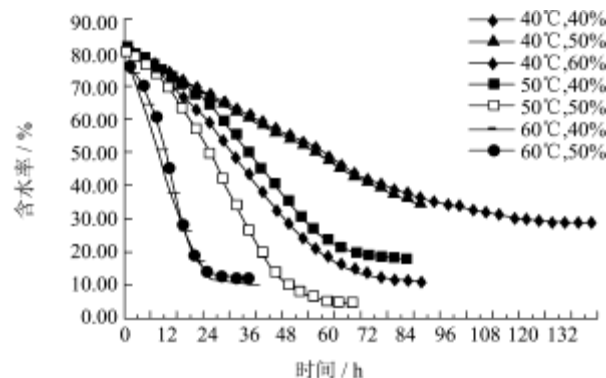


图 3 枸杞干燥恒速阶段干燥曲线

Fig.3 Wolfberry drying character curve in constant speed drying stage

枸杞干燥恒速阶段，含水率一般为 20%~60%。在该干燥时期应该控制好温度，如果空气温度过高，会造成枸杞表面汽化的速度超过内部水分向外扩散的速度，表面易于结成硬壳，阻碍内部水分向外蒸发。同时，由于枸杞内部水分的含量高，猛然受热，汁液膨胀，会造成细胞壁破裂，失去营养成分和风味。由图 3 可以得出此阶段工艺参数为温度 50 °C，相对湿度 40%，干燥时间 22 h。干燥出的枸杞品质好，干燥时间较短。

3.2.3 枸杞干燥的降速阶段

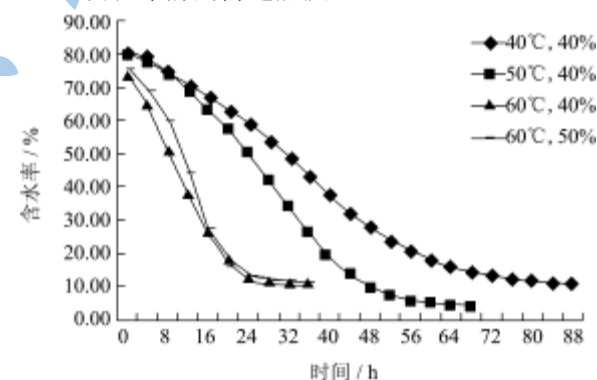


图 4 枸杞干燥降速阶段干燥曲线

Fig.4 Wolfberry drying character curve in falling rate drying stage

枸杞干燥降速阶段，含水率一般为 13%~20%。枸杞内的游离水蒸发结束，开始蒸发结合水。此时，结合水向表面扩散的速度小于表面水分的汽化速度，枸杞表面被干燥，蒸发由枸杞表面向枸杞内部转移，枸杞温度不断升高，干燥速度逐渐变慢，直到枸杞含水量与空气中的含水量相等为止，干燥完成。此阶段温度相对要高，由图 4 可以得出此阶段工艺参数为温度 60 °C，相对湿度 40%，干燥时间 6 h，干燥出的枸杞品质好，干燥时间短。

4 结论

4.1 不同的温度,不同的相对湿度,枸杞的平衡含水率不同。在相同的相对湿度条件下,枸杞的解吸平衡含水率随着温度升高而减小;在相同的温度条件下,解吸平衡含水率随着相对湿度的增大而增大。

4.2 在枸杞安全储藏条件下,分析比较各个干燥阶段得出一组较优的干燥工艺参数,干燥初始阶段干燥工艺参数为温度 40 ℃,相对湿度 40%,干燥中期阶段干燥工艺参数为温度 50 ℃,相对湿度 40%,干燥后期阶段干燥工艺参数为温度 60 ℃,相对湿度 40%,此干燥工艺干燥时间最短,干燥品质最好。

4.3 由于实验设备温度调控范围的限制,没有对相对湿度为 30%的干燥参数进行试验,所以干燥工艺还可以进一步优化。

参考文献

- [1] 李怀赫,李明滨.太阳能烘干枸杞的研究初探[J].干燥技术与设备,2006,4(2):102-103
- [2] 柴京富,赵士杰.枸杞热风干燥特性及最佳工艺的试验研究

[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2004

- [3] 徐志成,赵士杰,柴京富,等.枸杞的平衡含水率测定试验研究.农机化研究,2010,8:130-133
- [4] 于静静,毕金峰,丁媛媛.不同干燥方式对红枣品质特性的影响[J].现代食品科技,2011,27(6):610-614
- [5] 贾新成,张荷珍,马向东等.食用菌贮藏保鲜与加工新技术[M].河南:中原农民出版社,2000
- [6] 潘永康,王喜忠.现代干燥技术[M].北京:化学工业出版社,1998
- [7] 李生晏,蔡志清,曹雪源,等.枸杞果实的采收制干与贮藏[J].甘肃农村科技,1998(4):34-35
- [8] 陈清香,黄苇,温升南,等.番木瓜粉喷雾干燥工艺研究[J].现代食品科技,2009,25(1):68-82
- [9] 朱文学.粮食干燥原理及品质分析[M].北京:高等教育出版社,2001
- [10] 周晨,付雅琴,姚红兵,肖云梅.浅析干燥过程中减少能耗的途径.现代化农业,1996,(8):37-38