

基于变异系数法对不同温度干燥枸杞品质的评价

任贵平¹, 王晓雨¹, 程竹林¹, 黄文书^{1,2*}, 杨海燕^{1,2}

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆果品采后科学与技术重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了研究出一种适宜干燥枸杞的温度条件, 设置枸杞热风干燥温度 40、45、50、55、60 °C 五种不同的干燥温度与自然晾晒 (温度范围 30~35 °C) 对枸杞进行干燥实验, 通过温度对干燥时间、复水比、色泽、褐变度及枸杞多糖、枸杞黄酮、类胡萝卜素等生物活性物质的影响, 对其理化指标进行分析检测, 应用变异系数法确定权重, 筛选出一个最佳干燥的温度。结果表明: 在五种不同干燥温度下的枸杞产品营养成分变化明显, 温度对干燥时间 (权重: 0.317 0)、褐变度 (权重: 0.224 7)、复水比 (权重: 0.141 4)、黄酮 (权重: 0.100 1) 和枸杞多糖 (权重: 0.065 2) 这 5 个指标所影响较大, 其中, 对干燥时间影响最为显著, 干燥温度综合评价结果为: 45 °C 干燥 (综合评价分: 0.430 5) > 40 °C 干燥 (综合评价分: 0.402 6) > 自然干燥 (综合评价分: 0.140 7) > 50 °C 干燥 (综合评价分: 0.011 2) > 55 °C 干燥 (综合评价分: -0.317 6) > 60 °C 干燥 (综合评价分: -0.668 2)。因此选用 45 °C 作为最佳的干燥条件。

关键词: 温度; 生物活性; 变异系数法

文章编号: 1673-9078(2022)12-264-271

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.12.0182

Evaluation of the Quality of Wolfberry Dried at Different Temperatures Based on the Coefficient of Variation Method

REN Guiping¹, WANG Xiaoyu¹, CHENG Zhulin¹, HUANG Wenshu^{1,2*}, YANG Haiyan^{1,2}

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. Xinjiang Key Laboratory of Postharvest Fruit Science and Technology, Urumqi 830052, China)

Abstract: Five different drying temperatures, that is 40, 45, 50, 55, and 60 °C, and natural drying (temperature range 30~35 °C) were set for the drying test to explore a suitable temperature condition for drying wolfberry (*Lycium barbarum*). The physicochemical indicators were analyzed and tested in terms of the effects of temperature on drying duration, rehydration ratio, color, browning degree, and bioactive substances such as *Lycium barbarum* polysaccharide (LBP), flavonoids, and carotenoids. An optimal drying temperature was selected by determining the weights with the coefficient of variation method. The results showed that the nutritional composition of *Lycium barbarum* products dried at the five different temperatures changed significantly. The temperature had relatively great influences on five indicators, namely drying duration (weight: 0.317 0), browning degree (weight: 0.224 7), rehydration ratio (weight: 0.141 4), flavonoids (weight: 0.100 1), and LBP (weight: 0.065 2), among which drying duration was most affected. The results of the overall evaluation of drying temperatures were as follows: drying under 45 °C (overall score: 0.430 5) > drying at 40 °C (overall score: 0.402 6) > natural drying (overall score: 0.140 7) > drying at 50 °C (overall score: 0.011 2) > drying at 55 °C (overall score: -0.317 6) > drying at 60 °C (overall score: -0.668 2). The highest score was achieved at 45 °C, and the quality of wolfberry was the best at this temperature. Therefore, 45 °C was selected as the optimal drying condition.

Key words: temperature; biological activity; coefficient of variation method

引文格式:

任贵平, 王晓雨, 程竹林, 等. 基于变异系数法对不同温度干燥枸杞品质的评价[J]. 现代食品科技, 2022, 38(12): 264-271

REN Guiping, WANG Xiaoyu, CHENG Zhulin, et al. Evaluation of the quality of wolfberry dried at different temperatures based on the coefficient of variation method [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(12): 264-271

收稿日期: 2022-02-21

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFD1002303-2-2)

作者简介: 任贵平 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 1453849725@qq.com

通讯作者: 黄文书 (1975-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: xjnd-hws@126.com

枸杞子为前科枸杞子属多分枝灌木,目前大约有八十余种,为中国十分主要的中药材,主产于宁夏、青海、新疆、山西、河南等地^[1],有很高的营养价值与药用价值^[2]。枸杞子中富含的枸杞多糖、黄酮、类胡萝卜素等诸多抗氧化活性化学物质,有明显降低血糖浓度、防止老年痴呆症、明目、活肾、延缓衰老等作用^[3,4]。是目前市场上食用最广的滋补营养品,广受群众的爱戴。其中,枸杞多糖具有免疫调节和抵抗恶性肿瘤生长等功能^[5],而枸杞黄酮则能够抑制神经细胞的衰老、凋亡、以及肿瘤的产生,还可以提高血液循环,从而减少胆固醇,类胡萝卜素具有抗氧化作用。市场中常见的枸杞主要是经过干燥处理后的干果,由于枸杞鲜果在常温下很难保存,保质期一般为2~3 d,并且在常温下极易腐烂、发霉、变色,所以枸杞鲜果采摘后需尽快的进行干燥加工处理,将枸杞中的含水率降低到10%以下,使内部活性分子活性降低,防止其腐烂变质^[6]。

变异系数法是一种客观评价的数学统计方法,其根据不同因素下各指标的变化确定权重,并将各指标进行标准化处理,避免了人为干预权重的情况。使实验更加客观准确^[7]。闫泽华^[8]通过变异系数法确定了研制马铃薯莜面锅巴的最优制作工艺。刘盼盼^[9]通过变异系数法确定了白萝卜干制品的最佳干燥方式。

枸杞干燥一直是近年来国内的热点,选择一种既节能又能保证品质的干燥方式是至关重要的,热风干燥是一种常见的干燥方式,其使用方法简单,设备普遍,造价低等优点被广泛应用于干燥处理中。胡云峰^[10]以感官评价作为衡量指标干燥枸杞,设置50、55、60、65℃四个温度梯度,得出55℃感官品质最好,郑硕^[11]则采用了控制枸杞在干燥过程中的三种因素,相对湿度、气温、与风力等进行了试验研究,以枸杞风干速度和外观质量为衡量标准,从干燥三阶段确定了最佳枸杞风干的加工工艺。此研究将利用不同热风温度干燥枸杞,以枸杞干的色泽,复水率、枸杞多糖、枸杞生物活性成分等作为指标,采用变异系数法对枸杞的温度进行筛选,选择一个最佳烘干温度,使枸杞最大程度上保留枸杞的营养物质,为枸杞干燥工业化标准生产提供工艺参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

枸杞,精河枸杞农手中购买;硫酸、苯酚、丙酮,成都市科隆化肥企业;无水乙醇,天津市鑫铂特化学股份公司;硝酸铝、亚硝酸钠、氢氧化钠,天津市致

远生化反应试剂股份有限公司;以上均为国产分析纯;

1.2 主要仪器与设备

JEA202型电子天平,上海浦春计量仪器有限公司产品;NH-A-1808型色差仪,上海雷磁仪器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱,上海申贤恒温设备厂;水浴锅,北京市永光明医疗仪器厂;T6新世纪紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器股份有限公司;

1.3 方法

1.3.1 枸杞干制作

选择新鲜大小均一的精河枸杞去柄,分别放入40、45、50、55、60℃的烘箱进行烘干,当枸杞的水分含量少于13%时,停止干燥。自然晾晒的枸杞放置于实验室窗台进行干燥至结束。

1.3.2 色泽的测定

采由全球照明委员会(CIE)所提出的LAB表色系统描述枸杞干的色泽,并用 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 值显示。 L^* 值是亮度, a^* 值是红度, b^* 值是黄蓝度, C^* 值表示色彩饱和度, $C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ 。使用色差计时需预热5~10 min,在干燥好的枸杞冷却后,将其表面置于传感器下直接测量,测定过程中防止漏光行为,每个样品测定10次,取平均值。

1.3.3 褐变度的测定

参考刘小丹^[12]的方法测定褐变度进行适量修改。将样品打碎,过60目筛,称取1 g,加蒸馏水10 mL,静置2 h,后用冷冻离心机在3 800 r/min下离心10 min,取测定样1 mL,再加入95%的乙醇3 mL,用冷冻离心机在3 800 r/min下离心10 min,在420 nm处测定吸光度(A_{420}),用吸光度的大小直接表示褐变度。

1.3.4 复水比的测定

参考邱阳^[13]的方法。称取6 g干燥好的颗粒完整的枸杞,放置150 mL温度为80℃的热水中,将烧杯置于80℃的水浴锅中20 min后取出,放在干净的滤纸上,吸去其表面水分,阴凉处晾置30 min,称取复水后枸杞质量。复水比=枸杞样品后质量/枸杞样品前的质量。

1.3.5 枸杞多糖的测定

参考王航宇^[14]的方法。精密称取枸杞粉末0.3 g(精密到0.001 g),加入 $\varphi=80\%$ 的乙醇100 mL,50 kHz超声提取两次,每次25 min过滤,滤渣加水50 mL于50 kHz超声提取20 min,过滤,再加水50 mL重复超声提取一次,合并两次提取液,然后定容于250 mL容量瓶中,从中精密吸取10.0 mL,照标准曲

线制备项下的方法测定吸光度。标准曲线方程为 $y=0.0517x-0.0142$, $R^2=0.997$ 。

1.3.6 黄酮的测定

参考宋慧慧等^[15]的方法。将干燥样品粉碎之后,称取 1 g 样品于 50 mL 的离心管中用 10 mL 的体积分数 80% 的乙醇溶液溶解,超声辅助提取(40 kHz、150 W) 1 h 后,静置 0.5 h,上清液过 0.45 μm 滤膜后得待测液,取 1 mL 于 25 mL 比色管中,按照标准曲线方法测定吸光度,根据标准曲线计算样品中总黄酮含量。标准曲线为 $y=0.0125x-0.0009$, $R^2=0.999$ 。

1.3.7 类胡萝卜素的测定的测定

参考 Knockaert 等^[16]的方法。取 0.5 g 枸杞粉加 50 mL 提取液(含 φ=50% 正己烷、25% 丙酮、25% 乙醇和 0.1% BHT, 0.5 g NaCl) 在 4 °C 下搅拌 20 min。之后混合物加入 15 mL 蒸馏水,在 4 °C 下搅拌 10 min。将混合物放入分液漏斗中,收集有机相。在 450 nm 波长处测定吸光度,用正己烷加 $m=0.1\%$ BHT 作空白。总类胡萝卜素含量按式(1)计算:

$$H = \frac{A \times V \times 10^4}{1\% E_{1cm} \times m} \quad (1)$$

式中:

H ——总类胡萝卜素含量, μg/g;

A ——450 nm 波长处的吸光度;

m ——称取原料的质量/g;

V ——收集的有机相体积/mL;

$1\% E_{1cm}$ ——β-胡萝卜素在正己烷中的消光系数(2560)。

1.3.8 综合评价

变异系数法是直接使用各指标变化所涉及的信息,估算指标权重的方法变异系数法,这是一种客观的加权方法^[17]。因为公式中各个指标的维度不同,不宜直接比较差异的程度。为消除各种度量的各个角度的影响,应该使用各种度量的变异系数,来反映各种度量值的差异程度。公式为:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{X_i} \quad (2)$$

式中:

V_i ——第 i 项指标的变异系数值;

σ_i ——第 i 项指标的标准差值;

i ——第 i 项指标的算数平均值。

各项指标的权重为:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (3)$$

式中:

V_i ——第 i 项指标的变异系数;

W_i ——第 i 项指标的权重。

采用 Z-score 将各项指标的数值加以标准化处理,公式如下:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (4)$$

式中:

Z_{ij} ——标准化后各指标值;

X_{ij} ——各指标实际测量值;

σ_i ——第 i 个指标的标准差;

\bar{X}_i ——第 i 个指标的算术平均值。

数值越小越好的指标,标准化之后需要在数值前加负号,将各项指标的标准化数据与权重想乘积后,计算总和,得到 5 种不同干燥温度下枸杞干的总分。综合评分公式:

$$M = W1 \times L^* + W2 \times BD + W3 \times EH + W4 \times LBP + W5 \times MS + W6 \times SH + W7 \times a^* + W8 \times C^*$$

式中:

$W1 \sim W8$ ——分别为 6 项指标的权重系数;

BD ——枸杞的褐变度;

EH ——枸杞复水比;

MS ——黄酮的含量, mg/g;

SH ——类胡萝卜素的含量, μg/g;

LBP ——枸杞多糖(Lycium barbarum polysaccharide)百分含量, %。

1.4 数据分析

使用 SPSS 统计,分析软件处理实验数据,分析各处理水平间差异; $p < 0.01$ 为差异极显著, $p < 0.05$ 为差异显著;采用 Origin 2018 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 不同干燥温度对干燥时间的的影响

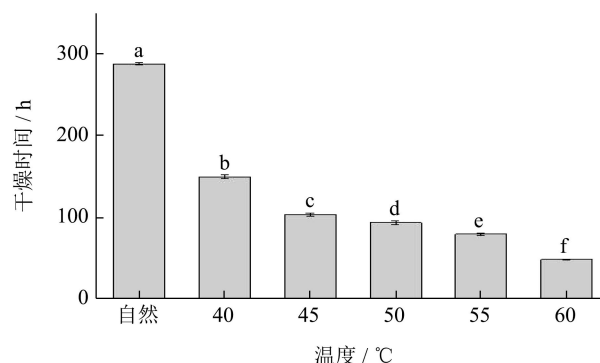


图 1 不同干燥温度处理下烘干时间的变化

Fig.1 Variation of drying time under different drying temperature treatments

图1是采用不同干燥温度干燥枸杞至含水量13%所需要的时间。各温度间干燥时间差异显著($p < 0.05$),将新鲜枸杞从含水量78%干燥到国标要求的13%,温度越高,所需干燥时间越短。40、45、50、55、60℃干燥枸杞需要的时间分别为150、104、94、80、49h,自然晾晒需要288h。60℃与自然晾晒枸杞相比干燥时间缩短83%,但部分干枸杞有局部焦黑现象。45℃干燥枸杞相较于40℃干燥枸杞,温度升高5℃,时间减少46h,干燥时间缩短31%,且干枸杞没有局部焦黑现象。

2.2 不同干燥温度对干燥时间的影响

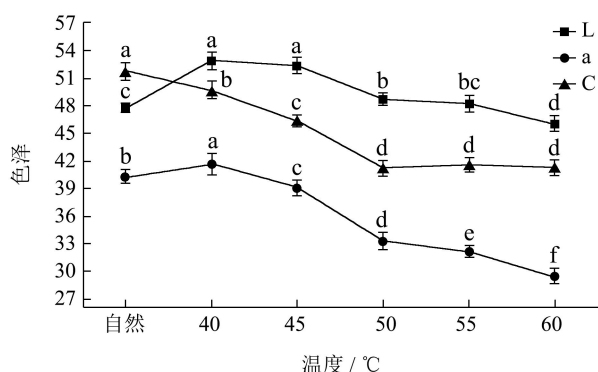


图2 不同干燥温度处理下枸杞色泽的变化

Fig.2 Changes in color of wolfberry under different drying temperatures

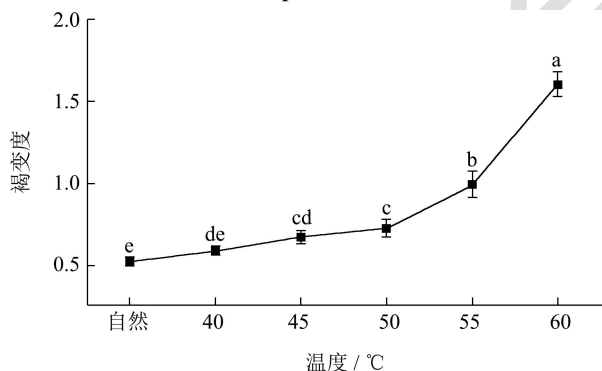


图3 不同干燥温度处理下枸杞褐变度的变化

Fig.3 Changes of browning degree of wolfberry under different drying temperature treatments

从图2中可知,随着枸杞子干燥温度的提高, L^* 、 a^* 、 C^* 数值呈现降低态势,温度越高, L^* 数值也越低,到了60℃时呈最低值46.05,40℃和45℃的 L^* 值最高为52.94和52.34,自然晾晒的 L^* 值较低为47.70,适宜的烘干可增加 L^* 值,这与黄妍等^[18]研究结果一致,各温度对枸杞 a^* 差异显著($p < 0.05$), a^* 值在60℃达到最低值29.45,40℃的 a^* 值最高为41.60,自然的 a^* 值为40.32,45℃的 a^* 值为39.09,而 C^* 代表了枸杞子的饱和程度, C^* 值越小色泽也越暗淡,随着温度

的提高, C^* 逐渐降低,自然、40℃和45℃差异显著($p < 0.05$)分别为51.68、49.75、46.33,50℃、55℃和60℃差异不显著($p > 0.05$),影响枸杞色泽的主要有酶促褐变、非酶促褐变,还原性抗坏血酸的氧化分解^[19],干燥前期枸杞酶促褐变中的多酚氧化酶活性较大^[20,21],发生了很多酶引起的褐变反应,枸杞的颜色逐渐变深。随着干燥时间的增加,多酚氧化酶的活性逐渐降低,但枸杞的颜色依旧变深,此时为非酶促褐变和抗坏血酸的氧化分解,枸杞非酶促褐变中的还原糖、氨基酸态氮和抗坏血酸含量下降^[22],相应的美拉德反应以及抗坏血酸氧化反应就越彻底,枸杞的褐变度越高。干枸杞的 L^* 、 a^* 、 C^* 值和褐变度成负相关,褐变度随着温度的升高逐渐增加,60℃褐变度达到最高1.61,40℃和45℃褐变度差异不显著($p > 0.05$)分别为0.59和0.67,且较40℃干燥时间少46h。

2.3 不同干燥温度对干燥枸杞复水比的影响

复水性主要和果蔬表面孔隙率有关^[23,24],而复水性的高低也可反映枸杞内部结构的疏松程度,疏松程度又影响了枸杞的口感^[25],复水率越高就贴近新鲜枸杞的含水率,也贴近鲜嫩枸杞的口感,所以复水率越高越好^[26],由图4可知,烘干温度为45℃的复水比最高,达到1.22,与自然晾晒枸杞的1.19差异不显著($p > 0.05$),40、50、55、60℃烘干枸杞的复水比分别1.08、0.80、0.65、0.60,与自然晾晒、45℃差异显著($p < 0.05$),温度越高枸杞的复水率越低,这是因为高温使枸杞迅速失水产生皱缩,从而破坏了果皮细胞结构和果肉组织相互交织的网状结构,使细胞之间分离^[27],温度越高,枸杞表面失水越快,皱缩越明显,硬化越迅速,枸杞表面的微观结构造成不可逆的损伤,进行复水实验,枸杞难以恢复至原来的形状。在60℃干燥枸杞,枸杞出现明显的果皮与果肉分离的现象。

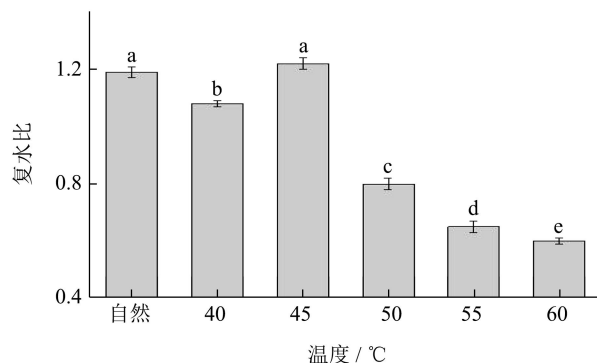


图4 不同干燥温度处理下枸杞复水比的变化

Fig.4 Changes of rehydration ratio of *Lycium barbarum* under different drying temperature treatments

2.4 不同干燥温度对干燥枸杞多糖含量的影响

由图 5 所示, 枸杞多糖随着温度的升高变化显著 ($p < 0.05$), 随着温度的升高, 枸杞多糖的含量呈下降趋势, 60 °C 烘干枸杞多糖含量最低为 5.64%。自然晾晒枸杞的枸杞多糖达到 7.82%, 45 °C 与 50 °C 枸杞多糖含量为 5.98% 和 6.24%, 45 °C 烘干时间较长, 使枸杞多糖含量降低, 这与吴中华等^[28]60 °C 烘干枸杞多糖含量最低结果一致。枸杞多糖为热敏性水溶性蛋白多糖, 从热水中提取的枸杞多糖是一种含有酸性糖成分的杂多糖。谢雪梅^[29]通过对枸杞多糖进行热分析发现全局上能够将其视作为质量的两次损失, 第一次损失是由脱水引起的, 第二次损失是由多糖结构的裂解反应引起的。朱彩平^[30]用不同温度处理枸杞多糖水溶液 30 min 后冷却观察其结构发现, 加热与冷却使枸杞多糖分子有一个变性与复性的相对可逆过程, 但无论怎样不能完全恢复到原来状态。表明经过升高温度处理后, 枸杞多糖分子解聚的空间构象发生了改变, 但在冷却后多糖分子间的相互作用又增强而产生聚集, 但不能完全恢复至原来的状态, 其结构中含有大量氢键, 含有 -COOH、-OH、-NH₂ 等官能团, 糖链中含有 β -吡喃或 α -异构体吡喃环吡^[31], 高温使氢键断裂, 部分杂多糖经过高温处理分解为单糖, 发生了美拉德反应^[32], 使其含量减少。因此 55 °C 与 60 °C 干燥枸杞, 枸杞多糖含量较低, 为 5.77% 和 5.64%。

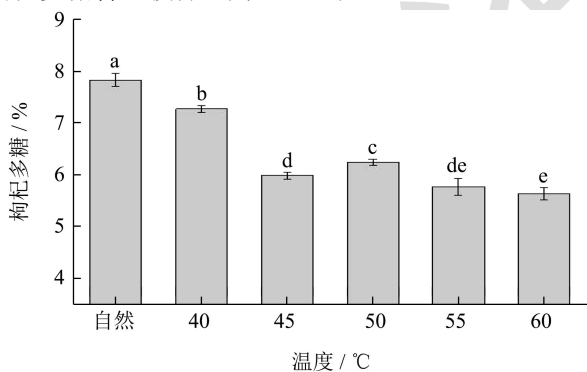


图 5 不同干燥温度处理下枸杞多糖的含量

Fig.5 Contents of *Lycium barbarum* polysaccharides under different drying temperatures

2.5 不同干燥温度对干燥枸杞黄酮的影响

由图 6 所示, 自然晾晒的枸杞黄酮含量最高, 达到 0.38 mg/g, 随着温度的升高, 黄酮的含量逐步减少, 40 °C 干燥枸杞黄酮为 0.28 mg/g, 45 °C 和 50 °C 差异不显著 ($p > 0.05$), 黄酮含量分别为 0.27、0.26 mg/g, 55 °C 和 60 °C 差异不显著 ($p > 0.05$), 黄酮含量分别为 0.22、0.21 mg/g。干燥温度超过 45 °C, 温度相差

10 °C 以上, 黄酮含量有显著差异 ($p < 0.05$)。这是因为黄酮属于生物活性物质, 枸杞黄酮以 C₆-C₃-C₆ 作为基本的骨架结构, 主要以糖苷形式存在, 在体内分解成小分子的黄酮类似物^[33]。何莉萍等^[34]研究发现, 荷叶黄酮萃取率在 25~45 °C 时, 吸光度变化不明显, 黄酮不易分解; 在 55 °C 条件下, 吸光度降低程度较大, 荷叶总黄酮的耐热性偏差; 化学性质不稳定, 高温条件使黄酮加速分解, 产生了更多的酚羟基, 黄酮含量减少。干燥枸杞中的黄酮含量随着温度的升高而降低, 这与忻晓庭等^[35]的研究结果一致。

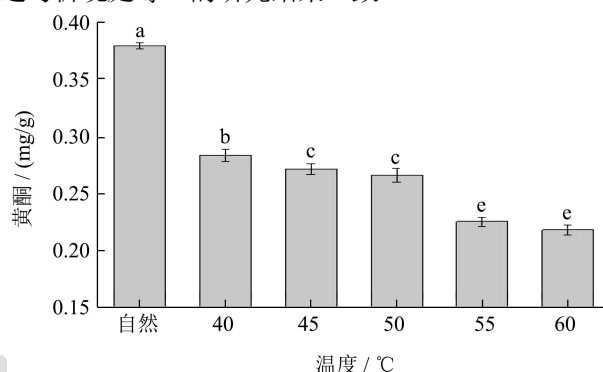


图 6 不同干燥温度处理下枸杞黄酮的含量

Fig.6 Contents of flavonoids in *Lycium barbarum* under different drying temperatures

2.6 不同干燥温度对干燥枸杞类胡萝卜素的

影响

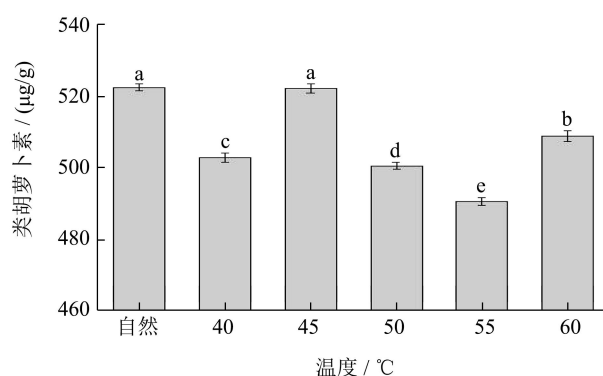


图 7 不同干燥温度处理下枸杞类胡萝卜素的含量

Fig.7 Contents of carotenoids in *Lycium barbarum* under different drying temperatures

由图 7 可知, 随着温度升高, 各温度之间类胡萝卜素的含量差异明显 ($p < 0.05$), 自然晾晒的枸杞类胡萝卜素含量为 522.44 μg/g, 与 45 °C 干燥枸杞的类胡萝卜素含量 522.21 μg/g 差异不显著 ($p > 0.05$), 与 55 °C 烘干枸杞差异最为显著 ($p < 0.05$), 55 °C 干燥枸杞类胡萝卜素含量为 490.72 μg/g, 相差 31.72 μg/g。40 °C 和 50 °C 干燥枸杞的类胡萝卜素含量分别为 502.90、

500.57 μg/g, 60 °C干燥枸杞类胡萝卜素升高, 达到508.85 μg/g。这是因为类胡萝卜素在极端条件下如氧、酸、强光及高温下易发生降解或异构化^[36], 因此高温使类胡萝卜素发生了降解, 含量减少。受热时间长也会导致类胡萝卜素降解增加, 含量下降。由图可知, 对枸杞类胡萝卜素来说, 干燥时间的影响因素比干燥温度的影响因素更为显著, 60 °C烘干枸杞的类胡萝卜素明显高于40 °C、50 °C, 这一结果与宋慧慧等^[15]研究结果一致。

2.7 不同干燥温度对干燥枸杞品质的影响综合评价

表1 不同干燥温度下枸杞各指标的权重

Table 1 The weight of each index of *Lycium barbarum* under different drying temperatures

品质	平均值	标准差	变异系数	权重
枸杞多糖	6.453 0	0.810 7	0.125 6	0.065 2
黄酮	0.273 7	0.052 8	0.192 9	0.100 1
褐变度	0.850 9	0.368 3	0.432 9	0.224 7
类胡萝卜素	507.942 9	11.477 3	0.022 6	0.011 7
L*	49.314 9	2.491 9	0.050 5	0.026 2
a*	36.040 5	4.513 9	0.125 2	0.065 0
C*	45.301 5	4.250 0	0.093 8	0.048 7
复水比	0.923 9	0.251 6	0.272 4	0.141 4
干燥时间	127.500 0	77.866 2	0.610 7	0.317 0

以枸杞多糖、黄酮、褐变度、类胡萝卜素、L*值、a*值、C*值、复水比、干燥时间为评价因素, 采用变

异系数法计算出各因素的算术平均值、标准差值和变异系数值, 计算各因素的权重, 结果见表1

由表1可以看出, 干燥时间、褐变度、复水比、黄酮和多糖这5个因素所占权重较大, 表明干燥温度对这5个因素影响较大, 其中干燥温度对干燥时间的影响最大。这5个因素能够较好地体现不同干燥温度的干燥效果。

对5种干燥温度所干制的枸杞的9个指标进行标准化处理(表2), 将标准化值数与各指标对应的权重乘积得到总综合评价分(表1)。其中, 时间、褐变度的数值与品质呈负相关, 需要在标准化处理后的数值前加上减号, 然后将得到的各个干燥温度下各指标的标准化数值与该指标对应的权重相乘, 最后将同一干燥温度下各个指标的数值叠加求和, 得到总综合评价分。45 °C综合评分最高。

表2 不同干燥温度下枸杞的各项指标的标准化值

Table 2 Standardized values of various indexes of *Lycium barbarum* under different drying temperatures

品质	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C	自然
枸杞多糖	1.004	-0.581	-0.264	-0.846	-1.004	1.691
黄酮	0.179	-0.050	-0.148	-0.920	-1.057	1.995
褐变度	0.707	0.485	0.336	-0.364	-2.055	0.891
类胡萝卜素	-0.440	1.243	-0.643	-1.501	0.079	1.261
L	1.456	1.212	-0.246	-0.465	-1.310	-0.647
a	1.233	0.681	-0.590	-0.838	-1.437	0.950
C	1.047	0.242	-0.960	-0.884	-0.945	1.500
复水比	0.620	1.177	-0.492	-1.088	-1.287	1.071
干燥时间	-0.289	0.302	0.430	0.610	1.008	-2.062

表3 不同干燥温度下枸杞各项指标的综合评分

Table 3 Comprehensive score of each index of wolfberry under different drying temperatures

品质	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C	自然
枸杞多糖	0.065 5	-0.037 9	-0.017 2	-0.055 1	-0.065 5	0.110 3
黄酮	0.017 9	-0.005 0	-0.014 9	-0.092 1	-0.105 8	0.199 7
褐变度	0.158 9	0.108 9	0.075 6	-0.081 8	-0.461 8	0.200 2
类胡萝卜素	-0.005 2	0.014 6	-0.007 5	-0.017 6	0.000 9	0.014 8
L	0.038 2	0.031 8	-0.006 5	-0.012 2	-0.034 3	-0.017 0
a	0.080 1	0.044 3	-0.038 4	-0.054 5	-0.093 4	0.061 8
C	0.051 0	0.011 8	-0.046 8	-0.043 0	-0.046 0	0.073 0
复水比	0.087 7	0.166 4	-0.069 6	-0.153 9	-0.182 0	0.151 4
干燥时间	-0.091 6	0.095 7	0.136 4	0.193 4	0.319 6	-0.653 5
求和	0.402 6	0.430 5	0.011 2	-0.316 7	-0.668 2	0.140 7
综合排序	2	1	4	5	6	3

3 结论

通过对枸杞不同干燥温度的研究,使用变异系数法,研究了各温度与各指标的联系,结果表明温度对各指标影响较大。45℃烘干枸杞在色泽、复水比、类胡萝卜素方面有一定的优势,复水比达到1.22,类胡萝卜素达到522.21 μg/g,在枸杞多糖、黄酮方面略低于40℃,但干燥时间缩短46h,基于变异系数法对各指标进行分析处理,得出40℃干燥枸杞的综合评分为0.4026,45℃干燥枸杞的综合评分为0.4305,50℃干燥枸杞的综合评分为0.0112,55℃干燥枸杞的综合评分为-0.3167,60℃干燥枸杞的综合评分为0.6682,自然干燥枸杞的综合评分为0.1407,45℃综合评分最高,与胡云峰从感官评价方面相比,全面的考察了温度对干燥枸杞营养指标的变化,因此,选择45℃干燥温度作为本实验条件下最佳的干燥温度。

参考文献

- [1] 钱学射,张卫明,金久宁,等.枸杞的健康保健功用和合理开发利用[J].中国野生植物资源,2014,33(3):62-66,69
- [2] MENG Jiao, LU Zhenyu, SUN Chuanxin. Advances in the pharmacologic of *Lycium barbarum* polysaccharide [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2018, 29(10): 2489-2493
- [3] SHU Xiaoying, YIN Yue, AN Wei. Comparative analysis of functional and nutritional ingredients of wolfberry fruit in different varieties [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(1): 157-164
- [4] Kulczynski B, Gramza-michalowska A. Goji berry (*Lycium barbarum*): composition and health effects - a review [J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2016, 66(2): 67-75
- [5] LIANG Shuxuan, MA Erhong, XU Chengyan, et al. Selenitation of *Lycium barbarum* polysaccharides and inhibiting effect on human cervical carcinoma cells cervical carcinoma cell [J]. Food Science, 2010, 31(9): 243-246
- [6] 李朋亮.枸杞干制中黄酮类化合物变化规律及其抗氧化活性研究[D].银川:宁夏大学,2014
- [7] 白洁,蒋华彬,张小飞,等.基于变异系数法对气流膨化处理马铃薯方便粥品质的评价[J].食品科学,2021,42(15):81-88
- [8] 闫泽华,张乐道,周静,等.基于变异系数法的马铃薯莜面锅巴研制[J].食品研究与开发,2022,43(1):110-117
- [9] 刘盼盼,任广跃,段续,等.基于变异系数法对不同干燥方式白萝卜品质及风味的评价[J].食品与发酵工业,2022,48(13): 218-226
- [10] 胡云峰,位锦锦,李安宁,等.不同热风干燥温度对枸杞干燥特性的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(1):130-134
- [11] 郑硕,李明滨,慕松.枸杞热风对流干燥动力学特性的研究与试验[J].食品工业,2012,33(9):143-146
- [12] 刘小丹,张淑娟,贺虎兰,等.红枣微波-热风联合干燥特性及其对其品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(24):280-286, 363
- [13] 邱阳.联合干燥对香菇复水后持水性的影响与工艺优化[D].北京:中国农业科学院,2021
- [14] 王航宇,刘金荣,但建明,等.新疆枸杞多糖的超声提取及含量测定[J].中药材,2002,1:42-43
- [15] 宋慧慧,陈芹芹,毕金峰,等.干燥方式及碱液处理对鲜枸杞干燥特性和品质的影响[J].食品科学,2018,39(15):197-206
- [16] Knockaert G, Lemmens L, Van Buggenhout S, et al. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree [J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 60-67
- [17] 李叶贝,任广跃,屈展平,等.基于变异系数法对不同干燥方法马铃薯全粉复合面条品质的评价[J].食品科学,2020,41(1):48-54
- [18] 黄妍,林俊锦.三种干燥方式下苹果脆片干燥特性及品质的比较[J].现代食品科技,2021,37(3):227-232
- [19] Le Bourvellec C, Le Quéré J M, Sanoner P, et al. Inhibition of apple polyphenol oxidase activity by procyanidins and polyphenoloxidation products [J]. Agric Food Chem, 2004, 52(1): 122-130
- [20] Engmann F N, Ma Y, Zhang H, et al. The application of response surface methodology in studying the effect of heat and high hydro-static pressure on anthocyanins, polyphenol oxidase, and peroxidase of mulberry (*Morus nigra*) juice [J]. J Sci Food Agric, 2014, 94(11): 2345-2356
- [21] Chong C H, Law C L, Figiel A, et al. Color, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods [J]. Food Chem, 2013, 141(4): 3889-3896
- [22] 李安宁.热风干制过程中枸杞褐变反应研究[D].天津:天津科技大学,2016
- [23] 白冰玉,傅鑫程,丁胜华,等.切片厚度对苦瓜片热风干燥特性及相关品质的影响研究[J].农产品加工,2019,48(17):1-5
- [24] Krokida M K, Marinos-Kouris D. Rehydration kinetics of dehydrated products [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 57(1): 1-7
- [25] 孙小静,刘军,邹宇晓,等.干燥方式对脱水桑叶品质的影响[J].中国食品学报,2016,16(10):139-146
- [26] 张丽丽,吴姗姗,黄延盛,等.不同储存温度对青海枸杞品质

- 的影响[J].食品研究与开发,2021,42(12):24-29
- [27] 张群,刘伟,袁洪燕.不同温度热风干燥对蓝莓果干品质的影响[J].湖南农业科学,2018,6:79-83
- [28] 吴中华,李文丽,赵丽娟,等.枸杞分段式变温热风干燥特性及干燥品质 [J].农业工程学报,2015,31(11):287-293
- [29] 谢雪梅,张晓林,王健.枸杞多糖的组成成分与分析[J].中药材,2020,43(7):1647-1650
- [30] 朱彩平,张声华.枸杞多糖的提取及其组成的气相色谱分析[J].现代食品科技, 2009, 25(11): 1327-1328
- [31] 郭琦,孙润广,郭国赞,等.枸杞多糖分离纯化及其结构光谱分析与显微学观察[J].中草药,2012,43(4):645-648
- [32] 石振萍,蒋朝辉,梁卿.枸杞多糖结构及药理作用研究进展[J].甘肃中医药大学学报,2021,38(2):90-95
- [33] 马欣妍.枸杞中功效成分黄酮类似物的高效检测识别[D].北京:中国石油大学(北京),2019
- [34] 何莉萍,严碧云,黄亚,等.荷叶总黄酮稳定性的研究[J].粮食与油脂,2017,30(2):80-82
- [35] 忻晓庭,刘大群,郑美瑜,等.热风干燥温度对冰菜干燥动力学、多酚含量及抗氧化活性的影响[J].中国食品学报,2020, 20(11):148-156
- [36] 谭晨.类胡萝卜素脂质体的研究[D].无锡:江南大学,2014

现代食品科技