

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90029

变异系数法评价预处理方式对黄秋葵 热风干燥品质特性的影响

Evaluation of the influence of pretreatment methods on the quality characteristics
of okra hot-air drying based on the coefficient of variation method

屈展平 张小燕 宋淑亚 张静林 刘德阳

QU Zhan-ping ZHANG Xiao-yan SONG Shu-ya ZHANG Jing-lin LIU De-yang

(洛阳职业技术学院, 河南 洛阳 471000)

(Luoyang Polytechnic, Luoyang, Henan 471000, China)

摘要:目的:改善黄秋葵干制品品质。方法:以复水比、收缩率、维生素 C 含量、干燥时间和感官评分为指标分析不同预处理方式对黄秋葵干制品品质的影响,并采用变异系数法对其指标进行综合加权评价。结果:烫漂和超声波预处理可显著提高干制品的复水比($P < 0.05$);收缩率受烫漂的影响最大;3 种预处理组的维生素 C 含量均低于对照组,其中超声波处理组的损失最小;烫漂和超声波预处理可缩短样品的干燥时间;超声波和护色预处理样品的感官评分明显高于烫漂预处理的样品($P < 0.05$)。变异系数法综合评价表明:超声预处理的黄秋葵品质最好,护色预处理次之,烫漂预处理综合评分最低;超声波预处理温度为 20 °C 时所得干燥样品综合评分最高,为 0.907。结论:超声波预处理在黄秋葵热风干燥中是一种较优的预处理方式。

关键词:黄秋葵;漂烫;超声波;护色;变异系数法;品质分析

Abstract: Objective: Improve the quality of dried okra products. **Methods:** The rehydration ratio, shrinkage rate, vitamin C content, drying time and sensory score were used to analyze the effects of different pretreatment methods on the quality of dried okra products, and the coefficient of variation method was used for comprehensive weighted evaluation. **Results:** The results showed that blanching and ultrasonic pretreatment can significantly increase the rehydration ratio of the dried sample ($P < 0.05$). The shrinkage rate was most affected by blanching. The vitamin C content of the pretreatment group was lower than that of the control group, and the ultrasound treatment group had the least loss. The blanching and ultrasonic pretreatment can

shorten the drying time, and sensory scores of samples pretreated by ultrasound and color protection were significantly higher than those pretreated by blanching ($P < 0.05$). The comprehensive evaluation by the coefficient of variation method showed that the quality of the okra pretreated by ultrasonic was the best, followed by the color protection treatment, and the blanching treatment had the lowest comprehensive score. When the ultrasonic pretreatment temperature was 20 °C, the comprehensive score of the dried sample obtained was the highest, which was 0.907. **Conclusion:** The research showed that the ultrasonic pretreatment was a better pretreatment method with hot air drying of okra.

Keywords: okra; blanching; ultrasound; color protection; coefficient of variation method; quality analysis

黄秋葵 [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench] 又名咖啡黄葵、羊角豆等,锦葵科秋葵属一年生草本植物^[1],其嫩荚中含丰富的果胶等多糖组成的黏性物质,是一种具有特殊风味的食用佳品。此外,黄秋葵还含有丰富的膳食纤维、蛋白质、多种氨基酸、多种维生素、黄酮和矿物质等营养物质,不仅可作为营养健康食品,还可用作药用保健物质^[2-3]。

干燥是黄秋葵最常用的保藏手段,其中热风干燥是应用最广泛的干燥方式之一。但由于黄秋葵含有较多的黏性多糖,易出现表面硬化而影响干燥速率,也严重影响干制品品质。前人^[4-6]研究表明,干燥前进行预处理可以改变样品原有组织结构,有利于干燥过程中水分扩散,提高干燥效率,从而降低干燥能耗、提高干制品品质。

烫漂是将物料进行高温短时处理,可起到杀菌、软化物料、钝化酶类、降低原料的不良风味、加速干燥过程等作用。目前,常用的烫漂方式是通过热水或蒸汽对物料进行处理。已有研究以胡萝卜^[7]、线辣椒^[8]为原料进行

作者简介:屈展平,女,洛阳职业技术学院助教,硕士。

通信作者:张小燕(1984—),女,洛阳职业技术学院副教授,硕士。

E-mail: 125591920@qq.com

收稿日期:2021-10-30

气体射流冲击烫漂预处理,结果表明干制品复水率和色泽均有明显提高。张迎敏等^[9]研究发现护色液烫漂预处理干燥的红薯叶复水率和色泽都较好,且样品组织紧密均匀。也有学者利用超声波对干燥前的果蔬进行预处理,郝启栋等^[6]研究表明超声波预处理能提高蒜片水分的流动性、缩短蒜片的干燥时间,且干制蒜片的色差降低,复水比和蒜素含量均显著提高;Gabriella等^[10]研究发现甜瓜经超声波处理后进行真空干燥,其水分扩散率约增加25%,干燥时间明显减少。此外,护色预处理能在一定程度上抑制褐变的发生,有利于干制品保持原有色泽。但目前关于烫漂、超声波及护色3种方式预处理对黄秋葵热风干燥品质的影响尚未见报道。

研究拟以新鲜黄秋葵为原料,探究漂烫、超声波、护色液处理3种预处理方式对黄秋葵热风干燥干制品品质的影响,采用变异系数法^[11]对其指标进行综合加权评价以确定较优的预处理方式,以期为黄秋葵干制品品质的改善提供思路。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

新鲜无污染黄秋葵:干基含水率为10.33 g/g(采用105℃绝干法测得),市售;

抗坏血酸、2,6-二氯酚靛酚、氯化钠、柠檬酸、草酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱:101-2A型,北京科伟永兴仪器有限公司;

热风干燥机:GS-II型,河南省郑州市万谷机械有限公司;

数控超声波清洗器:KQ-500DE型,昆山市超声仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HH-S4型,北京科伟永兴仪器有限公司;

电子天平:JA-2003N型,上海佑科仪器仪表有限公司。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 将新鲜、完整的黄秋葵清洗后分为3组,分别进行烫漂、超声波和护色液预处理。烫漂预处理温度为80℃,时间选择30,45,60 s 3个水平,分别编号为1,2,3;超声波预处理时间为30 min,超声波频率40 kHz,功率300 W,温度选择20,30,40℃ 3个水平,分别编号为4,5,6;护色液预处理组,所用护色液配制条件为0.4 g/100 mL的柠檬酸溶液分别与1.0,1.5,2.0 g/100 mL的氯化钠溶液混合,分别编号为7,8,9;以未经预处理的黄秋葵作空白对照,编号为10。

以上每个水平试验物料量为500 g,试验重复3次。在60℃热风干燥设备中进行干燥,直至物料干基含水率降至0.05 g/g结束干燥。对不同预处理方式黄秋葵干制品进行各项指标测定。

1.3.2 复水比测定 取不同预处理方式得到的黄秋葵干制品称量,记为 m_0 ,分别浸泡在60℃的蒸馏水中吸水30 min,整个操作过程在水浴锅中进行,以保证操作过程中蒸馏水温度保持在60℃恒温状态。浸泡结束后将产品捞出用滤纸吸干表面水分,称量其质量记为 m_1 ,每组样品平行测定3次取其平均值^[12-13]。产品复水比按式(1)计算:

$$R_R = \frac{m_1}{m_0}, \quad (1)$$

式中:

R_R ——复水比;

m_0 ——黄秋葵干制品复水前的质量,g;

m_1 ——黄秋葵干制品复水后的质量,g。

1.3.3 收缩率测定 采用体积排除法^[14-15]。在量筒中放入细沙表面抹平读出体积,再分别将干燥前后的黄秋葵埋入细沙摇匀抹平读出体积,按式(2)计算收缩率。

$$R_s = \frac{V_0 - V_g}{V_g} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R_s ——收缩率,%;

V_0 ——黄秋葵初始体,mL;

V_g ——干燥后黄秋葵体积,mL。

1.3.4 维生素C含量测定 将样品用1%草酸浸泡后过滤,准确吸取样品滤液两份,各20 mL,分别放入两个100 mL锥形瓶中,用标准抗坏血酸标定好的2,6-二氯酚靛酚溶液进行滴定,取平均值,另取1%草酸20 mL作空白对照^[16]。将结果代入式(3)计算出100 g样品中还原型抗坏血酸的含量。

$$C = \frac{(V_1 - V_2) \times V \times M \times 100}{V_3 \times W}, \quad (3)$$

式中:

C ——样品中还原型抗坏血酸的含量,mg/100 g;

V ——样品提取液的总体积,mL;

V_1 ——滴定样品所耗用的染料平均毫升数,mL;

V_2 ——滴定空白对照所耗用的染料平均毫升数,mL;

V_3 ——滴定时所取的样品提取液的毫升数,mL;

M ——1 mL染料所能氧化抗坏血酸的量,mg;

W ——待测样品的质量,g。

1.3.5 干燥时间测定 经不同方式预处理的黄秋葵样品分别进行热风干燥,热风温度为60℃,每隔30 min进行称量并计算其干基含水率,直至干基含水率降至0.05 g/g结束干燥,并记录干燥所用时间。按式(4)计算黄秋葵干燥过程中干基含水率^[3]。

$$M_t = \frac{m_t - m_d}{m_d}, \quad (4)$$

式中:

M_t —— t 时刻物料的干基含水率,g/g;

m_t —— t 时刻物料的质量,g;

m_d ——绝干物料的质量, g。

1.3.6 感官评价 根据黄秋葵干制品的色泽、硬度、脆度、口感、组织状态进行打分,取平均值。满分为 100 分,评分细则如表 1 所示。

表 1 感官评分细则
Table 1 Sensory rating rules

项目	评分标准
色泽	翠绿(15~20 分);暗绿(10~15 分);黄褐色(5~10 分);褐色(0~5 分)
硬度	硬度适中(15~20 分);硬度较低(10~15 分);硬度较高(5~10 分);硬度过高或过低(0~5 分)
脆度	脆度适中(15~20 分);脆度稍高(10~15 分);脆度较低(5~10 分);脆度过高或过低(0~5 分)
口感	有明显黄秋葵香味(15~20 分);黄秋葵香味不明显(10~15 分);黄秋葵香味不明显且有异味(5~10 分);无黄秋葵香味且有明显异味(0~5 分)
组织状态	完整鲜绿基本不收缩(15~20 分);有略微收缩(10~15 分);萎缩较严重(5~10 分);萎缩严重(0~5 分)

1.3.7 综合评价 采用变异系数法对黄秋葵干制品品质进行综合评价,按式(5)计算变异系数。

$$V_i = \frac{\sigma_i}{X_i}, \quad (5)$$

式中:

V_i ——第 i 项指标的变异系数;

σ_i ——第 i 项指标的标准差;

X_i ——第 i 项指标的算术平均值。

综合评分中各指标的权重计算公式:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (6)$$

式中:

W_i ——第 i 项指标的权重系数;

V_i ——第 i 项指标的变异系数。

采用 Z-score 标准化法将各项指标的数据进行标准化处理,如式(7)所示。

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i}{\sigma_i}, \quad (7)$$

式中:

Z_{ij} ——标准化后的变量值;

X_{ij} ——实际变量值;

X_i ——第 i 项指标的算数平均值;

σ_i ——第 i 项指标的标准差。

综合评分的计算将各指标标准化后的值与权重相乘求和得到,其中收缩率及干燥时间指标越小越好,故在计算时作负值求和,其他指标均按照正值直接求和。

1.3.8 数据处理 采用 Origin 2017 软件进行数据作图处理,采用 SPSS 20 软件对数据进行 ANOVA 方差分析、Duncan's 多重比较,显著性差异表示为 $P < 0.05$ 。试验均重复 3 次,取平均值进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 预处理方式对黄秋葵复水比的影响

由图 1 可知,经预处理黄秋葵样品的复水比与未经处理的对照组相比有不同程度的增加,就 3 种预处理方式而言,烫漂和超声波处理样品的复水比高于护色液处理。这可能是由于烫漂处理的高温作用使细胞壁分离,在复水过程中,依靠其细胞膜通透性的增加而易于复水^[17]。超声波处理是利用物理作用促使分子运动,主要改变细胞内部的结构,使其变得疏松多孔,所以既有利于干燥时水分的排出也有利于干制品水分的吸收^[18]。

此外,烫漂时间越长、超声波处理温度越高,干制品的复水比越高,可能是因为较高水平的预处理条件对细胞内部的作用程度更大,更利于水分的逸出与恢复,但当烫漂时间过长、超声波处理温度过高时可能会对细胞的结构产生破坏,此时细胞破裂、丧失水分控制能力,影响干制品的复水。

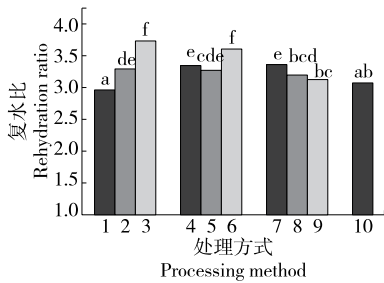
2.2 预处理方式对黄秋葵收缩率的影响

如图 2 所示,3 种预处理方式对黄秋葵的收缩率有明显的影响($P < 0.05$)。与对照组相比,烫漂预处理对黄秋葵的收缩率影响最大,而超声波和护色预处理影响较小。其原因可能是一定温度的热烫处理会对黄秋葵的细胞结构造成影响,使其细胞壁的通透性增大,同时细胞骨架也遭到一定的破坏,甚至坍塌,所以在干燥过程中收缩形变较大^[19]。而超声波处理是利用超声波引起的“空化效应”以改变物料的组织结构,使黄秋葵内部的微孔道增多,结构更加疏松,但对于细胞骨架影响较小,所以在干燥过程中的形变较小^[20]。

结合图 1 可知,相同处理方式的不同水平对黄秋葵干制品收缩率也有一定影响。随着烫漂时间的增加其收缩率越来越大,是因为烫漂时间越长,对细胞的破坏越大,干燥之后的收缩形变越明显。而不同超声波处理温度对于收缩率的影响相差不大,超声处理温度过高可能会造成明显收缩。随着护色液浓度的升高,其收缩率也有一定的升高趋势,可能是由于护色液的浓度与细胞浓度之间存在浓度差导致。

2.3 预处理方式对黄秋葵维生素 C 含量的影响

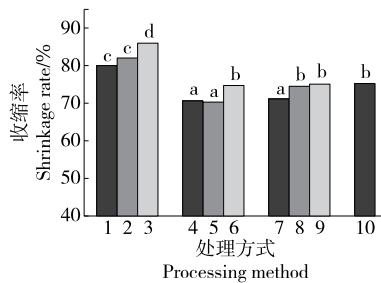
由图 3 可知,预处理方式对黄秋葵中维生素 C 含量的影响较为显著($P < 0.05$)。与未经处理的对照组相比,经预处理的黄秋葵的维生素 C 含量均有不同程度的减少,维生素 C 含量最高的是超声波处理 30 °C 条件下,其含量仍低于对照组。不同预处理方式中超声波处理样品的维生素 C 保留率最高,烫漂和护色处理黄秋葵样品中



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图1 预处理方式对黄秋葵复水比的影响

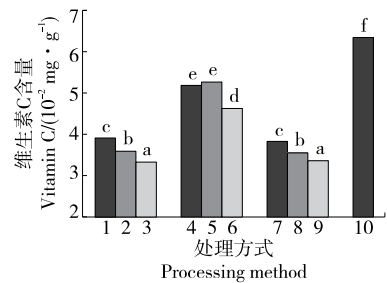
Figure 1 Influence of different pretreatment methods on the rehydration ratio of okra



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图2 预处理方式对黄秋葵收缩率的影响

Figure 2 The influence of different pretreatment methods on the shrinkage rate of okra



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图3 预处理方式对黄秋葵维生素C含量的影响

Figure 3 Effects of different pretreatment methods on the content of vitamin C in okra

维生素C含量损失较多。维生素C是一种水溶性维生素,其稳定性差,而烫漂和护色液处理均将黄秋葵样品浸泡于水中,所以导致维生素C的损失较大^[21]。超声波处理是利用超声波进行物理作用,不直接浸泡于溶液中,所以超声波预处理的维生素C含量损失较小。

2.4 预处理方式对黄秋葵干燥时间的影响

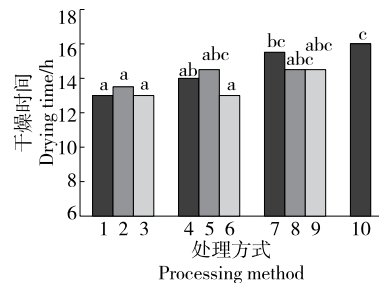
如图4所示,经预处理的黄秋葵干燥时间均少于对照组的(16 h),其中护色液预处理黄秋葵样品干燥所需要的时间最长,烫漂和超声波处理样品的干燥时间差异较小。这可能是因为护色液预处理主要通过钝化细胞内酶的活性来抑制褐变,对干燥过程的进行无明显促进作用。而烫漂预处理改变了细胞壁的通透性,有利于后期水分的散失^[18]。超声波处理通过超声波的机械作用、空化作用等改变细胞内部的结构,增加水分通路微孔道,提高水分扩散速率,有利于干燥的进行^[20]。

2.5 预处理方式对黄秋葵感官评分的影响

由图5(a)可知,超声波处理样品的色泽评分明显小于烫漂与护色,烫漂处理通过高温破坏样品中多酚氧化酶,而护色液具有抗氧化性,两者均可抑制酶促褐变的发生,从而更有效地保持样品原有色泽。不同预处理的硬度及口感评分差异较小,烫漂处理的脆度及组织状态得分略低于其他处理方式,主要是因为烫漂的湿热处理使

其结构受到破坏^[22]。

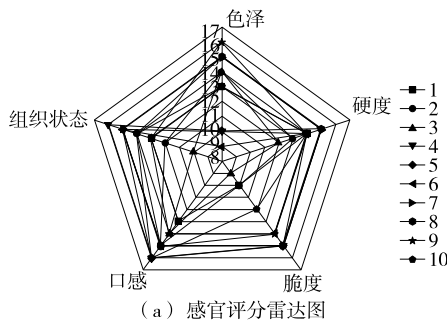
由图5(b)可知,与对照组相比,烫漂预处理样品所得感官评分最低;超声波和护色处理样品的评分较高,且两者差异较小。这可能是由于超声波处理对细胞结构破坏小,其收缩率低、皱缩变形小,外观形状更接近于新鲜状态。而护色液处理可以较好地保护产品色泽,其干制品仍具有较好色泽。烫漂处理虽然在一定程度上可以钝化酶的活性,抑制酶促褐变,但受高温和水合作用的影响,会对黄秋葵的结构造成破坏,使其结构松软,干燥后收缩形变较严重,而影响感官评分。



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图4 预处理方式对黄秋葵干燥时间的影响

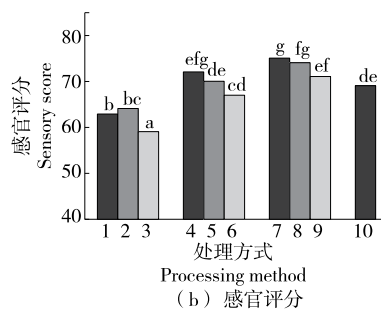
Figure 4 The influence of different pretreatment methods on the drying time of okra



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图5 预处理方式对黄秋葵感官评分的影响

Figure 5 The influence of different pretreatment methods on the sensory score of okra



2.6 预处理方式黄秋葵干制品的品质评价

运用变异系数法对黄秋葵干制品各品质指标的平均值、标准差、变异系数和权重进行计算,结果见表 2。

由表 2 可知,黄秋葵干燥样品的品质评价指标中维生素 C 含量所占权重最大,为 0.395,表明黄秋葵的维生素 C 含量受不同预处理方式影响最大,黄秋葵的复水比、感官评分及收缩率所占权重差异较小,其中干燥时间所占权重最小,也表明该指标对黄秋葵干燥品质的影响较小。

根据不同指标所占权重,对不同预处理方式所得样品的各指标值进行标准化处理,同时计算综合评分,结果如表 3、表 4 所示。

表 2 各指标的权重

Table 2 Weights of various indicators for comprehensive evaluation of okra

指标	标准差	算数平均值	变异系数	权重
复水比	0.222	3.319	0.067	0.150
收缩率	5.195	75.984	0.068	0.153
维生素 C 含量	0.718	4.069	0.176	0.395
干燥时间	0.831	13.944	0.060	0.134
感官评分	5.121	68.333	0.075	0.168

表 3 各指标的标准化值

Table 3 Standardized data of evaluation indices

处理方式	复水比	收缩率	维生素 C 含量	干燥时间	感官评分
烫漂 30 s	-1.662	0.773	-0.221	-1.136	-1.041
烫漂 45 s	-0.131	1.158	-0.667	-0.534	-0.846
烫漂 60 s	1.851	1.909	-1.029	-1.136	-1.822
超声波 20 °C	0.140	-1.031	1.561	0.067	0.716
超声波 30 °C	-0.221	-1.119	1.659	0.669	0.326
超声波 40 °C	1.266	-0.243	0.767	-1.136	-0.260
护色 1.0% NaCl	0.185	-0.959	-0.333	1.872	1.302
护色 1.5% NaCl	-0.581	-0.297	-0.737	0.669	1.107
护色 2.0% NaCl	-0.851	-0.189	-1.001	0.669	0.521

表 4 黄秋葵干制品品质的综合评分

Table 4 Comprehensive quality evaluation of dried okra products

处理方式	复水比	收缩率	维生素 C 含量	干燥时间	感官评分	综合评分
烫漂 30 s	-0.249	-0.118	-0.087	0.152	-0.175	-0.478
烫漂 45 s	-0.020	-0.177	-0.264	0.072	-0.142	-0.531
烫漂 60 s	0.278	-0.292	-0.407	0.152	-0.306	-0.575
超声波 20 °C	0.021	0.158	0.617	-0.009	0.120	0.907
超声波 30 °C	-0.033	0.171	0.655	-0.090	0.055	0.758
超声波 40 °C	0.190	0.037	0.303	0.152	-0.044	0.639
护色 1.0% NaCl	0.028	0.147	-0.131	-0.251	0.219	0.011
护色 1.5% NaCl	-0.087	0.045	-0.291	-0.090	0.186	-0.236
护色 2.0% NaCl	-0.128	0.029	-0.396	-0.090	0.087	-0.496

由表 4 可知,3 种不同预处理方式中超声波处理的评分最高,护色处理次之,烫漂预处理评分最低。在超声波预处理中,综合评分基本呈现随温度升高而降低的趋势,超声波处理温度为 20 °C 时综合评分最高,为 0.907。所以在试验范围内,超声波处理温度 20 °C 预处理条件下热风干燥黄秋葵制品的品质最好。

3 结论

不同预处理方式对黄秋葵热风干燥制品的品质具有显著影响($P < 0.05$)。综合评价表明超声波预处理的黄秋葵品质最好,护色处理次之,烫漂样品的综合评分最低;在 20 °C 时超声波处理 30 min 的黄秋葵样品的综合评分最高,为 0.907。因此,可采用超声波预处理来改善黄秋葵热风干燥产品的品质。但试验在超声波预处理提高

干制黄秋葵品质的机理方面探讨不够深入,后续将针对超声波对黄秋葵微观结构等方面的影响加以探究,并对其作用机理进行分析。

参考文献

[1] KUMAR D, PRASAD S, MURTHY G S. Optimization of microwave-assisted hot air drying conditions of okra using response surface methodology [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(2): 221-232.

[2] WANKHADE P K, SAPKAL R S, SAPKAL V S. Drying characteristics of okra slices on drying in hot air dryer[J]. Procedia Engineering, 2013, 51: 371-374.

[3] 段续, 刘文超, 任广跃. 热风干燥联合真空降温缓苏提升黄秋葵干制品品质[J]. 农业工程学报, 2016, 32(18): 263-270.

- DUAN Xu, LIU Wen-chao, REN Guang-yue. Hot air drying combined vacuum ventilation tempering improving quality of dried okra products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(18): 263-270.
- [4] RAWSON A, TIWARI B K, TUOHY M G, et al. Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(5): 1 172-1 179.
- [5] KROEHNKE J, SZADZINSKA J, STASIAK M, et al. Ultrasound and microwave-assisted convective drying of carrots-Process kinetics and product's quality analysis [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 48: 249-258.
- [6] 郝启栋, 乔旭光, 郑振佳, 等. 超高压和超声波预处理对蒜片热风干燥过程及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(3): 278-286.
- HAO Qi-dong, QIAO Xu-guang, ZHENG Zhen-jia, et al. Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on hot-air drying process and quality of garlic slices[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(3): 278-286.
- [7] 杜志龙, 高振江, 温朝晖, 等. 胡萝卜的气体射流冲击烫漂与干燥试验研究[J]. 粮食与食品工业, 2010, 17(1): 22-26.
- DU Zhi-long, GAO Zhen-jiang, WEN Zhao-hui, et al. Experimental study of blanching and drying of carrots in air-jet impingement oven[J]. Cereal and Food Industry, 2010, 17(1): 22-26.
- [8] 张茜, 肖红伟, 杨旭海, 等. 预处理对线辣椒气体射流冲击干燥特性和色泽的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 276-281.
- ZHANG Qian, XIAO Hong-wei, YANG Xu-hai, et al. Effects of pretreatment on air impingement drying characteristics and product color for line pepper[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(1): 276-281.
- [9] 张迎敏, 任广跃, 屈展平, 等. 超声和烫漂预处理对红薯叶热风干燥的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 194-201.
- ZHANG Ying-min, REN Guang-yue, QU Zhan-ping, et al. Effect of ultrasonic and blanching pretreatment on hot-air drying of sweet potato leaves[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 194-201.
- [10] DA SILVA G D, PIMENTA BARROS Z M, BATISTA DE MEDEIROS R A, et al. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 74: 114-119.
- [11] 任广跃, 刘亚男, 乔小全, 等. 基于变异系数权重法对怀山药干燥全粉品质的评价[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 53-59.
- REN Guang-yue, LIU Ya-nan, QIAO Xiao-quan, et al. Quality evaluation of Chinese yam drying powder based on variation coefficient weight[J]. Food Science, 2017, 38(1): 53-59.
- [12] WANG Y, ZHANG M, MUJUMDAR A S, et al. Effect of blanching on microwave freeze drying of stem lettuce cubes in a circular conduit drying chamber[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(2): 177-185.
- [13] JIANG H, ZHANG M, MUJUMDAR A S, et al. Comparison of drying characteristic and uniformity of banana cubes dried by pulse-spouted microwave vacuum drying, freeze drying and microwave freeze drying[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(9): 1 827-1 834.
- [14] HUANG L L, ZHANG M, MUJUMDAR A S, et al. Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices[J]. Drying Technology, 2009, 27(9): 938-946.
- [15] 王迪, 李大婧, 江宁, 等. 不同干燥方式对黄秋葵脆条品质及能耗的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(1): 101-105.
- WANG Di, LI Da-jing, JIANG Ning, et al. Effect of drying methods on quality and energy consumption of okra crisp bar[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(1): 101-105.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB/T 5009.86—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission. National food safety standard, determination of ascorbic acid in food: GB/T 5009.86—2016[S]. Beijing: China Quality and Standards Press, 2016.
- [17] KUMAR V, KUMAR M, KUMAR S. 热烫温度和时间对魔芋片干燥动力学和品质的影响(摘选)[J]. 农业工程, 2012, 2(4): 72-75.
- KUMAR V, KUMAR M, KUMAR S. The effect of blanching temperature and time on the drying kinetics and quality of konjac chips (excerpt) [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 2(4): 72-75.
- [18] 王海鸥, 扶庆权, 陈守江, 等. 不同护色预处理对牛蒡片真空冷冻干燥特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 86-91.
- WANG Hai-ou, FU Qing-quan, CHEN Shou-jiang, et al. Effect of different color protection pretreatments on the vacuum freeze-drying characteristics of burdock (*Arctium Lappa* L.) slices[J]. Food Science, 2017, 38(1): 86-91.
- [19] KAALE L D, EIKEVIK T M. The influence of superchilling storage methods on the location/distribution of ice crystals during storage of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Food Control, 2015, 52: 19-26.
- [20] 宋悦, 金鑫, 毕金峰, 等. 超声辅助渗透处理对热风干燥及真空冷冻干燥黄桃片品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 177-185.
- SONG Yue, JIN Xin, BI Jin-feng, et al. Effect of ultrasonic-assisted osmotic dehydration on the quality characteristics of hot air dried and vacuum freeze dried yellow peach chips[J]. Food Science, 2020, 41(15): 177-185.
- [21] 王忠合, 王军, 林倩仪. 超声辅助热风干燥柠檬片的动力学研究及其维生素 C 含量的变化[J]. 中国食品学报, 2020, 20(4): 187-196.
- QANG Zhong-he, WANG Jun, LIN Qian-yi. Studies on kinetics of ultrasound-assisted hot air drying lemon slices and changes in vitamin C content[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(4): 187-196.
- [22] 金雪冻, 付婷婷, 王辉, 等. 不同预处理方法对马铃薯片热泵干燥速率及其干片品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(11): 166-171, 178.
- JIN Xue-dong, FU Ting-ting, WANG Hui, et al. Effects of different pretreatment methods on heat pump drying rate of potatoeslices and quality of dried products[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(11): 166-171, 178.