

徐亚元,郎旭敏,肖亚冬,等. 超声渗透辅助组合干燥对胡萝卜干燥均匀性及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(9):148-156.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.09.027

超声渗透辅助组合干燥对胡萝卜干燥均匀性及品质的影响

徐亚元¹, 郎旭敏¹, 肖亚冬¹, 刘庆峰², 李大婧¹, 刘春菊¹, 刘春泉¹, 张钟元¹, 宋江峰¹

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014; 2. 兴化市联富食品有限公司, 江苏兴化 225754)

摘要:选用超声渗透预处理+微波联合压差膨化干燥方法制备胡萝卜脆片,考察不同蔗糖渗透液质量分数、超声功率密度、超声时间、超声温度、微波预干燥水分含量转换点和微波功率强度对胡萝卜微波预干燥水分均匀性、色泽均匀性及压差膨化干燥后产品的收缩率、脆度、色差和总类胡萝卜素保留率的影响,以期获得较优的胡萝卜脆片干燥工艺。结果表明,超声功率密度、超声时间、超声温度、蔗糖渗透液质量分数、微波预干燥的水分含量转换点和微波功率强度对胡萝卜脆片干燥均匀性和品质具有显著影响($P<0.05$),通过超声渗透预处理可以显著改善微波预干燥后样品的水分和色泽均匀性;超声渗透预处理较优工艺参数为超声功率密度 0.50 W/cm^2 ,超声时间 30 min ,超声温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$,蔗糖渗透液质量分数 30% ,微波预干燥较优工艺参数为水分含量转换点 80% ,微波干燥功率强度 5 W/g 。研究获得了较优的胡萝卜脆片超声渗透协同微波联合压差膨化干燥工艺参数,为拓宽胡萝卜的利用途径、提高其附加值提供了切实可靠的技术和理论支撑。

关键词:胡萝卜;超声渗透;微波干燥;压差膨化干燥;均匀性;品质

中图分类号:TS255.36 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)09-0148-08

胡萝卜(*Daucus carota* L.)含有丰富的营养成分,如类胡萝卜素、蛋白质、脂肪、纤维素、多种维生素、各种无机盐等^[1],具有抗氧化、促进生长发育、保护视力、抗癌防癌、提高免疫力、促消化等重要作用^[2]。除鲜食外,脱水加工是胡萝卜的主要加工方式之一,加工后的产品便于运输和储存,能延长货架期,从而解决偏远山区的供给问题,也能有效调节蔬菜生产的淡、旺季^[3-4]。近年来,休闲果蔬脆片倍受消费者青睐,但是市售的胡萝卜脆片、脆条等休闲产品以油炸为主,如果摄入过多,不益于人们的身体健康。随着人们生活水平的提高,慢性疾病发病率提高,人们对油炸高脂食品的摄入量需求减少。因此,开发营养、健康、方便且耐储存的休闲果

蔬脆产品尤为重要,对于提升胡萝卜的附加值具有重要意义^[5]。

油炸型产品的酥脆性虽然较好,但是含油量高且易变质,虽然真空冷冻干燥型果蔬脆片的营养保留率高、外观品质好、酥脆性佳,但是生产过程能耗大、成本高。通过微波干燥(MD)、压差膨化干燥(EPD)等方法制备的果蔬脆片产品绿色天然、口感酥脆、耐储藏,能够克服油浴产品的含油量高、热量高、易酸败等缺点,还具有独特的怡人风味^[6-7]。但是通过单一热风、微波、气流膨化等干燥技术获得的非油炸型胡萝卜休闲产品质地偏硬,且均匀性不佳,通过预处理技术、多物理场联合干燥可以有效避免单一干燥方式的缺点,显著改善产品品质和干燥均匀性^[8-9]。然而,目前关于预处理方法协同组合干燥方式对胡萝卜脆片品质及干燥均匀性影响的研究甚少。

根据前期的预试验,本研究选用超声渗透预处理+微波联合压差膨化干燥方法制备胡萝卜脆片,研究预处理过程中蔗糖渗透液质量分数、超声功率密度、超声时间、超声温度、微波预干燥水分含量转换点和微波功率强度对胡萝卜微波预干燥水分均匀性、色泽均匀性及压差膨化干燥后产品的硬度、

收稿日期:2020-07-23

基金项目:国家重点研发计划子课题(编号:2017YFD0400901-4);

江苏省重点研发计划重点项目(编号:BE-2018382);江苏省青年基金(编号:SBK20180307)。

作者简介:徐亚元(1988—),女,安徽合肥人,博士,助理研究员,研究方向为果蔬加工与综合利用。E-mail: xuyayuanxy2008@126.com。

通信作者:李大婧,博士,研究员,研究方向为果蔬加工与综合利用。

E-mail: lidajing@163.com。

脆度、色差、总类胡萝卜素保留率的影响,以期为拓宽胡萝卜的利用途径,提高其附加值提供切实可行的技术支持,对于推进行业技术进步和持续发展具有重大意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

胡萝卜购于南京市玄武区安振强副食品销售中心,切片厚度为 8 mm,使用模具将其统一制成直径为 34 mm 的圆柱体,于 4 ℃ 冰箱中贮藏备用。试验于 2019 年 9—12 月在江苏省农业科学院农产品加工研究所实验室进行。

Folin 酚试剂,购自上海麦克林生化科技有限公司;2,6-二氯靛酚,购自上海蓝季科技发展有限公司;氢氧化钾、硫酸钠,购自南京化学试剂股份有限公司;乙醇、正己烷、甲醇均为分析纯级别,购自国药集团化学试剂有限公司; β -胡萝卜素标准品,购自上海源叶生物科技有限公司。

1.2 主要仪器

CM-700d1 全自动色差计,购自日本柯尼卡美能达公司;CT3 质构仪,购自英国 CNS Farnell 公司;UV-6300 型紫外-可见分光光度计,购自上海美谱达仪器有限公司;振动式微波真空干燥设备,购自南京孝马机电设备厂;QDPH-5 型电加热式压差膨化干燥设备,购自天津市勤德新材料科技有限公司;Quanta-200 环境扫描电子显微镜,购自美国 FEI 公司;Epoch 全自动酶标仪,购自 Bio Tek 公司;KH-7200-DB 型数控超声波清洗器,购自昆山禾创超声仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程及工艺参数的设置 工艺流程:鲜胡萝卜片→超声辅助蔗糖渗透→MD 干燥→均湿 12 h→EPD(条件:膨化温度为 100 ℃,停滞时间为 10 min,抽空温度为 75 ℃,抽空时间为 200 min)干燥至水分含量为 6%→冷却→充氮包装。在超声预处理和 MD 干燥过程中,超声功率密度、超声时间、超声温度、蔗糖渗透液质量分数、MD 微波功率强度、MD 水分含量转换点 6 个参数的设置见表 1。

1.3.2 水分含量的测定 根据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中的直接干燥法测定样品的水分含量。

1.3.3 硬度、脆度的测定 样品硬度、脆度的测定采用 CT3 质构仪,选用 HDP/BSW 型探头,测试条件

表 1 工艺参数设计

超声功率密度 (W/cm ²)	超声时间 (min)	超声温度 (℃)	蔗糖渗透液 质量分数 (%)	MD 水分 含量转 换点(%)	微波功率 强度 (W/g)
0.22	10	30	10	50	3
0.28	20	40	20	55	4
0.33	30	50	30	60	5
0.39	40	60	40	65	6
0.44	50	70	50	70	7
0.50	60	80	60	75	
0.55				80	

如下:检测前速度为 1.0 mm/s,检测速度为 1.0 mm/s,检测后速度为 10.0 mm/s,感应力为 5 g,压缩距离为 8 mm。将物料置于中空测试台上,测得其压力峰值-变形时间质构图,脆度为下压探头第 1 次冲向样品的过程中在坐标图上出现的第 1 个明显压力峰值,单位为 g,每个处理的样品重复测定 6 次以上。

1.3.4 色泽的测定^[10] 采用 CM-700d1 全自动色差计,以白板色泽为标准,测定样品色泽。样品的色泽指标有亮度(L^* , $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色)、红度(a^* , $+a$ 表示偏红色, $-a$ 表示偏绿色)、黄度(b^* , $+b$ 表示黄色, $-b$ 表示偏蓝色), ΔE 表示颜色变化值。每个样品重复测试 7 次,取平均值,颜色变化值(ΔE)的计算公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2}。$$

式中: L_0 、 a_0 、 b_0 表示新鲜胡萝卜的测定值; L^* 、 a^* 、 b^* 表示不同干燥方式下胡萝卜脆片的测定值。

1.3.5 总类胡萝卜素含量的测定 参照颜少宾等的方法^[11]测定样品中的总类胡萝卜素含量,其中总类胡萝卜素保留率的计算公式如下:

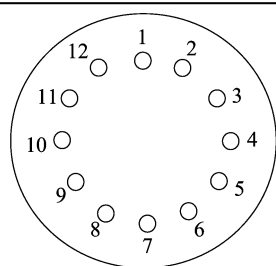
总类胡萝卜素保留率 = 干燥后样品的总类胡萝卜素含量/鲜样的总类胡萝卜素含量 $\times 100\%$ 。

1.3.6 水分均匀性和色泽均匀性的测定^[12] 将胡萝卜片按照图 1 中 1~12 的位置摆放均匀,微波干燥 8 min,测定每个位置样品的水分含量和色泽(L 值),通过标准偏差分析判断样品水分含量和色泽的均匀性。

1.3.7 收缩率的测定^[13] 称取 5 g 样品,将其浸入 60 mL 水中,10 s 内读出体积变化量($V_1 - V_0$)。

$$\rho = m / (V_1 - V_0)。$$

式中: ρ 为体积密度,kg/m³; m 为样品质量,g; V_0 、 V_1 分别为放入样品前、后量筒中水的体积,mL。



1~12 为位置编号

图1 MD 过程中样品摆放位置

$$s = \frac{\rho_0}{\rho_d} \left(\frac{X_d + 1}{X_0 + 1} \right)$$

式中: s 为收缩率; ρ_0 、 ρ_d 分别为鲜样、干制品的体积密度, kg/m^3 ; X_0 、 X_d 分别为鲜样、干制品的干基含水量, %。 s 值越小, 表明样品体积收缩越大。

1.4 统计分析

每组试验的重复次数不少于 3 次, 用 SPSS 16.0 对数据进统计分析。

2 结果与分析

2.1 超声功率密度对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

胡萝卜样品在超声辅助渗透预处理的过程中, 超声温度为 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 蔗糖渗透液质量分数为 40%, 超声功率密度分别为 0.22、0.28、0.33、0.39、0.44、0.50、0.55 W/cm^2 , 超声时间为 30 min, 在 MD 预干燥的过程中, 微波功率强度为 5 W/g , 预干燥终点水分含量为 75%, 最后进行压差膨化干燥至水分含量为 6%。由图 2-a 可知, 超声功率密度对胡萝卜脆片微波预干燥水分含量均匀性的影响显著 ($P < 0.05$), 当超声功率密度为 0.50 W/cm^2 时, 不同位置胡萝卜片的水分含量差异最小, 即水分含量的均匀性最好。由图 2-b 可以看出, 超声功率密度对胡萝卜脆片 MD 后 L 值的均匀性影响显著 ($P < 0.05$), L 值的均匀性随着超声功率密度的增大先降低后升高, 当超声功率密度为 0.44 W/cm^2 时, L 值的均匀性最低。由图 2-c 可以看出, 当超声功率密度为 0.22~0.55 W/cm^2 时, 胡萝卜脆片的收缩率无显著变化。由图 2-d 可以看出, 超声功率密度对胡萝卜脆片脆度的影响显著 ($P < 0.05$), 随着超声功率密度的增加, 胡萝卜脆片的脆度逐渐降低, 当超声功率密度高于 0.44 W/cm^2 时, 胡萝卜脆度的变化不显著, 且超声功率密度为 0.50 W/cm^2 时脆度最低。如图 2-e 所示, 超声功率密度对胡萝卜脆

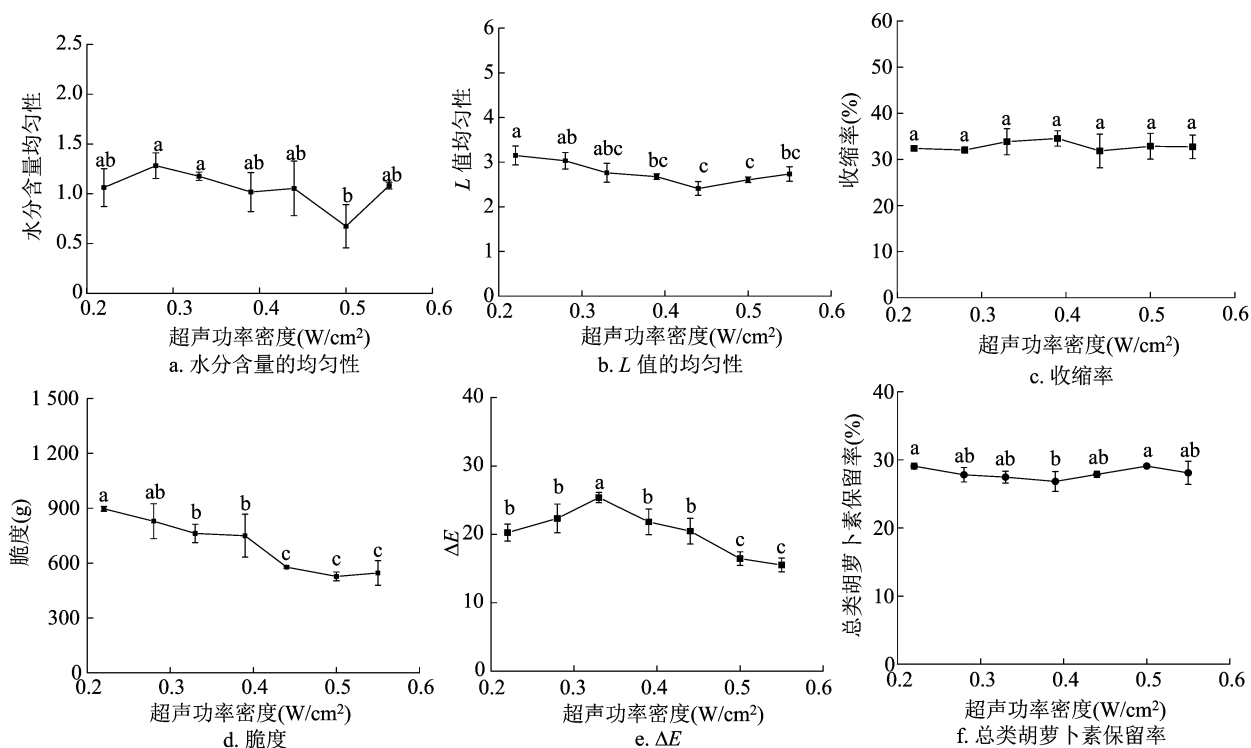
片色差的影响显著 ($P < 0.05$), 胡萝卜脆片的 ΔE 随着超声功率密度的增大先提高后降低, 当超声功率密度为 0.50、0.55 W/cm^2 时, 胡萝卜脆片的 ΔE 显著低于其他超声功率密度处理。如图 2-f 所示, 超声功率密度对胡萝卜脆片总类胡萝卜素保留率的影响显著 ($P < 0.05$), 当超声功率密度为 0.22、0.50 W/cm^2 时, 样品的总类胡萝卜素保留率较高。品质较好的胡萝卜脆片需具备脆度好、色泽明亮自然、营养保留率高等特点。综合分析得出, 当超声功率密度为 0.50 W/cm^2 时, 胡萝卜脆片的品质较佳。

2.2 超声时间对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

胡萝卜样品在超声辅助渗透预处理的过程中, 超声温度设为 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 蔗糖渗透液质量分数设为 40%, 超声功率密度设为 0.22 W/cm^2 , 超声时间分别设为 10、20、30、40、50、60 min, 在 MD 预干燥的过程中, 微波功率强度设为 5 W/g , 预干燥终点水分含量设为 75%, 最后进行 EPD 干燥至水分含量为 6%。由图 3-a 可知, 超声时间对胡萝卜脆片 MD 水分含量均匀性的影响显著 ($P < 0.05$), 当超声时间为 30 min 时, 不同位置样品的水分含量差异最小, 即水分含量最均匀。从图 3-b 可以看出, 超声时间对胡萝卜脆片 MD 后 L 值的均匀性无显著性影响。从图 3-c 可以看出, 当超声时间为 30 min 时, 样品收缩率较高; 当超声时间超过 30 min 时, 胡萝卜脆片收缩率无显著变化 ($P < 0.05$)。如图 3-d 所示, 超声时间对胡萝卜脆片脆度的影响显著 ($P < 0.05$), 且随着超声时间的延长而逐渐降低, 当超声时间为 20、30 min 时, 胡萝卜脆片的脆度较为适中, 而当超声时间为 60 min 时, 胡萝卜样品的脆度最低。如图 3-e 所示, 超声时间对胡萝卜脆片 ΔE 的影响显著 ($P < 0.05$), 当超声时间为 10~40 min 时, 胡萝卜脆片的 ΔE 无显著变化, 而当超声时间超过 40 min 时, ΔE 显著升高。如图 3-f 所示, 超声时间对胡萝卜脆片总类胡萝卜素保留率的影响显著 ($P < 0.05$), 随着超声时间的延长, 总类胡萝卜素保留率先升高后降低, 当超声时间为 30 min 时, 总类胡萝卜素保留率最高。综合考虑胡萝卜脆片的品质, 选择超声时间为 30 min 较为合适。

2.3 超声温度对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

胡萝卜样品在超声辅助渗透预处理的过程中,



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下图同

图2 超声功率密度对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

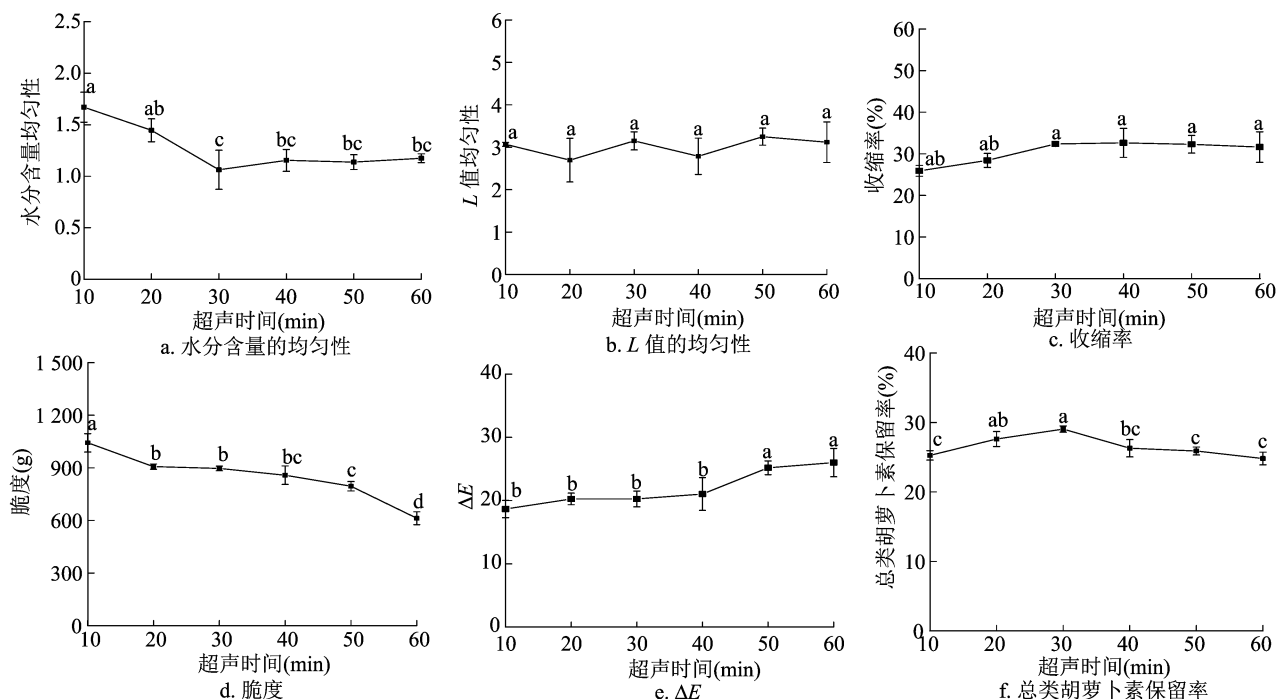


图3 超声时间对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

蔗糖渗透液质量分数设为 40%，超声功率密度设为 0.22 W/cm^2 ，超声温度分别设为 30、40、50、60、70、80 $^{\circ}\text{C}$ ，超声时间设为 30 min，在 MD 预干燥过程中，微波功率强度设为 5 W/g ，预干燥终点水分含量设为 75%，最后进行 EPD 干燥至水分含量为 6%。由

图 4-a 可知，超声温度对胡萝卜脆片 MD 水分含量均匀性的影响显著($P < 0.05$)，当超声温度为 70 $^{\circ}\text{C}$ 时，不同位置样品间水分含量的差异最小，即水分含量最均匀。从图 4-b 可以看出，超声温度对胡萝卜脆片 MD 后 L 值的均匀性影响显著($P < 0.05$)，

当超声温度为 40 ℃ 时, L 值的均匀性最低。从图 4 - c 可以看出, 超声温度对胡萝卜脆片收缩率的影响显著 ($P < 0.05$), 但未呈现明显规律。如图 4 - d 所示, 超声温度对胡萝卜脆片脆度的影响显著 ($P < 0.05$), 随着超声温度的上升, 胡萝卜脆片的脆度逐渐提高, 当超声温度为 70、80 ℃ 时, 胡萝卜脆片的脆度较高 ($P < 0.05$)。如图 4 - e 所示, 超声温度对胡萝卜脆片 ΔE 的影响显著 ($P < 0.05$), 当超声温度

为 70 ℃ 时, 胡萝卜脆片的 ΔE 最低。如图 4 - f 所示, 超声温度对胡萝卜脆片总类胡萝卜素保留率的影响显著 ($P < 0.05$), 随着超声温度的升高, 总类胡萝卜素保留率逐渐提高, 当超声温度为 50 ~ 80 ℃ 时, 样品总类胡萝卜素的保留率较高。综合考虑胡萝卜脆片的品质和成本, 选择超声温度为 70 ℃ 较为合适。

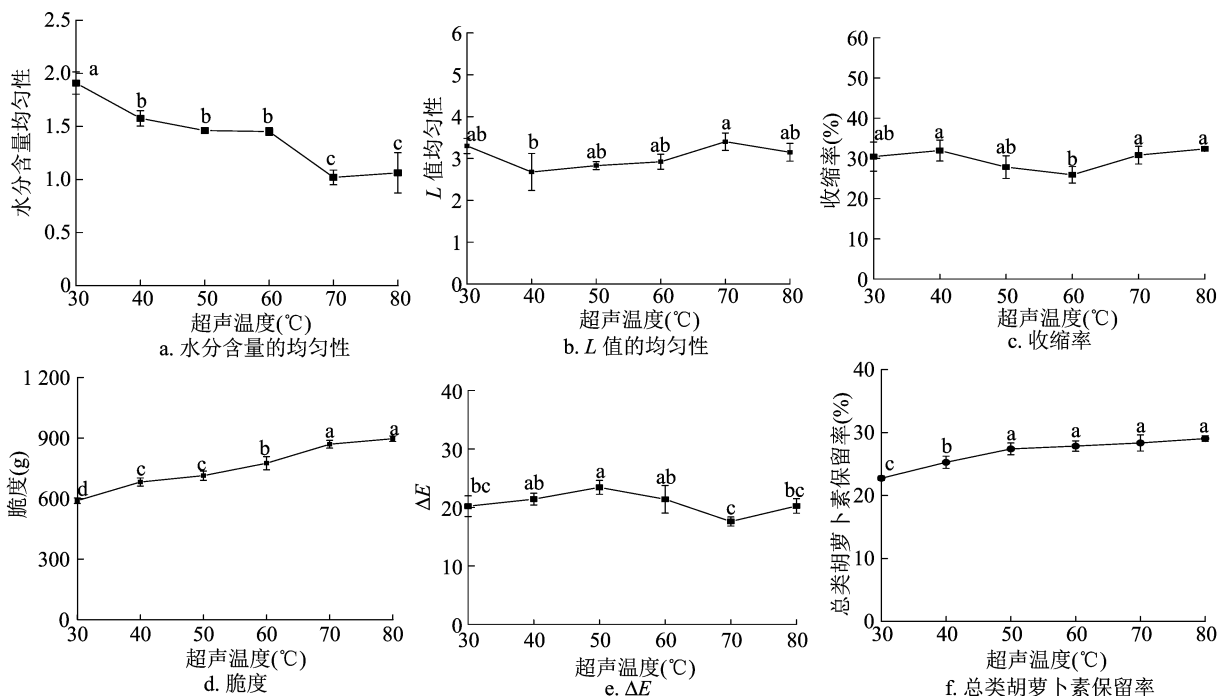


图4 超声温度对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

2.4 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

胡萝卜样品在超声辅助渗透预处理的过程中, 蔗糖渗透液的质量分数分别设为 10%、20%、30%、40%、50%、60%, 超声功率密度设为 0.22 W/cm², 超声温度设为 80 ℃, 超声时间设为 30 min, 在 MD 预干燥的过程中, 微波功率强度设为 5 W/g, 预干燥终点水分含量为 75%, 最后进行 EPD 干燥至水分含量为 6%。由图 5 - a 可知, 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片 MD 水分含量均匀性的影响显著 ($P < 0.05$), 当蔗糖渗透液质量分数为 50% ~ 60% 时, 不同位置样品的水分含量差异最小, 即水分含量最均匀。从图 5 - b 可以看出, 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片 MD 后 L 值的均匀性影响显著 ($P < 0.05$), 呈先降低后升高的趋势, 当蔗糖渗透液质量分数为 30% 时, L 值的均匀性最低。从图 5 - c 可以看出, 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片收缩率的

影响显著 ($P < 0.05$), 当蔗糖渗透液质量分数为 10%、30% 时, 其收缩率明显高于其他组。如图 5 - d 所示, 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆度的影响显著 ($P < 0.05$), 当渗透液质量分数为 10% ~ 30% 时, 胡萝卜脆片的脆度较高。如图 5 - e 所示, 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片 ΔE 的影响显著 ($P < 0.05$), 当蔗糖渗透液质量分数为 30% 时, 胡萝卜脆片的 ΔE 最低 ($P < 0.05$)。如图 5 - f 所示, 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片总类胡萝卜素保留率的影响无显著性差异。综合考虑胡萝卜脆片的品质, 选择蔗糖渗透液质量分数为 30% 较为合适。

2.5 水分含量转换点对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

胡萝卜样品在超声辅助渗透预处理过程中, 蔗糖渗透液质量分数设为 40%, 超声功率密度设为 0.22 W/cm², 超声温度设为 80 ℃, 超声时间设为 30 min, 在 MD 预干燥过程中, 微波功率强度设为

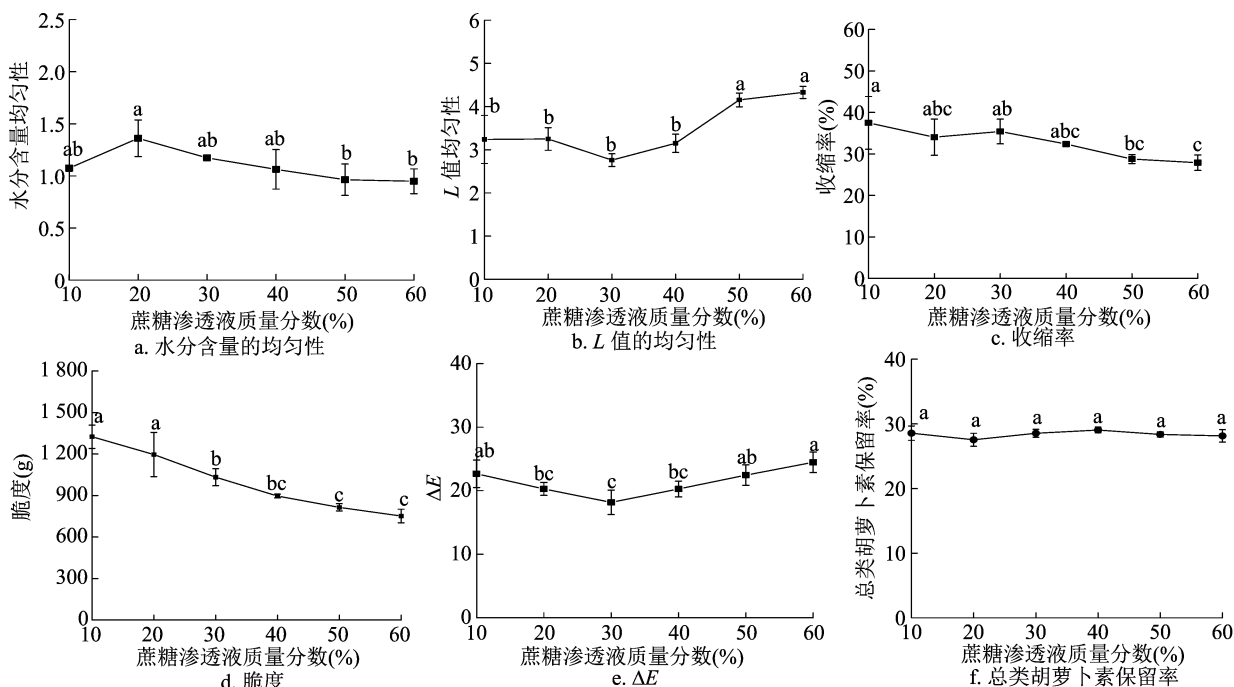


图5 蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

5 W/g, 预干燥终点即水分含量转换点分别设为 50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%, 最后进行 EPD 干燥至水分含量为 6%。由图 6-a 可知, MD 水分含量转换点对胡萝卜脆片 MD 水分含量均匀性的影响显著 ($P < 0.05$), 当水分含量转换点为 75%、80% 时, MD 水分含量均匀性最佳。从图 6-b 可以看出, 水分含量转换点对胡萝卜脆片 MD 后 L 值均匀性的影响显著 ($P < 0.05$), 当水分含量转换点为 80% 时, L 值的均匀性最低。从图 6-c 可以看出, 水分含量转换点对胡萝卜脆片收缩率的影响显著 ($P < 0.05$), 当水分含量转换点为 75%、80% 时, 收缩率显著高于其他组 ($P < 0.05$)。如图 6-d 所示, 水分含量转换点对胡萝卜脆片脆度的影响显著 ($P < 0.05$), 随着水分含量转换点逐渐升高, 胡萝卜脆片的脆度逐渐增加, 当水分含量转换点达到 80% 时, 胡萝卜脆片的脆度最高 ($P < 0.05$)。如图 6-e 所示, 水分含量转换点对胡萝卜脆片 ΔE 的影响显著 ($P < 0.05$), 当水分含量转换点为 80% 时, 胡萝卜脆片的 ΔE 最小 ($P < 0.05$)。如图 6-f 所示, 水分含量转换点对胡萝卜脆片总类胡萝卜素保留率影响显著 ($P < 0.05$), 随着水分含量转换点逐渐升高, 总类胡萝卜素保留率逐渐提高, 当水分含量转换点为 75%、80% 时, 总类胡萝卜素保留率较高。综合考虑胡萝卜脆片的整体品质, 选择水分含量转换点为 80% 较为合适。

2.6 微波功率强度对胡萝卜脆片干燥均匀性和品质的影响

胡萝卜样品在超声辅助渗透预处理过程中, 蔗糖渗透液质量分数设为 40%, 超声功率密度设为 0.22 W/cm^2 , 超声温度设为 80°C , 超声时间设为 30 min, 在 MD 预干燥过程中, 微波功率强度分别设为 3、4、5、6、7 W/g, 预干燥终点水分含量为 75%, 最后进行 EPD 干燥至水分含量为 6%。由图 7-a 可知, 微波功率强度对胡萝卜脆片 MD 水分含量均匀性的影响显著 ($P < 0.05$), 当微波功率强度为 5 W/g 时, 不同位置样品的水分含量差异最小, 即水分含量最均匀。从图 7-b 可以看出, 微波功率强度对胡萝卜脆片 MD 后 L 值的均匀性影响不显著。从图 7-c 可以看出, 微波功率强度对胡萝卜脆片收缩率的影响显著 ($P < 0.05$), 当微波功率强度为 3 W/g 时, 收缩率较高, 其次是微波功率为 4、5 W/g 的处理。如图 7-d、图 7-e 所示, 当微波功率强度大于 4 W/g 时, 微波功率强度对胡萝卜脆片脆度和 ΔE 的影响均无显著性差异。如图 7-f 所示, 微波功率强度对胡萝卜脆片总类胡萝卜素保留率的影响显著 ($P < 0.05$), 随着微波功率强度逐渐增大, 总类胡萝卜素保留率先升高后降低, 当微波功率强度为 5、6 W/g 时, 总类胡萝卜素保留率较高。综合考虑产品的品质和生产成本, 选择微波功率强度为 5 W/g 较为合适。

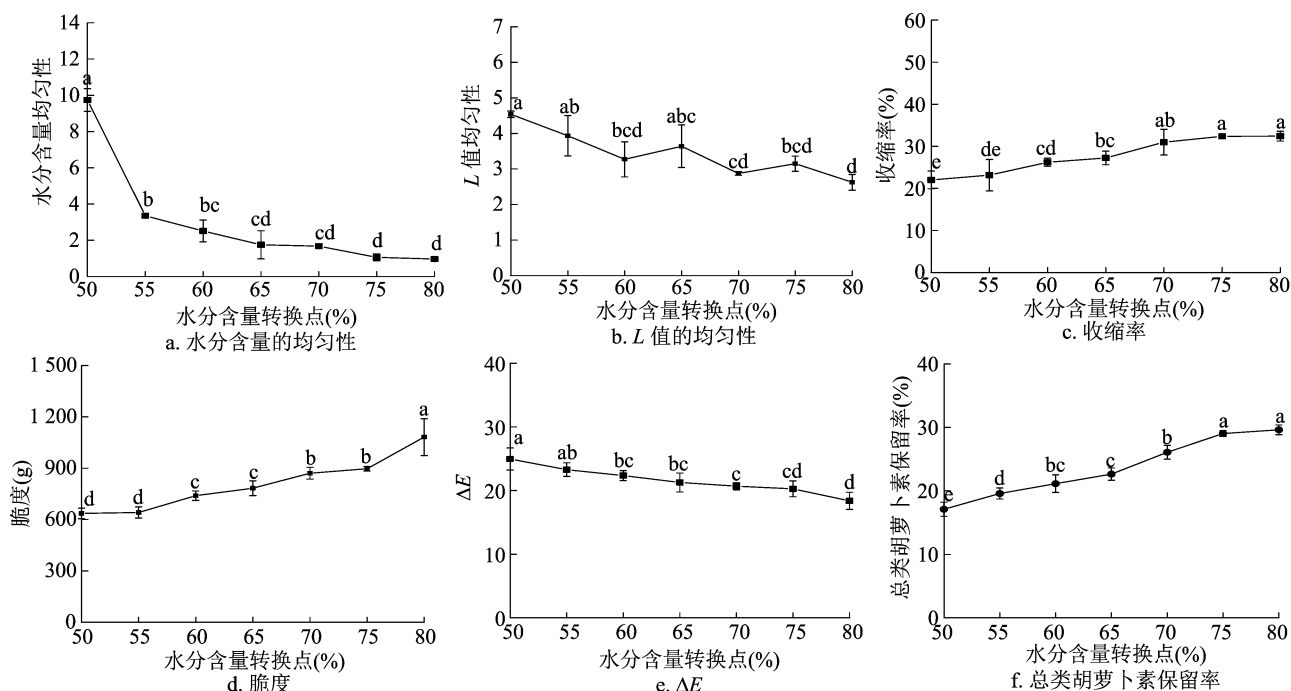


图6 水分含量转换点对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

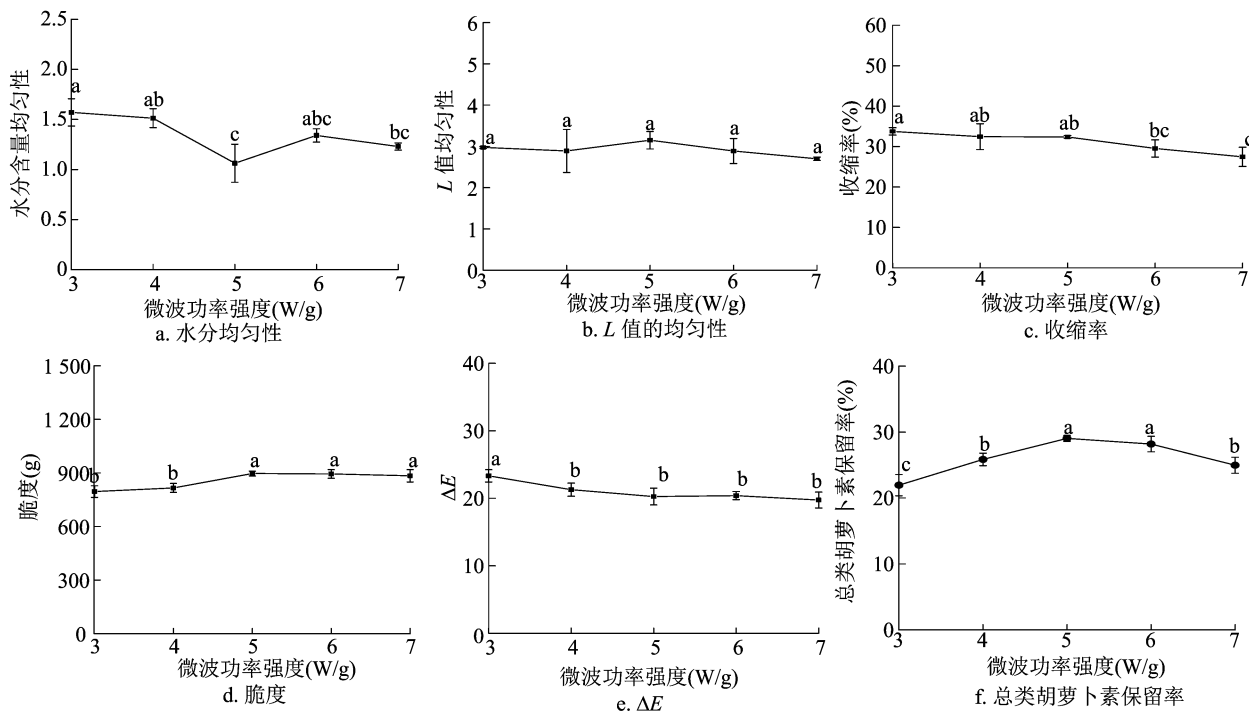


图7 微波功率对胡萝卜脆片干燥均匀性及品质的影响

3 讨论

在本研究中,影响因素和测定指标均是根据前期研究结果确定的,通过主成分分析和核心指标权重计算,筛选出胡萝卜脆片的6个核心评价指标作为优化工艺的结果判断指标,包括水分含量均匀

性、L值的均匀性、收缩率、 ΔE 、脆度、总类胡萝卜素保留率。

各因素对微波水分含量均匀性、L值的均匀性、收缩率、脆度、 ΔE 和总类胡萝卜素保留率的影响具有显著性差异。在胡萝卜脆片预处理和干燥的过程中,超声波对其干燥均匀性及其他品质都有一定

影响,这可能是因为超声波属于机械波,可使细胞内形成空化效应,从而影响干燥过程中水分含量及其他品质的变化^[14]。随着超声功率密度、时间和温度的变化,胡萝卜脆片色泽变化较为显著,这可能是因为超声处理过程中形成的过氧化氢对褐变有抑制作用,从而对胡萝卜样品的色泽具有一定的保护作用^[15]。另外,由于在超声过程中,样品是浸入介质溶液中的,空气浸入受到限制,从而降低了对色泽的破坏程度^[16]。经过超声渗透处理,胡萝卜样品的 L 值显著提高,说明样品亮度显著提高,这可能是因为超声辅助渗透过程中的蔗糖渗透液具有提高亮度的作用^[17-18]。超声功率密度和时间对收缩率均无明显影响,原因在于收缩率与水分含量有关,水分含量的变化较小。

蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜脆片脆度的影响较为显著,可能是因为蔗糖渗透液在胡萝卜表面形成了蔗糖层,且糖的吸收增加了样品的固形物含量,使得干燥后样品的结构孔隙率降低、弹性损失,从而变得更加紧密^[18]。在超声辅助渗透过程中,糖的吸收率会降低,空化作用会引起表面压缩应力、膨胀应力,形成细胞间的微观通道,对胡萝卜脆片的质地和收缩率也具有较大影响^[14]。水分含量转换点对微波干燥水分均匀性的影响较为显著,随着水分含量转换点逐渐提高,水分含量的均匀性越好,而水分含量的变化影响着收缩率的变化,因此收缩率逐渐提高,样品的体积缩小程度越来越小。微波干燥功率强度对总类胡萝卜素保留率的影响较大,这可能是因为微波干燥过程中热空气的氧化导致类胡萝卜素被降解和异构化^[19],而类胡萝卜素的降解与氧气、高温有关^[20]。也有研究提出, β -胡萝卜素易通过异构化、自氧化、光氧化和脂氧化酶氧化而降解^[21]。因此可见,胡萝卜在微波干燥过程中很有可能会伴随着类胡萝卜素的异构化和氧化降解,导致总类胡萝卜素保留率的变化。

4 结论

在不同影响因素中,超声功率密度对胡萝卜片水分含量、 L 值的均匀性、脆度、 ΔE 和总类胡萝卜素保留率的影响显著,而对收缩率无显著性影响;超声时间对胡萝卜片水分含量均匀性、脆度、 ΔE 和总类胡萝卜素保留率影响显著,而对 L 值的均匀性和收缩率无显著性影响;超声温度和 MD 干燥的水分含量转换点对胡萝卜片水分含量和 L 值的均匀性、

收缩率、脆度、 ΔE 和总类胡萝卜素保留率影响显著;蔗糖渗透液质量分数对胡萝卜片水分含量和 L 值的均匀性、收缩率、脆度和 ΔE 影响显著,而对总类胡萝卜素保留率无显著性影响;微波功率强度对胡萝卜片水分含量均匀性、收缩率和总类胡萝卜素保留率影响显著,而对 L 值的均匀性、脆度和 ΔE 无显著性影响。综合考虑,选择超声功率密度 0.50 W/cm^2 、超声时间 30 min、超声温度 70°C 、蔗糖渗透液质量分数 30% 作为超声辅助渗透条件,将 MD 干燥的水分含量转换点 80%、微波干燥功率强度 5 W/g 作为微波预干燥条件,可显著改善微波预干燥的水分和色泽均匀性,在此条件下,制备的胡萝卜脆片具有较佳的质地结构和营养品质。

参考文献:

- [1] 丁涛,李靖,董继先,等. 基于组合干燥设备的胡萝卜干燥工艺研究[J]. 食品研究与开发,2018,39(8):72-77.
- [2] Sharma K D, Karki S, Thakur N S, et al. Chemical composition, functional properties and processing of carrot: a review[J]. Journal of Food Science & Technology, 2012, 49(1):22-32.
- [3] 吕豪,韩清华,吕为乔,等. 果蔬微波干燥与低频超声波协同干燥应用研究进展[J]. 食品研究与开发,2018,39(11):180-185.
- [4] 暴悦梅,胡彬. 新型果蔬干燥技术研究进展[J]. 食品研究与开发,2016,37(16):222-224.
- [5] 思雨. 新型休闲食品果蔬脆片迎发展期[J]. 中国食品,2016(5):89.
- [6] 杨春,张江宁,张玲,等. 不同干燥方式对枣片品质和能耗的影响[J]. 农产品加工,2019(2):26-28,36.
- [7] 顾思忠,刘斌,杨兆丹. 胡萝卜在微波干燥条件下的热物理性质和多孔特性[J]. 江苏农业学报,2018,34(4):897-903.
- [8] 郑亚琴,石启龙,赵亚. 果蔬联合干燥技术的研究进展[J]. 食品工业科技,2012,33(12):438-442.
- [9] 李瑞杰. 休闲型脱水果蔬的联合干燥工艺研究[D]. 无锡:江南大学,2008.
- [10] Maskan M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48(2):169-175.
- [11] 颜少宾,张好艳,马瑞娟,等. 桃果实类胡萝卜素测定方法的研究[J]. 果树学报,2012,29(6):1127-1133.
- [12] 颜伟强. 颗粒状切割块茎类蔬菜微波喷动均匀干燥特性及模型研究[D]. 无锡:江南大学,2011.
- [13] 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.
- [14] Mothibe K J, Zhang M, Nsor-Atindana J, et al. Use of ultrasound pretreatment in drying of fruits: drying rates, quality attributes, and shelf life extension[J]. Drying Technology, 2011, 29(14):1611-1621.

努尔凯麦尔·木拉提, 杨亚杰, 帕尔哈提·阿布都克日木, 等. 小麦叶绿素含量测定方法比较[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 156–159.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.09.028

小麦叶绿素含量测定方法比较

努尔凯麦尔·木拉提^{1,2}, 杨亚杰¹, 帕尔哈提·阿布都克日木¹, 玛依努尔·吾斯曼^{1,2}

(1. 喀什大学生命与地理科学学院, 新疆喀什 844006; 2. 新疆帕米尔高原生物资源与生态重点实验室, 新疆喀什 844006)

摘要:测定植物叶绿素含量有多种方法, 以小麦为材料, 在前人研究的基础上, 验证长势相近的小麦叶片在同等试验条件之下, 比较测定叶绿素含量的 6 种方法。结果表明, 原子吸收光谱法所测得的叶绿素含量最高且结果最准确、可靠; 浸提法所得的叶绿素含量也较高但时间过长; 研磨法结果偏低且过程繁琐; 叶绿素仪法并不适合作为精确测量叶绿素含量的方法。所测叶绿素含量从高到低依次为原子吸收光谱法 > 无水乙醇浸提法 > 80% 乙醇浸泡法 > 95% 乙醇研磨 - 过滤法 > 95% 乙醇研磨 - 离心法 > 叶绿素仪法。此结论可为其他研究者提供一定的参考价值。

关键词:小麦; 叶绿素; 原子吸收光谱法; 浸泡法; 研磨法

中图分类号: S512.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)09-0156-04

小麦(*Triticum aestivum* L.) 是一种粮食作物, 其产量的提高可以极大地推动农业发展。而影响小麦产量最重要的因素是其中的叶绿素含量, 叶绿素含量常作为评定植物适应环境能力和生长状况的一个重要项目^[1]。因此小麦叶绿素含量测定的研究就显得格外重要, 其测定方法有很多, 但是对各种方法的比较却鲜见报道。针对这一现象, 笔者所在课题组把各种方法进行比较找出各自优缺点, 并在笔者所在实验室进行相关方法的叶绿素含量测定。以期为他人选择最适合的方法测定叶绿素含量提供参考, 为合理试验、科研奠定一定的基础。

收稿日期: 2020-06-30

基金项目: 喀什师范学院校内课题(编号: 142516)。

作者简介: 努尔凯麦尔·木拉提(1982—), 女, 维吾尔族, 新疆喀什人, 硕士, 讲师, 研究方向为植物分子生物学。E-mail: 280104391@qq.com。

1 材料与方法

1.1 小麦种子的处理

取预先准备好的小麦种子, 从中选取颗粒饱满的种子, 自来水冲洗表面灰尘和杂质后备用; 用自来水将 120 mm 培养皿冲洗干净, 晾干, 放上 2~3 张滤纸, 用水打湿。将备用的小麦种子平铺在滤纸上, 放入 4~5 个培养皿中培养, 放到阳光充足、温度适宜的地方进行培养, 隔 3~4 h 浇 1 次水。观察小麦生长情况, 待小麦苗长至 5 cm 时移到花盆中进行后续生长, 待小麦叶片葱绿, 高度约 10 cm 时准备进行试验。

1.2 试验方法

1.2.1 95% 乙醇研磨 - 过滤法 取新鲜干净小麦叶片, 称量 0.4 g 于研钵中剪碎, 加入少许石英砂和碳酸钙粉及 4~6 mL 95% 乙醇, 研磨成匀浆, 继续加

[15] Sapers G M, Miller R L, Pilizota V, et al. Shelf-life extension of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) by application of hydrogen peroxide and browning inhibitors[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(2): 362–366.

[16] Wiktor A, Sledz M, Nowacka M, et al. The influence of immersion and contact ultrasound treatment on selected properties of the apple tissue[J]. Applied Acoustics, 2016, 103(B): 136–142.

[17] Moreno J, Chiralt A, Escribá I. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries[J]. Food Research International, 2000, 33(7): 609–616.

[18] Tabtianga S, Prachayawarakonb S, Soponronnarita S. Effects of osmotic treatment and superheated steam puffing temperature on

drying characteristics and texture properties of banana slices[J]. Drying Technology, 2012, 30(1): 20–28.

[19] Karabulut I, Topcu A, Duran A, et al. Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.) [J]. LWT – Food Science & Technology, 2007, 40(5): 753–758.

[20] Ihns R, Diamante L M, Savage G P, et al. Effect of temperature on the drying characteristics, colour, antioxidant and beta-carotene contents of two apricot varieties[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(2): 275–283.

[21] Pénicaud C, Achir N, Dhuique-Mayer C, et al. Degradation of β -carotene during fruits and vegetables processing or storage: reaction mechanisms and kinetics aspects[J]. Fruits, 2011, 66(6): 417–440.