

不同处理与干燥方式对黄瓜脆片理化特性和抗氧化性的比较

王浩, 祖正梅, 程晨霞, 张怀震, 杨绍兰*
(青岛农业大学园艺学院, 山东青岛 266109)

摘要: 该论文以黄瓜为材料, 对黄瓜切片进行蒸汽或烫漂预处理, 通过空气炸锅、热风干燥、真空冷冻三种干燥方式对预处理后的黄瓜进行干燥处理。测定黄瓜脆片的硬度、色泽、复水性、电子鼻、叶绿素、以及抗氧化性等生理指标, 探究不同预处理以及不同干燥方式对黄瓜脆片理化特性和抗氧化性的影响。结果显示, 未处理冷冻干燥的黄瓜脆片硬度最低, 为 0.22 N; 烫漂后再进行冷冻干燥的黄瓜脆片的复水率、叶绿素含量均为最高, 分别为 13.37% 和 1.85 mg/g; 空气炸锅和热风干燥处理的样品色泽较深, 容易褐化, 但预处理中烫漂可以较好的维持黄瓜脆片色泽; 电子鼻的 LDA 分析能够较好区分不同干燥方式的黄瓜脆片; 未处理冷冻干燥的黄瓜脆片抗氧化能力最强, DPPH·清除率和 O₂·清除率分别为 66.30% 和 46.12%。因此, 预处理烫漂后可以更好的维持黄瓜脆片的颜色特性, 但抗氧化活性更低。进行冷冻干燥的黄瓜脆片更好的维持了黄瓜的颜色特性, 也提高了营养价值, 但其制作脆片的成本也更高。

关键词: 黄瓜脆片; 热风干燥; 冷冻干燥; 空气炸锅; 抗氧化性

文章编号: 1673-9078(2024)04-113-120

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.4.0478

Comparison of Different Treatments and Drying Methods on the Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Cucumber Chips

WANG Hao, ZU Zhengmei, CHENG Chenxia, ZHANG Huaizhen, YANG Shaolan*

(College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Cucumber slices were subjected to steam blanching or hot water blanching pretreatment, followed by drying using three different methods: hot air frying, hot air drying, and vacuum freeze-drying. The hardness, color, rehydration, electronic nose, chlorophyll, antioxidant activity, and other physiological indices of cucumber chips were determined to explore the effects of different pretreatment and drying methods on the physicochemical properties and antioxidant activity of cucumber chips. The results showed that the hardness of unpretreated freeze-dried cucumber chips was the lowest at 0.22 N. After blanching and freeze-drying, the rehydration rate and chlorophyll content of cucumber chips were the highest

引文格式:

王浩, 祖正梅, 程晨霞, 等. 不同处理与干燥方式对黄瓜脆片理化特性和抗氧化性的比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(4): 113-120.

WANG Hao, ZU Zhengmei, CHENG Chenxia, et al. Comparison of different treatments and drying methods on the physicochemical properties and antioxidant activity of cucumber chips [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 113-120.

收稿日期: 2023-04-21

基金项目: 山东省蔬菜产业技术体系 (SDAIT-05)

作者简介: 王浩 (2000-), 男, 在读硕士生, 研究方向: 果蔬采后生理与分子生物学, E-mail: 17863992511@163.com

通讯作者: 杨绍兰 (1978-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬采后生理与分子生物学, E-mail: shaolanyang@126.com

at 13.37% and 1.85 mg/g, respectively. The samples treated using air fryer and hot air drying had a darker color and were prone to browning, but the color of cucumber chips could be better maintained by blanching during pretreatment. The LDA analysis conducted using the electronic nose successfully differentiated the cucumber chips subjected to different drying methods. The antioxidant capacity of unpretreated freeze-dried cucumber chips was the highest, and the DPPH· scavenging rate and O₂⁻ scavenging rate were 66.30 and 46.12%, respectively. Thus, the color characteristics of cucumber chips could be better maintained after pretreatment and blanching, but the antioxidant activity was lower. Freeze-drying preserved the color characteristics of cucumber chips better and enhanced their nutritional value, although at higher production costs.

Key words: cucumber chips; hot air drying; vacuum freeze-drying; air fryer; antioxidant activity

黄瓜 (*Cucumis sativus*) 属葫芦科一年生攀援草本植物, 又名胡瓜、吊瓜等。黄瓜兼具蔬菜和水果双重特性, 富含葫芦素 C, 不仅营养价值丰富, 还可提高人体免疫力, 具有一定的保健功效。黄瓜贮藏过程中易出现皱缩失水, 头部膨大, 果皮褪绿变黄和变质腐烂等现象, 严重影响其口感和营养价值^[1]。因此, 研制不同的黄瓜加工产品, 可以延长其贮藏期, 提高其利用率^[2]。

非油炸蔬菜脆片有低糖、低脂、低盐的特点, 深受消费者青睐^[3]。研究表明, 不同预处理及干燥方式可明显影响蔬菜干的色、香、口感及其营养价值等^[4]。目前果蔬预处理方式主要有: 冷冻、超声、蒸汽、烫漂、添加柠檬酸等^[5]。金听祥等^[6]在研究胡萝卜干燥中发现经过烫漂以后, 干燥时间明显缩短、香味更加浓郁、色泽更亮。但张明等^[7]在西兰花超微粉研究中发现烫漂后使溶解度降低。Sun 等^[8]在马铃薯干燥特性研究中发现, 经过柠檬酸处理后可以有效提高马铃薯脆片的维生素 C 含量。目前果蔬干燥方式主要有以下六种: 真空冷冻干燥、红外干燥、热风干燥、通风干燥、微波干燥等^[9]。且随各种家电的普及, 空气炸锅也成为家用干燥、自制果蔬脆片的一种常用方式。热风干燥和微波干燥等升温脱水的干燥方式, 易使蔬菜脆片制品发生严重褐化和变形, 不利于商品销售。真空冷冻干燥方式则可有效避免高温引发的各种不良现象, 保持脆片制品的原型, 较好维持其营养价值^[10]。

本试验以黄瓜为试材, 分别通过蒸汽、烫漂方式对黄瓜片进行预处理, 以不处理的黄瓜脆片作为对照。将预处理后的黄瓜片用空气炸锅、热风干燥、真空冷冻干燥三种方式干燥处理。测定干燥后黄瓜脆片的生理指标, 并测定其抗氧化活性。通过比较不同预处理和不同干燥方式对黄瓜脆片的生理指标以及抗氧化活性的影响, 筛选黄瓜脆片的最佳工艺。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取大小均匀、成熟度一致且无病虫害和机械损伤的新鲜采摘黄瓜作为试验材料。

1.2 处理

1.2.1 预处理

选择粗细均匀无病虫害的新鲜黄瓜洗净, 横切成厚度约 1 mm 的薄片。将切好的黄瓜片均分为三组: 未处理 (鲜片)、蒸汽处理 (沸水蒸汽处理 5 min) 和烫漂处理 (沸水浴 10 s)。

1.2.2 干燥处理

1.2.2.1 空气炸锅干燥

将预处理后的黄瓜片置于空气炸锅中, 120 °C 干燥 40 min。

1.2.2.2 热风干燥

将预处理后的黄瓜片置于电热鼓风干燥箱 (GFL-230) 风门调至 900 r/min, 70 °C 干燥 4 h。

1.2.2.3 真空冷冻干燥

将预处理后的黄瓜脆片放到 -80 °C 冰箱预冷 1 h 后, 再放入真空冷冻干燥机中, -50 °C 冷冻干燥 24 h。

1.3 指标检测

1.3.1 硬度测定

根据李晓等^[11]的方法, 选取若干片不同干燥处理的黄瓜脆片进行测定。

1.3.2 复水性测定

根据汤梦情等^[12]的方法, 取若干不同处理黄瓜脆片称重, 置于 20 °C 水浴锅中, 每间隔 3 min 将黄瓜脆片取出, 用吸水纸拭干表面水分后迅速称重。

称重后迅速放入原容器继续水浴计时,重复操作,直至饱和。黄瓜脆片的复水比 R 按下列公式进行计算。

$$R = \frac{M_1}{M_2} \quad (1)$$

式中:

R —复水比;

M_1 —复水后的质量, g;

M_2 —复水前的质量, g。

1.3.3 色泽测定

取若干不同处理黄瓜脆片,将样品中心对准色差仪(CR-400,柯尼卡美能达)进行测定。

1.3.4 叶绿素测定

参照丁富功等^[14]方法稍做改进。取磨碎样品 0.1 g 加 $\varphi=80\%$ 丙酮溶解过滤,定容于 10 mL 容量瓶中,以 $\varphi=80\%$ 丙酮溶液做空白对照,立即在 645 nm 和 663 nm 波长下测定吸光值。叶绿素含量 $C(\text{mg/g})$ 计算公式如下:

$$C = \frac{(20.2 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663}) \times V}{m \times 1000} \quad (2)$$

式中:

C —叶绿素含量, mg/g;

$A_{645\text{nm}}$ —样品在 645 nm 测得的吸光值;

$A_{663\text{nm}}$ —样品在 663 nm 测得的吸光值;

V —提取液体积, mL;

m —样品质量, g。

1.3.5 电子鼻测定

根据 Shi 等^[15]的方法,将干燥完成的样品分别放入瓶中用保鲜膜封口,室温放置 1 h,采用顶空吸气法进行测定。

1.3.6 抗氧化性测定

DPPH 自由基清除率的测定参照王莹等^[15]的方法,取 0.2 mg/mL 的样品,甲醇溶液 0.3 mL,加入 0.5 mL $6.34 \times 10^5 \text{ mol/L}$ 的 DPPH 乙醇溶液,以 0.5 mL 乙醇和 0.3 mL 甲醇的混合液位参比,用酶标仪测定 517 nm 波长处的吸光度;

超氧阴离子自由基清除率参照 Zhang 等^[16]方法进行改进。超氧阴离子自由基清除率计算公式如下:

$$O = \frac{A_1 - A_2 + A_0}{A_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

O —超氧阴离子自由基清除率, %;

A_0 —空白对照液的吸光度;

A_1 —样品溶液本身的吸光度;

A_2 —样品组的吸光度。

1.4 数据分析

使用 GraphPad Prism 9 (<http://www.graphpad.com/>) 进行数据分析及作图。显著性分析由 Excel 2013 完成。

2 结果与讨论

2.1 不同预处理和干燥方式对黄瓜脆片硬度的影响

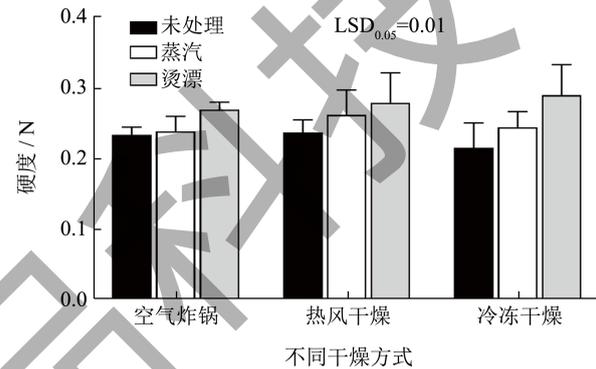


图 1 不同预处理和干燥方式的黄瓜脆片硬度

Fig.1 Hardness of cucumber chips by different pretreatments and drying methods

由图 1 可知,不同预处理后的黄瓜脆片硬度存在明显差异,未预处理黄瓜片经空气炸锅、热风干燥和冷冻干燥处理后,硬度均低于蒸汽和烫漂处理的黄瓜脆片,未预处理后冷冻干燥的黄瓜脆片硬度最低,为 0.22 N (图 1)。不同干燥方式对黄瓜脆片硬度无显著影响。Wang 等^[17]在鲜枣干燥试验中发现冷冻干燥具有更高的脆度,但硬度较低。Hou 等^[18]在香菇干燥后的理化性质研究中发现由于冷冻干燥处理时间更长,且内部呈海绵状,其硬度最低。

2.2 不同预处理和干燥方式对黄瓜脆片复水率的影响

由图 2 可知,不同预处理对空气炸锅干燥和热风干燥的复水率无显著影响。但在冷冻干燥处理样品中的复水率差异明显,未预处理、蒸汽、烫漂在复水时间 21 min 时复水率分别为 6.35%、8.26%、13.38%,复水率从高到低依次为:烫漂、蒸汽、未预处理。

不同干燥方式处理中,空气炸锅和热风干燥的黄瓜脆片复水率相近,冷冻干燥的黄瓜脆片复水率

较高。对比不同干燥方式、不同预处理对黄瓜脆片复水率的影响，可以明显看出烫漂后冷冻干燥的复水率更高。在烫漂过程中会使细胞内和细胞间结构受损，使水分在细胞间更易流动^[19]；并且经过烫漂后，可以去除细胞内的空气，增强细胞膜的通透性^[20]。所以烫漂后冷冻干燥的复水率更高。

冷冻干燥的黄瓜脆片复水率最高，这可能是由于冷冻干燥加大了细胞间隙，使样品大量吸水^[21]。Si 等^[22]在不同干燥方式对树莓粉物理性质的研究中，经由冷冻干燥处理后，其结构更加疏松，细胞间隙更大并呈海绵结构，水分含量、复水率更高。Xu 等^[23]在探究山楂不同干燥方式对风味的影响中由于冷冻干燥是先结晶后升华使复水率更高。

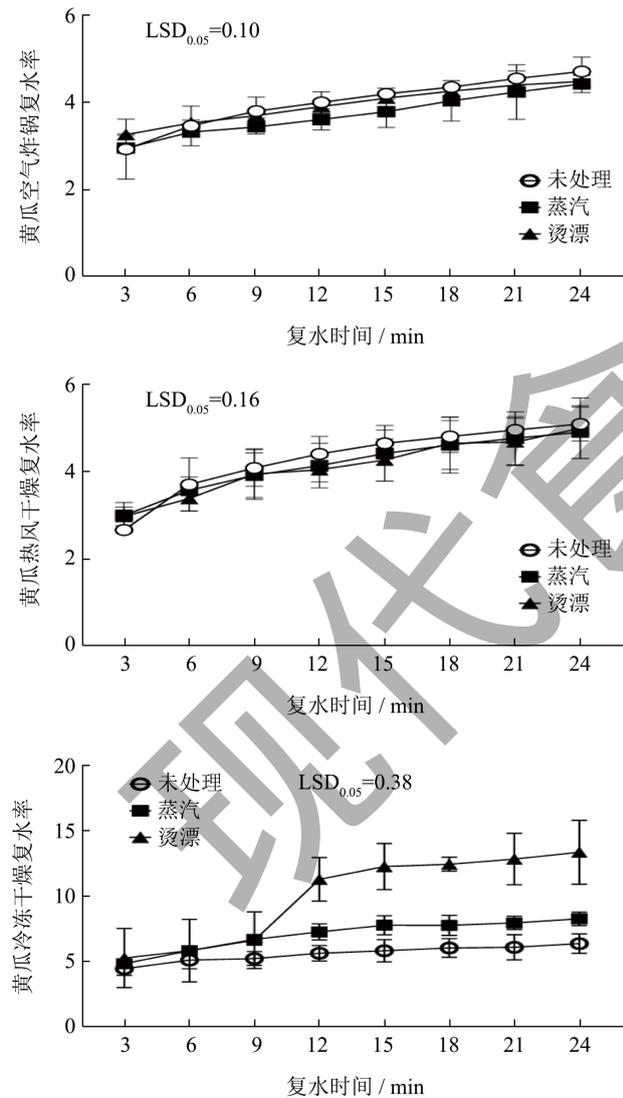


图2 不同预处理和干燥方式制备的黄瓜脆片复水率
Fig.2 Dry rehydration rate of cucumber chips by different pretreatment and drying methods

2.3 不同预处理和干燥方式对黄瓜脆片色差的影响

由图3可知，真空冷冻干燥的黄瓜脆片明亮偏绿，较好地保持了脆片原形，而空气炸锅和热风干燥的黄瓜脆片皱缩严重，并伴随褐化。通过对黄瓜脆片不同处理色差变化的观察，发现冷冻干燥可以更好的保持黄瓜脆片固有色泽，不易氧化变色。根据汤慧民等^[24]的研究，这可能与低温环境下各种化学反应不活跃有关，低温减缓了各种色素的分解，使退色现象减弱。同时低温环境下大部分酶的活性降低，褐变不易发生。

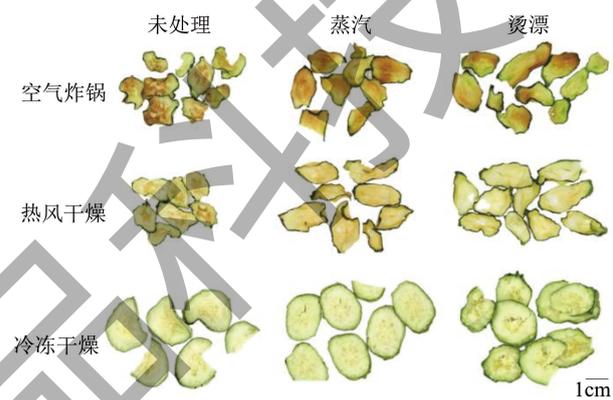


图3 不同预处理和干燥方式制备的黄瓜脆片样品
Fig.3 Dried cucumber chips prepared by different pretreatment and drying methods

由图4可知，冷冻干燥中，经过未预处理、蒸汽和烫漂的 ΔL 值分别为-22.48、-20.96、-16.76，空气炸锅和热风干燥中，经过未预处理、蒸汽和烫漂的 ΔL 值分别为-30.08、-42.90、-53.07和-31.78、-57.18、-62.55。在相同预处理下，冷冻干燥后的黄瓜脆片 ΔL 值最小，说明冷冻干燥后的黄瓜脆片亮度最高。经不同预处理后在空气炸锅和热风干燥两种干燥方式中，未预处理的 ΔL 值最大，说明在两种干燥方式中未预处理组黄瓜脆片的亮度最高。在冷冻干燥中，经烫漂预处理后的黄瓜脆片 ΔL 值最大，说明经烫漂预处理后冷冻干燥的黄瓜脆片亮度最高。

在相同预处理下，冷冻干燥后的未预处理、蒸汽、烫漂 ΔA 值分别为-6.79、-7.18、-10.03都低于空气炸锅和热风干燥未预处理、蒸汽、烫漂(-5.39、-7.30、-8.55和-1.97、-3.48、-7.67)的 ΔL 值。以上结果表明，在相同预处理下冷冻干燥后的黄瓜脆片颜色更绿，而在不同干燥方式中的黄瓜脆片的 ΔA 值为未预处理>蒸汽>烫漂，说明经烫

漂后的黄瓜脆片颜色更绿。Kaveh 等^[25]在不同干燥方式对青豆能量和品质的研究中发现冷冻干燥由于不会暴露在高温环境中使其更好的保持颜色，最大限度的保留了青豆的颜色特性。Izli 等^[26]在不同干燥方式对菠菜脆片的干燥动力学和抗氧化活性研究中也发现，通过高温干燥处理会加快色素降解，不利于保持菠菜颜色。

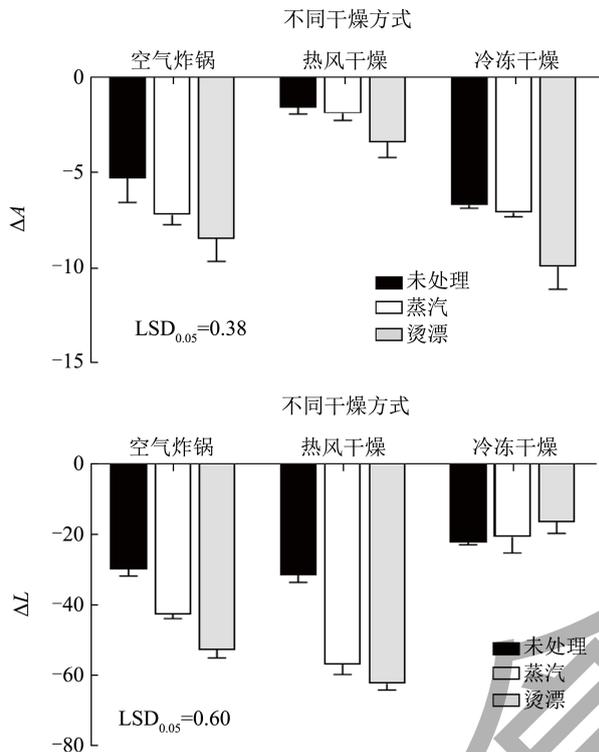


图 4 不同预处理和干燥方式制备的黄瓜脆片色泽
Fig.4 Color of cucumber chips prepared by different pretreatment and drying methods

2.4 不同预处理和干燥方式对叶绿素含量的影响

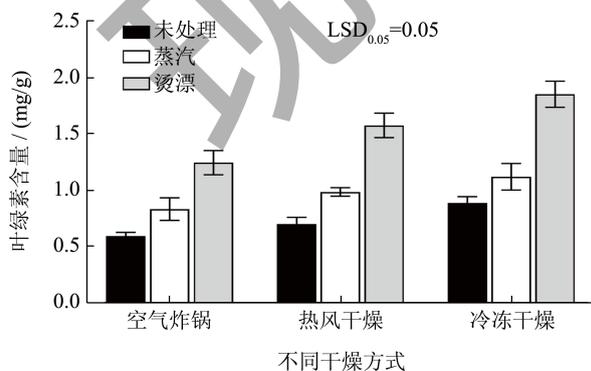


图 5 不同预处理和干燥方式制备的黄瓜脆片叶绿素含量
Fig.5 Chlorophyll content of cucumber chips prepared by different pretreatment and drying methods

由图 5 可知，经未预处理、蒸汽和烫漂的黄瓜脆片在冷冻干燥后叶绿素含量分别为 0.88、1.11、1.85 mg/g，均显著高于其他干燥方式的叶绿素含量。在不同的干燥处理中黄瓜脆片叶绿素含量均呈现烫漂>蒸汽>未预处理趋势。试验证明黄瓜片经烫漂后进行冷冻干燥处理的叶绿素含量(1.85 mg/g)最高。

叶绿素与蛋白质结合存在植物中，而高温破坏了蛋白质，致使叶绿素游离在植物体内^[25]，干燥后可能使叶绿素酶失活降低了叶绿素的降解，使在相同干燥条件下经蒸汽、烫漂后的黄瓜脆片叶绿素含量更高，在 Araujo 等^[27]预处理对干燥羽衣甘蓝品质和营养成分的研究中也发现了，与未处理的羽衣甘蓝相比经过烫漂和蒸汽处理后其叶绿素含量更高。冷冻干燥的过程是将物料中预冻成冰的水分直接进行升华，真空低温环境保护了其中易氧化的成分且有利于保留热敏性成分^[28]。叶绿素作为易氧化物质，冷冻干燥更容易使叶绿素得到保护。Samakradhamrongthai 等^[29]通过三种干燥方式对秋葵粉理化性质的影响中发现冷冻干燥叶绿素含量更高，这是由于在冷冻过程中会在组织基质中形成大量冰晶，极大的破坏细胞结构，从而更好的用溶剂萃取。

2.5 不同预处理和干燥方式对黄瓜脆片电子鼻的影响

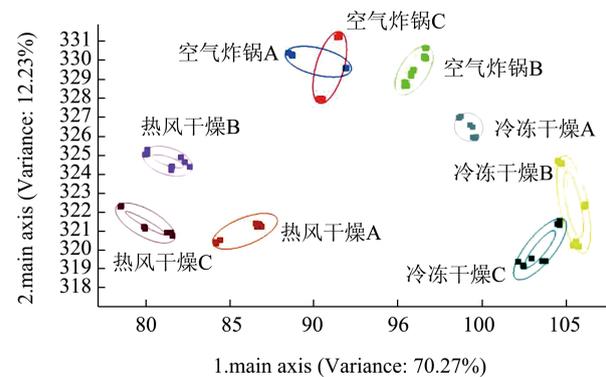


图 6 不同预处理和干燥方式制备的黄瓜脆片电子鼻LDA分析
Fig.6 Dried cucumber LDA prepared by different pretreatment and drying methods

注：A：未处理；B：蒸汽；C：烫漂。

对不同预处理和不同干燥方式处理后的黄瓜脆片进行电子鼻 LDA 分析，由图 6 可知，LDA 分析能够较好的区分三种干燥方式，空气炸锅干燥、热风干燥、冷冻干燥的黄瓜脆片分别属于不同的聚集区，但不同预处理的黄瓜脆片较难采用电子鼻的

LDA 进行区分。图中横纵坐标分别对应第一、第二主成分贡献率，贡献率分别为 70.27% 和 12.23%，贡献率之和为 82.5%。齐琪等^[30]研究发现，电子鼻 LDA 分析可区分不同提香温度的韭菜茶，且第一、第二主成分贡献率分别为 83.37% 和 15.16%，主成分贡献率之和为 98.53%。因此，电子鼻可以较好的区分不同干燥方式的黄瓜脆片。

2.6 不同预处理和干燥方式对黄瓜脆片抗氧化能力的影响

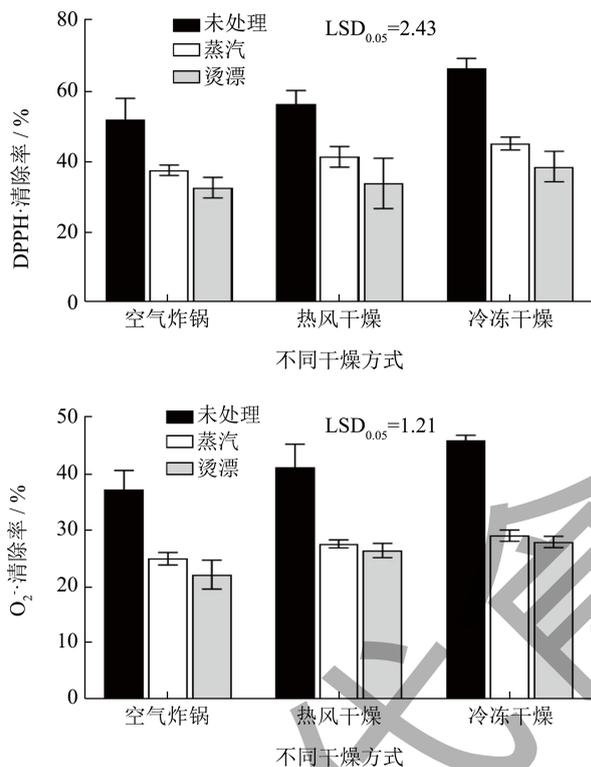


图7 不同预处理和干燥方式制备的黄瓜脆片对DPPH·清除和O₂·清除率

Fig.7 DPPH free radical scavenging and O₂· scavenging rates of cucumber crisp prepared by different pretreatment and drying methods

由图7可知，在不同的干燥方式中，不同预处理的 DPPH· 清除活性为未预处理>蒸汽>烫漂，冷冻干燥处理的黄瓜脆片中 DPPH· 的清除活性最强，未预处理后冷冻干燥的黄瓜脆片 DPPH· 的清除活性最高，为 66.30%。Sim 等^[31]在不同干燥方式对木槿叶物理性质和抗氧化活性研究中发现，由于冷冻干燥在低温下进行，化学降解有限，保留了更多的氧化的化合物，所以冷冻干燥的抗氧化能力更强。Ma 等^[32]在不同干燥方式对桑叶抗氧化活性的研究

中发现，由于冷冻干燥过程中低温和无液态水，可以阻止大部分的酶促反应，减少物质降解，所以冷冻干燥可以更好的保持南瓜脆片的抗氧化活性。

由图7可知，未预处理后冷冻干燥的黄瓜脆片 O₂· 清除率最高，为 46.12%。在不同的干燥方式中，不同预处理的 O₂· 清除率为未预处理>蒸汽>烫漂。王莹等^[11]对秋葵超微粉的抗氧化研究发现不同品种的秋葵在经冷冻干燥加工后其抗氧化活性更高。

在不同干燥方式中，冷冻干燥后的黄瓜脆片对 DPPH· 的清除活性和 O₂· 的清除率更强。研究显示，DPPH· 和 O₂· 在细胞中积累过多，会严重损伤细胞活性，对 DPPH· 和 O₂· 清除率越高，其抗氧化能力也就越强^[33,34]。因此，对黄瓜脆片直接使用冷冻干燥更有利于提高黄瓜脆片的抗氧化活性。

3 结论

该研究以黄瓜为原材料，对不同预处理及不同干燥方式处理后黄瓜脆片的各项数据进行了综合分析发现，黄瓜片未经预处理进行冷冻干燥后的黄瓜脆片硬度最低；将黄瓜片烫漂后再进行冷冻干燥的黄瓜脆片，在相同时间其复水率更高。在色泽方面，由于冷冻干燥在处理过程中不会将材料置于高温环境中，所以更好的保持了黄瓜片的颜色和形状，最大限度保留了黄瓜的颜色特性；将黄瓜片烫漂后再进行冷冻干燥的黄瓜脆片其叶绿素含量最高；对比不同干燥方式和预处理电子鼻 LDA 分析发现，能够较好的区分空气炸锅干燥、热风干燥、冷冻干燥三种干燥方式，但不同预处理的黄瓜脆片较难区分。在抗氧化活性方面，未预处理冷冻干燥的 DPPH· 的清除率和 O₂· 的清除率更高，表明其抗氧化活性更强。

总体来看，经过烫漂后再进行干燥更易保持脆片的颜色特性，烫漂后再冷冻干燥的复水率更高，但烫漂后的抗氧化活性较低。冷冻干燥的黄瓜脆片虽然保持了更高的复水率、叶绿素含量、抗氧化活性并且维持了黄瓜脆片的颜色和形状，但其干燥时间更长，耗能也更高，脆片制作成本以及制作技术更加复杂；相对的空气炸锅制作的脆片，理化特性及抗氧化活性都不如冷冻干燥制作的脆片优异，但其干燥时间更短，耗能更低，制作更加简便。本文对指导黄瓜脆片加工具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 包雨情,陈云鹏,韩颖颖.黄瓜采后生理变化及贮藏保鲜

- 技术研究进展[J].中国农学通报,2023,39(3):35-41.
- [2] LI K Z Z, Min M, Arun S C, et al. Recent developments in physical field-based drying techniques for fruits and vegetables [J]. *Drying Technology: An International Journal*, 2019, 21: 1954-1973.
- [3] IMM J Y. Effects of plant-based content, flavor and texture information on consumer satisfaction with non-fried Ramen [J]. *Food Quality and Preference*, 2021, 92(1): 104221.
- [4] SAGAR V R, SURESH K P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 47(1): 15-26.
- [5] RADOICIN M, PAVKOVI I, BURSAC K D, et al. Effect of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on the quality of dried fruit [J]. *Processes*, 2021, 9(1): 132.
- [6] 金听祥,王广红,彭钰航,等.不同预处理方式对胡萝卜热泵干燥品质的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(7):173-178.
- [7] 张明,马超,杨立风,等.不同预处理方式对西兰花等外品热风干燥粉体性质的影响[J].食品工业科技,2018, 39(14):12-17.
- [8] SUN X, JIN X, FU N, et al. Effects of different pretreatment methods on the drying characteristics and quality of Potatoes [J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(11): 5767-5775.
- [9] 丁俊雄,吴小华,王鹏,等.干燥技术在果蔬中的应用综述[J].制冷与空调,2019,19(8):23-27.
- [10] LIU Y, ZHANG Z, HU L. High efficient freeze-drying technology in food industry [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 11: 1-19.
- [11] 李晓,陈科冰,韩明,等.基于质谱仪穿刺模式的烟叶脆性定量评价方法[J].烟草科技,2021,54(6):83-91.
- [12] 汤梦情,陈宏伟,朱蕴兰,等.微波真空与真空冷冻组合干燥对芦笋营养与品质的影响[J].食品研究与开发,2019, 40(5):76-81.
- [13] 丁富功,侯泽豪,卢奕霏,等.小麦不同组织器官叶绿素测定方法的比较研究[J].东北农业科学,2022,47(5):111-115.
- [14] SHI H, ZHANG M, ADHIKARI B. Advances of electronic nose and its application in fresh foods [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, 58(16): 2700-2710.
- [15] 王莹,王辉,王富,等.干燥方式对秋葵超微粉理化特性及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2018,39(19):114-119.
- [16] ZHANG QA, WANG X, SONG Y, et al. Optimization of pyrogallol autoxidation conditions and its application in evaluation of superoxide anion radical scavenging capacity four antioxidants [J]. *Journal of Aoac International*, 2016, 99(2): 504-511.
- [17] WANG X, GAO Y, ZHAO Y, et al. Effect of different drying methods on the quality and microstructure of fresh Jujube crisp slices [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(2): 15162.
- [18] HOU H L, XIAO S D, HENGJ C, et al. Effects of pre-cutting treatments and combination drying with different orders on drying characteristics and physicochemical properties of *Lentinula edodes* [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(5): 2063-2071.
- [19] JIANG N, LIU C Q, LI D J, et al. Effect of blanching on the dielectric properties and microwave vacuum drying behavior of *Agaricus bisporus* slices [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2015, 30: 89-97.
- [20] WANG J, XU H. Effects of various blanching methods on weight loss, enzymes inactivation, phytochemical contents, antioxidant capacity, ultrastructure and drying kinetics of red Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) [J]. *Lwt Food Science & Technology*, 2017, 77: 337-347.
- [21] SANTOS S, SILVAM A. Retention of vitamin c in drying processes of fruits and vegetables [J]. *Drying Technology*, 2008, 26(12): 1421-1437
- [22] SI X, CHEN Q, BI J, et al. Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of Raspberry powders [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(6): 2055-2062.
- [23] XU D, WEN C L, GUANG Y R, et al. Effects of different drying methods on the physical characteristics and flavor of dried Hawthorns (*Crataegus* spp.) [J]. *Drying Technology*, 2017, 35(11): 1412-1421.
- [24] 汤慧民,熊华,熊小青,等.干燥工艺对苦瓜粉品质的影响[J].食品与发酵工业,2005,4:90-92.
- [25] KAVEH M, ABBASPOUR G Y, FATEMI H, et al. Impact of different drying methods on the drying time, energy and quality of green Peas [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(6): 15503.
- [26] IZLI N, IZLI G, TASKIN O. Impact of different drying methods on the drying kinetics, color, total phenolic content and antioxidant capacity of pineapple [J]. *Cyta Journal of Food*, 2018, 16(1): 213-221.
- [27] ARAÚJO, ANA C, OLIVEIRA S M, RAMOS, et al. Influence of pretreatments on quality parameters and nutritional compounds of dried galega kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2016, 9(5): 872-881.
- [28] 丁宏伟,丁红洁.护绿剂护绿效果及护绿后叶绿素稳定性分析[J].齐鲁师范学院学报,2011,26(5):132-135.

- [29] SAMAKRADHAMRONGTHAI R S, NORTUY N, JANNU T, et al. Influence of three drying methods on physicochemical properties of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) powder [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, 3: 46.
- [30] 齐琪,张新富,程晨霞,等.韭菜茶工艺技术的研发[J].*现代食品科技*,2022,38(1):282-288.
- [31] SIM Y Y, NYAM K L. Effect of different drying methods on the physical properties and antioxidant activities of *Hibiscus cannabinus* leaves [J]. *Food Measure*, 2019, 13: 1279-1286.
- [32] MA Q Q, Ramesh K S, XUE Z H, et al. Effect of different drying methods on the physicochemical properties and antioxidant activities of mulberry leaves polysaccharides [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 199: 1143.
- [33] FAN K, ZHANG M, Mujumdar A S. Recent developments in high efficient freeze-drying of fruits and vegetables assisted by microwave [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2019, 59(8): 1357-1366.
- [34] MANAGA M G, SULTANBAWA Y, SIVAKUMAR D. Effects of different drying methods on untargeted phenolic metabolites, and antioxidant activity in Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *chinensis*) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) [J]. *Molecules*, 2020, 25(6): 1326.