

调理高丽菜脉冲喷动-射频真空干燥的品质研究

王玉川¹, 王义祥², 王博³, 肖敏¹, 徐晶晶¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122) (2. 江苏省翠源食品股份有限公司, 江苏盐城 224231)

(3. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 为了解决传统高糖调理蔬菜真空干燥过程产品粘连导致干燥产品品质差、成本高、劳动强度大及高污染等问题, 本文以高丽菜为实验原料, 进行不同加糖调理预处理方式对脉冲喷动-射频真空干燥 (PSRFVD) 蔬菜品质特性及均匀性影响的研究。研究表明: 高丽菜采用干法杀青调理预处理结合 PSRFVD 方式得到的脱水产品中抗坏血酸含量、叶绿素含量、还原糖含量及复水比 (24.41 mg/100 g、3.12 mg/100 g、61.41%、26.11) 均高于热水杀青调理预处理结合 PSRFVD 的脱水高丽菜相应值 (21.68 mg/100 g、2.98 mg/100 g、58.11%、21.19); 干法杀青调理预处理与热水杀青调理结合 PSRFVD 脱水高丽菜的水分、色泽及收缩率均匀度分别 94.51%、96.31%、92.11% 及 93.21%、95.63%、91.45%; 与传统真空干燥技术相比, PSRFVD 技术不但可以有效解决高糖调理预处理高丽菜干燥过程产品粘附问题, 提高干燥产品营养成分保留量及均匀度, 而且还可以显著地缩短干燥时间(50%)。

关键词: 脉冲喷动; 射频; 真空干燥; 品质; 均匀度

文章编号: 1673-9078(2018)11-70-76

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.012

Study on the Quality of Pulse-spouted Radio Frequency Vacuum Drying of Prepared Cabbage

WANG Yu-chuan¹, WANG Yi-xiang², WANG Bo³, XIAO Min¹, XU Jing-jing¹

(1.School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China) (2.Jiangsu Cuiyuan Food Co., LTD., Yancheng 224231, China) (3.School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In order to solve the problems of poor quality, high cost, high labor intensity and high pollution of added high-sugar vegetables dried by traditional vacuum drying, in this paper, the quality and uniformity of dried cabbages pretreated with added sugar were studied using pulse-spouted radio frequency vacuum drying (PSRFVD). Results showed that the ascorbic acid content, chlorophyll content, reducing sugar content, rehydration ratio, moisture content, color and shrinkage ratio of PSRFVD cabbages pretreated with heating blanching (24.41 mg/100 g, 3.12 mg/100 g, 61.41%, 26.11, 94.51%, 96.31% and 92.11%, respectively) were higher than those pretreated with hot water blanching (21.68 mg/100 g, 2.98 mg/100 g, 58.11%, 21.19, 93.21%, 95.63% and 91.45%, respectively). Compared to VD, PSRFVD not only effectively solved the caking problem, but also improved the quality of the dried products, reducing the drying time by >50%.

Key words: pulse-spouting; radio frequency; vacuum drying; quality; uniformity

目前, 传统蔬菜干燥加工技术及装备相对成熟, 真空干燥蔬菜已广泛应用在食品工业配料、调味品、即食休闲制品和新鲜蔬菜替代品等方面^[1]。但是, 传统真空干燥技术与装备存在高能耗、高污染、高成本、低品质及智能化程度低等突出难题, 这些难题已制约蔬菜干燥产业及骨干龙头企业的健康发展^[2]。

高效物理(微波、射频、红外等)组合干燥加工技术及装备是提升传统蔬菜干燥加工行业的一个重要

收稿日期: 2018-07-24

基金项目: 苏北科技专项-富民强县项目 (SZ-YG2017005); 国家重点研发计划项目 (2018YFD0400801)

作者简介: 王玉川 (1966-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品高效节能优质干燥技术与工程化

方向。国内外大量研究证明, 物理场组合传统干燥能够显著提高干燥效率、缩短干燥周期、降低干燥能耗、减少环境污染、改善产品品质^[3]。但是, 物理场组合干燥也存在均匀性差、品质劣变严重等难题, 制约这一技术的商业化应用。近年来, 美国、加拿大等发达国家在物理场与传统真空干燥组合干燥技术及装备研究方面取得了突破, 部分研究成果已开始应用于果蔬干燥产业, 极大地提高了果蔬干燥效率, 有效地降低了干燥能耗^[2]。

研究证明, 射频与微波相比, 具有穿透能力大、加热均匀及设备结构简单等优势^[4]。射频、脉冲喷动床结合传统真空干燥的脉冲喷动-射频真空干燥技术能够实现蔬菜高效、节能、均匀干燥。但是, 目前国

内外射频组合干燥的研究重点在常压干燥方面，在负压射频组合干燥方面，射频真空干燥技术在木材干燥应用方面已开始研究，但是，在果蔬射频真空干燥方面相关研究文献鲜有报道^[5]。

针对蔬菜传统真空干燥技术及装备存在干燥时间长、耗能高、品质低及重污染等难题及杀青加糖调理导致干燥过程产品粘连、费时及费力等问题，本实验以高丽菜为实验原料，以频率为 27.12 MHz 的射频-脉冲喷动组合真空干燥实验平台，进行加糖调理预处理对高丽菜射频-脉冲喷动组合真空干燥产品品质研究，探讨射频-脉冲喷动真空干燥技术替代传统真空干燥技术的可行性。

1 材料与方法

1.1 原料

高丽菜购于无锡滨湖区博大假日广场欧尚超市。使用前去除蛀虫、腐烂叶片、根及茎，清洗后切成 10 mm×10 mm 正方形片状，放入 0~4 °C 冷藏柜内待用。经过检测，新鲜高丽菜的水分含量为 92.40% (w.b.)。调理用葡萄糖由江苏省翠源食品股份有限公司提供，生产厂家为山东青州市华康生物科技有限公司。

1.2 主要仪器及设备

1.2.1 实验仪器

GZX-9140MBE 电热鼓风干燥箱，上海博讯实业有限公司医疗设备厂；FA1004 电子天平，上海舜宇恒平科技仪器有限公司；E-Nose 电子鼻，上海 ISENCO 公司；MVD-A 光纤测温仪表，加拿大 Neoptix 公司；UV2600 分光光度计，天肯（上海）贸易有限公司；CR-400 色差仪，日本佳能公司；IRI 4010 红外热像仪，英国 IRISYS 公司。

1.2.2 脉冲喷动-射频真空干燥 (PSRFVD) 实验平台

PSRFVD 实验平台是在作者团队现有 SO-06B 型射频加热实验装置(英国 Monga Strayfield 公司制造)的基础上由作者改进而成。它是由射频发生装置、射频加热装置、真空干燥仓、真空与冷却装置、脉冲喷动热风供给装置等组成，见图 1 及图 2。

射频发生装置产生的射频频率为 27.12 MHz，射频功率为 6 kW；射频加热腔为长方体，内尺寸长 1000 mm、宽 600 mm、高 600 mm，内置上下两个电极板，极板尺寸为长 800 mm、宽 400 mm，极板开有直径为 19 mm 孔，作为热风辅助通道，射频加热器两端为射频抑制器，防止射频泄露；真空干燥仓由玻璃真空干

燥器与真空密封板（聚脂材料）组成，真空密封板直径为 300 mm，并开 2 个直径为 19 mm 的孔，一个用于连接脉冲喷动装置，另一个连接真空装置；喷动床采用陶瓷材料制作，并放置在干燥仓内，下部通过真空密封板及电极板与脉冲喷动装置相连；真空冷却装置由水环真空泵及制冷机组构成；脉冲喷动装置由脉冲电磁阀、定时器、加热器、送风机及空气过滤器构成，脉冲热风通过分布器进入喷动床内，脉冲喷动热风的频率及时间由定时器进行控制。

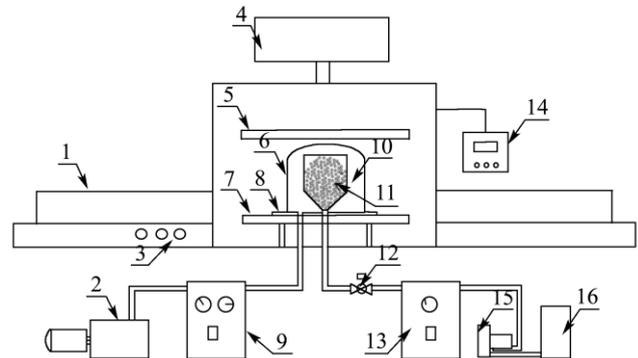


图 1 PSRFVD 中试实验设备系统图

Fig.1 Schematic diagram of PSRFVD pilot test equipment

注：1.射频抑制器，2.水环真空泵，3.射频保护开关，4.射频发生器，5.电极板（上），6.真空仓，7.电极板（下），8.真空密封板，9.冷却器，10.喷动床，11.样品，12.脉冲电磁阀，13.加热器，14.控制面板，15.送风机器，16.空气过滤器。

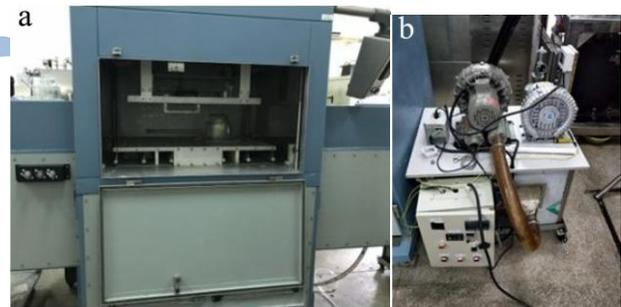


图 2 PSRFVD 中试实验设备实物图片

Fig.2 PSRFVD pilot test equipment

注：(a) 射频与真空干燥仓装置，(b) 脉冲喷动热风装置，(c) 真空与冷却装置。

表1 实验方案

Table 1 Experimental design of the study

样品批次	加糖调理方式	干燥方式	测量项目
第一批样品	热水杀青调理	脉冲喷动-射频真空干燥 (PSRFVD)	品质特性 (抗坏血酸、叶绿素、还原糖、复水能力及风味),
第二批样品	干法杀青调理	真空干燥 (VD)	均匀度 (水分含量、色差、收缩率)

1.2.3 真空干燥 (VD) 实验平台

VD 实验平台是在原真空干燥箱 (DZF-6050, 上海精宏实验设备有限公司) 的基础上改进而成, 真空冷却装置与 PSRFVD 平台的真空冷却装置共用。

1.3 实验方案

在预研的基础上制定本实验研究方案, 见表 1。两个批次的高丽菜样品用于本次实验, 第一批次样品主要用于研究高丽菜采用热水杀青加糖调理的 PSRFVD 与传统 VD 品质特性与均匀性; 第二批次样品主要用于研究高丽菜采用加糖干法杀青调理的 PSRFVD 与 VD 品质特性与均匀性。

品质特性包括水分含量、抗坏血酸、叶绿素、还原糖、复水能力及风味, 均匀性主要分析 PSRFVD 与 VD 高丽菜的产品的的水分含量、色差及收缩率均匀度。

1.4 实验方法

1.4.1 加糖调理预处理

1.4.1.1 热水杀青调理预处理

从冷藏柜内取出预处理高丽菜约 500 g, 放入温度 95~98 °C 热水中杀青 60 s (样品升温时间控制在 10 s 内), 杀青后沥水、称重, 按样品重量加入 15% 葡萄糖粉, 拌匀后静置 5 min 待用。

1.4.1.2 干法杀青调理预处理

从冷藏柜内取预处理高丽菜约 500 g, 按样品重量加入 15% 葡萄糖粉, 拌匀后静置 5 min 待用。对于 PSRFVD, 加糖高丽菜 (500 g) 放入 PSRFVD 干燥仓内进行射频加热杀青, 射频电极距离设定为 105, 样品温度升到 90 °C 停止加热, 杀青结束后样品不需要取出, 静置 5 min 后直接进入 PSRFVD 程序; 对 VD, 加糖高丽菜 (500 g) 先放入不锈钢托盘内, 厚度控制在 10 mm 内, 再置入真空干燥室, 真空干燥室预先加热到 100 °C, 样品温度升到 90 °C 停止加热, 杀青结束后样品不需要取出, 静置 5 min 后直接进入 VD 程序。

1.4.2 干燥过程及干燥参数

1.4.2.1 PSRFVD 干燥过程及参数

根据预实验, 两种调理预处理的高丽菜干燥参数设定为: 样品重量 500 g、真空度 10 kPa、冷却器温度 -20 °C, 热风温度 60 °C、喷动时间 0.5 s/次, 极板间距

与喷动频率根据干燥时间设定为干燥 0~20 min, 极板间距 125 mm, 喷动频率 6 次/min; 干燥 20~100 min, 极板间距 120 mm, 喷动频率 6 次/min; 干燥 100~150 min, 极板间距 120 mm, 喷动频率 2 次/min。在干燥过程中, 样品温度采用光纤传感器进行测量。

1.4.2.2 VD 干燥过程及参数

根据预实验, 两种调理预处理高丽菜干燥参数设定为: 样品重量 500 g、样品摆放厚度约 5 mm (热水杀青调理) 及 10 mm (干法杀青调理)、真空度 10 kPa、冷却器温度 -20 °C, 真空干燥仓温度 60 °C, 烘干时间约 5 h。

1.4.3 成分测量

高丽菜抗坏血酸含量采用国标 (GB 5009.86-2016) 第三法“2,6-二氯酚酚滴定法”^[6]进行测量, 叶绿素的含量测定采用农业行业标准 (NY/T3082-2017) “分光光度法”^[7], 还原糖和可溶性总糖采用农业行业标准 (NY/T1278-2007) “蔬菜及其制品中可溶性糖的测定-铜还原碘量法”^[8]。另外, 复水比参照农业行业标准 (NY/T1045-2014)^[9]进行检测。

1.4.4 均匀度测定

水分检测方法采用国标 (GB 5009.3-2016) “食品安全国家标准食品中水分的测定第一法 (直接干燥法)”^[10]; 收缩率检测方法参照国标 (GB/T6949-1998) “煤的相对感观密度的方法”进行测量^[11], 先测量样品的感观密度, 根据样品重量, 再计算出样品体积, 最后计算干制品收缩率^[12]; 色差检测方法采用 CR-400 色差仪器测量新鲜及干燥样品的 L*、a*、b*, 再计算 ΔE 。

均匀度检测方法: 从干燥制品中随机抽 10 批样品, 每批样品重量大约 10~15 g, 测量 10 批样品的水分、收缩率及色泽值, 然后对 10 批样品计算水分、收缩率及色泽各自的测量平均值, 根据 10 批样品各自的平均值 (MEAN), 求取标准偏差 (SD), 按式 1 计算干燥样品水分、形状及色泽的均匀度。

$$UD = (1 - SD/MEAN) \% \quad (1)$$

干燥产品温度的均匀性采用红外热成像仪测量及分析。物料从干燥仓内取出后立刻放置于一个自制的保温圆柱型塑料容器 (直径 15 cm, 高 10 cm) 内, 然

后采用红外热成像进行干燥产品温度分布测定。

1.4.5 风味测量

高丽菜干燥前后风味采用电子鼻进行测量。称取 2 g 左右的样品,放入圆柱型容器内,密封、静置 40~50 min。设置参数:清洗时间 120 s,清洗次数 2 次,测定时间 10 s。清洗后,点击开始测量,测量结束后需要保存数据,每组样品需重复测量三次。测量结束之后对测得的实验数据用主成分分析法(PCA)进行统计分析。

1.4.6 数据分析方法

本实验数据处理采用 SPSS 21.0 软件进行分析,每个实验至少重复 3 次,实验数据表示为平均值±标准差,统计结果以 one way ANOVA 方法进行显著性检验, $p < 0.05$ 为组间显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 调理预处理对 PSRFVD 及 VD 高丽菜含水率的影响

不同的调理预处理对高丽菜的微观结构及组成成分有重要影响,进而影响其干燥特性。从表 2 可以看出,不同的调理预处理对两种干燥方式高丽菜的最终含水量有一定的影响,在同等的干燥时间条件下,热水杀青葡萄糖调理预处理比干法杀青葡萄糖预处理干燥产品的最终水分含量稍高。产生这种现象的原因主要是与干法杀青预处理相比,热水杀青预处理能够增加渗入高丽菜中葡萄糖的含量,葡萄糖与高丽菜中水结合,降低干燥过程水分迁移速率^[13]。同时,从表 2 也可以看出,高丽菜干燥到同样的水分含量(8%以下),PSRFVD 方式能够显著地缩短干燥周期,与 VD 方式相比,PSRFVD 缩短干燥时间 50%。

表 2 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜含水率(%)

Table 2 Moisture content (%) of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

干燥方式	热水杀青调理	干法杀青调理
PSRFVD(干燥时间 2.5 h)	7.32±0.34	7.03±0.29
VD(干燥时间 5 h)	6.84±0.27	6.24±0.21

2.2 调理预处理对 PSRFVD 及 VD 高丽菜抗坏血酸含量的影响

抗坏血酸是脱水蔬菜产品中重要的营养成分,不同的预处理及干燥方式对高丽菜抗坏血酸含量产生重要的影响。从表 3 可以看出,热水杀青调理预处理比

干法杀青调理预处理干燥产品的抗坏血酸含量稍低。这种原因主要是热水杀青过程高丽菜中抗坏血酸由于高温水解损失造成的。但是,从表 3 中也可以看出,在同等的预处理条件下,采用 PSRFVD 方式高丽菜中抗坏血酸保留量明显高于 VD 方式。这种原因主要是因为相对于 VD 方式,较短的 PSRFVD 干燥时间减少了样品中抗坏血酸损失^[2]。这种现象表明射频干燥杀青调理与脉冲喷动干燥一体化工艺与设备能够减少高丽菜干燥过程中抗坏血酸损失。

表 3 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜抗坏血酸含量

(mg/100 g)

Table 3 Ascorbic acid content (mg/100g) of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

干燥方式	热水杀青调理	干法杀青调理
PSRFVD	21.68±0.34	24.41±0.39
VD	18.66±0.24	24.21±0.28

2.3 调理预处理对 PSRFVD 及 VD 高丽菜叶绿素含量的影响

叶绿素是脱水蔬菜产品中重要的营养成分,不同的预处理及干燥方式导致干燥高丽菜产品中叶绿素的损失。不同调理方式对 PSRFVD 及 VD 两种干燥方式高丽菜中叶绿素含量的影响见表 4。

从表 4 可以看出,与抗坏血酸含量变化规律一样,干法杀青调理预处理比热水杀青调理预处理干燥产品的叶绿素含量增加。这种原因主要是高丽菜中的叶绿素在热水杀青过程易分解造成的。同样,在同等的调理预处理条件下,采用 PSRFVD 方式高丽菜中叶绿素保留量高于 VD 方式,这种原因主要是因为相对于 VD 方式,高丽菜采用 PSRFVD 方式干燥时间短叶绿素损失少^[3]。这种结果表明,射频干燥杀青与脉冲喷动干燥一体化工艺与设备能够降低高丽菜中叶绿素损失。

表 4 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜叶绿素含量(mg/100 g)

Table 4 Chlorophyll content (mg/100 g) of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

干燥方式	热水杀青调理	干法杀青调理
PSRFVD	2.98±0.34	3.12±0.39
VD	2.68±0.24	2.89±0.28

2.4 调理预处理对 PSRFVD 及 VD 高丽菜还原糖的影响

还原糖是脱水蔬菜产品中重要的营养成分,不同

的预处理及干燥方式对干燥高丽菜产品还原糖含量有一定的影响。高丽菜采用两种不同调理方式及两种干燥方式 (PSRFVD、VD) 对还原糖含量的影响见表 5。

从表 5 可以看出, PSRFVD 与 VD 两种干燥方式高丽菜产品中还原糖含量较高 (超过 50%)。产生这种结果的主要原因是高丽菜调理预处理过程添加了高比例 (15%) 的葡萄糖, 使得干燥高丽菜中葡萄糖的含量提高。与抗坏血酸及叶绿素含量变化规律一样, 从表 5 可以看出, 干法杀青调理预处理比热水杀青调理预处理干燥产品的还原糖含量增加。这种原因主要是与干法杀青加糖相比, 热水杀青调理预处理使得添加的葡萄糖充分溶解于高丽菜中, 在真空干燥过程中水分向外迁移带去较多溶于水中的葡萄糖, 造成葡萄糖的损失。从表 5 还可以看出, 在相同的调理预处理条件下, 采用 PSRFVD 方式高丽菜中还原糖含量高于 VD 方式, 这种现象主要因为 PSRFVD 方式干燥时间短还原糖损失少^[3]。结果表明, 射频干法杀青与脉冲

喷动干一体化工艺与设备能够提高还原糖保留量。

表 5 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜还原糖含量 (%)

Table 5 Reducing sugar content of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

干燥方式	热水杀青调理	干法杀青调理
PSRFVD	58.11±2.34	61.41±2.69
VD	51.23±1.74	53.54±2.28

2.5 调理预处理对 PSRFVD 及 VD 高丽菜色泽的影响

色泽是脱水蔬菜感官评定的主要因素, 不同调理预处理对蔬菜干燥产品色泽有重要影响。由表 6 可以看出, 与新鲜高丽菜相比, 四种干燥高丽菜的色泽值全部发生变化, 即 L* 下降, 亮度变低; a* 值上升, 绿色减少; b* 值下降, 黄色上升, 这种结果说明调理预处理及干燥使得高丽菜色泽变差。

表 6 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜色泽值

Table 6 Color value of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

加糖调理方式	干燥方式	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
热水杀青调理	PSRFVD	-17.98±0.34	5.65±0.34	-8.07±0.34	20.10±0.34
	VD	-14.93±0.34	8.84±0.34	-11.84±0.34	21.17±0.34
干法杀青调理	PSRFVD	-14.63±0.34	3.64±0.34	-3.45±0.34	15.46±0.34
	VD	-10.83±0.34	4.70±0.34	-7.66±0.34	14.07±0.34

另外, 不同调理方式对干燥高丽菜色泽影响比较明显, 从表 7 可以看出, 与比热水杀青调理预处理相比, 干法杀青加糖调理预处理对 PSRFVD 及 VD 干燥产品的色泽产生的变化小, 这种现象可能是高丽菜采用干法杀青调理预处理不经过热水杀青过程, 降低其色泽褪变。从表 6 中也可以看出, 与 VD 相比, 两种调理预处理的 PSRFVD 高丽菜的 a*、b* 变化值都比较低, 这说明 PSRFVD 能够更好地保持高丽菜的绿色, 这种结果主要是由于较短 PSRFVD 干燥时间降低了叶绿素的损失。同时, 也发现 PSRFVD 高丽菜的色泽采用干法杀青调理预处理比通过热水杀青调理预处理更绿, 这主要是因为干法射频杀青调理预处理能够保留较多的叶绿素含量 (见表 4)。

2.6 调理预处理对 PSRFVD 及 VD 高丽菜复水能力的影响

复水能力是评价脱水蔬菜品质指标的重要因素, 它在一定程度上表征干燥产品品质变化程度, 预处理与干燥方式对干燥蔬菜复水能力有重要影响。从表 7 可以看出, 两种干燥方式 (PSRFVD、VD) 加工的高

丽菜的复水比较高, 这主要是因为高丽菜中添加高比例葡萄糖, 干燥样品中葡萄糖含量高, 而葡萄糖易于结合自由水, 复水时吸收水分多, 复水能力提高。但是, 也发现采用干法杀青加糖调理预处理比热水杀青加糖调理预处理干燥的高丽菜复水比高, 这种现象说明热水杀青预处理导致高丽菜品质变化程度比较大。从表 7 中也可以看出, 在同等调理预处理条件下, PSRFVD 高丽菜样品的复水能力高于 VD 方式, 产生这种现象的原因主要是 PSRFVD 干燥时间短, 高丽菜在干燥过程营养成分损失少及微结构破坏小^[4]。

表 7 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜复水比 (%)

Table 7 Rehydration ratio of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

干燥方式	热水杀青调理	干法杀青调理
PSRFVD	19.75±0.74	26.11±0.69
VD	19.44±0.44	21.19±0.38

2.7 调理预处理对 PSRFVD 及 VD 高丽菜风味的影响

风味是脱水蔬菜观感品质评价的主要指标, 不同

调理预处理及干燥方式对干燥蔬菜风味有重要影响。在上述实验研究的基础上，本实验利用电子鼻仪器测量了干法杀青调理结合PSRFVD与VD干燥高丽菜产品的风味，采用PCA成分分析法对干燥产品的气味进行分析，见图3。

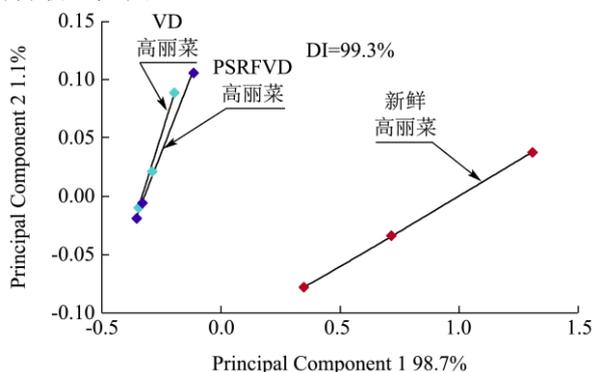


图3 干法杀青调理预处理的PSRFVD与VD高丽菜及新鲜高丽菜风味分布

Fig.3 Flavor distribution of the dried cabbages with heating blanching and PSRFVD and fresh cabbages

从图3中可以看出，第一主成分的贡献率为98.7%，第一和第二主成分的累计贡献率达到99.3%，该图能够较好的反应高丽菜风味的实际情况。从图3可以看出，采用干法杀青调理的PSRFVD和VD干燥高丽菜风味与新鲜高丽菜相比差别较大，这主要是因为干燥过程高丽菜的风味物质遭到破坏与损失。但是，PSRFVD与VD两种干燥方式的高丽菜风味区别不是显著，PSRFVD方式的产品风味稍接近新鲜高丽菜风味，这是因为VD比PSRFVD方式干燥时间长、产品温度高，导致产品风味物质损失较多^[14]。

2.8 调理预处理对PSRFVD及VD高丽菜均匀度影响

均匀性是评价射频加热及干燥产品品质的重要指标，干燥产品均匀性目前尚无统一评价标准，一般使用均匀度评价干燥产品均匀性，包括水分、色泽及收缩率均匀度^[1]。加糖调理预处理及干燥方式影响高丽菜干燥均匀度，高糖调理预处理导致高丽菜干燥过程产品粘连，均匀度下降，见表8。

从表8可以看出，采用两种调理预处理及两种干燥方式的加工的高丽菜产品均匀度具有较高的测量值，即全部在90%以上；干法杀青调理预处理比热水杀青调理预处理的干燥高丽菜均匀度测量值稍高些，这种原因主要是热水杀青调理预处理方式使得葡萄糖充分渗入高丽菜产品中，导致干燥过程产品粘结严重，降低产品干燥均匀度。

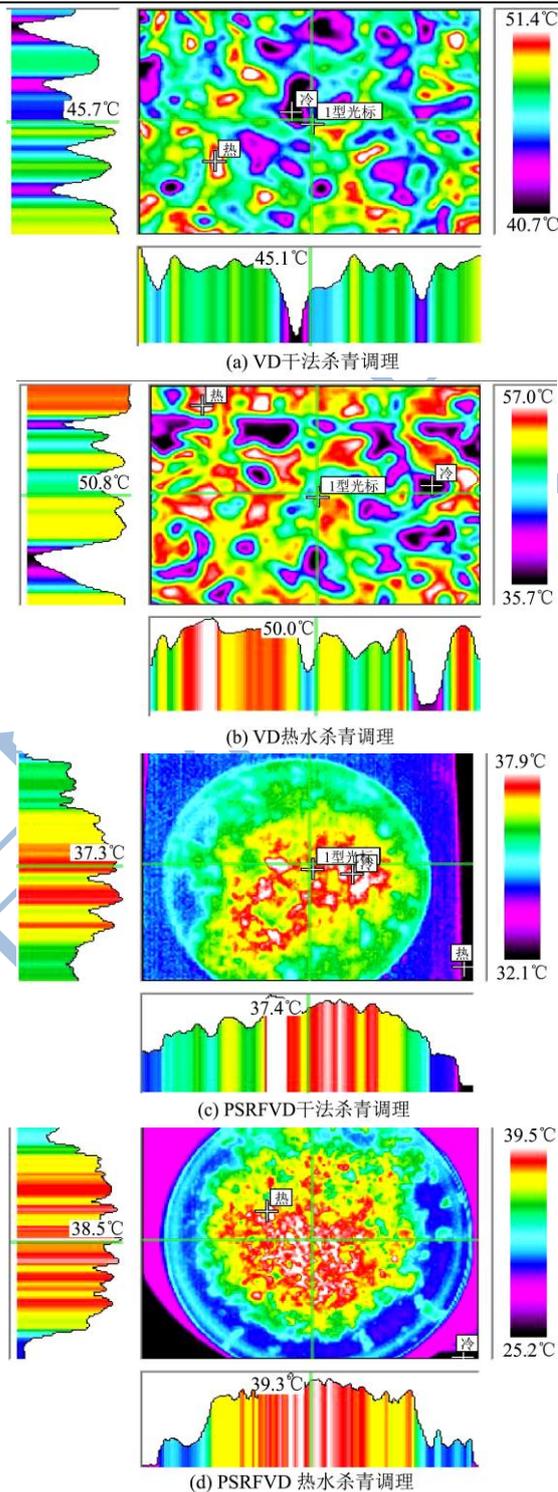


图4 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜温度分布

Fig.4 Temperature distribution of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

在同样的调理预处理条件下，也可以看出PSRFVD高丽菜样品的水分、色差与收缩率均匀度比VD方式干燥高丽菜样品三种均匀度测量值高，产生这种现象的原因是在PSRFVD干燥过程中，脉冲喷动热风空气带动高丽菜的空间运动，实现产品在干燥过程中空间位置变换及均匀分散，使得高丽菜颗粒之间获得同

等的射频能量,减少冷热点现象的发生(见图4),有效解决产品不均匀干燥的问题^[12];在VD干燥过程中,由于高比例的葡萄糖添加到高丽菜中,再者产品是静止干燥,产品易粘接成块状,导致干燥产品水分、色差及收缩率的不均匀,即使企业采用人工翻动,也会带来部分产品结块现象,导致产品的均匀度下降。这种结果表明,采用射频干燥杀青调理预处理及PSRFVD能够改善高丽菜射频干燥均匀度,实现高丽菜射频均匀干燥。

表8 不同调理预处理及干燥方式的高丽菜水分、色泽及收缩率均匀度

Table 8 Uniformities of moisture content, color and shrinkage ratio of the cabbages dried with different pretreatment and drying methods

调理预处理	干燥方式	水分/%	色泽/%	收缩率/%
热水杀青	PSRFVD	93.21±3.34	95.63±3.39	91.45±3.54
青调理	VD	91.32±2.24	94.44±2.28	90.34±2.37
干法杀青	PSRFVD	94.51±3.34	96.31±3.19	92.11±4.01
青调理	VD	92.7.2±2.14	95.54±2.68	90.94±2.38

3 结论

3.1 干法杀青调理预处理与热水杀青调理预处理相比能够更好保留干燥高丽菜的营养品质与均匀度。

3.2 干法杀青调理预处理结合 PSRFVD 能够有效解决高比例(15%)葡萄糖调理高丽菜干燥过程粘连问题,显著地缩短干燥时间(50%以上),提高干燥高丽菜的水分、色差及收缩均匀度(90%以上),实现高丽菜高效均匀干燥。

3.3 射频干法杀青调理预处理联合射频脉冲喷动干燥能够实现高糖调理高丽菜高效节能均匀干燥,但是在设备的能耗及产业化方面需要进一步研究。

参考文献

- [1] 王玉川. 莴苣颗粒负压微波高效节能均匀干燥机理及工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013
WANG Yu-chuan. Studies on mechanism and technology of negative pressure drying assisted by microwave for stem lettuce cubes with efficiency, energy-saving and uniformity [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013
- [2] Zhang M, Tang J, Mujumdar A S, et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17: 524-534
- [3] Zhang M, Chen H Z, Mujumdar A S, et al. Recent

developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(6): 1239-1255

- [4] 王云阳. 澳洲坚果射频干燥技术研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2012
WANG Yun-yang. Study on radio frequency drying protocol of macadamia nuts [D]. Xian: Northwest A&F University, 2012
- [5] Karim A, Law C L. Intermittent and nonstationary drying technologies - principles and applications [M]. New York: CRC Press, 2016
- [6] GB/5009.86-2016, 食品安全国家标准: 食品中抗坏血酸的测定[S]
GB/5009.86-2016, National standards for food safety: Determination of ascorbic acid in food [S]
- [7] NY/T3082-2017, 水果、蔬菜及其制品中叶绿素含量的测定: 分光光度法[S]
NY/T3082-2017, Determination of chlorophyll content in fruits, vegetable and derived products: spectrophotometry method [S]
- [8] NY/T1045-2014, 绿色食品: 脱水蔬菜[S]
NY/T1045-2014, Green food: dehydrated vegetable [S]
- [9] NY/T1278-2007, 蔬菜及其制品中可溶性糖的测定: 铜还原碘量法[S]
NY/T1278-2007, Determination of soluble sugar in vegetable and products: Shaffer-somogyi [S]
- [10] GB/5009.3-2016, 食品安全国家标准: 食品中水分的测定[S]
GB/5009.3-2016, National standards for food safety: determination of water in food [S]
- [11] GB/T 6949-1998, 煤的视相对密度测定方法[S]
GB/T 6949-1998, Determination of apparent relative density of coal [S]
- [12] Wang Y C, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Study of drying uniformity in pulse-spouted microwave-vacuum drying of stem lettuce slices with regard to product quality [J]. Drying Technology, 2013, 31(1): 91-101
- [13] Wang R, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Effect of salt and sucrose content on dielectric properties and microwave freeze drying behavior of re-structured potato slices [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(4): 290-297
- [14] Liu Z B, Zhang M, Wang Y C. Drying of restructured chips made from the old stalks of asparagus officinalis: impact of different drying methods [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(8): 2815-2824