

不同干燥方式对青海蕨麻品质特性的影响

周先加, 毛海峰, 鲁瑶, *刘毓超

(青海省轻工业研究所有限责任公司, 青海西宁 810001)

摘要: 以5种不同干燥方式(热风干燥、热泵干燥、碳纤维远红外、碳纤维远红外联合热泵干燥及真空脉动干燥)后的青海蕨麻为研究对象, 通过比较干燥时间、设备能耗, 以及干制蕨麻的感官品质(色度、感官评分、复水比)、营养品质(维C、多糖、蛋白质、氨基酸)、食用品质(电子舌、质构特性), 结合主成分综合评价方法确定最适宜的干燥方式。结果表明, 热泵干燥和联合干燥技术的能耗低, 热风干燥技术蕨麻感官评分最高为73.50分, 真空脉动干燥的复水比最低为1.02, 联合干燥技术蕨麻色泽最亮, 热风干燥总氨基酸含量最高为9.05 g/100 g, 联合干燥维C含量最高为9.42 g/100 g。各干燥技术蛋白质、多糖和味觉特征差异不明显, 干燥蕨麻品质主成分综合评价结果为热风干燥技术最佳, 可引进此技术干燥青海蕨麻。研究结果可为青海地区蕨麻引进干燥技术提供科学依据。

关键词: 不同干燥方式; 青海蕨麻; 感官评价; 营养指标; 品质特性

中图分类号: TS201

文献标志码: A

doi: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2024.04.010

Effects of Different Drying Methods on Quality Characteristics of *Potentilla anserina* L. of Qinghai Province

ZHOU Xianjia, MAO Haifeng, LU Yao, *LIU Yuchao

(Qinghai Light Industry Research Institute Co., Ltd., Xi'ning, Qinghai 810001, China)

Abstract: Five different drying methods (hot air drying, heat pump drying, carbon fiber far-infrared, carbon fiber far-infrared combined heat pump drying and vacuum pulse drying) were taken as the research object. By comparing the drying time, equipment energy consumption, sensory quality (chromaticity, sensory score, rehydration ratio), nutritional quality (VC, total sugar, protein, amino acids) and edible quality (electronic tongue, texture characteristics) of dried *Potentilla anserina* L. The results showed that the energy consumption of heat pump drying and combined drying technology was low. The highest sensory score of *Potentilla anserina* by hot air drying was 73.50, and the lowest rehydration ratio by vacuum pulse drying was 1.02. The color of *Potentilla anserina* L. by combined drying was the brightest, with the highest total amino acid content of 9.05 g/100 g by combination drying and the highest VC content of 9.42 g/100 g by infrared drying of carbon fiber. There were no obvious differences in protein, polysaccharide and taste characteristics among the drying techniques. The comprehensive evaluation of the main components of the quality of dried *Potentilla anserina* L. showed that the hot air drying technology was the best, and this technology could be introduced to dry *Potentilla anserina* L. of Qinghai. The research results could provide scientific basis for introducing drying technology of *Potentilla anserina* L. in Qinghai.

Key words: different drying methods; *Potentilla anserina* L. of Qinghai; sensory evaluation; nutritional indicators; quality characteristics

蕨麻 (*Potentilla anserina* L.), 是蔷薇科委陵菜属的多年生草本植物^[1]。蕨麻富含淀粉、蛋白质、膳食纤维、氨基酸、维生素、矿物质、皂苷、多糖等多种营养和活性成分, 具有营养滋补、口感佳等特性^[2]。

蕨麻只在青海等高寒地区根系才会膨大, 可食用, 又称“人参果”“延寿果”, 是青海、西藏及甘肃一带人民历来喜爱的民间食品及藏药的主要成分^[3-4]。

在蕨麻相关产品开发及实际生产运用中以干蕨

麻为主要原料^[5]。目前, 青海蕨麻以自然晾晒为主, 品质受外部因素影响较大。由于市场消费升级后, 消费人群对蕨麻的色泽、口感、营养等品质有更高的要求。因此, 引进干燥设备对于蕨麻品质提升方面势在必行。目前, 利用多种干燥技术(如微波真空干燥技术^[6]、热风干燥技术^[7]与真空冷冻干燥技术相结合来)联合干燥^[8-10], 可以在保证高品质的同时达到降低能耗、缩短干燥时间的目的。在 *Theodora C*

收稿日期: 2022-01-19

基金项目: 青海省中央引导地方科技发展资金项目(2023ZY022)。

作者简介: 周先加(1991—), 男, 本科, 研究实习员, 研究方向为特色生物资源研究与开发。

*通讯作者: 刘毓超(1991—), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为食品科学与工程。

等人^[1]探究热风联合微波干燥方法对桃块干燥速率的影响研究中,发现热风干燥后微波干燥提高了干燥速率,干燥时间缩短了89%。宋悦^[2]构建了黄桃热风干燥和真空冷冻干燥状态图,发现真空冷冻联合热风干燥5 h为最优干燥工艺。

目前,关于蕨麻的研究集中在新鲜蕨麻的营养成分和品质分析方面,而干燥方式对蕨麻品质报道较少。采用热风干燥、热泵干燥、碳纤维远红外、碳纤维远红外联合热泵干燥(简称联合干燥)及真空脉动干燥5种方式干燥青海地区蕨麻,通过比较干燥时间、设备能耗,以及干制蕨麻的感官品质(色度、感官评分、复水比)、营养品质(维C、总糖、蛋白质、氨基酸)、食用品质(电子舌、质构特性),结合主成分综合评价方法,确定最适合青海蕨麻的干燥方式,以期为青海地区的蕨麻资源合理开发和综合利用提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 原料与预处理

青海蕨麻,购自青海省海西蒙古族藏族自治州都兰县,品种为“青海1号”,挑选大小均一、形态饱满、硬实完整的褐色或深褐色、无病虫害的蕨麻为原料。将原料与纯化水按料液比1:2.5(g:L)浸泡14 h,将浸润的蕨麻沥水20 min,再将复水后的蕨麻在100℃蒸锅上蒸制30 min。之后,将蒸制后的蕨麻冷却,保持蒸制后蕨麻湿基含水率为(48.35±1.20)%,装入塑封袋密封,置于4℃冰箱中贮存。自然干燥、热风干燥、碳纤维远红外、联合干燥及真空脉动干燥5种干燥方式制得样品水分含量均控制在12%以下。

1.2 仪器与设备

蕨麻干燥条件及干燥设备见表1。

表1 蕨麻干燥条件及干燥设备

序号	干燥技术名称	干燥温度/℃	制作参数	所用干燥设备
1	热风干燥技术	45	将蕨麻物料盘置于阳光下,铺料厚度为1.0 cm左右,自然干燥	碳纤维远红外-联合热泵干燥机
2	热泵干燥技术	45	将蕨麻物料盘置于干燥设备中,铺料厚度为1.0 cm左右	碳纤维远红外-联合热泵干燥机
3	碳纤维远红外干燥技术	45	将蕨麻物料盘置于干燥设备中,铺料厚度为1.0 cm左右	碳纤维远红外-联合热泵干燥机
4	联合干燥技术	45	将蕨麻物料盘置于干燥设备中,铺料厚度为1.0 cm左右	碳纤维远红外-联合热泵干燥机
5	真空脉动干燥技术	45	将蕨麻物料盘置于干燥设备中,铺料厚度为1.0 cm左右	真空脉动干燥机

碳纤维远红外-联合热泵干燥机(集电加热、热泵加热、碳纤维远红外加热于一体)和真空脉动干燥机,河南省农业科学院农副产品加工研究中心团队自制;SA402B型电子舌味觉分析系统,日本INSENT公司产品;WP-UPT-20型标准型超纯水机,四川沃特尔水处理设备有限公司产品;CR-10PLUS型色差仪,日本柯尼卡美能达公司产品;A300-M型氨基酸半自动分析仪,德国曼默博尔公司产品;TMS-Pro物性分析仪,美国FTC公司产品。

1.3 试验方法

1.3.1 干燥时间与干燥能耗测量方法

干燥时间各组试验,每组试验重复3次,取其平均值。干燥能耗根据干燥时间,使用电能表测量干燥能耗。

1.3.2 感官品质测定方法

(1)色度。采用色差仪测定。将待测蕨麻平铺在白纸上,采用便携式色差仪进行测定,测定3次,取平均值,L*表示亮度,a*表示红绿(正值为红色,负值为绿色),b*表示黄蓝(正值是黄色,负值是绿色)。

(2)感官评分。由10名(男女各5名)专业的感官评定人员组成,分别对蕨麻的色泽、香气、形状3个方面进行评价,取平均值。

蕨麻感官评价见表2。

表2 蕨麻感官评价

项目	评分标准	评分/分
色泽 (满分25分)	表面浅褐色、无光泽,断面呈乳白色	80-100
	表面深褐色、无光泽,断面呈乳白色至淡黄色	60-80
	表面深褐色、无光泽,断面呈淡黄色	<60
气味 (满分25分)	具有蕨麻固有的气味,味微甜,无异味	80-100
	具有蕨麻固有的气味,味微甜,稍有异味	60-80
	具有蕨麻固有的气味,味微甜,有异味	<60
形状 (满分25分)	果形为多球形,少为多样形	80-100
	果形为多样形,少为多球形	60-80
	果形为多样形	<60
不完善粒 (满分25分)	≤1%	80-100
	≤2%	60-80
	≤3%	<60

(3)复水比^[3]。取一定量的蕨麻,浸泡在60℃热水中30 min,干燥蕨麻恢复到其原始状态,再进行沥水、称质量,所有试验进行3次,复水比按下列公式计算。

$$R = \frac{m_1}{m_2}$$

式中:R——复水比,g/g;
m₁——复水后质量,g;
m₂——复水前质量,g。

1.3.3 营养品质测定方法

维C测定参照《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》(GB 5009.86—2016)中“第三法

2,6-二氯酚酚滴定法”;还原糖测定根据 GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》;蛋白质采用基于考马斯亮蓝法试剂盒完成;氨基酸测定参照《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124—2016)中方法测定,利用氨基酸分析仪(印三酮柱后衍生离子交换色谱仪)测定。因干燥后的蕨麻湿基含水率均为(10.00±0.50)%,蛋白质、还原糖和维C含量与氨基酸含量均采用湿基含量计算。

1.3.4 食用品质测定方法

电子舌味觉指标测定。称取10g干燥蕨麻样品,加入100mL去离子水打成浆状,置于锥形瓶中,放入超声机中处理20min后以转速3500r/min离心10min,取上清液80mL进行味觉分析。使用SA402B味觉分析仪,加载酸、甜、苦、咸、鲜、涩味6种传感器电极,每个样品平行3次,按设定程序检测。

质构特性测定。参考罗南等人^[4]的测定方法,选择压缩模式,采用P/2探头测定酥脆性及硬度,测前速度2.00mm/s,测试中速度1.00mm/s,测试后速度10.0mm/s,测试距离5.00mm,触发力5.0g。试验共进行10次平行检测,去掉最大值与最小值,求得平均值。每个的干燥蕨麻样品中挑选大小均匀的5粒,采用P/5型探头逐个测得其硬度、弹性、胶黏性。

1.4 数据分析方法

使用SPSS 24.0软件进行Anova方差分析、相关分析和主成分分析及Duncan's多重比较法检验数据显著性差异分析,显著性水平为 $p<0.05$ ^[5]。采用Origin 2021进行绘图。

2 结果与分析

2.1 干燥时间及能耗

不同干燥方法所用时间及能耗见表3。

表3 不同干燥方法所用时间及能耗

干燥方法	初始质量 /g	干物质质量 /g	水分 /g	干燥时间 /h	干燥能耗 /kW·h
热风干燥	266.92	132.44	134.48	22.50	16.95
热泵干燥	249.10	126.88	122.22	27.25	16.30
碳纤维红外干燥	234.82	132.11	102.71	23.50	14.80
联合干燥	265.18	129.75	135.43	24.00	11.90
真空脉动干燥	258.20	132.83	125.37	23.00	143.09

由表3可知,热风干燥的干燥时间为22.50h,能耗为16.95kW·h。热泵干燥的干燥时间为27.25h,能耗为16.30kW·h。与热风干燥相比,热风干燥需要更多的时间,但能耗略低。碳纤维红外干燥技术干燥时间为23.50h,能耗为14.80kW·h。这种方法相较于前2种方法,需要的干燥时间有所缩短,而能耗也有所降低。联合干燥技术的干燥时间为24.00h,能耗为11.90kW·h。这种方法相较于前3种方法,虽然需要的干燥时间有所延长,但能耗明显降低。真空

脉动干燥的干燥时间为23.00h,能耗为143.09kW·h。这种方法相较于前4种方法,需要的干燥时间略短,能耗最高。这可能与蕨麻的含水率有关,水分在干燥开始时便大量蒸发^[6]。碳纤维红外干燥和联合干燥技术的能耗低,干燥时间比热风干燥和真空脉动干燥的略长。

2.2 感官品质

不同干燥方法蕨麻相关感官品质见表4。

表4 不同干燥方法蕨麻相关感官品质

干燥方法	L*值	a*值	b*值	感官评分 /分	复水比
热风干燥	32.77±0.45 ^c	12.43±0.05 ^b	61.15±0.10 ^b	73.50±0.33 ^a	1.13±0.12 ^e
热泵干燥	37.31±0.30 ^a	15.13±0.15 ^a	61.17±0.11 ^b	71.89±0.26 ^b	1.11±0.07 ^b
碳纤维红外干燥	35.53±0.41 ^b	7.87±0.06 ^c	58.53±0.57 ^c	72.96±0.13 ^a	1.08±0.05 ^c
联合干燥	32.13±0.11 ^c	6.80±0.10 ^d	60.03±0.57 ^b	71.56±0.19 ^b	1.09±0.09 ^c
真空脉动干燥	21.17±0.36 ^d	14.63±0.12 ^a	70.40±0.10 ^a	73.13±0.36 ^a	1.02±0.12 ^d

5种不同干燥方式蕨麻的L*、a*和b*值均差异显著($p<0.05$),L*值的高低顺序依次为热泵干燥>碳纤维红外干燥>热风干燥>联合干燥>真空脉动干燥;a*值的高低顺序依次为热泵干燥>真空脉动干燥>热风干燥>碳纤维红外干燥>联合干燥;b*值的高低顺序依次为真空脉动干燥>热泵干燥>热风干燥>联合干燥>碳纤维红外干燥。综上所述,不同干燥方法对蕨麻色泽的影响较大,这可能是与干燥过程中产生了褐变反应而引起的^[7-10]。

经过不同干燥处理的蕨麻在色泽、滋味和气味及状态等方面都发生了变化。热风干燥和热泵干燥样品在色泽、滋味和气味及状态等方面的评分相对较高,各组间的差异均不显著($p>0.05$);热风干燥方法得到的总分最高,为73.50分,说明这种方法在色泽、滋味和气味及状态方面都表现最好。色泽得分最高的是热风干燥,最低的是联合干燥,这可能表明热风干燥对产品的色泽保持更好。因此,在所有干燥方法中可能是最理想的选择。但这也可能取决于具体的应用场景和需求,如对于特定类型的产品或对特定干燥特性有特定要求的情况。

真空脉动干燥的复水比为1.02,与其他干燥方法相比,虽然其干燥时间最短,但复水比最低;热风干燥的复水比为1.13,其复水比略高于其他干燥方法,与热泵干燥的复水比差异不显著($p>0.05$);热泵干燥的复水比为1.11,其复水比略低于热风干燥的复水比,但高于其他干燥方法;碳纤维红外干燥复水比为1.08,其复水比与联合干燥相当,这与梁俊宇等人的研究结果相似^[7]。

2.3 营养品质

不同干燥方式青海蕨麻营养成分含量见表5。

由表5可知,不同干燥方法下青海蕨麻的营养品质。不同干燥方式的青海蕨麻均含有16种氨基酸,且氨基酸总量为5.11~9.05g/100g,不同干燥方

表 5 不同干燥方式青海蕨麻营养成分含量

/g·(100 g)⁻¹

营养成分名称	热风干燥	热泵干燥	碳纤维红外干燥	联合干燥	真空脉动干燥
天冬氨酸 Asp	0.70 ± 0.11 ^b	0.78 ± 0.13 ^a	0.79 ± 0.07 ^a	0.35 ± 0.02 ^d	0.66 ± 0.06 ^c
苏氨酸 Thr*	0.42 ± 0.04 ^c	0.51 ± 0.09 ^b	0.55 ± 0.04 ^a	0.26 ± 0.04 ^d	0.57 ± 0.09 ^a
丝氨酸 Ser	0.44 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.08 ^c	0.41 ± 0.03 ^b	0.24 ± 0.03 ^d	0.38 ± 0.01 ^c
谷氨酸 Glu	1.04 ± 0.12 ^a	0.75 ± 0.09 ^c	0.79 ± 0.01 ^c	0.47 ± 0.01 ^d	0.93 ± 0.09 ^b
甘氨酸 Gly	0.45 ± 0.01 ^a	0.43 ± 0.08 ^a	0.45 ± 0.03 ^a	0.23 ± 0.03 ^c	0.39 ± 0.02 ^b
丙氨酸 Ala	0.57 ± 0.08 ^c	0.87 ± 0.04 ^b	0.96 ± 0.03 ^a	0.24 ± 0.03 ^c	0.46 ± 0.07 ^d
缬氨酸 Val*	0.55 ± 0.07 ^b	0.60 ± 0.02 ^a	0.63 ± 0.04 ^a	0.42 ± 0.04 ^c	0.54 ± 0.06 ^b
蛋氨酸 Met*	0.14 ± 0.02 ^d	0.27 ± 0.03 ^b	0.49 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.01 ^d	0.21 ± 0.01 ^c
异亮氨酸 Iso*	0.51 ± 0.05 ^a	0.32 ± 0.07 ^d	0.34 ± 0.03 ^c	0.32 ± 0.03 ^d	0.45 ± 0.02 ^b
亮氨酸 Leu*	0.70 ± 0.04 ^a	0.65 ± 0.20 ^b	0.43 ± 0.05 ^d	0.44 ± 0.05 ^d	0.55 ± 0.04 ^c
酪氨酸 Tyr	0.33 ± 0.02 ^d	0.38 ± 0.05 ^c	0.41 ± 0.01 ^b	0.29 ± 0.01 ^e	0.44 ± 0.03 ^a
苯丙氨酸 Phe*	0.53 ± 0.01 ^a	0.32 ± 0.08 ^b	0.33 ± 0.02 ^b	0.36 ± 0.02 ^c	0.53 ± 0.05 ^a
赖氨酸 Lys	0.31 ± 0.02 ^a	0.18 ± 0.01 ^e	0.22 ± 0.04 ^d	0.24 ± 0.04 ^c	0.28 ± 0.01 ^b
组氨酸 His	0.77 ± 0.01 ^c	0.87 ± 0.03 ^a	0.82 ± 0.02 ^b	0.41 ± 0.02 ^e	0.61 ± 0.03 ^d
精氨酸 Arg	0.09 ± 0.03 ^c	0.05 ± 0.01 ^e	0.13 ± 0.03 ^a	0.07 ± 0.03 ^d	0.10 ± 0.01 ^b
脯氨酸 Pro	1.52 ± 0.09 ^b	1.17 ± 0.09 ^d	1.21 ± 0.04 ^c	0.63 ± 0.04 ^e	1.18 ± 0.08 ^a
总氨基酸	9.05 ± 0.73 ^a	8.51 ± 0.96 ^b	8.56 ± 0.50 ^b	5.11 ± 0.45 ^d	8.30 ± 0.68 ^c
蛋白质	10.35 ± 0.17 ^b	9.60 ± 0.44 ^c	10.15 ± 0.24 ^b	10.55 ± 1.74 ^a	10.33 ± 1.19 ^b
多糖	5.25 ± 0.12 ^a	6.18 ± 0.20 ^c	7.02 ± 0.17 ^a	5.93 ± 0.26 ^d	6.39 ± 0.15 ^b
维 C	7.51 ± 0.96 ^c	7.97 ± 0.10 ^b	9.39 ± 1.11 ^a	9.42 ± 0.23 ^a	7.88 ± 1.11 ^b

注：字母不同则表示显著性差异 (p<0.05)；单位为：g/100 g (湿基)；* 表示为必需氨基酸。

式间的总氨基酸含量存在显著性差异 (p<0.05)。蕨麻氨基酸总量高低排序为热风干燥 > 碳纤维红外干燥 > 热泵干燥 > 真空脉动干燥 > 联合干燥。5 种不同干燥方法处理后的蕨麻蛋白质和多糖含量相互之间差异不大，其中热风干燥、碳纤维红外干燥、联合干燥间差异不显著 (p<0.05)，但与热风干燥、真空脉动干燥相比差异显著 (p<0.05)。这些干燥方法处理后的蕨麻多糖含量为 4.23~3.96 g/100 g。这可能是因为这些处理方法对蕨麻的某些化学成分产生了影响，从而降低了多糖的含量^[9]。然而，这需要进一步的研究来验证。干燥技术对维 C 含量有显著影响，不同干燥技术处理之间存在显著差异 (p<0.05)，维 C 含量都在 7.00 g/100 g 以上，这表明经过这些干燥技术处理后，维 C 含量有所提高，可能因为干燥技术破坏细胞壁，营养成分流出细胞，使得维 C 含量升高。

2.4 食用品质

2.4.1 味觉特性

不同干燥方式蕨麻电子舌雷达图见图 1。

由图 1 可知，5 种干燥方式的蕨麻在味觉特征方面差异不显著 (p>0.05)，说明干燥方式对蕨麻的味觉没有影响。

2.4.2 质构特性

不同干燥方式蕨麻的硬度、弹性、胶黏性及咀嚼性进行了测定。

不同干燥方法蕨麻质构特性见表 6。

各组蕨麻的质构指标差异显著 (p<0.05)；硬度方面，经过不同热处理后，蕨麻的硬度均有所降低，其中，碳纤维红外干燥和热风干燥处理的蕨麻硬度相对较高，而联合干燥处理的蕨麻硬度最低，这表

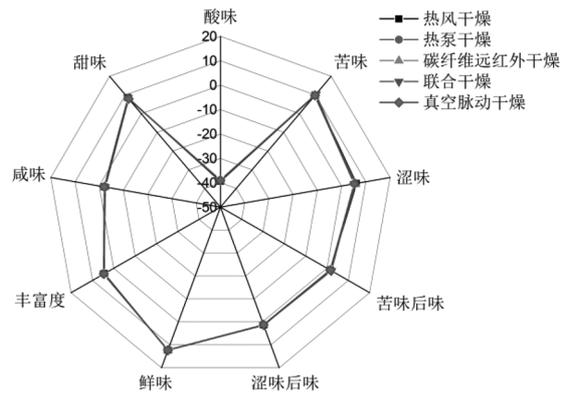


图 1 不同干燥方式蕨麻电子舌雷达图

表 6 不同干燥方法蕨麻质构特性

干燥方法	硬度	弹性	胶黏性	咀嚼性
热风干燥	33.55 ± 0.32 ^b	3.58 ± 0.41 ^b	8.43 ± 0.47 ^b	15.43 ± 0.40 ^c
热泵干燥	19.27 ± 0.13 ^d	3.71 ± 0.17 ^a	3.78 ± 0.11 ^d	36.62 ± 0.29 ^a
碳纤维红外干燥	39.19 ± 0.19 ^a	2.68 ± 0.04 ^d	11.47 ± 0.15 ^a	12.51 ± 0.05 ^d
联合干燥	17.52 ± 0.24 ^d	3.54 ± 0.04 ^b	3.69 ± 0.27 ^d	13.16 ± 0.17 ^d
真空脉动干燥	23.56 ± 0.40 ^c	3.13 ± 0.13 ^c	6.26 ± 0.27 ^c	20.47 ± 0.39 ^b

明热处理方法对蕨麻的硬度有一定影响；弹性方面，在各种热处理方法中，热泵干燥处理的蕨麻弹性相对较高，这可能是因为热泵干燥可以更好地保持蕨麻内部的组织结构，从而提高了弹性；胶黏性方面，经过热处理后，蕨麻的胶黏性有一定程度的降低，其中，碳纤维红外干燥处理的蕨麻胶黏性相对较高，而联合干燥和热泵干燥处理的蕨麻胶黏性较低，这表明热处理方法对蕨麻的胶黏性有一定影响；咀嚼性方面，在各种热处理方法中，碳纤维红外干燥，联合干燥，热风干燥处理的蕨麻咀嚼性相对较低，

这可能是因为碳纤维红外干燥,联合干燥,热风干燥处理导致蕨麻内部的组织结构发生变化,从而影响了咀嚼性^[20]。

2.5 相关分析

不同干燥方式蕨麻感官品质、食用品质与营养品质之间的相关性见图2。

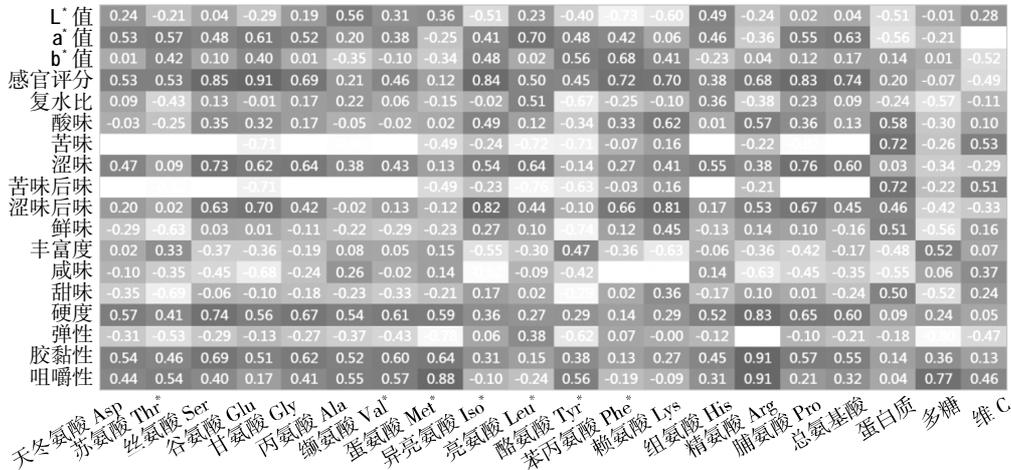


图2 不同干燥方式蕨麻感官品质、食用品质与营养品质之间的相关性

由图2可知,不同干燥方式蕨麻感官品质、食用品质与营养品质含量之间相关性,谷氨酸与感官评分呈现出显著性,相关系数值分别是0.914,表明谷氨酸与感官评分有着正相关关系。天冬氨酸、缬氨酸、组氨酸与苦味、苦味后味共2项之间全部均呈现出显著性,相关系数值分别是-0.988、-0.993、-0.946、-0.954、-0.950、-0.954,表明他们与苦味、苦味后味共2项之间有着负相关关系。维C与a*值之间全部均呈现出显著性,相关系数值分别是-0.892,表明维C与a*值之间有着负相关关系。这些相关性在一定程度上反映了青海蕨麻品质之间的内在联系,其他指标之间无显著相关性。

2.6 主成分分析和综合评价

根据显著性差异及相关分析,从24种指标筛选出对蕨麻品质贡献较大的13种指标,在主成分分析中以谷氨酸、天冬氨酸、缬氨酸、组氨酸、总氨基酸、维C、a*值、感官评分、复水比、硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性为评判指标,以特征值λ>1的方差贡献率确定最优的主成分。

主成分分析的特征值和贡献率见表7。

表7 主成分分析的特征值和贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	6.694	51.496	51.496
2	3.662	28.169	79.665
3	1.506	11.586	91.251
4	1.137	8.749	100.00

由表7可知,前4个主成分累积方差贡献率达到100%,能有效地解释蕨麻品质的总变异。因此,提取特征值λ>1的前4个主成分代替上述13种关键指标性营养成分对青海不同产地蕨麻品质进行评价与判断。

表7是干燥蕨麻13种指标性成分的主成分因子载荷矩阵,该矩阵反映了品质指标对主成分载荷系数的相对大小和作用方向。结果表明,在主成分1中,谷氨酸、天冬氨酸、缬氨酸、总氨基酸、感官评分和硬度具有较大的正载荷系数值,所以主成分1主要反映上述6个指标的品质特性。在主成分2中,a*值和弹性具有较大的正载荷系数值,维C、胶黏性和咀嚼性具有较大的负载荷系数值,所以主成分2主要反映上述5个指标的品质特性。在主成分3中,组氨酸和复水比具有较大的正载荷系数值,所以主成分3主要反映上述2个指标的品质特性。

主成分在各品质指标上因子载荷矩阵见表8。

表8 主成分在各品质指标上因子载荷矩阵

品质指标	载荷系数			
	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
谷氨酸 Glu	0.824	0.374	-0.304	0.299
天冬氨酸 Asp	0.912	0.196	0.189	-0.306
缬氨酸 Val	0.889	0.028	0.256	-0.379
组氨酸 His	0.817	0.267	0.452	-0.239
总氨基酸	0.944	0.327	0.008	-0.040
维C	-0.391	-0.865	0.256	-0.180
a*值	0.361	0.843	-0.281	-0.282
感官评分	0.812	-0.008	-0.388	0.435
复水比	0.007	0.288	0.849	0.442
硬度	0.811	-0.456	0.136	0.341
弹性	-0.498	0.800	0.265	0.203
胶黏性	0.789	-0.555	0.034	0.262
咀嚼性	0.604	-0.778	-0.033	-0.172

使用主成分得分进行综合评价,需要使用“线性组合系数矩阵”建立主成分和研究项之间的关系等式(基于标准化后数据建立关系表达式),将表6中各指标变量的主成分载荷系数值除以特征值的平方根,得到4个主成分中每个指标对应的特征向量,

以每个品质指标的相关矩阵的特征向量为权重构建这4个主成分的函数表达式,如下:

$$Y_1=0.318X_1+0.353X_2+0.344X_3+0.316X_4+0.365X_5-0.151X_6+0.140X_7+0.314X_8+0.003X_9+0.313X_{10}-0.193X_{11}+0.305X_{12}+0.233X_{13}.$$

$$Y_2=0.195X_1+0.102X_2+0.015X_3+0.139X_4+0.171X_5-0.452X_6+0.441X_7-0.004X_8+0.150X_9-0.239X_{10}+0.418X_{11}-0.290X_{12}-0.406X_{13}.$$

$$Y_3=-0.248X_1+0.154X_2+0.209X_3+0.368X_4+0.007X_5+0.209X_6-0.229X_7-0.316X_8+0.692X_9+0.111X_{10}+0.216X_{11}+0.028X_{12}-0.027X_{13}.$$

$$Y_4=0.280X_1-0.287X_2-0.355X_3-0.224X_4-0.037X_5-0.168X_6-0.265X_7+0.408X_8+0.415X_9+0.320X_{10}+0.190X_{11}+0.245X_{12}-0.161X_{13}.$$

综合得分是方差解释率与成分得分乘积后累加计算得到,综合评价模型为:

$$F=\frac{51.496Y_1+28.169Y_2+11.586Y_3+8.749Y_4}{100.000}+0.515Y_1+0.282Y_2+0.116Y_3+0.087Y_4.$$

不同干燥方式蕨麻品质综合评价结果见表9。

表9 不同干燥方式蕨麻品质综合评价结果

排序	热风干燥	热泵干燥	碳纤维红外干燥	联合干燥	真空脉动干燥
Y1	3.39	3.13	3.87	2.94	3.42
排名	3	4	1	5	2
Y2	-1.13	-0.45	-2.55	-0.89	-0.99
排名	4	1	5	2	3
Y3	-1.90	-2.06	-1.74	-1.87	-2.08
排名	3	4	1	2	5
Y4	3.69	3.04	3.64	3.15	3.14
排名	1	5	2	3	4
F	1.53	1.50	1.39	1.32	1.51
总排名	1	3	4	5	2

由表9可知,主要反映主成分1中排名前2位是碳纤维红外干燥和真空脉动干燥蕨麻;主成分2中排名前2位是热泵干燥和联合干燥蕨麻;主成分3中排名前2位是碳纤维红外干燥和联合干燥蕨麻;主成分4中排名前2位是热风干燥和碳纤维红外干燥蕨麻;干燥蕨麻品质综合评价总排名为热风干燥>真空脉动干燥>热泵干燥蕨麻>碳纤维红外干燥>联合干燥。排名最靠前的为热风干燥,最后的是联合干燥。从设备制造成本角度考虑,热风设备制造成本低,说明热风干燥适合用于青海蕨麻干燥。可将此干燥技术用于青海地区农户个体和工业化大规模生产中蕨麻干燥。

3 结论

采用5种不同干燥方法(热风干燥、热泵干燥、碳纤维远红外、碳纤维远红外联合热泵干燥及真空

脉动干燥)对青海蕨麻进行干燥,并结合干燥时间、能耗获取其干燥成本,通过比较干燥时间、设备能耗,以及干制蕨麻的感官品质(色度、感官评分、复水比)、营养品质(维C、总糖、蛋白质、氨基酸)、食用品质(电子舌、质构特性),结合相关分析,最后进行综合评价,得出以下结论。

热泵干燥和联合干燥技术的能耗低;热风干燥技术蕨麻感官评分最高为73.50分,真空脉动干燥的复水比最低为1.02,联合干燥技术蕨麻色泽最亮,热风干燥总氨基酸含量最高为9.05 g/100 g,联合干燥维C含量最高为9.42 g/100 g,各干燥技术蛋白质、多糖和味觉特征差异不明显。相关分析结果为谷氨酸与感官评分有着正相关关系。天冬氨酸、缬氨酸、组氨酸与苦味、苦味后味2项之间呈负相关关系,维C与a^{*}值之间呈负相关。干燥蕨麻品质综合评分结果为热风干燥技术最佳,可引进此技术干燥青海蕨麻,研究结果可为青海地区蕨麻引进干燥技术提供科学依据。

参考文献:

- [1] 张宏志. 赤峰城市风景园林植物资源: 献给北方地区城市生态环境的书 [M]. 赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2020: 567-567.
- [2] 熊亚, 刁治民, 吴保锋, 等. 青海草地蕨麻资源及开发应用价值 [J]. 青海草业, 2004 (4): 22-26.
- [3] 谭亮, 李军乔, 李玉林, 等. 青海不同产地蕨麻营养成分分析及品质评价 [J]. 食品与生物技术学报, 2002 (1): 95-111.
- [4] 白世俊, 李军乔, 牛永昆. 蕨麻种质资源总皂苷含量的比较研究 [J]. 青海科技, 2022 (5): 111-117, 141.
- [5] 吴婧, 蔡正洪, 郭靖. 蕨麻现状与研究进展 [J]. 资源保护与利用, 2009 (4): 70-72.
- [6] Carvalho G R, Monteiro R L, Laurindo J B, et al. Microwave and microwave-vacuum drying as alternatives to convective drying in barley malt processing [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2021 (73): 102-110.
- [7] Souza A, Jlg C, Tanikawa D H, et al. Hybrid microwave-hot air drying of the osmotically treated carrots [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022 (156): 113-124.
- [8] Jia Y, Khalifa I, Hu L, et al. Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019 (11): 67-76.
- [9] 刘艳红, 范美迪, 孙瑞雪, 等. 不同干燥方式对香菜品质及自由基清除能力的影响 [J]. 中国调味品, 2022, 47 (12): 61-65, 72.
- [10] 盛金凤, 陈坤, 雷雅雯, 等. 微波-热风联合干燥茉莉花干燥特性及品质分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43 (11):

(下转第54页)

义,为新型鲜切蔬菜清洗杀菌技术的研究提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 钟开勤,谢鑫鑫,曾小玲,等.46个快菜品种在福州地区秋播的适应性评价[J].福建农业科技,2021,52(9):46-51.
- [2] 罗智敏,张斌,闻凤英,等.苗用型大白菜品种应用现状及展望[J].中国蔬菜,2014(4):1-3.
- [3] 黄凯美,颜韶兵,李必元,等.杭州夏季快菜品种筛选及关键栽培技术[J].浙江农业科学,2021,62(5):898-899,903.
- [4] Oliveria M, Abadias M, Usall J, et al. Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables: A review [J]. Trends in Food Science and Technology, 2015, 46 (1): 13-26.
- [5] I Nicolau-Lapeña, Lafarga T, I Viñas, et al. Ultrasound processing alone or in combination with other chemical or physical treatments as a safety and quality preservation strategy of fresh and processed fruits and vegetables: A review [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12 (9): 1452-1471.
- [6] 范凯.超声波/涂膜联合气调处理对鲜切生菜和黄瓜冷藏品质及其机理研究[D].无锡:江南大学,2020.
- [7] Barry-Ryan C, O'Beirne D. Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method [J]. Journal of Food Science, 1998, 63 (5): 851-856.
- [8] 何凤平,潘永贵.鲜切果蔬变色及其控制技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015(7):2420-2426.
- [9] 乔永祥,谢晶.新鲜蔬菜清洗技术研究进展[J].包装工程,2017,38(3):60-66.
- [10] 孙晋跃,张衡,张娇娇,等.超声联合乳酸处理对沙门氏菌游离及生物膜菌体的杀菌作用[J].中国食品学报,2022,22(10):270-278.
- [11] 宣晓婷.弱酸性电位水对单增李斯特菌和金黄色葡萄球菌的杀菌及亚致死研究[D].杭州:浙江大学,2016.
- [12] 唐林,王松,郭柯宇,等.低温等离子体活化水在食品杀菌保鲜中的应用[J].中国食品学报,2021,21(12):347-357.
- [13] 于晓霞,李燕,王婷婷,等.响应曲面法优化酸性电解水对鲜切苹果杀菌效果的影响[J].食品与生物技术学报,2015,34(6):653-659.
- [14] 李丽,唐杰,李昌宝,等.清洗杀菌方式对鲜切胡萝卜保鲜效果的影响[J].食品工业,2020,41(9):13-17.
- [15] Qian C, Ren N, Wang J, et al. Effects of exogenous application of CPPU, NAA and GA4+7 on parthenocarp and fruit quality in cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. Food Chemistry, 2018 (24): 410-413.
- [16] 王安妮,史磊,孙莉,等.低温下相对湿度对菠菜与生菜保鲜效果的影响[J].食品科技,2013,38(7):38-43.
- [17] 刘依朦.超声联合钙盐对鲜切西生菜品质的影响及机理研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2022.
- [18] Wei Y, Ye X. Effect of 6-benzylaminopurine combined with ultrasound as pretreatment on quality and enzyme activity of green asparagus [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2011, 35 (5): 587-595.
- [19] Ahmad R M, Deog-Hwan O. Combined effects of thermosonication and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage [J]. Food Microbiology, 2015 (51): 154-162.
- [20] Kim J S, Shahidi F, Heu M S. Characteristics of salt-fermented sauces from shrimp processing byproducts [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51 (3): 784-792.
- [21] 胡凯,陈康,冯琳,等.磷对生长期草鱼肌肉理化参数、游离氨基酸、呈味核苷酸和游离脂肪酸组成的影响[J].水产学报,2022,46(10):1957-1968.
- [22] 李汴生,黄智君,张晓银,等.冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型建立与评价[J].现代食品科技,2015,31(3):177-183.◇

(上接第48页)

126-135.

- [11] Theodora C, Kyriakos K, Athanasia M G, et al. Drying of peaches by a combination of convective and microwave methods [J]. Journal of Food Process Engineering, 2023, 46 (4): 14296.
- [12] 宋悦.基于不同预处理的桃脆片真空冷冻联合干燥工艺优化[D].北京:中国农业科学院,2020.
- [13] 中国国家标准化管理委员会.蕨麻质量标准:蕨麻 GB/T28667—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [14] 罗南,普布曲宗,索朗单增,等.挤压再造蕨麻-青稞工程米螺杆菌转速优化研究[J].农产品加工,2018(16):6-9.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会.食品中还原糖测定:GB5009.7—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [16] 李星仪,张悦,谢永康,等.热风干燥过程相对湿度对香菇品质的影响[J].农业工程学报,2020,36(24):281-291.
- [17] 梁俊宇,张文香,李国良,等.不同热风干燥模式下金丝皇菊干燥工艺特性及品质分析[J].云南师范大学学报(自然科学版),2022,42(1):15-19.
- [18] Wang Qingfa, Li Song, Han Xue, et al. Quality evaluation and drying kinetics of shitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave-assisted drying methods [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019 (10): 236-242.
- [19] 周锋.热泵干燥技术在羊肚菌烘干中应用研究[J].食品界,2023(1):114-116.
- [20] 邹学哲,邓红,吴嘉琳,等.基于变异系数权重法评价3种干燥方式对铁皮石斛多糖理化性质的影响[J].广东药科大学学报,2023,39(4):87-92.◇