

干燥方式对西兰花超微粉理化特性及抗氧化活性的影响

杨磊磊, 王 然, 王凤舞, 王成荣*

(青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 通过热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥对西兰花进行干燥后超微粉碎, 研究不同方式干燥后西兰花超微粉的理化特性及其抗氧化活性。结果表明: 热风干燥的西兰花超微粉休止角最小, 流动性最大; 真空干燥的西兰花超微粉容重最高; 真空冷冻干燥的西兰花超微粉溶解性、持水力和持油力最大, 容重最小, 但其流动性最差。真空冷冻干燥的西兰花超微粉的营养品质明显优于热风干燥及真空干燥。真空冷冻干燥、真空干燥和热风干燥生产的西兰花超微粉的甲醇提取液对DPPH自由基的 IC_{50} 值分别为0.130、0.210、0.245g/100mL; 对 $O_2^{\cdot-}$ 的 IC_{50} 值分别为0.650、0.710、0.720g/100mL, 真空冷冻干燥西兰花超微粉抗氧化活性最高。

关键词: 西兰花; 热风干燥; 真空干燥; 真空冷冻干燥; 理化特性; 抗氧化活性

Effect of Drying Methods on Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Superfine Broccoli Powder

YANG Lei-lei, WANG Ran, WANG Feng-wu, WANG Cheng-rong*

(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Broccoli was dried by three different methods, hot air drying, vacuum drying, vacuum freeze drying before superfine comminution to investigate the effects of these three drying methods on physicochemical properties and antioxidant activity of superfine broccoli powder. The results showed that hot air drying provided superfine broccoli powder with the smallest angle of repose and the highest mobility. Vacuum dried powder had the highest specific weight. Vacuum freeze dried powder the highest water-absorbing capacity, oil-holding capacity and dissolvability but the lowest mobility. The nutritional quality of vacuum freeze dried power was much better than that of hot air dried powder and vacuum dried powder. The IC_{50} values of vacuum freeze dried, vacuum dried and hot air dried powder samples were 0.130, 0.210 g/100 mL and 0.245 g/100 mL for DPPH radicals, and 0.650, 0.710 g/100 mL and 0.720 g/100 mL for superoxide anion radicals, respectively. These data demonstrate that vacuum freeze dried broccoli powder has the strongest antioxidant activity.

Key words: broccoli; hot air drying; vacuum drying; vacuum freeze drying; physicochemical properties; antioxidant activity

中图分类号: TS255.52

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)19-0092-05

西兰花(*Brassica oleracea* L.Var.votrytis)是一种营养价值较高的蔬菜, 其蛋白质含量是白菜花的2倍; VA含量分别是白菜花和蕃茄的240倍和6倍; 钙的含量是蕃茄的2倍。近年来的研究^[1]还表明, 西兰花具有防癌抗癌的功能。生物体内的活性氧自由基($O_2^{\cdot-}$ 、 $\cdot OH$ 、 $ROO\cdot$ 等)能够引发链式反应, 从而导致细胞功能的紊乱, 是人体衰老及许多疾病的诱发原因^[2], 西兰花中含有丰富的VC等抗氧化物质, 具有较强的抗衰老作用。

西兰花脱水后制成粉, 不仅方便贮存、运输, 而且由于干物质的浓缩, 营养价值也有所提高。干燥是蔬菜制粉的关键工艺之一。本实验通过热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥等不同干燥方式对西兰花进行干燥后超微粉碎, 研究对比不同干燥方式西兰花超微粉的理化特性及其抗氧化能力, 从而确定西兰花制备超微粉过程中所需的最佳干燥方式, 为西兰花的工业干燥提供参考。

收稿日期: 2011-09-20

基金项目: 山东省现代蔬菜产业技术体系(SDSXDSCCYJSTX)

作者简介: 杨磊磊(1985—), 女, 硕士, 研究方向为食品科学。E-mail: jlw06051218@sohu.com

*通信作者: 王成荣(1958—), 男, 教授, 学士, 研究方向为果蔬加工与贮藏。E-mail: qauwcr@126.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

西兰花购于青岛城阳大润发超市, 选择无病虫害、机械伤及腐烂的原料作为实验材料。

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 北京索莱宝科技有限公司; 三羟甲基氨基甲烷(Tris) 美国Sigma公司; 邻苯三酚 贵州遵义佳宏化工有限公司; 水杨酸 山东新华隆信化工有限公司; 石油醚 天津市富宇精细化工有限公司; 甲醇 天津市广成化学试剂有限公司; VC 天津市恒兴化学试剂制造有限公司; 以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

16512型真空冷冻干燥机 德国Christ公司; DHG-9016A电热恒温鼓风干燥箱 太仓精宏仪器设备有限公司; DZF-6050型真空干燥箱、754型紫外分光光度计 上海精宏实验设备有限公司; FDV气引式粉碎机 北京兴时利科技发展有限公司; 标准检验筛 浙江省上虞市庐江仪器筛网厂; AR2140电子天平 奥豪斯国际贸易(上海)有限公司; GL-12B冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

西兰花→去叶、清洗→切分→热烫液护色→沥水→干燥→超微粉碎→分级→西兰花超微粉→包装

1.3.2 工艺参数

不同干燥工艺每次各取300g西兰花, 按下述工艺进行干燥, 重复3次。1)将预处理好的西兰花置于70℃的鼓风干燥箱中恒温干燥5h; 2)将预处理好的西兰花置于65℃、0.09MPa的真空干燥箱中干燥7h; 3)将预处理好的西兰花于-30~-35℃^[3]条件下预冻3h, 然后置于真空冷冻干燥箱中在真空度6.8~8Pa, 冷凝温度-50℃以下的条件下干燥22h。

将西兰花干燥至水分含量8%~10%后, 立即用气引式粉碎机粉碎1min, 得到的西兰花超微粉过标准筛, PE包装袋包装, 室温条件下避光贮藏备用。

1.4 检测方法

1.4.1 粒度分布(筛分法)

将超微粉碎后的西兰花粉用80、160、200、500目的标准筛筛分, 对<80目、80~160目、160~200目、200~500目、>500目的西兰花粉进行称量, 计算质量百分比。

1.4.2 成分测定

取过500目的西兰花超微粉进行下列成分的测定, 重复3次。水分含量: 按GB/T 5009.3—2010《食品中水分的测定》规定的方法测定(以干基计); VC的测定: 采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[4](以干基计)测定; 总酚含量: 采用福

林试剂法^[5]测定(以干基计)。

1.4.2.1 叶绿素的测定

采用丙酮比色法。称取0.1g西兰花超微粉, 用80%丙酮溶解并用脱脂棉过滤定容于10mL容量瓶中, 得到叶绿素提取液以80%丙酮为空白, 于663、645nm波长处测得吸光度 A_{663nm} 、 A_{645nm} , 按式(1)计算叶绿素含量。

$$\text{叶绿素含量}/(\text{mg/g}) = \frac{20.2 \times A_{645nm} + 8.02 \times A_{663nm}}{m} \times V \quad (1)$$

式中: V 为提取液体积/L; m 为样品质量/g。

1.4.2.2 可溶性蛋白的测定

采用考马斯亮蓝染色法。标准曲线绘制: 0~5号管分别加入100μg/mL的标准蛋白液: 0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mL, 蒸馏水补齐到1.0mL, 各管中加入5mL考马斯亮蓝染液, 混匀后静置2min, 以0号管做空白对照, 在595nm波长处测吸光度。

样品液提取: 取0.5g西兰花超微粉用5.0mL蒸馏水溶解, 于4℃、12000×g离心20min, 取上清液1.0mL放入具塞试管, 加入5mL考马斯亮蓝染液, 混匀后静置2min, 在595nm波长处测吸光度, 按式(2)计算可溶性蛋白含量。

$$\text{可溶性蛋白含量}/(\text{mg/g}) = \frac{m_1 \times V}{V_s \times m_2 \times 1000} \quad (2)$$

式中: m_1 为标准曲线查得的蛋白质质量/μg; V 为提取液总体积/mL; V_s 为吸取样品液体积/mL; m_2 为样品质量/g。

1.4.3 物理性质测定

取过500目的西兰花超微粉进行物理性质的测定, 重复3次。

1.4.3.1 流动性的测定

参照林弘通^[6]的方法。将10g西兰花超微粉沿8cm高度漏斗落下至水平放置的平板上, 待粉完全落下后, 测定西兰花超微粉堆积斜面与平板的夹角, 记作休止角, 休止角越小表明其流动性越大。

1.4.3.2 持水力的测定^[7]

准确称取1.00g西兰花超微粉(m_1)于100mL烧杯中, 加入50mL蒸馏水, 磁力搅拌30min后, 2000r/min离心30min, 弃去上清液, 称取样品终质量(m_2), 按式(3)计算持水力。

$$\text{持水力}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

1.4.3.3 持油力的测定^[8]

准确称取4.00g西兰花超微粉(m_1)于100mL烧杯中, 加入20mL大豆色拉油, 磁力搅拌30min后, 2000r/min离心10min, 除去上层的大豆色拉油后, 称取样品终质量(m_2), 按式(4)计算持油力。

$$\text{持油力}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (4)$$

1.4.3.4 溶解度的测定

参照廖小军等^[9]的方法。将西兰花超微粉用蒸馏水配制成3g/100mL西兰花粉溶液, 30℃恒温水浴中保温5min, 装入离心管中摇匀, 以1000r/min转速离心10min, 测量离心管中沉淀物高度及溶液总高度, 以沉淀高度与液体总高度比值表示溶解性, 比值越小表示溶解性越大。

1.4.4 抗氧化活性测定

1.4.4.1 甲醇提取液制备

称取2.0g过500目的西兰花超微粉于250mL锥形瓶中, 加入50mL甲醇, 振荡24h, 过滤, 容量瓶定容至100mL, 于-18℃冰箱中保存待用^[10]。

1.4.4.2 DPPH自由基清除能力的测定^[11]

取一定质量浓度的样品甲醇溶液(1.5~3.0mg/mL)3mL加入5mL 6.34×10^{-5} mol/L的DPPH自由基乙醇溶液, 混匀后在室温条件下静置30min, 以5mL乙醇和3mL甲醇的混和液为参比, 测定517nm波长处的吸光度, 按式(5)计算DPPH自由基清除率。

$$\text{清除率}/\% = \frac{A_j - A_i + A_0}{A_j} \times 100 \quad (5)$$

式中: A_0 为空白对照液的吸光度(以甲醇代替样品液); A_i 为样品组的吸光度; A_j 为样品溶液本身的吸光度(以无水乙醇代替显色剂)。以样品质量浓度对DPPH自由基清除率作图, 求出清除率为50%时所需样品质量浓度, 即 IC_{50} 值。

1.4.4.3 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力的测定。

采用邻苯三酚氧化法^[12]测定。在10mL试管中加入3mL pH8.2 Tris-HCl 缓冲液1mL不同质量浓度的西兰花超微粉甲醇提取液, (25±0.5)℃水浴平衡20min后, 加入0.3mL 7mmol/L的邻苯三酚, 准确反应4min后加入1mL 10mol/L的HCl终止反应, 在420nm波长处测定其吸光度。 $O_2^{\cdot-}$ 清除率计算方法同DPPH自由基清除率的计算方法。

2 结果与分析

2.1 不同干燥工艺西兰花超微粉粒度分布

由表1可知, 真空冷冻干燥制得的西兰花超微粉粒度最小, 其中>500目的西兰花超微粉高达81.82%, 其次是热风干燥制得的西兰花超微粉, >500目西兰花超微粉为68.72%, 真空干燥制得的西兰花粉粒度>500目为57.76%, 其中80~160目的粒度占23.57%, 而热风干燥及

真空冷冻干燥的样品分别为9.00%和2.29%, 说明真空干燥西兰花粉粒度分布比较分散, 颗粒度较大, 不适宜西兰花超微粉的制备。西兰花经真空冷冻干燥后形状基本不变, 收缩性小, 相同质量的西兰花真空冷冻干燥后的体积明显大于其他干燥方式干燥的西兰花体积, 粉碎过程中物料之间接触面积增大, 碰撞频率增大, 从而粉碎粒度更小。因此真空冷冻干燥西兰花更有利于超微粉的生产。

表1 不同干燥方式的西兰花超微粉的粒度分布

Table 1 Particle size distribution of broccoli powder made by different drying methods

	%		
粒度分布/目	热风干燥	真空干燥	真空冷冻干燥
<80	3.80	0.00	0.00
80~160	9.00	23.57	2.29
160~200	6.20	6.59	4.59
200~500	12.24	12.08	11.30
>500	68.72	57.76	81.82

2.2 不同干燥方式对西兰花超微粉物理特性的影响

表2 不同干燥方式的西兰花超微粉的物理特性

Table 2 Physical characteristics of broccoli powder made by different drying methods

干燥方式	容重/(10 ⁻³ g/mL)	休止角/(°)	溶解性/%	持水力/%	持油力/%
热风干燥	0.40±0.70 ^a	37.87±0.02 ^b	0.65±0.03 ^b	5.22±0.04 ^b	3.83±0.04 ^b
真空干燥	0.41±0.50 ^b	38.66±0.03 ^a	0.44±0.02 ^c	4.44±0.03 ^a	3.55±0.08 ^a
真空冷冻干燥	0.30±0.80 ^c	41.63±0.04 ^c	0.80±0.01 ^a	6.07±0.04 ^c	4.04±0.07 ^c

注: 同列字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

由表2可知, 3种干燥方式生产的西兰花超微粉物理特性有显著性差异, 其中真空冷冻干燥的西兰花超微粉容重最小, 这可能由于真空冷冻干燥西兰花超微粉具有较大的比表面积和空隙度, 且含有大量密度较低的纤维的缘故^[13]。而其休止角最大, 说明流动性最差, 因为真空冷冻干燥制得的西兰花粉粒度最小, 对于同一种物料, 粒径愈小休止角愈大, 这是由于越细小粉粒间的相互黏附力越大^[14]。

3种西兰花超微粉的溶解性、持油力及持水力大小顺序均为: 真空冷冻干燥>热风干燥>真空干燥; 西兰花经超微粉碎后细胞内容物释放, 高聚物经高速剪切后, 含非极性末端较多的蛋白质的含量有所增加, 则吸油能力也随着增加。真空冷冻干燥粉的蛋白质含量较高, 故吸油能力也最强。真空冷冻干燥超微西兰花粉持水力最大, 这是因为真空冷冻干燥粉粒径小, 亲水和亲油基团暴露的数量较多, 颗粒比表面积较大, 有序结构被打乱, 水分子与羟基结合机会增多^[15], 同时物料间的孔隙增多使水分更容易渗入, 从而增大了其持水力^[16]。

2.3 不同干燥方式对西兰花超微粉营养成分的影响

表3 不同干燥方式的西兰花超微粉的营养特性

Table 3 Nutritional components of broccoli powder made by different drying methods

指标	热风干燥	真空干燥	真空冷冻干燥
水分含量/%	6.14±0.05 ^a	5.14±0.06 ^b	5.03±0.09 ^b
VC含量/(g/100g)	0.21±0.01 ^b	0.19±0.05 ^a	0.50±0.03 ^c
β -胡萝卜素含量/(μ g/g)	690.90±29.63 ^a	827.20±28.06 ^b	1030.40±65.36 ^c
叶绿素含量/(mg/g)	0.59±0.04 ^a	0.69±0.03 ^b	0.94±0.05 ^c
可溶性蛋白含量/(mg/g)	1.34±0.01 ^b	1.18±0.03 ^a	1.45±0.06 ^c
总酚含量/(mg/g)	5.32±0.07 ^a	5.81±0.08 ^b	6.10±0.09 ^c

由表3可知,真空冷冻干燥西兰花超微粉含水量较低,但其VC含量、 β -胡萝卜素含量、叶绿素含量、可溶性蛋白含量、总酚含量均显著($P<0.05$)高于热风干燥及真空干燥西兰花超微粉,因为真空冷冻干燥过程是将物料中的预冻成冰的水分直接升华干燥,真空低温的条件保护了易氧化成分并有利于物料中热敏性成份的保留^[17]。因此真空冷冻干燥西兰花超微粉营养价值较高。热风干燥及真空干燥过程中,高温使西兰花中的某些成分发生了化学变化^[18],导致营养物质的损失明显高于真空冷冻干燥的西兰花超微粉。

2.4 不同干燥方式对西兰花超微粉抗氧化活性的影响

2.4.1 清除DPPH自由基能力

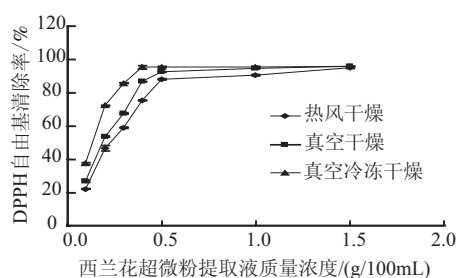


图1 不同干燥方式西兰花超微粉DPPH自由基清除能力

Fig.1 DPPH radical scavenging capacity of broccoli powder made by different drying methods

由图1可知,3种干燥方式制得的西兰花超微粉提取液对DPPH自由基均有一定的清除作用,西兰花超微粉提取液质量浓度 <0.5 g/100mL的范围内,随提取液质量浓度的增加而增大,相同质量浓度条件下,对DPPH自由基清除能力的大小为:真空冷冻干燥 $>$ 真空干燥 $>$ 热风干燥,且存在显著性差异($P<0.05$);西兰花超微粉提取液质量浓度 >0.5 g/100mL时,对DPPH自由基的清除能力均趋于平缓。

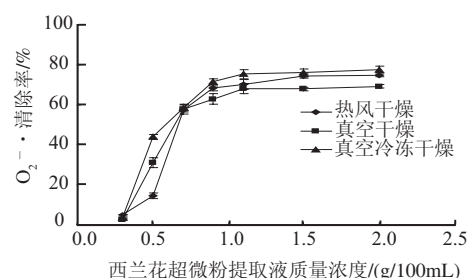
2.4.2 清除 $O_2^{\cdot-}$ 能力图2 不同干燥方式西兰花超微粉 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力

Fig.2 Superoxide anion radical scavenging capacity of broccoli powder made by different drying methods

由图2可知,3种干燥方式制得的西兰花超微粉的对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除能力随提取液质量浓度增加而增大。当西兰花超微粉提取液质量浓度 <0.9 g/100mL时,各超微粉清除 $O_2^{\cdot-}$ 的能力大小为:真空冷冻干燥 $>$ 真空干燥 $>$ 热风干燥;西兰花超微粉提取液质量浓度 >0.9 g/100mL时,随质量浓度增加对 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力增加减缓。

2.4.3 抗氧化能力的比较

表4 3种干燥方式生产的西兰花超微粉清除自由基的 IC_{50} 值比较Table 4 Comparisons of the IC_{50} values of broccoli powder made by different drying methods for scavenging both types of radicals

干燥方式	清除DPPH自由基	清除 $O_2^{\cdot-}$
热风干燥	0.245±0.001 ^a	0.720±0.010 ^a
真空干燥	0.210±0.015 ^b	0.710±0.068 ^a
真空冷冻干燥	0.130±0.016 ^c	0.650±0.010 ^b

由表4可知,3种干燥方式生产的西兰花超微粉清除DPPH自由基的能力均高于清除 $O_2^{\cdot-}$ 的能力,西兰花超微粉清除这两种自由基的 IC_{50} 值大小:真空冷冻干燥 $<$ 真空干燥 $<$ 热风干燥,即抗氧化活性大小为:真空冷冻干燥 $>$ 真空干燥 $>$ 热风干燥,且存在显著性差异。因此真空冷冻干燥的西兰花超微粉的抗氧化能力最高。

3 结论

3.1 真空冷冻干燥西兰花制得的西兰花超微粉中,粒度 >500 目的超微粉含量明显高于热风干燥及真空干燥制得的西兰花超微粉。

3.2 不同干燥方式对西兰花超微粉品质均有显著影响,真空冷冻干燥西兰花超微粉的溶解性、持水力及持油力均优于热风干燥及真空干燥西兰花超微粉。真空冷冻干燥西兰花超微粉营养特性显著优于热风干燥及真空干燥西兰花超微粉。

3.3 真空冷冻干燥制得的西兰花超微粉清除DPPH自由基、 $O_2^{\cdot-}$ 的能力均高于热风干燥及真空干燥制得的西兰花超微粉,其抗氧化活性最高。

参考文献:

- [1] 王晓梅, 崔坤. 中国西兰花应用价值及生产、出口前景分析[J]. 农业信息科学, 2008, 9(11): 478-480.
- [2] 方允中, 郑荣梁. 自由基生物学的理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 刘玉环, 杨德江, 冯九海, 等. 西兰花真空冷冻干燥的加工工艺及机理[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(10): 110-112.
- [4] 大连轻工业学, 无锡轻工大学, 天津轻工业学院. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1994.
- [5] 石碧, 狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 19-20.
- [6] 林弘通. 乳粉制造工程[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1987.
- [7] 郑惠, 王敏, 吴丹. 超微处理对苦荞麦理化及功能特性影响的研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(8): 5-9.
- [8] THOMPSON L U, CHO Y S. Chemical composition and functional properties of acylated low phytate rapeseed protein isolate[J]. Food Sci, 1984, 49(6): 1584-1587.
- [9] 廖小军, 胡小松, 刘葳. 胡萝卜粉的理化性质及其应用研究[J]. 食品科学, 2004, 25(2): 61-64.
- [10] 方雪花. 鲜切南瓜生理特性与南瓜粉抗氧化活性[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 5.
- [11] 梁云. 几种天然抗氧化剂抗氧化性能比较研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [12] 吴雪辉, 张喜梅, 李延群, 等. 板栗花粗提物的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(1): 14-19.
- [13] 张钟, 刘晓明. 不同干燥方法对生姜粉物理性质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 186-188.
- [14] 黎冬明. 超微百合全粉的制备及其理化特性的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- [15] 史俊丽. 超微细化大米淀粉的制备和特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [16] 吴茂玉, 葛邦国. 苦瓜超微膳食纤维粉的研究[J]. 食品科技, 2007(3): 72-75.
- [17] SANTOS P H S, SILVA M A. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables: a review[J]. Drying Technology, 2008, 26: 1421-1437.
- [18] 宋宏新, 刘晓阳. 四种干燥方法生产番茄粉的品质特性研究[J]. 食品科技, 2006(8): 101-104.