

干燥方法对黄秋葵抗氧化能力的影响

徐康, 杜金华*

(山东农业大学 食品科学与工程学院, 山东 泰安, 271018)

摘要 为明确不同干燥方法对黄秋葵品质的影响, 优选其干燥技术, 以新鲜黄秋葵果实为原料, 分别采用热风、冷冻、微波、自然干燥方法干制, 测定不同干制方法得到的黄秋葵干果中膳食纤维、果胶、黄酮等物质的含量, 评价不同干制方法所得果实的抗氧化能力。结果表明: 干燥方法并不影响黄秋葵中总膳食纤维、总糖、总氮和灰分的含量。可溶性膳食纤维、果胶、黄酮与 Vc 含量均以冷冻干燥果实最高, 依次为 14.21%、7.38%、1.72% 和 322.7 mg/kg, 与新鲜果实中含量均无显著性差异 ($P>0.05$); 不同方法干制后黄秋葵中总酚含量降低。自然干燥的黄秋葵总还原力 (FRAP 值) 最低为 0.767 mmol/L, 而其他干制样品与新鲜黄秋葵的总还原力 (0.856 mmol/L) 相近且无显著性差异 ($P>0.05$); 冷冻干燥及新鲜果实对 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基、羟自由基 ($\cdot\text{OH}$) 的清除率较高, 但新鲜果实对超氧阴离子 ($\text{O}_2^{\cdot-}$) 的清除率则均高于干制后的黄秋葵。综合分析认为, 冷冻干燥能较好保持新鲜黄秋葵的营养成分和抗氧化能力, 可作为黄秋葵即食加工的首选方法; 自然干燥成本低, 处理量大, 所得干果中果胶含量高, 适用于食品精深加工用黄秋葵的干制处理。

关键词 黄秋葵; 干燥方法; 膳食纤维; 果胶; 黄酮; 总酚; 抗氧化能力

黄秋葵 [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench] 为锦葵科葵属一年生草本植物, 广泛栽培于热带、亚热带地区, 而我国则主要于江西、贵州、广西、广东等地种植。黄秋葵嫩果可供食用, 其中的多糖、蛋白质、维生素等营养成分丰富^[1-2]。黄秋葵性喜温暖, 不耐霜冻, 产品采收供应期集中, 保质期短^[3], 即使在较好的保存条件下, 也仅有 8 d 贮藏期, 且易出现表皮变黑、质地变软等现象^[4], 不利于产品的周年均衡供应, 严重影响了黄秋葵加工业的发展。

目前脱水蔬菜虽具备贮运方便、生产淡旺季可调节的优势, 但其品质因加工技术的不同差异较大。有研究发现脱水加工可显著影响果蔬产品的外观、营养、口感和风味, 干制后的蔬菜质量会不同程度地降低^[5-6]。AKBUDAK 等研究认为, 微波干燥的欧芹产品色泽、质构及 Vc 含量等理化品质均不及真空干燥产品, 但优于热风干燥产品^[7]。干燥方法因工艺参数的不同, 除显著影响果蔬产品的营养和感官特征外, 还可导致产品抗氧化能力的差别^[8]。ADELAKUN 等研究证实, 高温处理会导致黄秋葵种子中 Vc 和其他营养成分的损失, 降低其抗氧化能力^[9]。郭兴峰等^[10]研究得出冷冻干燥的荷花花瓣中

总黄酮、总酚和花青素含量较高, 抗氧化能力较强, 热风、微波干燥次之, 自然干燥较低。

黄秋葵含有黄酮、多酚、Vc 等多种抗氧化成分, 其体外抗氧化能力也是评价黄秋葵品质的重要指标。目前尚未见关于黄秋葵加工方法对其抗氧化能力影响的报道。因此, 本文主要研究不同干燥方法对黄秋葵果实营养物质含量与抗氧化能力的影响, 旨在优化黄秋葵干燥加工技术, 改善其食用质量, 延长其贮藏期, 改进目前黄秋葵的消费结构。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄秋葵采收于山东农业大学园艺试验站, 供试品种为“绿箭”。取花后 11 d 的果实采摘, 初始含水量为 91.8%。热稳定 α -淀粉酶、蛋白酶和淀粉葡萄糖苷酶, D-半乳糖醛酸 ($\geq 97\%$), DPPH, 美国 Sigma-Aldrich 公司; 间羟基联苯 ($\geq 97\%$), 东京化成工业株式会社; 2, 4, 6-三吡啶基三嗪 (TPTZ, 99%), 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 其他试剂均为分析纯以上级别。

FX101-3 型电热鼓风干燥箱, 上海树立仪器仪表有限公司; UV-2100 型分光光度计, 尤尼柯 (上海) 仪器有限公司; LXJ-II B 离心机, 上海安亭科学仪器厂; SX₂ 系列箱式电阻炉, 上海阳光实验仪器有限公司; ALPHA 1-2 LD PLUS 冷冻干燥机, 德国 Marin Christ

第一作者: 硕士研究生 (杜金华教授为通讯作者, E-mail: djh@sdau.edu.cn)。

基金项目: 泰安市大学生科技创新行动计划 (No. 2014D012) 资助
收稿日期: 2015-08-26, 改回日期: 2015-10-01

公司;QW-86L728 型超低温冰箱,青岛海尔股份有限公司;G80F23MN3XL-A7K(R4)微波炉,广东格兰仕微波炉电器制造有限公司;Labtec DT 208 消解系统,Kjeltec™ 8200 型凯氏定氮仪,福斯华(北京)科贸有限公司。

1.2 实验方法

选择无腐烂、无病虫害的新鲜黄秋葵,清洗、沥干、去蒂,横切成 0.5 cm 左右的小段混匀,随机分成 4 等份,每份 1 000 g。分别采用以下方法处理:(1)热风干燥(hot-air drying, HD),105℃杀青 30 min,50℃干燥 24 h;(2)冷冻干燥(freeze drying, FD),超低温(-80℃)冷冻 12 h 后真空干燥 24 h;(3)微波干燥(microwave drying, MD),280 W 微波处理 20 min;(4)自然干燥(natural drying, ND),自然环境中晾晒 7 d。干燥后果实含水量依次为 10.2%、13.2%、10.8%和 9.3%。干果粉碎后过筛(60 目),以相同批次采摘的新鲜果实(fresh fruit, FF)作对照。

1.3 分析方法

1.3.1 营养与抗氧化成分分析

膳食纤维采用酶-重量法^[11];总糖采用苯酚硫酸法,以葡萄糖计^[12];Vc 采用 2, 6-二氯靛酚滴定法^[13];总氮采用凯氏定氮法^[14];灰分采用灼烧法^[15];果胶采用间羟基联苯法,以半乳糖醛酸计^[16];总酚采用福林-肖卡法,以没食子酸计,黄酮采用亚硝酸钠-硝酸铝法,以芦丁计^[17]。

1.3.2 抗氧化能力分析

(1)样品制备:取黄秋葵干粉 0.100 0 g 于 10 mL 去离子水中,60℃水浴 30 min,5 000 r/min 离心 10 min,取上清液待测。

(2)DPPH 自由基清除能力^[18]:取待测样品 0.6 mL,加入 0.1 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液 3.9 mL,混匀后 37℃避光水浴 1 h,517 nm 处测定吸光度值 A 。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{[A_0 - (A_1 - A_2)]}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: A_0 为用蒸馏水代替样品溶液时的 A 值, A_1 为被测样品的 A 值, A_2 为用无水乙醇代替 DPPH 溶液时的 A 值,以 0.1 g/L 的 Vc、0.05 g/L 的没食子酸作阳性对照。

(3) $O_2^- \cdot$ 清除能力^[19]:取 pH = 8.0 的 Tris-HCl 缓冲溶液 4.5 mL,25℃预热 20 min,依次加入待测样品 0.1 mL、邻苯三酚($c = 2.5$ mmol/L)0.4 mL 混匀,25℃反应 5 min,立即加入 8.0 mol/L 的 HCl 0.1 mL 终止反应,325 nm 处测定吸光度值 A 。

$$O_2^- \cdot \text{清除率}/\% = \frac{[A_0 - (A_1 - A_2)]}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

式中: A_0 为用蒸馏水代替样品溶液时的 A 值, A_1 为被测样品的 A 值, A_2 为用蒸馏水代替邻苯三酚溶液时的 A 值,以 0.2 g/L 的 Vc、0.2 g/L 的没食子酸作阳性对照。

(4) $\cdot OH$ 清除能力^[20]:依次取 0.2 mmol/L 的磷酸缓冲液(pH = 7.4)2 mL、被测样品 1 mL、0.75 mmol/L 的 $FeSO_4$ 1 mL,混匀后加入 0.01% 的 H_2O_2 1 mL,振荡摇匀,再加入 0.75 mmol/L 的邻二氮菲无水乙醇溶液 1 mL,37℃保温 60 min,536 nm 处测定吸光度值 A 。

$$\cdot OH \text{ 清除率}/\% = \frac{(A_1 - A_2)}{(A_0 - A_2)} \times 100 \quad (3)$$

式中: A_1 为被测样品的 A 值, A_2 为用蒸馏水代替样品溶液时的 A 值, A_0 为用蒸馏水代替 H_2O_2 的 A 值,以 0.5 g/L 的 Vc、0.1 g/L 的没食子酸作阳性对照。

(5)总还原力^[21]:取样品 0.1 mL、FRAP 溶液(pH = 3.6 的 0.3 mol/L 的醋酸盐缓冲液 25 mL、10 mmol/L 的 TPTZ 溶液 2.5 mL、20 mmol/L 的 $FeCl_3$ 溶液 2.5 mL 混合,现用现配)4 mL 混匀,37℃反应 10 min,593 nm 处测定吸光度值 A 。以 1.0 mmol/L 的 $FeSO_4$ 为标准,样品 FRAP 值以达到同样 A 值时所需 $FeSO_4$ 的毫摩尔数表示。以 0.1 g/L 的 Vc、0.05 g/L 的没食子酸作阳性对照。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 处理数据,采用 DPS7.05 进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 干燥方法对黄秋葵营养成分的影响

不同干燥方法获得黄秋葵干果的营养成分含量如表 1 所示。黄秋葵干果与新鲜果实中总膳食纤维的含量为 40.07% ~ 42.69%,无显著性差异($P > 0.05$)。除冷冻干燥外,其他干燥方式获得的干果与新鲜果实中不溶性膳食纤维的含量均存在显著性差异($P < 0.05$),尤以自然干燥果实含量最高,为 31.45%,较新鲜果实增加 22.95%。可溶性膳食纤维含量的比较结果与不溶性膳食纤维相反,以冷冻干燥和新鲜果实含量最高,微波、热风干燥样品含量依次减少,自然干燥样品含量最低为 11.24%,较新鲜果实降低 22.48%。分析原因可能是由于自然干燥过程中果实失水较慢,且环境温度适于相关酶类的活

动,果实逐渐老化,可溶性膳食纤维转化为不溶性膳食纤维所致。由表 1 试验结果结合 4 种干燥方式的条件分析认为,干燥温度越高,所得干燥产品中的不溶性膳食纤维含量越高,表明热作用会促进不溶性膳食纤维的形成,降低黄秋葵中膳食纤维在食品中的利用效率。自然、冷冻干燥的黄秋葵中果胶含量与新鲜果实接近且均无显著性差异,但热风、微波干燥果实

中果胶含量较新鲜果实分别降低 17.91% 和 15.98%,可能是由于热风和微波干燥的条件温度更有利于果胶酶(包括果胶甲酯酶)发挥作用导致果胶降解所致。此外,不同干燥方法获得的黄秋葵果实中总糖、总氮、灰分含量均无显著性差异,即 3 种营养成分不受干燥方法的影响。

表 1 干燥方法对黄秋葵果实营养成分含量的影响
Table 1 Effect of drying methods on the nutrient content of okra fruits

处理组	总膳食纤维	不溶性膳食纤维	可溶性膳食纤维	总糖	总氮	灰分	果胶
FF	40.07 ± 0.46 ^a	25.58 ± 1.04 ^c	14.50 ± 0.53 ^a	21.43 ± 0.61 ^a	2.75 ± 0.09 ^a	6.90 ± 0.26 ^a	7.41 ± 0.34 ^a
HD	42.47 ± 2.46 ^a	29.90 ± 1.46 ^{ab}	12.57 ± 0.75 ^{bc}	20.78 ± 1.75 ^a	2.68 ± 0.11 ^a	6.79 ± 0.69 ^a	6.08 ± 0.30 ^b
FD	40.77 ± 2.24 ^a	26.56 ± 1.20 ^c	14.21 ± 0.50 ^a	20.63 ± 0.63 ^a	2.74 ± 0.11 ^a	6.76 ± 0.44 ^a	7.38 ± 0.35 ^a
ND	42.69 ± 3.25 ^a	31.45 ± 0.74 ^a	11.24 ± 1.08 ^c	20.27 ± 1.27 ^a	2.71 ± 0.10 ^a	6.62 ± 0.20 ^a	7.35 ± 0.44 ^a
MD	42.40 ± 0.52 ^a	29.41 ± 2.21 ^b	12.98 ± 0.72 ^{ab}	20.69 ± 0.76 ^a	2.69 ± 0.09 ^a	6.54 ± 0.34 ^a	6.23 ± 0.22 ^b

注:每列中不同字母表示差异性显著(P<0.05)。表 2 同。

2.2 干燥方法对黄秋葵抗氧化成分的影响

蔬菜在干燥失水过程中,由于细胞膜透性的改变,细胞内的一些主要物质如淀粉、糖、蛋白质等在酶的作用下可分解成小分子物质;此外也不乏总酚、黄酮等抗氧化活性物质在种类和数量上的变化,这与生物活性物质在组织损伤时极易受到酶、金属离子、温度、光照等内外因素的影响有关。

表 2 干燥方法对黄秋葵果实抗氧化成分含量的影响
Table 2 Effect of drying methods on the antioxidant content of okra fruits

处理组	黄酮/(% (干重))	总酚/(% (干重))	Vc/(mg · kg ⁻¹ 鲜重)
FF	1.70 ± 0.16 ^a	2.56 ± 0.37 ^a	348.6 ± 28.2 ^a
HD	1.42 ± 0.14 ^b	1.93 ± 0.24 ^{bc}	52.7 ± 7.1 ^c
FD	1.72 ± 0.16 ^a	2.25 ± 0.33 ^{ab}	322.7 ± 29.9 ^a
ND	1.10 ± 0.08 ^c	1.63 ± 0.13 ^c	86.3 ± 6.1 ^b
MD	1.27 ± 0.12 ^{bc}	1.76 ± 0.11 ^c	49.2 ± 6.5 ^c

从表 2 可以看出,不同干燥方法获得的黄秋葵果实中黄酮、总酚含量变化趋势均以冷冻干燥果实含量最高,分别为 1.72% 和 2.25%,且与新鲜果实无显著性差异;热风干燥次之,微波、自然干燥果实最低,其总酚含量分别较新鲜果实依次降低 24.61%、31.25% 和 36.33%,黄酮含量依次降低 16.47%、25.29% 和 35.29%。黄秋葵干果中总酚含量的变化可能是由于干燥过程中多酚氧化酶(PPO)活性和作用时间的差别所致。冷冻和热风(50℃)干燥均能有效抑制 PPO 活性,减少酶反应时间;而自然干燥条件适合 PPO 活性的保持,加之干燥时间长,PPO 的作用

时间长,果实中较多的多酚物质被氧化,使得该法获得产品中总酚含量较低。干燥方法对黄秋葵果实中 Vc 含量影响显著,除冷冻干燥果实中 Vc 含量与新鲜果实无显著性差异外,其他干燥方式均导致果实中 Vc 含量显著降低。Vc 的氧化通常存在有氧和无氧降解两条途径,但以有氧降解途径为主;在光照、热作用条件下,特别是氧化酶及痕量铜、铁等金属离子存在时,可促进 Vc 的氧化破坏。自然、热风和微波干燥分别导致 Vc 含量较新鲜果实降低 75.24%、84.88% 和 85.89%。因此,在黄秋葵加工过程中可通过隔氧、降低干燥温度和热作用时间的方法来减少 Vc 的损失。

综上所述,加热干燥会导致黄秋葵中黄酮、总酚和 Vc 等抗氧化物质含量不同程度地降低,热作用越强,降低趋势越明显。冷冻干燥则可较好的保留新鲜黄秋葵中的营养物质和抗氧化成分,是黄秋葵即食加工的首选方法。自然干燥方法成本低、处理量大,干制产品与新鲜黄秋葵果实中果胶含量接近,适用于食品精深加工所需黄秋葵的干制处理。

2.3 干燥方法对黄秋葵果实 DPPH 自由基清除能力的影响

由于不同抗氧化物质清除自由基的种类和能力存在差异,目前难以采用一种标准方法来准确评价其抗氧化能力^[22]。DPPH 能形成稳定的醇溶性自由基,是评价活性成分体外抗氧化活性的最常用方法之一。

如图 1 所示,不同干燥方法黄秋葵果实均对 DP-

PH 自由基具有较强的清除能力(清除率 > 69%),以冷冻干燥果实的清除率最高为 78.72%,且与新鲜黄秋葵果实、微波干燥果实对 DPPH 自由基的清除率无显著性差异($P > 0.05$),但热风、自然干燥果实对 DPPH 自由基的清除率较新鲜果实分别降低 8.17% 和 8.15%。分析原因可能是由于加热作用使原本与氢过氧游离基迅速反应的抗氧化物质反应速度变慢,在空间上难以接近 DPPH 自由基而表现为对其清除能力的降低^[23]。与阳性对照相比,新鲜黄秋葵果实、冷冻和微波干燥果实对 DPPH 自由基的清除能力依次达到 0.1 g/L Vc 的 83.9%、90.1% 和 87.3%,达到 0.05 g/L 没食子酸的 82.0%、88.1% 和 85.4%;而热风、自然干燥果实对 DPPH 自由基的清除能力仅为 0.1 g/L Vc 的 77.0%、80.1%,0.05 g/L 没食子酸的 75.3%、78.3%。

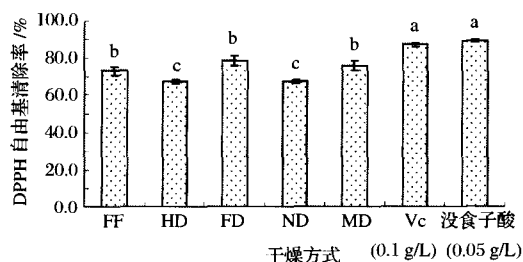


图1 干燥方法对黄秋葵果实 DPPH 自由基清除能力的影响

Fig. 1 Effect of drying methods on scavenging activity against DPPH · of okra fruits

YANG 等^[21]采用主成分分析法研究得到总酚、总黄酮含量与鸡骨草对 DPPH 自由基的清除能力均呈显著性正相关,相关系数分别为 0.957 和 0.860 ($P < 0.01$),是影响其体外抗氧化活性的主要因素。图 1 中不同干燥方法黄秋葵果实对 DPPH 自由基清除能力的比较,结果与总酚、黄酮含量(表 2)一致,说明黄秋葵果实中总酚、黄酮同样是影响其对 DPPH 自由基清除能力的重要因素。以上分析结果在先前对芦笋^[23]、西兰花和其他果蔬^[24]抗氧化能力的研究中同样得到证实。

2.4 干燥方法对黄秋葵果实 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力的影响

由图 2 可以看出,干燥处理可显著降低黄秋葵果实对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除能力,即使冷冻干燥果实的清除率变化最小,也仅为 16.34%,显著低于新鲜果实对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率(34.16%);微波干燥果实次之,热风、自然干燥果实对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率变化最大,两者之间无显著性差异。与阳性对照相比,所有样品对

$O_2^{\cdot-}$ 的清除能力均显著低于 0.2 g/L Vc 的清除能力(40.2%);但 0.2 g/L 没食子酸对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率较低,虽显著高于热风、微波和自然干燥果实,但不及新鲜黄秋葵果实,与冷冻干燥果实的清除率无显著性差异。图 2 中干燥处理后的黄秋葵果实对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除能力显著降低,与不同干燥方法黄秋葵果实中总酚、黄酮含量的比较结果(表 2)差别较大,说明总酚、黄酮含量对黄秋葵果实的 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力的贡献较小。鸡骨草中总酚、总黄酮含量与其 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力的相关系数分别为 0.812 和 0.708 ($P < 0.01$),也得到同样证实^[21]。

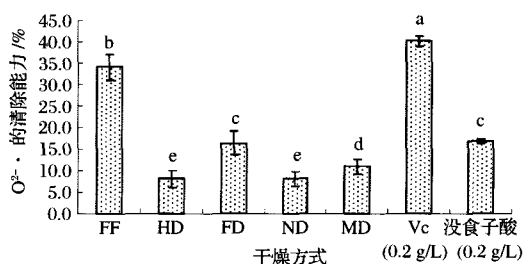


图2 干燥方法对黄秋葵果实 $O_2^{\cdot-}$ 清除能力的影响

Fig. 2 Effect of drying methods on scavenging activity against $O_2^{\cdot-}$ of okra fruits

2.5 干燥方法对黄秋葵果实 ·OH 清除能力的影响

由图 3 可知,冷冻干燥与新鲜黄秋葵果实对 ·OH 清除能力无显著性差异,其他干燥方式处理后黄秋葵果实对 ·OH 的清除率均有不同程度地降低,以自然干燥组果实的清除率变化最为显著。热风、自然、微波干燥果实对 ·OH 的清除率分别为 56.36%、48.09% 和 53.01%。与阳性对照相比,所有样品对 ·OH 的清除率均不及阳性对照 0.5 g/L 的 Vc 和 0.1 g/L 的没食子酸。新鲜黄秋葵、冷冻干燥果实对 ·OH 的清除率可分别占到 0.5 g/L Vc 的 83.8%、84.7%,0.1 g/L 没食子酸的 71.6%、72.3%;而热风、微波和自然干燥果实对 ·OH 的清除率仅为 0.5 g/L Vc 的 56.3% ~ 66.0%,0.1 g/L 没食子酸的 48.1% ~ 56.4%。

2.6 不同干燥方法黄秋葵果实总还原力的比较

具有还原能力的物质能够还原脂质过氧化过程中的中间体,从而表现抗氧化作用,因此,总还原力可反映活性成分的体外抗氧化能力^[25]。

从图 4 可以看出,自然干燥所得黄秋葵果实的亚铁还原能力最低为 0.77 mmol/L。除自然干燥外,其他干燥方式黄秋葵果实与新鲜果实水提液的亚铁还

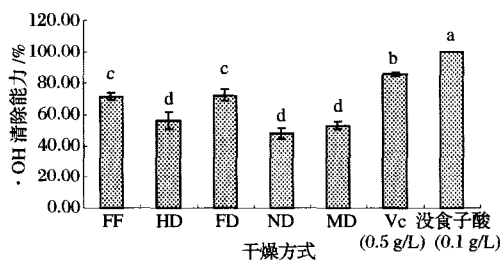


图3 干燥方法对黄秋葵果实·OH清除能力的影响

Fig. 3 Effect of drying methods on scavenging activity against ·OH of okra fruits

原能力相近,为0.86~0.88 mmol/L,无显著性差异($P>0.05$),但均显著低于阳性对照0.1 g/L Vc和0.05 g/L 没食子酸。不同干燥方式对黄秋葵果实亚铁还原能力影响的比较结果与对DPPH自由基、 $O_2^{\cdot-}$ 、·OH清除能力的比较结果(图1~图3)不同,推其原因可能是黄秋葵中的总酚、黄酮和Vc等抗氧化物质对其亚铁还原能力的影响较小,其抗氧化活性同时受到起始反应、金属离子、过氧化物分解、光照等众多因素的影响所致^[26]。

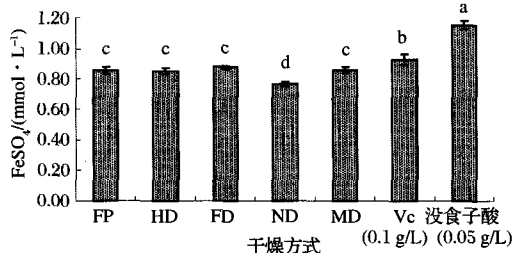


图4 干燥方法对黄秋葵果实总还原力的影响

Fig. 4 Effect of drying methods on total reducing capacity of okra fruits

3 结论

黄秋葵中总糖、总氮和灰分等营养物质含量不受干燥方法的影响。加热干燥可降低黄秋葵中黄酮、总酚和Vc等抗氧化成分含量及其抗氧化能力。冷冻干燥能较好地保留与新鲜黄秋葵果实相近的可溶性膳食纤维、果胶、黄酮和Vc含量及其抗氧化活性,可作为黄秋葵鲜食加工的首选方法。自然干燥的黄秋葵中可溶性膳食纤维、黄酮、总酚和Vc含量低,抗氧化能力低,但其果胶含量较高;该法成本低,处理量大,适用于食品精深加工所需黄秋葵的干制处理。

参 考 文 献

[1] 徐康. 采收期对黄秋葵果实品质及风味物质的影响

[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41 (4): 207-211.

- [2] SANTOS I F, SANTOS A M P, BARBOSA U A, et al. Multivariate analysis of the mineral content of raw and cooked okra (*Abelmoschus esculentus* L.) [J]. Microchemical Journal, 2013, 110(9): 439-443.
- [3] ILARIA M, LUCIA C, MARIO M, et al. *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. and *Abelmoschus moschatus* Medik: Seeds production and analysis of the volatile compounds [J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 34-40.
- [4] SALEHA M A, EL-GIZAWY A M, EL-BASSIOUNY R E L, et al. Effects of anti-coloring agents on blackening inhibition and maintaining physical and chemical quality of fresh-cut okra during storage [J]. Annals of Agricultural Science, 2013, 58 (2): 239-245.
- [5] LIN Y P, LEE T Y, TSEN J H, et al. Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79 (4): 1 295-1 301.
- [6] FANG Z X, DAN W, DONG Y, et al. Phenolic compounds in Chinese purple yam and changes during vacuum frying [J]. Food Chemistry, 2011, 128 (4): 943-948.
- [7] AKBUDAK N, AKBUDAK B. Effect of vacuum, microwave, and convective drying on selected parsley quality [J]. International Journal of Food Properties, 2013, 16 (1): 205-215.
- [8] SAGAR V R, KUMAR P S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables [J]. Journal of Food Science and Technology, 2010, 47 (1): 15-26.
- [9] ADELAkun O E, OYELADE O J, ADE-OMOWAYE B I O, et al. Chemical composition and the antioxidative properties of nigerian okra seed (*Abelmoschus esculentus* Moench) flour [J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(6): 1 123-1 126.
- [10] 郭兴峰, 傅茂润, 杜金华, 等. 不同干燥方法对荷花花瓣抗氧化活性和化学成分的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2010, 36 (2): 145-149.
- [11] GB/T 5009.88—2008. 食品中膳食纤维的测定 [S].
- [12] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. Analytical Chemistry, 1956, 28 (3), 350-356.
- [13] GB/T 6195—1986. 水果、蔬菜维生素C含量测定法(2,6-二氯酚酚滴定法) [S].
- [14] GB 5009.5—2010. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S].
- [15] GB 5009.4—2010. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S].
- [16] MAMUN A M. Effect of drying methods on the functional

- properties of soy hull pectin [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 61(3): 362–367.
- [17] ORDONEZ A A L, GOMEZ J D, VATTUONE M A, et al. Antioxidant activities of *Sechium edule* (Jacq.) Swartz extracts [J]. Food Chemistry, 2006, 97(3): 452–458.
- [18] PAN Y M, HE C H, WANG H S, et al. Antioxidant activity of microwave-assisted extract of *Buddleia officinalis* and its major active component [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 497–502.
- [19] WU P P, MA G Z, LI N H, et al. Investigation of in vitro and in vivo antioxidant activities of flavonoids rich extract from the berries of *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk [J]. Food Chemistry, 2015, 173: 194–202.
- [20] TIAN F, LI B, JI B P, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of consecutive extracts from *Galla chinensis*: The polarity affects the bioactivities [J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 173–179.
- [21] YANG M, SHEN Q, LI L Q, et al. Phytochemical profiles, antioxidant activities of functional herb *Abrus cantoniensis* and *Abrus mollis* [J]. Food Chemistry, 2015, 177: 304–312.
- [22] PRIOR R L, WU X L, SCHAICH K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(10): 4290–4302.
- [23] FAN R, YUAN F, WANG N, et al. Extraction and analysis of antioxidant compounds from the residues of *Asparagus officinalis* L [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5): 2690–2700.
- [24] SUN T. Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices [J]. Food Chemistry, 2007, 105(1): 101–106.
- [25] ZHAO H F, CHEN W F, LU J, et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers [J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1150–1158.
- [26] GULCIN I, BUYUKOKURO ĞLU M E, OKTAY M, et al. Antioxidant and analgesic activities of turpentine of *Pinus nigra* Arn Subsp. *Pallsiana* (Lamb.) Holmboe [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2003, 86(1): 51–58.

Effects of drying methods on antioxidant capacities of okra fruit

XU Kang, DU Jin-hua*

(College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

ABSTRACT In order to research the effects of drying methods on the quality of fresh okra, the drying process was optimized. The dietary fiber, pectin and flavonoid were determined in different drying methods, including hot-air drying (HD), freeze drying (FD), microwave drying (MD) and natural drying (ND). The nutrition and antioxidant capacity of okra fruits were then evaluated. The results showed that total dietary fiber, sugar, protein and ash contents were not affected by the drying methods. Among four drying methods, the FD has the highest soluble dietary fiber (14.21%), pectin (7.38%), flavonoid (1.72%) and Vc (322.7 mg/kg) content, it had no significant difference with fresh okra fruits ($P > 0.05$). The total phenol content of okra fruits were decreased after drying in all four methods. The total reducing capacity of okra fruits dehydrated by ND was the lowest (0.767 mmol/L), but other drying methods were almost the same as fresh okra (0.856 mmol/L). For the scavenging capacities against DPPH and $\cdot\text{OH}$, FD sample and fresh fruits were better than other drying methods. However, the scavenging capacity against O_2^- of fresh okra was significantly higher than any other drying method. Therefore, freeze drying method, which could retain the nutrition and antioxidant capacity of fresh okra, should be the primary processing method in ready-to-eat okra food processing. Air drying method has the advantages on low cost, large processing load, and higher pectin content, and can be used in drying of further processing of dehydrated okra products.

Key words okra; drying method; dietary fiber; pectin; flavonoid; total phenol; antioxidant capacity