

# 不同加工工艺的青豆粉营养品质及风味变化分析

康志敏, 张康逸, 朱笑鹏, 高玲玲, 温青玉, 张灿

(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450008)

**摘要:** 与鲜青豆进行比较, 研究煮制青豆、烤制青豆、冻干青豆对青豆粉的基本成分、抗氧化性能和香气成分的影响。结果表明: 不同加工工艺的青豆粉的淀粉、粗蛋白、总黄酮和总酚含量差异显著 ( $p < 0.05$ ), 冷冻干燥青豆粉中总黄酮和总酚含量分别为 0.40 g/g 和 0.96 mg/g; 煮制青豆中总黄酮和总酚含量分别为 0.30 g/g 和 0.71 mg/g; 冷冻干燥、煮制后的青豆所得青豆粉的自由基清除力、还原力能力较高, 而炒制所得青豆粉的抗氧化能力最低。运用固相微萃取-气相色谱-质谱联用对鲜青豆和 3 种加工工艺的青豆粉的香气物质进行分析, 鲜青豆、煮制后热风干燥的青豆粉、烤制干燥青豆粉和冷冻干燥青豆粉各自鉴定出 17、20、41 种和 21 种挥发性香气成分。综合分析, 冷冻干燥和煮制后干燥的青豆粉抗氧化能力较高, 能够较好的保存青豆的营养价值, 对于青豆的香气也有较好的保留和增加。众所周知冷冻干燥会能耗较大, 因此, 可选择煮制后热风干燥制作青豆粉。

**关键词:** 青豆粉; 加工工艺; 抗氧化性能; 香气成分

文章编号: 1673-9078(2019)010-205-212

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.028

## Effect of Different Processing Technics on the Antioxidant Properties and Aromatic Composition of Green Bean Powder

KANG Zhi-min, ZHANG Kang-yi, ZHU Xiao-peng, GAO Ling-ling, WEN Qing-yu, ZHANG Can

(Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

**Abstract:** The effects of three processing technics (boiling, baking and freeze drying) on the basic components, antioxidant properties and aromatic composition of green bean powder were investigated. The results showed that the contents of starch, protein, flavonoids and polyphenols in flours prepared by different processing technologies were significantly different ( $p < 0.05$ ). The contents of total flavonoids and polyphenols in the green bean flour prepared by freeze drying were 0.40 g/g and 0.96 mg/g, respectively, and that in the green bean flour prepared by boiling method were 0.30 g/g and 0.71 mg/g, respectively. Compared to the baking technology, the free radical scavenging activity and reducing power of the flour prepared by boiling or freeze drying were found to be the highest. The antioxidant power of the powder obtained by baking green beans was the lowest. Analysis by solid-phase micro extraction (SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) showed that a total of 17, 20, 41 and 21 volatile compounds were identified in fresh green beans, boiling, baking and freeze drying flours, respectively. Comprehensive analysis showed that the freeze drying and boiling green bean powder had higher antioxidant capacity. These above technologies could better preserve the nutritional value of green beans, and could better retain and increase the aroma of green beans. Due to a lot of energy consumption of freeze drying, boiling technology and then by hot air was selected.

**Key words:** green soybean powder; processing technic; antioxidant properties; aromatic composition

青豆是种皮为青绿色的大豆, 为豆科大豆属一年生草本植物。青仁青豆除具有普通黄大豆的营养价值外, 还具有纯天然绿色、独特浓郁青豆香味等特点。富含蛋白质、脂肪等营养成分及总酚、黄酮、花青素等多种抗氧化成分<sup>[1,2]</sup>, 青豆中的蛋白质不仅含量高而且品质优良, 可与肉、蛋中的蛋白质相媲美, 易被人体吸收利用, 是植物食物中唯一含有完全蛋白质的食

收稿日期: 2019-05-25

基金项目: 河南省重大科技专项项目 (151100111300)

作者简介: 康志敏 (1986-), 女, 助理研究员, 研究方向: 食品加工

通讯作者: 张康逸 (1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品科学

物。青豆不含胆固醇, 可预防心血管疾病, 并减少癌症发生<sup>[3]</sup>。每天吃两盘青豆, 可降低血液中的胆固醇。青豆含有儿茶素以及表儿茶素两种类黄酮抗氧化剂<sup>[4-6]</sup>, 可抵御自由基对人体的侵害, 延缓身体衰老速度, 还有消炎、广谱抗菌的作用。

随着人民生活水平的不断提高, 人们的膳食结构发生了很大变化。对鲜食青豆的需求已从单一型向多元型转变。但目前青豆加工业开发深度还不够, 没有真正体现出其自身的价值, 因此亟需加大青豆的开发力度, 生产优质新产品, 不断丰富国内外的鲜食青豆市场, 提高其产品附加值。目前青豆仅作为日常蔬菜

摄入,限制了其在人们饮食中的作用,将新鲜青豆制作成青豆粉,可将其作为膳食调理配料添加到主食中,将大大强化人们营养物质摄入的途径。新鲜青豆有豆腥味,未经熟制的青豆不易消化,过量食用会对人体健康产生影响,研究指出,加热处理可减轻豆类不良风味,是一种可行的方法,经加热后会产生香味也可掩盖豆腥味。新鲜青豆熟制制粉的方法可采用煮制制粉、炒制制粉,还可以进行冷冻干燥制粉。但目前关于加工工艺和干燥方式对青豆粉的品质影响研究较少,因此本实验旨在探讨不同加工工艺对青豆粉的基本营养成分、抗氧化性能以及香气成分的影响,以期对青豆粉的工业化生产提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

青豆粉,市售。

DW-86W420 速冻机,海尔集团;BCD-202TD 冰箱,海信电器;DHG-9240A 鼓风干燥箱,上海精宏设备有限公司;电子天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;Hunter color Flex EZ 型色差仪,美国 Hunter lab;A590 双光束紫外可见分光光度计,翱艺仪器有限公司;YSN-X1T 电热食品烘炉,广州优连食品加工机械有限公司;MY-010 型烘炒机,曲阜市明远机械厂;K1100 全自动凯式定氮仪、SOX500 型脂肪测定仪,山东海能科学仪器有限公司;7980A/5975 DGC-MS 联用仪,美国 Agilent 公司;MB45 水分测定仪,奥豪斯仪器(上海)有限公司;YP-N 型电子分析天平,上海精密仪器仪表有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 不同干燥工艺青豆粉的制作

煮制后低温烘干青豆粉:鲜青豆→清洗→煮制(沸水煮 30 min)→低温干燥(55℃、12 h)→粉碎→过筛(100 目)→成品

炒干青豆粉:鲜青豆→清洗→油浴炒制干燥(125℃、6 h)→粉碎→过筛(100 目)→成品

冻干青豆粉:鲜青豆→清洗→真空冷冻干燥(-4℃、18 h)→粉碎→过筛(100 目)→成品

#### 1.2.2 青豆粉基本成分的测定

水分含量的测定:参照 GB 5009.3-2010 直接干燥法<sup>[7]</sup>;粗蛋白含量的测定:参照 GB 5009.5-2010 凯氏定氮法;粗脂肪含量的测定:参照 GB/T 5009.6-2003 索氏抽提法<sup>[8]</sup>;淀粉含量的测定:参照 GB/T 5009.9-2008 旋光法<sup>[9]</sup>。

#### 1.2.3 青豆粉抗氧化成分的测定

##### 1.2.3.1 青豆粉总黄酮含量的测定

采用 NaNO-A1(NO)<sub>3</sub> 络合法测定样品中的黄酮含量<sup>[10]</sup>,方法稍作修改。取提取液 0.5 mL 与 0.5 mL 5% 的 NaNO<sub>2</sub> 溶液漩涡混匀,室温下放置 6 min,加入 0.5 mL 10% 的 AlCl<sub>3</sub> 溶液振荡,静置 6 min,再加入 2.5 mL 1 mol/L NaOH 溶液和 1 mL 蒸馏水混匀,室温下避光反应 15 min,在 510 nm 波长处测定吸光度。以芦丁含量(mg/mL)为纵坐标,吸光度为横坐标,得回归方程为  $y=0.0429x-0.0001$  ( $R^2=0.9996$ )。样品黄酮含量用 100 g 干基所含芦丁的当量毫克数表示。

##### 1.2.3.2 青豆粉总酚的测定

采用 Folin-ciocalteu 测定法<sup>[11]</sup>,取 0.1 mL 提取液于试管中,2.8 mL 去离子水和 0.1 mL 1.0 mol/L Folin-ciocalteu 试剂,混合均匀。静置 8 min 后加入 2 mL 75 g/L 碳酸钠溶液,摇匀,密封室温下避光,2 h 后于 765 nm 测定吸光值,平行测试 3 次,以  $\varphi=1\%$  盐酸乙醇做空白,没食子酸做标准曲线,建立的回归方程为:  $y=0.0024x+0.0258$  ( $0\leq x\leq 100 \mu\text{g/g}$ ,  $R^2=0.9996$ ),式中  $y$  为吸光度值, $x$  为没食子酸质量分数( $\mu\text{g/g}$ ),总酚含量以每克干燥样品中所含的相当于没食子酸的量表示。

#### 1.2.4 青豆粉抗氧化能力的测定

取 2.0000 g 青豆粉,加入 80 mL 体积分数 70% 乙醇溶液,于 80℃ 恒温水浴锅中避光浸提 30 min,提取液在 3000 r/min 离心 10 min,取上清液作为青豆抗氧化物质提取液,置于冰箱备用<sup>[12]</sup>。青豆粉抗氧化能力根据 DPPH 自由基清除率、羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )清除能力。

##### 1.2.4.1 DPPH 自由基清除率测定

用乙醇配制浓度为 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液,避光备用。取 3.0 mL DPPH 溶液与 3.0 mL 青豆抗氧化物质提取液摇匀,避光放置 30 min,在波长 517 nm 处测定吸光度  $A_x$ 。同时将 3.0 mL DPPH 溶液与 3.0 mL 乙醇混合后避光放 30 min,在波长 517 nm 处测定吸光度  $A_0$ ,以乙醇作为空白<sup>[13]</sup>。按下面公式计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{DPPH}/\% = (1 - A_x/A_0) \times 100\%$$

##### 1.2.4.2 $\cdot\text{OH}$ 清除能力测定

在试管中加入 9.0 mmol/L 乙醇-水杨酸溶液、9.0 mmol/L FeSO<sub>4</sub> 各 1.0 mL,加入 1.0 mL 青豆抗氧化物质提取液及 12 mL 去离子水,加入 1.0 mL 8.8 mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液混匀,避光于 37℃ 水浴加热 15 min,在波长 510 nm 处测定吸光度  $A_x$  (以蒸馏水做空白调零)。同时以蒸馏水替代 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 测定吸光度  $A_{x0}$  (以蒸馏水做

空白调零),以蒸馏水替代抗氧化物质提取液测定吸光度  $A_0$  (参比溶液为不加  $H_2O_2$  的体系)<sup>[14]</sup>。按下面公式计算·OH清除率。

$$\text{羟基自由基清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_X - A_{X_0})}{A_0} \times 100\%$$

#### 1.2.4.3 总还原能力测定

在试管中加入 0.2 mol/L pH 6.6 的磷酸缓冲液、青豆抗氧化物质提取液、质量分数为 1% 的铁氰化钾溶液各 2 mL, 混匀, 置于 50 °C 水浴锅中加热 20 min, 冷却至室温, 加入 10% 三氯乙酸溶液 2 mL 混匀, 使反应终止。另取一试管, 分别加入反应液 5 mL、去离子水 4 mL 及质量分数为 0.1% 的  $FeCl_3$  溶液 0.5 mL, 混匀避光反应 30 min, 在波长 700 nm 处测定其吸光度<sup>[15]</sup>。

#### 1.2.5 GC-MS 分析风味成分

设置进样口温度为 250 °C, 将固相微萃取头放入进样口活化 20 min; 称取 10 g 样品置于萃取瓶中, 60 °C 水浴加热 20 min, 然后将固相微萃取头放入萃取瓶 60 °C 萃取 100 min, 吸附样品中的挥发性物质。吸附结束后将萃取头放入进样口, 开始采集数据, 在进样口解吸 5 min 后, 拔出萃取头进行检测。

GC 条件: 色谱柱: 进样口温度 250 °C, HP-5MS 弹性石英毛细管柱 (30 m×250  $\mu$ m, 0.25  $\mu$ m), 柱箱程序升温过程: 40 °C 保持 3 min, 以 10 °C/min 升到 90 °C, 再以 15 °C/min 升到 230 °C, 载气: 高纯氮气 (99.999%), 流速为 1.0 mL/min; 进样方式: 无溶剂延迟, 采用不分流进样。

MS 条件: 电子轰击式离子源 (EI), 电子能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 气质接口温度 250 °C, 定性与定量分析: GC-MS 图谱峰经计算机与人工检索与 NIST 08.LIT 谱库中的标准化合物检索鉴定, 匹配度大

于 800 的为鉴定结果, 确定挥发性成分的化学组成, 按峰面积归一化法计算相对含量。

### 1.3 数据统计与分析

采用 Origin Pro 8.0 软件绘图。采用 SPSS 16.0 统计分析实验数据, 每组实验均重复 3 次, 取平均值, 数据结果以平均值±标准偏差表示, 并进行单因素方差分析和相关性分析, 采用 *t* 检验, 当  $p < 0.05$  时, 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同加工工艺青豆粉主要营养成分分析

由表 1 可知, 不同方式制作的青豆粉蛋白质、淀粉、脂肪、总黄酮及总酚含量不同, 不同加工工艺的青豆粉的淀粉、粗蛋白含量差异显著 ( $p < 0.05$ ), 烤制的青豆粉蛋白含量较高, 冻干青豆粉的淀粉含量较高为 48.89%, 烤制和冻干方式制作的青豆粉脂肪含量较高, 煮制对青豆粉脂肪损失较大。鲜青豆总黄酮含量较高, 冻干青豆粉次之, 冷冻干燥青豆粉中总黄酮和总酚含量分别为 0.398 g/g 和 0.96 mg/g, 显著高于其他 2 种加工方式 ( $p < 0.05$ ); 烤制青豆粉总黄酮含量最低; 鲜青豆总酚含量较高, 冻干青豆粉、煮制干燥后的青豆粉次之, 烤制青豆粉总酚含量最低, 说明烤制方式对青豆营养成分变化影响较大, 烤制过程温度较高, 这可能会导致如黄酮类和酚类等抗氧化物质的分解, 冷冻干燥由于处于低温条件, 对青豆全粉的黄酮及总酚保护较好; 烤制干燥条件下的黄酮及总酚含量损失较多。因此, 冷冻干燥、煮制后干燥对于青豆粉各营养成分保存较好。

表1 不同加工工艺青豆粉营养成分

Table 1 Main components of soybean powder subjected by different processing technics

加工工艺	水分含量/%	蛋白质含量/%	淀粉含量/% (湿基)	脂肪含量/%	总黄酮/(g/100 g)	总酚/(mg/g)
煮制青豆粉		18.05±0.14 <sup>c</sup>	46.16±0.62 <sup>b</sup>	1.36±0.09 <sup>b</sup>	0.30±0.02 <sup>b</sup>	0.71±0.06 <sup>c</sup>
烤制青豆粉		18.58±0.09 <sup>a</sup>	38.82±1.02 <sup>c</sup>	1.73±0.11 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>b</sup>	0.60±0.04 <sup>c</sup>
冻干青豆粉		18.32±0.11 <sup>b</sup>	48.89±1.13 <sup>a</sup>	1.64±0.12 <sup>a</sup>	0.40±0.05 <sup>a</sup>	0.96±0.07 <sup>b</sup>
鲜青豆 (对照)					0.40±0.02 <sup>a</sup>	1.18±0.10 <sup>a</sup>

注: 同列若字母相同, 表明差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 若字母都不相同, 表明差异性显著 ( $p < 0.05$ )。下同。

### 2.2 不同加工工艺青豆粉抗氧化性的分析

DPPH 是一种很稳定的氮中心的自由基, 有单电子, 在 517 nm 处有一强吸收, 其醇溶液呈紫色, 当有自由基清除剂存在时, 由于与其单电子配对而使其吸收逐渐消失, 其褪色程度与其接受的电子数量成定量关系, 因此可以利用分光光度计测定用于评价样品的

体外抗氧化能力。由图 1 可知, 鲜青豆清除 DPPH 自由基能力最强, 冻干青豆粉次之, 烤制青豆粉清除 DPPH 自由基能力最弱; 鲜青豆、烤制青豆粉、煮制青豆与冻干青豆粉清除 DPPH 自由基能力差异显著; 羟基自由基 (·OH) 是一种重要的活性氧, 是由氢氧根 (OH<sup>-</sup>) 失去一个电子形成, 它是自然界中仅次于氟的氧化剂, 在人体内羟基自由基的含量较大, 危害也最严重, 由

图1可以看出,羟基自由基清除率最高的为鲜青豆,烤制青豆粉羟基自由基清除率最低,鲜青豆、烤制青豆粉、煮制青豆与冻干青豆粉羟基自由基清除率差异显著。

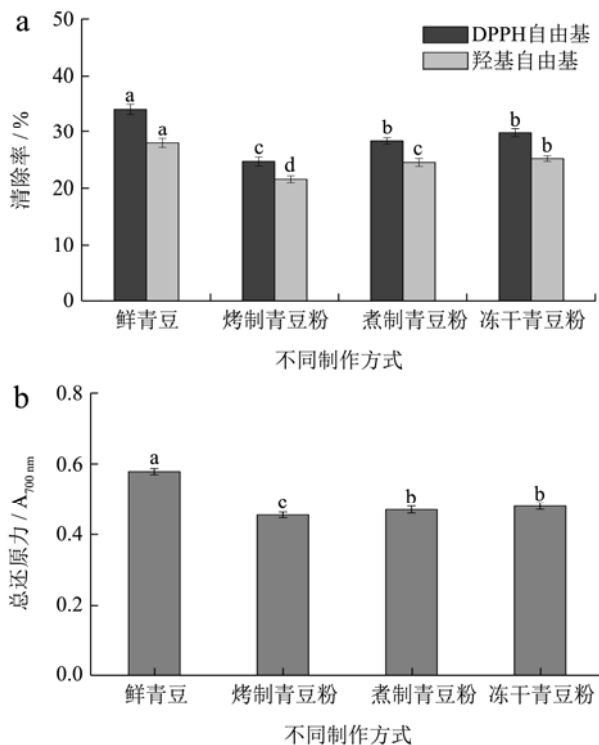


图1 不同加工工艺对青豆粉自由基清除能力、还原能力的影响

Fig.1 Effects of different processing techniques on the free radical scavenging capacity and reducing power of soybean powder

物质还原力越大,说明其抗氧化性越强,由图1可知,鲜青豆粉的还原力较大,经不同方式处理,冷冻干燥、煮制后的青豆所得青豆粉的自由基清除力、还原力能力较高,而炒制所得青豆粉的抗氧化能力最低。上述结果与不同干燥方式处理的样品总酚、总黄酮含量变化趋势一致。

### 2.3 GC-MS挥发性风味成分分析

青豆粉经不同干燥处理所含化学成分经相互作用,产生不同的风味物质<sup>[16]</sup>。不同制作方式青豆对应的总离子流色谱图如图2所示,挥发性成分及相对含量见表2,由结果可知,检测到的鲜青豆和3种不同干燥方式青豆粉的挥发性气体物质共有75种,其中包括醇类17种、醛类8种、酮类8种、烃类32种、酯类8种、杂环类2种。鲜青豆、煮制后热风干燥的青豆粉、烤制干燥青豆粉和冷冻干燥青豆粉各自鉴定出17、20、41种和21种挥发性香气成分。说明青豆经烤制后制粉,风味化合物的种类增加。煮制后的青豆粉与冷冻干燥的青豆粉风味物质种类数量与鲜青豆粉数量差别不大。

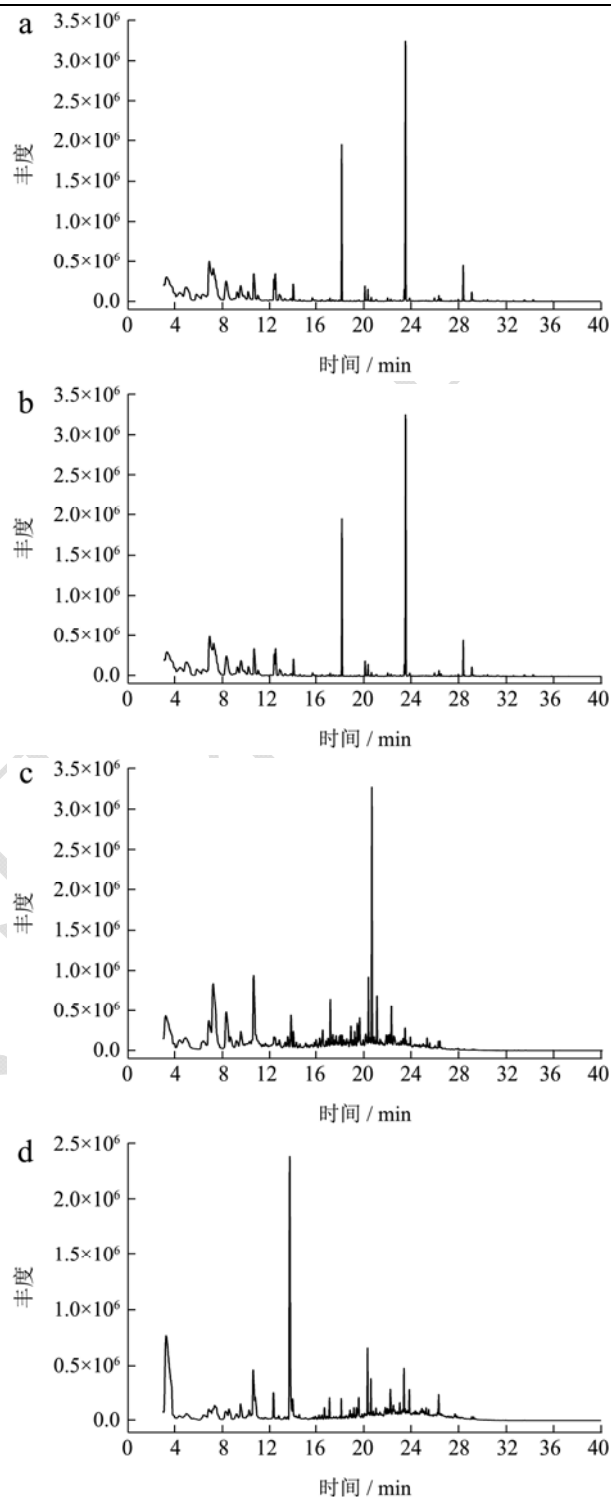


图2 青豆挥发性成分总离子流图

Fig.2 Total ion current chromatogram of volatile compounds from green soybeans

注: a: 鲜青豆, b: 煮制青豆, c: 烤制青豆, d: 冻干青豆。

由表2可知,鲜青豆产生的醇类物质有2种,相对含量为45.87%,其中1-辛烯-3-醇相对含量高达35.22%,1-辛烯-3-醇可以呈现出柔和的蘑菇香气和铃

兰香气;煮制干燥的青豆粉产生的醇类物质有6种,相对含量为15.49%,烤制青豆粉产生的醇类物质有9种,相对含量为13.42%,冻干青豆粉产生的醇类物质有4种,相对含量为8.94%,可以看出鲜青豆醇类物质含量最高,烤制青豆粉醇类物质种类最多。鲜青豆产生的醛类物质有3种,相对含量为19.14%,煮制干燥的青豆粉产生的醛类物质有4种,相对含量为54.41%,烤制青豆粉产生的醛类物质有6种,相对含量为16.97%,冻干青豆粉产生的醛类物质有3种,相对含量为44.56%,可以看出煮制干燥后的青豆粉醛类物质含量最高,正己醛呈现青草气及苹果香气,在煮制干燥的青豆粉和冻干青豆粉香气中相对含量分别高达

45.72%和35.94%。

酮类一般被认为呈脂香和焦香香气,并且随着碳链增长呈现出增强的花香气息。鲜葛根的酮类香气物质相对含量仅为9.84%,煮制干燥青豆粉、烤制青豆粉、冷冻干燥青豆粉的酮类香气物质相对含量分别为3.26%、1.54%和28.88%。

烤制青豆粉烷烃类、烯烃类、酯类物质分别有10、5、7种,相对含量都是最高,分别为21.2%、23.51%、3.92%;烤制青豆粉含有2-正戊基呋喃,相对含量为16.89%,该物质是典型的油脂氧化产物,具有豆香、果香、青香及类似蔬菜的香气<sup>[17]</sup>,而2-正戊基呋喃是食品热加工中Maillard反应的典型产物<sup>[18]</sup>。

表2 不同加工工艺对青豆粉香气成分的影响

Table 2 Effects of different processing technics on the relative contents of aromatic components in soybean powder

序号	类别	挥发性风味物质	分子式	相对含量/%			
				鲜青豆 (对照)	煮制干燥 青豆粉	烤制 青豆粉	冻干 青豆粉
1	醇类	3-辛醇	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O		1.58	4.89	1.34
2		2-(苯基亚甲基)庚醇	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>			1.91	
3		3-壬烯-1-醇	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O			2.13	
4		2-甲基-1-癸醇	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> O			0.29	
5		2-(1-甲乙烯基)-4-己烯-1-醇	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O			0.23	
6		2-己基-1-癸醇	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> O			0.87	
7		5β-胆甾烷-3α-醇	C <sub>28</sub> H <sub>48</sub> O			0.72	
8		2-甲基-1-十六烷醇	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> O			1.15	
9		表蓝桉醇	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O		0.85	1.23	
10		3,5-辛二烯-2-醇	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O		1.76		2.07
11		2,5-二甲基环己醇	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O				3.16
12		表甘露糖醇	C <sub>17</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>				2.37
13		1-辛烯-3-醇	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	35.22			
14		2-癸烯-1-醇	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	10.65			
15		异蒲勒醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O		0.64		
16		3,4-二甲基环己醇	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O		9.81		
17		α,α-4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O		0.85		
总和				45.87	15.49	13.42	8.94
18	醛类	己醛	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O		45.72	5.98	35.94
19		庚醛	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O			0.40	
20		反-2-十二烯醛	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O			0.96	
21		壬醛	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	12.62	6.27	8.30	6.79
22		十三醛	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> O			0.27	
23		癸醛	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	4.41	0.81	1.06	
24		十二醛	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O	2.11			1.83
25		2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O		1.61		
总和					19.14	54.41	16.97

转下页

接上页							
26		1-乙酰氧基 3-甲基-2-环己烯-1-酮	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>3</sub>	1.18			
27		(266-三甲基, 2-环己烯, 1 基)2 丁烯 1 酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	0.36			
28		3,5-辛二烯-2-酮	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	1.62	3.59		
29		2-乙基-3-羟基-4-氢-吡喃-4-酮	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>		24.33		
30	酮类	顺式-1-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-2-丁烯-1-酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O		0.96		
31		3-(1-甲基乙烯基)环己酮	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	9.34			
32		橙化基丙酮	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	0.50			
33		4-(2,6,6-三甲基环己基-2-烯)-3-丁烯-2-酮	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	1.64			
总和				9.84	3.26	1.54	28.88
34		醚十二烷	C <sub>14</sub> H <sub>25</sub> F <sub>3</sub> O <sub>2</sub>		0.81		
35		正十二烷	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	1.32	2.61		
36		2,6,10-三甲基十四烷	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	3.03	7.53	5.17	
37		2,6-二甲基十七烷	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>		0.56		
38		正十四烷	C <sub>15</sub> H <sub>27</sub> F <sub>3</sub> O <sub>2</sub>		0.47		
39		4 甲基十四烷	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>		1.14		
40		2,6-10,14 二甲基十七烷	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>		1.57		
41		1,2,3-三甲基环己烷	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub>		0.72		
42		十四烷	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	1.95	2.50	3.47	3.47
43	烷烃	2,6-10,14 二甲基十七烷	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>		2.32		
44		十三烷	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>			1.12	
45		6-甲基十三烷	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>			0.24	
46		10-甲基十九烷	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>			0.27	
47		四甲基十四烷	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>			0.59	
48		2,6-10,14 二甲基十七烷	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>			1.29	
49		正十五烷	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	1.88	2.03	2.54	
50		2,6,11-三甲基十二烷	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	0.59			
51		十六烷	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	1.01			
52		十七烷	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	1.58			
总和				7.01	8.88	21.2	14.69
53		柠檬烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>			7.14	
54		长叶环烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>		1.01	1.14	
55		长叶烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>		11.26	11.82	
56		石竹烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>		3.06	2.63	
57		27 三甲基乙酸香芹烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>			0.78	
58	烯烃	3,6,6-三甲基双环[3.1.1]庚-2-烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.49			
59		1,5,5-三甲基 1-3-亚甲基-1-环己烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	5.31			
60		1-甲基-4-(1-甲基亚乙基)环己烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	4.10			
61		1-十四(碳)烯	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub>	2.54			
62		柏木烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>		0.77		
总和				15.44	16.1	23.51	0

转下页

接上页				
63		丁基羟基甲苯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	0.60
64	芳香烃	1-甲氧基-4-[(Z)-1-丙烯基]苯	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	0.91
65		2,6-二叔丁基对甲酚; 3,5-二叔丁基-4-羟基甲苯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1.54
总和				0.60 2.45
66		(1R-外型)-1,7,7-三甲基 二环[2.2.1]庚-2-醇乙酸酯	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.08
67		乙酸氯代十六烷基酯	C <sub>18</sub> H <sub>35</sub> ClO <sub>2</sub>	0.51
68		肉豆蔻脑酸甲酯	C <sub>15</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	0.41
69	酯类	异长叶醇甲酯	C <sub>16</sub> H <sub>28</sub> O	0.48
70		乙酸橙花叔醇酯	C <sub>17</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	0.92
71		甲氧基乙酸十四酯	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>3</sub>	0.24
72		十二酸乙酯	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	0.28
73		3,7,11-三甲基-1,6,10- 十二烷三烯-3-甲酸酯	C <sub>16</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	0.48
总和				0 0 3.92 0.48
74	杂环化合物	2-正戊基咪喃	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	16.89
75		2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O	1.62

### 3 结论

不同干燥制作方式对青豆粉的基本成分、抗氧化能力及香气成分会产生影响。冻干青豆粉的淀粉含量较高为48.89%，烤制和冻干方式制作的青豆粉脂肪含量较高，煮制对青豆粉脂肪损失较大，与鲜青豆相比，冻干方式对青豆的各项营养物质均有较好的保存，各项指标都明显优于煮制干燥和烤制后的产品。总黄酮和总酚是青豆中主要的抗氧化物质，冷冻干燥下青豆粉的总黄酮和总酚含量最高，其自由基清除力和还原力也最好，而烤制所得青豆粉的抗氧化能力最低。对不同制作方式青豆粉的挥发性风味成分进行分析，检测到的鲜青豆和3种不同干燥方式青豆粉的挥发性气体物质共有75种，其中包括醇类17种、醛类8种、酮类8种、烃类32种、酯类8种、杂环类2种。鲜青豆、煮制后热风干燥的青豆粉、烤制干燥青豆粉和冷冻干燥青豆粉各自鉴定出17、20、41种和21种挥发性香气成分。鲜青豆的主要香气成分为1-辛烯-3-醇、2-癸烯-1-醇和壬醛。3种干燥方式青豆粉香味物质中醇类大量减少，主体香气成分为醛酮类和烃类，比起烤制青豆粉，煮后干燥的和冷冻干燥对于青豆粉中的香气成分有更好的保留和增加效果。整体而言，冷冻干燥和煮制后干燥的青豆粉抗氧化能力较高，能够较好的保存青豆的营养价值，对于青豆的香气也有较好的保留和增加。众所周知冷冻干燥会能耗较大，因此综合考虑，可选择煮制后热风干燥制作青豆粉。

### 参考文献

- [1] 王乐, 卞清德, 马英昌, 等. 东北地区青豆和青豆油的产生原因及品质分析[J]. 中国油脂, 2010, 35(10): 18-20  
WANG Le, BIAN Qing-de, MA Ying-chang, et al. Cause and quality analysis of immature soybeans and green soybean oil in northeast China [J]. China Oils and Fats, 2010, 35(10): 18-20
- [2] Sakhivelu G, Akitha Devi M K, Giridhar P, et al. Isoflavone composition, phenol content, and antioxidant activity of soybean seeds from India and Bulgaria [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56: 2090-2095
- [3] Ghavidel R A, Prakash J. The impact of germination and de-hulling on nutrients, anti-nutrients, *in vitro* iron and calcium bioavailability and *in vitro* starch and protein digestibility of some legume seeds [J]. LWT-Food Sci Technol, 2007, 40: 1292-129
- [4] Kumar V, Rani A, Pandey V, et al. Changes in lipoxygenase isozymes and trypsin inhibitor activity in soybean during germination at different temperatures [J]. Food Chem, 2006, 99: 563-568
- [5] Bau H-M, Guillaume C, Nicolas J-P, et al. Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and anti nutritional factors of soybean (glycine max) seeds [J]. J Sci Food Agric, 1997, 73: 1-9
- [6] Shi H, Nam P K, Ma Y. Comprehensive profiling of

- isoflavones, phytosterols, tocopherols, minerals, crude protein, lipid, and sugar during soybean (glycine max) germination [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58: 4970-4976
- [7] 国家标准化管理委员会. 食品中水分的测定:GB 5009.3-2010[S].北京:中国标准出版社,2010  
Standardization administration. Determination of Moisture in Foods: GB 5009.3-2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010
- [8] 国家标准化管理委员会. 食品中脂肪的测定:GB/T 5009.6-2003[S].北京:中国标准出版社,2003  
Standardization administration. Determination of Fat in Foods: GB/T 5009.6-2003 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2003
- [9] 中华人民共和国卫生部. 食品中淀粉的测定:GB/T 5009.9-2008 [S].北京:中国标准出版社,2008  
Ministry of Health of the People's Republic of China. Determination of Starch in Foods: GB/T 5009.9-2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008
- [10] Ma Y, Guo X, Liu H, et al. Cooking, textural, sensorial, and antioxidant properties of common and Tartary buckwheat noodles [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2013, 22 (1): 153-159
- [11] HU Qing-ping, XU Jian-guo. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected colorwaxy corn grains during maturation [J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59: 2026-2033
- [12] Arda S, Vural G, Alptekin K, et al. Phytochemical quantification and total antioxidant capacities of emmer (*Triticum dicoccon* Schrank) and einkorn (*Triticum monococcum* L.) wheat landraces [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(16): 7285-7292
- [13] Liu J, Yan J, Lin S, et al. Purification and identification of novel antioxidant peptides from egg white protein and their antioxidant activities [J]. *Central African Journal of Medicine*, 2015, 175(9): 258-266
- [14] Sun X, Sun Y, Zhang Q, et al. Screening and comparison of antioxidant activities of poly saccharides from *Coriolus versicolor* [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 69(8): 12-19
- [15] Sun Y, Yang B, Wu Y, et al. Structural characterization and antioxidant activities of  $\kappa$ -carrageenan oligosaccharides degraded by different methods [J]. *Food Chemistry*, 2015, 178: 311-318
- [16] Huang F, Guo Y, Zhang R, et al. Effects of drying methods on physicochemical and immunomodulatory properties of polysaccharide-protein complexes from litchi pulp [J]. *Molecules*, 2014, 19(8): 12760-12776
- [17] 卜会青,孙婷婷,黄忠白,等.加工温度对鳗鲡挥发性成分影响的研究[J].*食品工业科技*,2017,38(3):317-321  
BU Hui-qing, SUN Ting-ting, HUANG Zhong-bai, et al. Effect of temperature on the volatile compounds of dried salted *Muraenesox cinereus* [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(3): 317-321
- [18] Sides A, Robards K, Helliwell S, et al. Changes in the volatile profile of oats induced by processing [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(5): 2125-2130

(上接第 91 页)

- [26] 叶盼,赵黎明,蒋丽华,等.发酵苹果汁的抗氧化性能变化[J].*食品与发酵工业*,2016,42(4):114-119  
YE Pan, ZHAO Li-min, JIANG Li-hua, et al. Changes on antioxidant activity of fermented apple juice [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(4): 114-119
- [27] 蒋增良,毛建卫,黄俊,等.蓝莓酵素在天然发酵过程中抗氧化性能的变化[J].*食品工业科技*,2013,34(2):194-197,201  
JIANG Zeng-liang, MAO Jian-wei, HUANG Jun, et al. Changes in antioxidant activity of blueberry-ferment during natural fermentation process [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(2): 194-197, 201
- [28] 蒋增良,毛健卫,黄俊,等.葡萄酵素在天然发酵过程中体外抗氧化性能的变化[J].*中国食品学报*,2014,14(10):29-33  
JIANG Zeng-liang, MAO Jian-wei, HUANG Jun, et al. Changes in antioxidant activity of grape-ferment *in vitro* during natural fermentation process [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(10): 29-33
- [29] 关成冉,蒋欣容,马雁,等.复合乳酸菌发酵果蔬乳饮料的研制[J].*食品研究与开发*,2019,40(3):75-82  
GUAN Chen-ran, JIANG Xin-rong, MA Yan, et al. Preparation of fruit and vegetable milk beverage fermented by mixed lactic acid bacteria [J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(3): 75-82
- [30] 李祎,王萍.龙葵果汁发酵工艺优化及其抗炎、抑菌活性评价[J].*现代食品科技*,2017,33(6):248-254  
LI Yi, WANG Ping. Optimization of fermentation process for *Solanum nigrum* L. juice and evaluation of its anti-inflammatory and antibacterial activities [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(6): 248-254