



# 江苏省春播鲜食大豆主栽品种营养和功能品质研究

郭鲁平<sup>1,2</sup>, 黄璐<sup>1</sup>, 程茜<sup>1,3</sup>, 张晓燕<sup>1</sup>, 袁星星<sup>1</sup>, 陈新<sup>1</sup>, 薛晨晨<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院 经济作物研究所, 江苏 南京 210014; 2. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013; 3. 南京财经大学 食品科学与工程学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:**为探究江苏省春播鲜食大豆主栽品种营养成分和功能成分的组成与差异,以台湾 292、新 3 号和苏新 6 号为研究对象,对营养组成(脂肪、蛋白质、可溶性糖、氨基酸组成、糖组分)和功能成分相关指标(总酚、总黄酮、6 种异黄酮组分和抗氧化活性)进行了比较分析。结果表明:鲜食大豆的氨基酸主要以天冬氨酸和谷氨酸为主,苏新 6 号的总氨基酸含量最高,为  $37.38\text{ g}\cdot(100\text{ g})^{-1}$ ;糖组分中,蔗糖( $47.93\sim63.45\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )是鲜食大豆的主要糖组分;鲜食大豆主要以糖苷型异黄酮形式( $64.17\sim95.67\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )存在,而苷元型异黄酮为  $23.6\sim33.88\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。不同品种间营养及功能品质都有显著性差异,台湾 292 可溶性糖和蔗糖含量最高,甜味较好,DPPH 和 ABTS 自由基清除能力最强;苏新 6 号具有高蛋白质和高氨基酸含量,且有较高的苷元型异黄酮含量。综上所述,营养成分上,苏新 6 号更符合消费者对鲜食大豆营养品质的要求,功能特性上,台湾 292 具有较高的抗氧化活性。

**关键词:**江苏省;鲜食大豆;主栽品种;营养组成;功能成分

## Nutritional and Functional Properties of Major Spring Sowing Vegetable Soybean Cultivars in Jiangsu Province

GUO Lu-ping<sup>1,2</sup>, HUANG Lu<sup>1</sup>, CHENG Xi<sup>1,3</sup>, ZHANG Xiao-yan<sup>1</sup>, YUAN Xing-xing<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>1</sup>, XUE Chen-chen<sup>1</sup>

(1. Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Food and Bioengineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 3. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** In order to investigate the nutritional and functional properties of the major spring sowing vegetable soybean cultivars in Jiangsu province, the nutritional composition (fat, protein, soluble sugar, amino acid composition, and sugar composition) and functional components (total phenolic and flavonoid contents, six isoflavone composition and antioxidant activity) were analyzed in three vegetable soybean varieties (Taiwan 292, Xin 3 and Suxin 6). The results indicated that seventeen amino acids were detected in vegetable soybeans including seven essential amino acids. Glutamate and asparagine were found as the main amino acids in the three vegetable soybeans. Suxin 6 had the highest total amino acid content of  $37.38\text{ g}\cdot(100\text{ g})^{-1}$ . Sucrose ( $47.93\sim63.45\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) was the main sugar component in vegetable soybeans. And most of isoflavones in vegetable soybeans existed in the form of glycosidic isoflavones ( $64.17\sim95.67\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). The aglycone isoflavones content ranged from  $23.6$  to  $33.88\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . There were significant differences in nutritional and functional qualities among different varieties. Taiwan 292 had the higher soluble sugar and sucrose contents, which showed better sweet taste. In addition, Taiwan 292 showed the strongest DPPH and ABTS radical scavenging capacities. Suxin 6 exhibited high levels of protein and amino acids, and showed higher aglycone isoflavone content. In conclusion, in terms of nutritional quality, Suxin 6 possessed the characteristics that better suited to consumers' request. In terms of functional quality, Taiwan 292 had high antioxidant activity.

**Keywords:** Jiangsu province; vegetable soybean; major cultivars; nutritional composition; functional quality

鲜食大豆俗称毛豆,是指荚籽粒饱满,荚色和籽粒都呈翠绿色时采青食用的大豆<sup>[1-2]</sup>,具有营养丰富、风味独特、市场供应期长、潜力大、经济效益好等特点<sup>[3]</sup>。亚洲是世界最大的鲜食大豆生产和消费地,中国鲜食大豆种植面积约为 45 万  $\text{hm}^2$ ,是最大的鲜食大豆出口国和消费国。鲜食大豆在中国南方各省均有栽培,主要以江浙闽等沿海一带为主。江苏省是中国鲜食大豆种植面积最大的省份,常年种植面积约 10 万  $\text{hm}^2$ ,已经形成了内销各

省和出口东南亚 2 个市场的产业格局。其中春播鲜食大豆常年种植面积 4.67 万  $\text{hm}^2$  以上,是省内现代高效农业中的关键成员之一。

鲜食大豆富含维生素、膳食纤维、蛋白质、氨基酸和多种抗氧化活性物质等营养成分<sup>[4]</sup>,具有味道甜、口感平滑、消化率好等食味品质<sup>[5]</sup>。多食用鲜食大豆对健康有益处,可以降低低密度脂蛋白胆固醇水平和降低心血管疾病的风险<sup>[6]</sup>。鲜食大豆符合我国农业未来的发展与要求,特别是在我国对农

收稿日期:2022-08-15

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(20)2015];现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-08-G15)。

第一作者:郭鲁平(1995—),男,硕士研究生,主要从事豆类功能育种与综合利用研究。E-mail:2900739758@qq.com。

通讯作者:薛晨晨(1983—),男,博士,副研究员,主要从事豆类功能育种与综合利用研究。E-mail:xuecc@jaas.ac.cn。

业供给侧结构不断地理解、深化和改革的阶段,研究和种植鲜食大豆都将有利于生态环境的保护,带来较高的经济和社会效益。

鲜食大豆品质包含外观品质、食用品质、营养品质和保健品质<sup>[7-8]</sup>。外观品质主要与荚的大小、每荚粒数、荚的颜色和茸毛色等有关<sup>[9]</sup>;食用品质包括甜度、鲜度、口感、质地、风味和糯性等方面<sup>[10]</sup>;营养品质主要包括脂肪、蛋白质、糖类物质、氨基酸和抗氧化成分等<sup>[11-12]</sup>,保健品质体现在降血糖血脂<sup>[13]</sup>和抗衰老<sup>[14]</sup>等方面。随着保健观念的传播,消费者对鲜食大豆的功能性作用更加关注。这使得研究人员需要及时调整育种方向,关注鲜食大豆功能特性。鲜食大豆具有降血脂血糖、抗衰老等功效,与大豆低聚糖和多酚等功能性成分密切相关<sup>[13-14]</sup>。鲜食大豆因富含这些营养成分而具有较高的营养、药用和保健等价值,并具有较好的食味品质,备受消费者的青睐。探究不同鲜食大豆品种的营养品质及其差异性,开展鲜食大豆营养品质评价研究与指标筛选,选择合理的指标进行鲜食大豆的营养品质评价,可为开展鲜食大豆营养品质调控研究奠定基础。

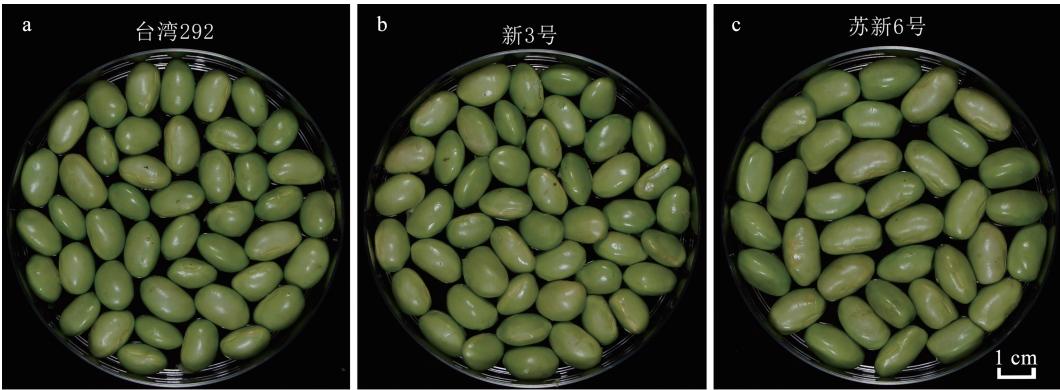
江苏省是我国鲜食大豆主要种植省份和出口

省份,其鲜食大豆产业发展对全国生产有着重要的影响,但江苏省春播鲜食大豆主栽品种营养及功能品质研究尚鲜见报道。本研究针对3个江苏省主栽的鲜食大豆品种进行研究,即台湾292、新3号和苏新6号。台湾292源自台湾,在江苏省市场推广了约20年;新3号源自上海,在江苏省已经推广了10年;苏新6号于2019年获得了江苏省作物品种审批委员会的批准,近年来已得到大面积推广。本研究分析鲜食大豆主要营养成分(脂肪、蛋白质、糖组分、氨基酸组分)和功能成分(总酚、总黄酮、异黄酮组分、抗氧化活性),旨在充分了解3个主栽品种特性及差异,从鲜食大豆综合品质的角度,分析江苏省春播鲜食大豆主栽品种的营养和功能的特征,对指导鲜食大豆种质筛选、品质评价和资源加工利用、功能性食品开发具有一定意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 鲜食大豆 台湾292、新3号和苏新6号,种植并采摘于江苏省农业科学院。籽粒饱满、成熟期一致、无病虫害,如图1所示。将新鲜菜用大豆去荚,洗净沥干水后,冻干,备用。



注:a. 台湾292;b. 新3号;c. 苏新6号。  
Note: a. Taiwan 292; b. Xin 3; c. Suxin 6.

图1 参试鲜食大豆籽粒

Fig. 1 Seeds of tested vegetable soybean varieties

1.1.2 药品及试剂 氨基酸混合标准溶液,美国Sigma公司;葡萄糖、果糖、蔗糖、棉子糖、水苏糖、没食子酸、大豆苷、黄豆黄苷、染料木苷、大豆苷元、黄豆黄素、染料木素,纯度均为98%以上,北京索莱宝科技有限公司;乙腈(色谱纯),美国Tedia公司;2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)、1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH),均为分析纯,上海源叶生物科技有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.1.3 主要仪器设备 AR 223 CN分析天平,上海奥豪斯仪器有限公司;XUB5超声波水浴锅,英国Grant公司;5805低温高速冷冻离心机,德国Eppendorf公司;索氏提取器索氏提取器,重庆拓新

玻璃仪器厂;T6紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;kjeltec 8400全自动凯氏定氮仪,丹麦Foss公司;L-8900全自动氨基酸分析仪,日本Hitachi公司;1260HPLC高效液相色谱仪,美国Aglient公司。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 一般营养成分 脂肪含量的测定参照GB5009.6-2016《食品中脂肪的测定》<sup>[15]</sup>采用索氏提取法;蛋白质含量的测定参照王丹等<sup>[16]</sup>的方法,采用凯氏定氮仪测定;可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法<sup>[17]</sup>;氨基酸含量的测定参照叶夕苗等<sup>[18]</sup>的方法,采用氨基酸自动分析仪测定。

1.2.2 糖组分 参考孙其然等<sup>[19]</sup>的液相色谱法。精确称取 1 g 冻干粉于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 80% 乙醇溶液,于 70 ℃ (200 r·min<sup>-1</sup>) 水浴摇床 1 h,冷却至室温,5 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 10 min,吸取上清,经 0.22 μm 滤膜过滤至 1.5 mL 进样瓶,放置于 4 ℃ 冰箱,待上机。

色谱柱:氨基柱(5 μm×4.6 mm×250 mm);流动相:75% 乙腈和 25% 的水;流动相流速:1 mL·min<sup>-1</sup>;示差折光检测;温度:37 ℃ 恒温;进样量 20 μL;洗脱时间 18 min。

以果糖、葡萄糖、蔗糖、棉子糖和水苏糖为标准品,采用外标法<sup>[19]</sup>定性定量分析鲜食大豆糖组分含量。

1.2.3 总酚及总黄酮 总酚含量的测定采用没食子酸比色法<sup>[20]</sup>;总黄酮含量的测定参照 SN/T 4592-2016《出口食品中总黄酮的测定》<sup>[21]</sup>。

1.2.4 异黄酮组分 参照 GB/T 26625-2011 粮油检验大豆异黄酮含量测定的高效液相色谱法<sup>[22]</sup>,称取一定量冻干豆粉,按料液比 1:3 (w/v) 加入正己烷,搅拌 30 min,12 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 15 min 后取沉淀,于室温风干。准确称取 0.5 g 样品,加入 80% 甲醇 10 mL,室温超声提取 1 h (400 w)。10 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 15 min,分离上清液,经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,收集到 1.5 mL 进样瓶中,待上机。

色谱柱:Agilent Poroshell 120 EC-C18 (4 μm×4.6 mm×250 mm);流动相:A 为 0.1% 三氟乙酸的水溶液,B 为乙腈溶液;流动相流速:1 mL·min<sup>-1</sup>;紫外检测波长:280 nm;温度:30 ℃ 恒温;进样量 20 μL;洗脱时间 21 min。

以大豆苷、黄豆黄苷、染料木苷、大豆苷元、黄豆黄素和染料木素为标准品,采用外标法<sup>[22]</sup>,根据紫外光谱图定量测定鲜食大豆中的 6 种主要异黄酮组分含量。

1.2.5 抗氧化能力 样品以乙醇提取,准确称量 10 g 冻干豆粉,以 1:20 (w/v) 料液比与 80% 的乙醇溶液混合,35 ℃ 水浴 4 h。冷却至室温后,12 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 15 min,取上清,沉淀重复提取一次,两次上清液浓缩,冻干。准确称取 2 g 冻干样品,溶于 100 mL 80% 乙醇溶液中,配置成 20 mg·mL<sup>-1</sup> 的标准溶液,稀释为不同的浓度梯度,备用。

DPPH 自由基清除能力测定。将 2 mL 样品提取液与 2 mL 0.4 mmol·L<sup>-1</sup> 的 DPPH 溶液混合,室温下暗反应 30 min,于 517 nm 处测定吸光度值。用 80% 乙醇溶液代替样品溶液作为空白对照。DPPH 自由基清除率按下式进行计算。

DPPH 自由基清除率(%) =  $\frac{A_a - A_b}{A_a} \times 100$

式中, $A_a$  为空白对照的吸光度值; $A_b$  为样品的吸光度值。

ABTS 自由基清除能力的测定。ABTS·+ 溶液由 7 mmol·L<sup>-1</sup> 的 ABTS 溶液与 2.45 mmol·L<sup>-1</sup> 的 K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 以 2:1 (v/v) 的比例混合而成,在室温下暗反应 16 h 形成 ABTS·+。ABTS·+ 溶液使用前用乙醇稀释,使其在 734 nm 的吸光度值为 0.70 ± 0.02。测定时,取 1 mL 样品提取液与 4 mL ABTS·+ 溶液混合均匀,反应 6 min 后于 734 nm 下测定吸光度值。用 80% 乙醇溶液代替样品溶液作为空白对照。ABTS·+ 自由基清除率按下式进行计算。

ABTS·+ 自由基清除率(%) =  $\frac{A_a - A_b}{A_a} \times 100$

式中, $A_a$  为空白对照的吸光度值; $A_b$  为样品的吸光度值。

羟基自由基清除活性的测定。取 1 mL 硫酸亚铁 (9 mmol·L<sup>-1</sup>) 和 1 mL 过氧化氢溶液 (8.8 mmol·L<sup>-1</sup>), 由此生成羟基自由基,再加入 1 mL 样品提取液和 1 mL 水杨酸-乙醇溶液 (9 mmol·L<sup>-1</sup>), 混合均匀后于 37 ℃ 反应 30 min,测定 510 nm 波长处的吸光度值。用 80% 乙醇溶液代替样品溶液作为空白对照。羟基自由基清除率按下式进行计算。

羟基自由基清除率(%) =  $\frac{A_a - A_b}{A_a} \times 100$

式中, $A_a$  为空白对照的吸光度值; $A_b$  为样品的吸光度值。

1.3 数据分析

单项试验均重复 3 次,结果表示为平均值 ± 标准差;使用 Excel 2016 软件整理数据;使用 SPSS 26.0 统计软件对单因素试验指标进行差异性分析;使用 Origin 2021 绘图。

2 结果与分析

2.1 鲜食大豆营养品质分析

2.1.1 主要化学成分分析 由表 1 可知,3 种鲜食大豆的脂肪、蛋白质和可溶性糖含量都存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。3 种鲜食大豆的脂肪含量为 15.40 ~ 22.66 g·(100 g)<sup>-1</sup>,其中新 3 号脂肪含量最高,台湾 292 最低,苏新 6 号脂肪含量为 18.71 g·(100 g)<sup>-1</sup>;蛋白质含量为 34.74 ~ 39.16 g·(100 g)<sup>-1</sup>,其中苏新 6 号蛋白质含量最高,台湾 292 最低,新 3 号蛋白质含量为 37.57 g·(100 g)<sup>-1</sup>;可溶性糖含量范围为 8.80 ~ 11.84 g·(100 g)<sup>-1</sup>,其中台湾 292 的可溶性糖含量最高,新 3 号最低,苏新 6 号可溶性糖含量为 9.46 g·(100 g)<sup>-1</sup>。

表1 鲜食大豆的脂肪、蛋白质和可溶性糖含量

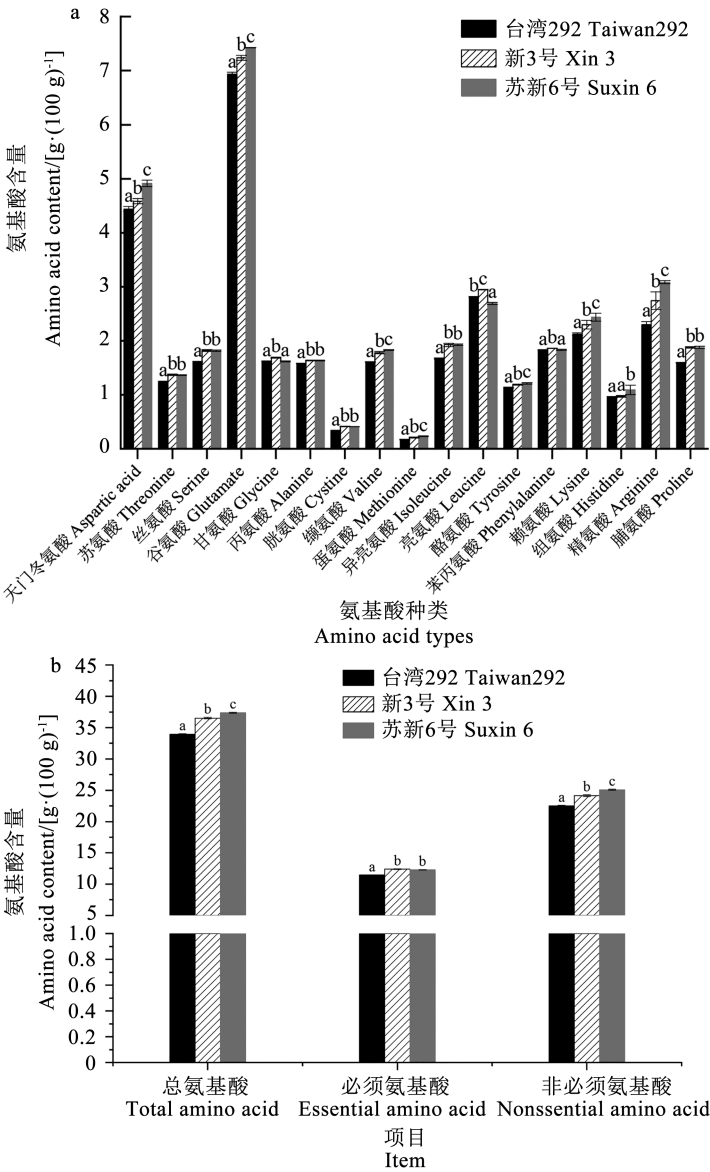
Table 1 Content of fat, protein, and soluble sugar in vegetable soybeans

单位:  $\text{g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$

组分 Component	台湾 292 Taiwan 292	新3号 Xin 3	苏新6号 Suxin 6
脂肪 Fat	15.40 ± 0.49 a	22.66 ± 0.13 c	18.71 ± 0.44 b
蛋白质 Protein	34.74 ± 0.10 a	37.57 ± 0.04 b	39.16 ± 0.07 c
可溶性糖 Soluble sugar	11.84 ± 0.13 c	8.80 ± 0.07 a	9.46 ± 0.34 b

注:不同小写字母差异显著( $P<0.05$ )。下同。  
Note; Different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ). The same below.

2.1.2 氨基酸组分分析 如图2a所示,3种鲜食大豆都检测出17种氨基酸,每种氨基酸在不同鲜食大豆品种间都表现出显著差异性( $P<0.05$ )。氨基酸总量为 $33.93 \sim 37.38 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ ,苏新6号最高,台湾292最低(图2b)。17种氨基酸中,天冬氨酸和谷氨酸含量较高,分别为 $4.44 \sim 4.92 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 和 $6.94 \sim 7.43 \text{ g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 。3种鲜食大豆都包含人体必需的7种氨基酸:异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、缬氨酸。如图2b所示,不同品种鲜食大豆的总氨基酸、非必需氨基酸和必需氨基酸含量均有显著差异( $P<0.05$ )。对于必需氨基酸和非必需氨基酸的比值,3种鲜食大豆之间没有观察到显著差异,台湾292、新3号和苏新6号分别为0.51、0.51和0.49。



注:a.不同品种鲜食大豆的氨基酸组成;b.鲜食大豆的总氨基酸、必需氨基酸、非必需氨基酸含量。  
Note;a. Amino acid composition of different vegetable soybeans varieties; b. Total, essential and non-essential amino acids content.

图2 鲜食大豆氨基酸组分分析

Fig. 2 Analysis of the amino acid components in vegetable soybeans

2.1.3 糖组分分析 如表2所示,3种鲜食大豆样品均含有果糖、葡萄糖、蔗糖、棉子糖、水苏糖,不同样品糖类成分含量差异显著,果糖0.61~0.83 mg·g<sup>-1</sup>、葡萄糖1.51~1.72 mg·g<sup>-1</sup>、蔗糖47.93~63.45 mg·g<sup>-1</sup>、

棉子糖2.09~4.21 mg·g<sup>-1</sup>、水苏糖0.32~3.29 mg·g<sup>-1</sup>。其中,蔗糖是鲜食大豆中含量最高的糖组分。苏新6号的果糖和葡萄糖含量最高;台湾292的蔗糖和棉子糖含量最高;新3号的水苏糖含量最高。

表2 鲜食大豆糖组分			
Table 2 Sugar composition of vegetable soybeans			单位:mg·g <sup>-1</sup>
组分 Component	台湾292 Taiwan 292	新3号 Xin 3	苏新6号 Suxin 6
果糖 Fructose	0.61±0.01 a	0.81±0.01 b	0.83±0.01 c
葡萄糖 Glucose	1.51±0.06 a	1.56±0.02 a	1.72±0.01 b
蔗糖 Sucrose	63.45±0.01 c	47.93±0.08 a	58.45±0.26 b
棉子糖 Raffinose	4.21±0.02 c	2.09±0.01 a	3.36±0.03 b
水苏糖 Stachyose	0.32±0.00 a	3.29±0.05 c	1.16±0.02 b

2.2 功能性成分及抗氧化活性分析

2.2.1 总酚、总黄酮及异黄酮组分分析 如图3所示,峰1~6分别为大豆苷、黄豆黄苷、染料木苷、大豆苷元、黄豆黄素、染料木素高效液相峰图。表3是3种鲜食大豆的总酚、总黄酮及6种异黄酮组分含量,不同品种间都有显著差异性( $P<0.05$ )。3种鲜食大豆的总酚含量为9.52~10.95 mg·g<sup>-1</sup>,其中苏新6号含量最高。Xu等<sup>[23]</sup>发现黑豆品种多酚含量为8.75~9.01 mg·g<sup>-1</sup>,与鲜食大豆存在一定的差异。总黄酮含量为57.96~94.60 mg·g<sup>-1</sup>,新3号含量最高。近些年,对大豆异黄酮的研究发现,苷元型异黄酮(染料木素、大豆苷元 and 黄豆黄素)和糖苷型异黄酮(大豆苷、黄豆黄苷和染料木苷)是大豆中的主要异黄酮组分<sup>[24]</sup>。3种样品均检测出6种大豆异黄酮,不同样品的大豆异黄酮成分含量差异较大,其中,大豆苷为6.67~21.66 μg·g<sup>-1</sup>、黄豆黄苷为38.91~74.20 μg·g<sup>-1</sup>、染料木苷为3.60~14.80 μg·g<sup>-1</sup>、大豆苷元为4.67~11.33 μg·g<sup>-1</sup>、黄豆黄素为10.50~23.40 μg·g<sup>-1</sup>、染料木素为0.91~5.50 μg·g<sup>-1</sup>。含量最高的是黄豆黄苷。糖苷型异

黄酮含量为64.17~95.67 μg·g<sup>-1</sup>,新3号最高;苷元型异黄酮为23.6~33.88 μg·g<sup>-1</sup>,苏新6号最高。说明鲜食大豆异黄酮主要以糖苷型存在。

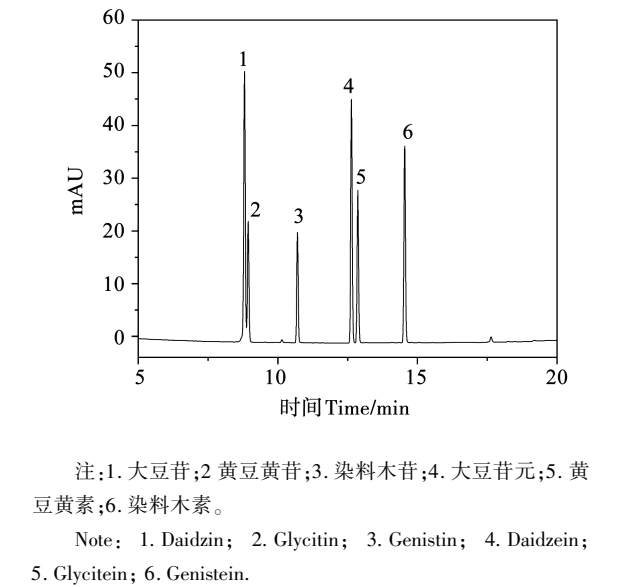


图3 异黄酮标品高效液相色谱图  
Fig.3 HPLC chromatogram of isoflavone standard

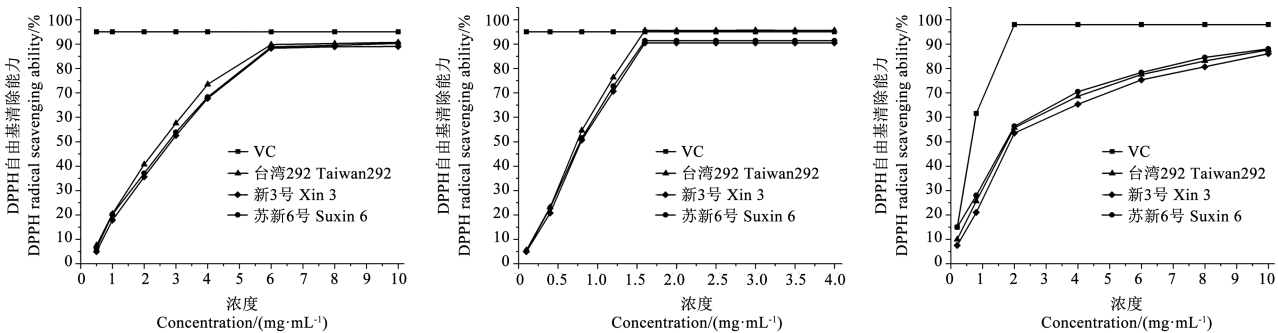
表3 鲜食大豆多酚类化合物含量			
Table 3 Polyphenolic compounds contents of vegetable soybeans			
组分含量 Component content	台湾292 Taiwan 292	新3号 Xin 3	苏新6号 Suxin 6
总酚 Total phenol/(mg·g <sup>-1</sup> )	10.74±0.20 b	9.52±0.09 a	10.95±0.56 b
总黄酮 Total flavonoids/(mg·g <sup>-1</sup> )	57.96±2.66 a	94.60±1.20 c	74.61±5.06 b
异黄酮 Isoflavone	大豆苷 Daidzin/(μg·g <sup>-1</sup> )	21.66±1.17 c	6.67±0.09 a
	黄豆黄苷 Glycitin/(μg·g <sup>-1</sup> )	38.91±1.70 a	74.20±0.58 c
	染料木苷 Genistin/(μg·g <sup>-1</sup> )	3.60±0.05 a	14.80±0.08 c
	大豆苷元 Daidzein/(μg·g <sup>-1</sup> )	7.60±0.20 b	4.67±0.06 a
	黄豆黄素 Glycitein/(μg·g <sup>-1</sup> )	10.50±0.53 a	23.40±0.06 c
	染料木素 Genistein/(μg·g <sup>-1</sup> )	5.50±0.24 c	0.91±0.23 a

2.2.2 抗氧化能力分析 3种鲜食大豆对DPPH自由基、ABTS自由基和羟基自由基的清除能力如图4所示,随着各样品质量浓度的增加,样品对自由基的清除作用和还原能力均有所增强。为更好地

比较不同品种的抗氧化活性,引入自由基半数清除率EC<sub>50</sub>值(清除率为50%时所需样品的浓度)作为抗氧化活性的评价标准。EC<sub>50</sub>值越低表示抗氧化能力越强。如表4所示,DPPH自由基清除能力、ABTS

自由基清除能力和羟基自由基清除能力的  $EC_{50}$  值分别为  $2.61 \sim 2.89 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $0.79 \sim 0.84 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  和  $1.67 \sim 1.92 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。其中台湾 292 DPPH 自由基清除能力和 ABTS 自由基清除能力的  $EC_{50}$  值最低,表

明台湾 292 对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基清除能力最强,其次是苏新 6 号。羟基自由基清除能力由大到小排序为苏新 6 号、台湾 292、新 3 号。



注:a. DPPH 自由基清除能力;b. ABTS 自由基清除能力;c. 羟基自由基清除能力。  
Note:a. DPPH radical scavenging ability; b. ABTS radical scavenging ability; c. Hydroxyl radical scavenging ability.

图4 鲜食大豆抗氧化能力  
Fig.4 Antioxidant activity of vegetable soybeans

表4 鲜食大豆抗氧化指标  $EC_{50}$  值  
Table 4  $EC_{50}$  values in antioxidant properties of vegetable soybeans 单位: $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$

品种 Variety	$EC_{50}$		
	DPPH 自由基清除能力 DPPH radical scavenging ability	ABTS 自由基清除能力 ABTS radical scavenging ability	羟基自由基清除能力 Hydroxyl radical scavenging ability
台湾 292 Taiwan 292	$2.61 \pm 0.03 \text{ a}$	$0.79 \pm 0.04 \text{ a}$	$1.73 \pm 0.02 \text{ b}$
新 3 号 Xin 3	$2.89 \pm 0.03 \text{ c}$	$0.80 \pm 0.02 \text{ c}$	$1.92 \pm 0.06 \text{ c}$
苏新 6 号 Suxin 6	$2.82 \pm 0.03 \text{ b}$	$0.84 \pm 0.01 \text{ b}$	$1.67 \pm 0.02 \text{ a}$

3 讨论

鲜食大豆已占据我国农业出口创汇的重要板块,成为我国农业出口的新兴产业。近年来,国内外学者对鲜食大豆的外观品质、营养品质、食用品质和保健品质都有不少研究,但对其功能性品质方面的研究较少。本文研究了江苏省春播鲜食大豆主栽品种的营养成分(脂肪、蛋白质、糖组分、氨基酸)和功能性成分(总酚、总黄酮、异黄酮组分和 DPPH、ABTS、羟基自由基清除能力)。脂肪和蛋白质作为评定鲜食大豆品质的重要指标,高蛋白、低脂肪是鲜食大豆的营养品质的普遍标准<sup>[25-26]</sup>。蛋白质不仅是衡量鲜食大豆营养的重要标准,它还影响鲜食大豆的口感和质地<sup>[25]</sup>。可溶性糖是鲜食大豆甜味评价的重要指标<sup>[27-28]</sup>。氨基酸组成及含量是消费者主要关注的营养成分,必需氨基酸的比例是判断鲜食大豆是否可以作为人体优质蛋白来源的要素,此外,游离氨基酸含量也影响鲜食大豆鲜味<sup>[29]</sup>。Zi 等<sup>[30]</sup>报道称天冬氨酸和谷氨酸为鲜味氨基酸,是鲜食大豆中的主要氨基酸和呈味物质,王艳等<sup>[31]</sup>报道,进行鲜食大豆氨基酸营养评价时,应以氨基酸总含量为主要评价指标。刘晓丹等<sup>[32]</sup>报道大豆低聚糖主要成分是蔗糖、棉子糖和水

苏糖。蔗糖是鲜食大豆主要的甜味成分,水苏糖和棉籽糖具有显著的抗肿瘤、改善胃肠道环境、调节血脂等功能。鉴定评价并筛选低聚糖含量特异种质越来越受到目前食品行业的关注。比较 3 个品种鲜食大豆的营养指标可以看出:台湾 292 可溶性糖含量最高,可能有较好的食味品质,同时蔗糖和棉子糖含量最高,可用于大豆低聚糖的研究;新 3 号脂肪含量最高,口感上会较为软糯,具有最高含量的水苏糖,必需氨基酸比例最高;苏新 6 号脂肪和可溶性糖含量都排在第二,蛋白和总氨基酸含量最高。综上,苏新 6 号的营养品质更为优质,更符合消费者对鲜食大豆营养品质的要求。

黄酮、多酚具有消炎、抗氧化、抗病毒及抑制肿瘤细胞生长等多种生理功能<sup>[33]</sup>。大豆异黄酮具有抗胆固醇、保护化学性肝损伤等多种生物性功能<sup>[34]</sup>。有研究表明<sup>[35]</sup>,异黄酮的药理作用与糖苷型异黄酮并不直接相关,而是与苷元型异黄酮直接相关。自由基会夺取生物分子的电子引起各种疾病,例如炎症、衰老和心血管疾病。这些自由基会与氢供体(例如酚类化合物)发生反应,从而被清除<sup>[36]</sup>。近年来,抗氧化能力的强弱已经成为功能性食品的重要评价标准之一。对比这 3 种鲜食大豆的总酚、总黄酮、异黄酮组

分和 DPPH、ABTS 羟基自由基清除能力等功能性品质指标,苏新 6 号总酚含量最高,新 3 号总黄酮含量最高;异黄酮组分上,苏新 6 号苷元型异黄酮含量最高,新 3 号次之;台湾 292 的 DPPH、ABTS 自由基清除能力最强,苏新 6 号羟基自由基清除能力最强。综上,在功能性品质上,台湾 292 可以作为很好的抗氧化研究材料,新 3 号可以作为研究鲜食大豆总黄酮的品种,苏新 6 号的苷元型异黄酮则是它功能品质的体现。

4 结论

不同品种间营养及功能品质都有显著性差异,台湾 292 可溶性糖和蔗糖含量最高,甜味较好,DPPH 和 ABTS 自由基清除能力最强,苏新 6 号具有高蛋白质和高氨基酸含量的优点,且苷元型异黄酮含量最高。营养成分上,苏新 6 号更符合消费者对鲜食大豆营养品质的要求;功能特性上,台湾 292 具有较高的抗氧化活性。

参考文献

[1] MIMURA M, COYNE C J, BAMBUCK M W, et al. SSR diversity of vegetable soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2007, 54(3): 497-508.

[2] 韩天富, 盖钧铭. 世界菜用大豆生产、贸易和研究的进展[J]. 大豆科学, 2002, 21(4): 278-284. (HAN T F, GAI J Y. Advances in production, trade and research of vegetable sobeans in the world[J]. Soybean Science, 2002, 21(4): 278-284.)

[3] 张彩英, 常文锁, 李喜焕, 等. 种植密度和施肥对菜用大豆产量性状的效应研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 190-192. (ZHANG C Y, CHANG W S, LI X H, et al. Effect of plant density and phosphorus application rate in yield of vegetable soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(7): 190-192.)

[4] NTATSI G, GUTIÉRREZ-CORTINES M E, KARAPANOS I, et al. The quality of leguminous vegetables as influenced by preharvest factors[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 232: 191-205.

[5] SONG J, LIU C, LI D, et al. Evaluation of sugar, free amino acid, and organic acid compositions of different varieties of vegetable soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) [J]. Industrial Crops & Products, 2013, 50: 743-749.

[6] GUO J, RAHMAN A, MULVANEY M J, et al. Evaluation of edamame genotypes suitable for growing in Florida[J]. Agronomy Journal, 2020, 112(2): 693-707.

[7] 宋江峰, 刘春泉, 姜晓青, 等. 基于主成分与聚类分析的菜用大豆品质综合评价[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 12-17. (SONG J F, LIU C Q, JIANG X Q, et al. Comprehensive evaluation of vegetable soybean quality by principal component analysis and cluster analysis[J]. Food Science, 2015, 36(13): 12-17.)

[8] 张玉梅, 赵晋铭, 王明军, 等. 南方菜用大豆资源营养品质性状的遗传变异[J]. 大豆科学, 2006, 25(3): 239-243. (ZHANG Y M, ZHAO J M, WANG M J, et al. Genetic variance of nutritional quality of vegetable soybean germplasm of *Glycine max* Merr. in southern China[J]. Soybean Science, 2006, 25(3): 239-243.)

[9] 李之国, 张彩英, 常文锁. 不同来源菜用大豆的品质研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 183-187. (LI Z G, ZHANG C Y, CHANG W S. Study on quality properties in vegetable soybeans of various sources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(2): 183-187.)

[10] 张秋英, 李彦生, 刘长锴, 等. 菜用大豆食用品质关键组分及其积累动态研究[J]. 作物学报, 2015, 41(11): 1692-1700. (ZHANG Q Y, LI Y S, LIU C K, et al. Key components of eating quality and their dynamic accumulation in vegetable soybean varieties [*Glycine max* (L.) Merr.] [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(11): 1692-1700.)

[11] SONG J Y, AN G H, KIM C J. Color, texture, nutrient contents, and sensory values of vegetable soybeans [*Glycine max* (L.) Merrill] as affected by blanching[J]. Food Chemistry, 2003, 83(1): 69-74.

[12] 汪桂凤, 钟宣伯, 查霆, 等. 菜用大豆种质资源评价与筛选[J]. 大豆科学, 2019, 38(2): 169-180. (WANG G F, ZHONG X B, ZHA T, et al. Evaluation and screening of fresh soybean germplasm [J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 169-180.)

[13] 刘璐璐, 王洲婷, 丁传波, 等. 加工方法对毛豆中大豆异黄酮苷元含量的影响及其对糖尿病小鼠的降血糖降血脂活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(10): 1659-1663. (LIU L L, WANG Z T, DING C B, et al. Determination of soy isoflavone aglycone content of edamame prepared by different processing methods and its hypoglycemic and hypolipidemic activity for diabetic mice [J]. Natural Product Research & Development, 2014, 26(10): 1659-1663.)

[14] 胡露, 魏瑞敬, 聂艳峰, 等. 毛豆提取物的体外抗衰老活性研究[J]. 广东化工, 2021, 48(7): 28-30. (HU L, WEI L J, NIE Y F, et al. Study on the *in vitro* anti-aging activity of soybean extracts [J]. Guangdong Marubi Biotechnology, 2021, 48(7): 28-30.)

[15] 国家食品药品监督管理总局. 食品中脂肪的测定: GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-2. (State Food and Drug Administration. Determination of fat in food; GB 5009.6-2016 [S] Beijing: China Standards Press, 2016: 1-2.)

[16] 王丹, 梁锦, 黄天姿, 等. 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃鲜食品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 1-8. (WANG D, LIANG J, HUANG T Z, et al. Fresh food quality evaluation of kiwifruit based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(7): 1-8.)

[17] 中华人民共和国农业部. 棉花中水溶性总糖含量的测定-萘酮比色法: NY/T 3030-2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 1-2. (Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of total water-soluble sugar content in cotton anthrone colorimetric method: NY/T 3030-2016 [S] Beijing: China Agricultural Publishing House, 2016: 1-2.)

[18] 叶夕苗, 李俊, 毛堂芬, 等. 贵州不同品种芸豆营养品质差异分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 73-80. (YE X M, LI J, MAO T F, et al. Analysis on the difference of nutritional quality of different kidney bean varieties in Guizhou [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(18): 73-80.)

[19] 孙其然, 刘培, 李会伟, 等. 不同产地莲藕下脚料中主要营养成分的分析与评价[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 291-297. (SUN Q R, LIU P, LI H W, et al. Analysis and evaluation of main nutritional ingredients in residual of lotus root from different areas [J]. Science and Technology of Food Industry,

- 2018, 39(6): 291-297. )
- [20] 程婷婷, 惠小涵, 尚欣欣, 等. 10个产地莲藕营养成分分析与品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 320-325. (CHENG T T, XI X H, SHANG X X, et al. Nutrient composition analysis and quality comprehensive evaluation of lotus root in 10 producing areas[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 320-325. )
- [21] 国家质量监督检验检疫总局. 出口食品中总黄酮的测定: SN/T 4592-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3. (General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China Determination of total flavonoids in food for export: SN/T 4592-2016 [S] Beijing: China Standards Press, 2016: 1-3. )
- [22] 国家卫生和计划生育委员会, 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 26625-2011 粮油检验大豆异黄酮含量测定高效液相色谱法[S]. 2011. (State Health and Family Planning Commission, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB/T 26625-2011 Inspection of cereals and oils determination of soybean isoflavones content high performance liquid chromatography[S]. 2011. )
- [23] XU B J, CHANG S. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents [J]. Journal of Food Science, 2010, 72(2): 159-166.
- [24] 李爽, 郑毅男, 韩佳彤, 等. 发酵处理对毛豆异黄酮苷元含量及其乙醇提取物抗氧化活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(7): 202-214. (LI S, ZHENG Y N, HAN J T, et al. Effect of fermentation on isoflavone aglycone contents in edamame and antioxidant activity of ethanol extracts [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2016, 44(7): 202-214. )
- [25] 蓝占城. 菜用春大豆产量和品质分析及南北种植比较研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019. (LAN Z C. Analysis on yield and quality of vegetable spring soybean and comparative study on planting in North and South China [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019. )
- [26] LI Y S, DU M, ZHANG Q Y, et al. Greater differences exist in seed protein, oil, total soluble sugar and sucrose content of vegetable soybean genotypes [*Glycine max* (L.) Merrill] in Northeast China[J]. Australian Journal of Crop Science, 2012, 6: 1681-1686.
- [27] 张古文, 沈立, 郑华章, 等. 菜用大豆籽粒蔗糖积累及蔗糖磷酸合成酶研究进展[J]. 分子植物育种, 2019, 17(17): 5822-5828. (ZHANG G W, SHEN L, ZHENG H Z, et al. Research advances on sucrose accumulation and sucrose phosphate synthase in seeds of vegetable soybean [J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(17): 5822-5828. )
- [28] 张玉梅, 胡润芳, 林国强. 菜用大豆品质性状研究进展[J]. 大豆科学, 2013, 32(5): 698-702. (ZHANG Y M, HU R F, LIN G Q. Research advance on quality traits of vegetable soybean[J]. Soybean Science, 2013, 32(5): 698-702. )
- [29] FLORES D, GIOVANNI M, KIRK L, et al. Capturing and explaining sensory differences among organically grown vegetable-soybean varieties grown in Northern California[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(3): 613-622.
- [30] YE Z, SHANG Z X, LI M Q, et al. Effect of ripening and variety on the physiochemical quality and flavor of fermented Chinese chili pepper(*Paojiao*) [J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130797.
- [31] 王艳, 张越, 陈姗姗, 等. 食荚菜豆氨基酸组成与含量及其品质评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 155-161. (WANG Y, ZHANG Y, CHEN S S, et al. Composition, content, and quality evaluation of amino acids in snap bean[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2014, 42(8): 155-161. )
- [32] 刘晓丹, 岳海艳, 谭智峰. 大豆低聚糖仪器检测方法现状概述[J]. 现代食品, 2021, 43(20): 158-163, 171. (LIU X D, YUE H Y, TAN Z F. An overview of the current status of soybean oligosaccharide instrumental testing methods [J]. Modern Food, 2021, 43(20): 158-163, 171. )
- [33] 张孟琴, 徐路, 张俊波, 等. 三叶木通果皮主要营养成分、活性成分含量测定及果皮提取物抗氧化活性评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 388-394. (ZHANG M Q, XU L, ZHANG J B, et al. Determination of contents of the main nutritional components, functional components of akebia trifoliata pericarps and evaluation of the antioxidant activity of peel extracts [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(10): 388-394. )
- [34] 任旭, 谢蔓莉, 叶发银, 等. 烫漂方式对苹果脆片褐变和多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(1): 161-168. (REN X, XIE M L, YE F Y, et al. Effects of blanching treatments on browning characteristic, polyphenol composition and antioxidant activity of apple slices [J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(1): 161-168. )
- [35] JOANNOU G E, KELLY G E, REEDER A Y, et al. A urinary profile study of dietary phytoestrogens. The identification and mode of metabolism of new isoflavonoids [J]. Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology (United Kingdom), 1995, 54(3): 167-184.
- [36] 崔梦情, 石侃, 邓声林, 等. 赤霞珠葡萄籽多酚低共熔溶剂提取及其抗氧化活性研究[J]. 中国酿造, 2021, 40(8): 110-116. (CUI M Q, SHI K, DENG S L, et al. Extraction of polyphenols from Cabernet Sauvignon grape seeds with deep-eutectic solvents and its antioxidant activity [J]. China Brewing, 2021, 40(8): 110-116. )