

张晓燕,薛晨晨,黄璐,等.不同种皮颜色小豆及其芽苗菜功能性成分与抗氧化能力分析[J].江苏农业科学,2021,49(7):180-185.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.07.032

不同种皮颜色小豆及其芽苗菜功能性成分与抗氧化能力分析

张晓燕,薛晨晨,黄璐,袁星星,陈新

(江苏省农业科学院经济作物研究所,江苏南京 210014)

摘要:为明确不同种皮颜色小豆及其芽苗菜功能性成分的差异,分别对 6 种不同种皮颜色小豆及其芽苗菜的酚类化合物、黄酮类化合物、异黄酮、皂苷和 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, γ -GABA)等功能性成分含量进行比较,并分析体外抗氧化能力。结果表明,小豆种子富含酚类化合物、黄酮类化合物、异黄酮、皂苷和 γ -GABA 等功能性成分,且具有较高的抗氧化能力。黑色种皮的苏黑珠 1 号小豆种子总酚类化合物、总黄酮类化合物、皂苷和 γ -GABA 含量最高,抗氧化能力最强,且苏黑珠 1 号小豆芽苗菜产量最高。与种子相比,苏品红 1 号和苏黄 1 号小豆芽苗菜总酚类和总黄酮类化合物含量显著提高,苏灰 1 号和苏黑珠 1 号小豆芽苗菜异黄酮含量显著提高。总体而言,供试小豆品种中苏黑珠 1 号小豆不仅富含功能性成分,而且抗氧化能力也较强,具有良好的开发前景。

关键词:小豆;芽苗菜;酚类化合物;抗氧化;黄酮类化合物;异黄酮; γ -GABA

中图分类号:S521.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)07-0180-06

小豆[*Vigna angularis* (Willd) Ohwi & Ohashi]是我国主要食用豆之一,在菜用、药用和产品加工等方面具有较好的经济价值^[1]。小豆不仅含有蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、维生素和矿物质等基本营养物质,还富含多酚、黄酮类化合物和皂苷等功能性成分^[2-3]。小豆中的功能性成分具有降血

压、降血脂、调节血糖、抗菌、抗氧化等保健功效,并有助于控制或预防慢性和退行性疾病^[4]。

发芽是一种简单、有效且低成本的改善豆类营养品质的技术。大量研究表明,发芽是一个动态过程,它不仅降低了抗营养因子等不利成分,提高了蛋白质的吸收利用率,还会引起功能性成分含量发生显著变化^[3]。小豆芽苗菜口感鲜嫩且营养丰富,具有生长周期短、栽培方式灵活等特点,市场前景广阔。前期研究表明,豆类芽苗菜的营养品质主要取决于种子的品质和特性^[5-6]。目前,关于小豆芽苗菜营养成分的研究多集中于比较同一品种在不同处理下的营养成分变化^[7],因此有必要利用种质资源优势系统研究不同品种小豆及其芽苗菜功能性成分及抗氧化特性。

本研究以江苏省特有的 6 个不同种皮颜色小豆

收稿日期:2020-08-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:31902001);国家食用豆产业技术体系生物防治与综合防控岗位科学家(编号:CARS-08-G15);江苏省特粮特经产业技术体系集成创新中心(编号:JATS[2019]399)。

作者简介:张晓燕(1988—),女,山东烟台人,博士,助理研究员,主要从事豆类功能育种与应用研究。E-mail:xyzhang@jaas.ac.cn。

通信作者:陈新,博士,研究员,主要从事豆类作物遗传育种研究。E-mail:cx@jaas.ac.cn。

含量比较[J].中国现代中药,2011,13(4):15-17.

[35]苑静,王绍云.不同干燥方法对甜藤茎中成分含量的影响[J].中国调味品,2018,43(6):30-34.

[36]邢颖,王瑞芳,邓随胜.不同干燥方式对橘皮精油和黄酮的影响[J].食品工业科技,2018,39(6):77-81,96.

[37]李嘉,黄瑞松,黄建猷,等.不同干燥方法对喜树果中喜树碱含量的影响[J].广西医学,2006,28(11):1699-1701.

[38]Saifullah M, McCullum R, McCluskey A, et al. Effects of different drying methods on extractable phenolic compounds and antioxidant

properties from lemon myrtle dried leaves[J]. Heliyon, 2019, 5(12):e03044.

[39]徐士钊,齐菲,席雅琳,等.响应面法优化辽东楸木总皂苷提取工艺及其抗氧化作用[J].江苏农业科学,2020,48(3):204-209.

[40]刘德明,张莹,邬克彬,等.紫马铃薯花色苷的超声辅助提取工艺优化[J].江苏农业科学,2020,48(5):181-185.

[41]刘会灵.樟叶越橘化学成分的研究[D].昆明:昆明理工大学,2009.

品种为试验材料,系统研究其种子及芽苗菜的功能性成分含量及抗氧化特性,分析比较不同品种小豆芽苗菜的生长特性,以期小豆生产和豆类芽苗菜的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

试验于 2019 年 11 月至 2020 年 3 月在江苏省农业科学院经济作物研究所进行。试验材料为江苏省农业科学院经作所豆类作物研究室自主育成的 6 个不同种皮颜色小豆品种,各试验材料及其性状详见表 1。挑选大小均匀、整齐一致且无破损的小豆种子,用 0.1% 次氯酸钠溶液消毒后,播种于豆芽机。将豆芽机置于人工气候培养箱中,黑暗中进行催芽,培养温度和相对湿度分别为 25 ℃ 和 80%。在黑暗中培养 2 d 后转移至 LED 白光下培养,相对湿度为 80%,温度为 25 ℃/18 ℃(白天/黑夜),光照时间 12 h/12 h(白天/黑夜),光照度 30 μmol/(m²·s)。豆芽机每 2 h 淋水 1 次,每天更换 1 次自来水。小豆芽苗菜生长至 10 d 时进行取样。用吸水纸吸干芽苗菜表面水分后快速冷冻到液氮中,并保存至 -80 ℃ 冰箱待用。样品经过冷冻干燥处理后用于测定功能性成分含量和抗氧化能力。

表 1 不同小豆种子性状及发芽率

处理	品种名	百粒质量 (g)	粒色	粒形	发芽率 (%)
A1	苏品红 1 号	18.26	红色	长圆柱形	91.80
A2	苏黄 1 号	10.41	黄色	短圆柱形	93.16
A3	苏白 1 号	13.55	白色	短圆柱形	89.64
A4	苏翡翠 1 号	15.66	绿色	短圆柱形	93.87
A5	苏灰 1 号	12.62	斑纹灰色	短圆柱形	91.56
A6	苏黑珠 1 号	9.55	黑色	短圆柱形	91.58

1.2 生长指标测定

小豆芽苗菜生长至 10 d 时取样测定生长指标,包括株高、可食用鲜质量、全株鲜质量和产量。

产量:以每 100 g 种子生产出的可供食用的芽苗菜计算,单位 g/100 g。

可食率 = (可食用鲜质量/全株鲜质量) × 100%。

1.3 总酚类和总黄酮类化合物含量测定

总酚类和总黄酮类化合物含量的提取和测定参照 Bobo - Garcia 等的方法^[8],略有改动。称取

0.5 g 冻干后研磨至粉末状的样品,加入 5 mL 提取液,充分混匀,于 30 ℃ 超声提取 10 min,4 ℃ 下 12 000 r/min 离心 20 min,收集上清作为待测提取液。总酚类物质含量用福林 - 肖卡法测定,取上述 20 μL 提取液于 96 孔酶标板,加入 100 μL 福林酚试剂,充分混匀后加入 75 μL 10% 碳酸钠溶液,充分混匀,室温下黑暗中反应 2 h,测定 750 nm 处的吸光度。以没食子酸(gallic acid)标准溶液绘制标准曲线,总酚类化合物含量以干质量表示,单位为 mg/100 g。

总黄酮类化合物含量的测定参考 Horszwald 等的方法^[9]。取 25 μL 提取液于 96 孔酶标板,加入 75 μL 95% 乙醇溶液,充分混匀后依次加入 5 μL 10% 氯化铝溶液、5 μL 1mol/L 乙酸钾溶液和 140 μL 去离子水,充分混匀后室温反应 30 min,测定 510 nm 处的吸光度。以芸香苷(rutin)为标准品绘制标准曲线,总黄酮类化合物含量以干质量表示,单位为 mg/100 g。

1.4 总异黄酮含量的测定

总异黄酮含量的测定参照 Ma 等的方法^[10],略作改动。取 0.2 g 样品,加入 5 mL 80% 甲醇(色谱纯),60 ℃ 超声提取 20 min,重复提取 1 次,离心(12 000 r/min,20 min)后合并上清,将上清过 0.45 μm 滤膜后转入高效液相色谱(HPLC)专用色谱瓶中,4 ℃ 保存待测。液相色谱柱为 Phenomenex C₁₈(150 mm × 4.6 mm,0.5 μm),流动相 A 为 0.1% 甲酸 - 水溶液,流动相 B 为 0.1% 甲酸 - 乙腈溶液。梯度洗脱,洗脱程序:0 ~ 10 min,B:13% ~ 18%;10 ~ 23 min,B:18% ~ 24%;23 ~ 30 min,B:24% ~ 35%;30 ~ 50 min,B:35%;50 ~ 51 min,B:35% ~ 13%。流速 1 mL/min,柱温 30 ℃,检测波长 260 nm,进样量 10 μL。大豆异黄酮标准品染料木素(Genistein)、染料木苷(Genistin)、大豆苷元(Daidzein)、大豆苷(daidzin)和黄豆苷(Glycitin)均购自 Sigma 公司。

1.5 皂苷含量的测定

皂苷含量的测定参考 Chen 等的方法^[11],略作改动。取 0.5 g 样品,加入 10 mL 80% 甲醇,60 ℃ 恒温水浴振荡提取 3 h,4 ℃ 下 12 000 r/min 离心 20 min,收集上清作为待测液。取 0.1 mL 待测液,依次加入 0.4 mL 80% 甲醇、0.5 mL 8% 香草醛 - 乙醇溶液和 5 mL 72% 硫酸溶液,冰浴混合,60 ℃ 水浴 10 min,冷却后测定 544 nm 处的吸光度。以大豆皂苷标准品绘制标准曲线。样品中大豆皂苷含量以

干质量表示,单位为 mg/g。

1.6 γ -氨基丁酸(γ -GABA)含量的测定

γ -GABA 含量的测定参考 Sharma 等的方法^[12],并略作改动。取 0.1 g 样品,加入 1 mL 70% 乙醇,60 ℃ 超声提取 20 min,4 ℃ 下 12 000 r/min 离心 20 min,重复提取 1 次,收集上清并浓缩,浓缩后的提取液作为待测液。测定时取 0.1 mL 待测液,加入 0.2 mL 0.2 mol/L 硼酸缓冲液(pH 值 9.0)、1 mL 6% 酚试剂和 0.4 mL 7.5% 次氯酸钠溶液。将上述混合反应液沸水浴 10 min,冰浴冷却后测定 630 nm 处的吸光度。以 γ -GABA 为标准品绘制标准曲线,样品中 γ -GABA 含量以干质量表示,单位为 mg/g。

1.7 抗氧化能力的测定

待测液的提取方法参考“1.3”节总酚类物质含量测定。二苯代苦味酰基自由基(DPPH)清除能力、铁离子还原抗氧化能力(FRAP)和氧自由基吸收能力(ORAC)的测定参考 Horszwald 等的方法^[9]。

1.8 数据分析

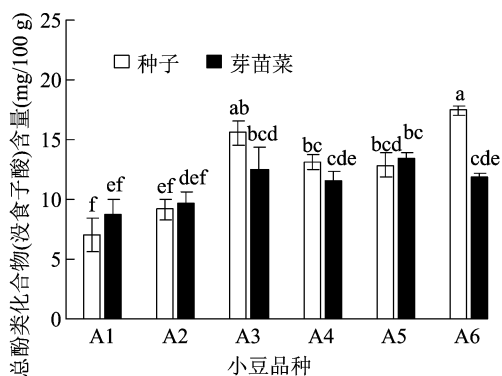
本试验所有样品均随机取样,试验数据用 3 次生物学重复的平均值 \pm 标准误表示。采用 SPSS 19.0 软件进行数据处理,显著性采用 Duncan's 新复极差法检验($P < 0.05$)。相关性分析用 Origin 2018 软件进行处理。

2 结果与分析

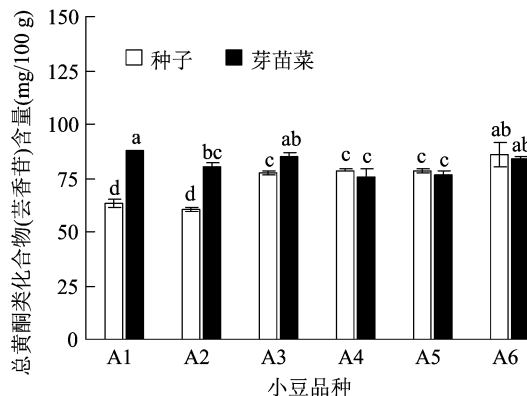
2.1 不同品种小豆及其芽苗菜的功能性成分分析

由图 1 可知,苏黑珠 1 号小豆种子的总酚类化合物含量最高(17.43 mg/100 g),显著高于除苏白 1 号外的其他小豆种子,而苏品红 1 号小豆种子的总酚类化合物含量最低,仅为苏黑珠 1 号的 40.59%。苏黑珠 1 号小豆种子的总黄酮类化合物含量显著高于其他品种,而异黄酮含量显著低于除苏灰 1 号外的其他品种。苏品红 1 号小豆芽苗菜的总酚类化合物含量最低,苏灰 1 号小豆芽苗菜总酚类化合物含量最高,为苏品红 1 号的 1.41 倍。苏品红 1 号、苏黄 1 号和苏白 1 号小豆芽苗菜的总黄酮类化合物含量显著高于相应的小豆种子,分别是其种子的 1.39、1.34、1.10 倍。类似的,苏灰 1 号和苏黑珠 1 号小豆芽苗菜的异黄酮含量显著高于种子,分别是其种子的 1.24、1.38 倍。

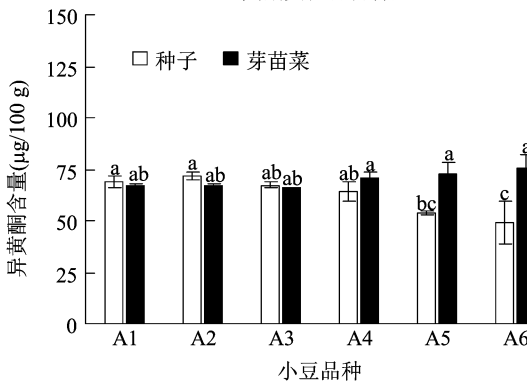
由图 2 可知,小豆种子的皂苷含量较高,其中苏黑珠 1 号小豆种子的皂苷含量显著高于其他品种小



a. 总酚类化合物含量



b. 总黄酮类化合物含量



c. 异黄酮含量

不同小写字母表示各样品之间差异显著($P < 0.05$)。下图同。

图1 不同品种小豆种子和芽苗菜总酚类化合物、总黄酮类化合物、异黄酮含量

豆种子,苏品红 1 号、苏黄 1 号和苏白 1 号小豆芽苗菜的皂苷含量均显著高于苏黑珠 1 号小豆芽苗菜。苏灰 1 号和苏黑珠 1 号小豆种子的 γ -GABA 含量显著高于其他品种小豆种子,苏翡翠 1 号小豆芽苗菜的 γ -GABA 含量显著高于其他品种小豆芽苗菜。

2.2 小豆芽苗菜的生长特性

由图 3 和表 2 可知,苏品红 1 号、苏黄 1 号和苏白 1 号小豆芽苗菜的株高较低,显著低于苏灰 1 号和苏黑珠 1 号小豆芽苗菜;苏黑珠 1 号小豆芽苗菜的产量最高(500.66 g/100 g),显著高于除苏黄 1 号

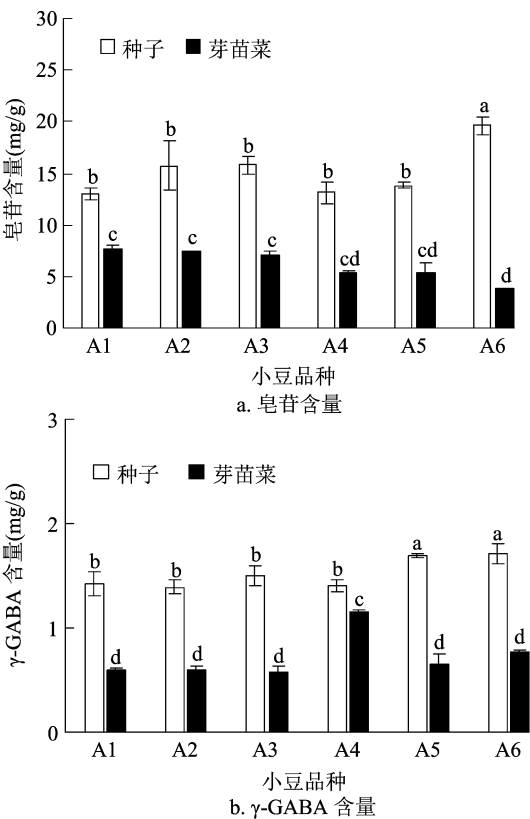


图2 不同品种小豆种子及其芽苗菜皂苷和 γ-GABA 含量

和苏灰 1 号之外的其他小豆芽苗菜,而苏品红 1 号小豆芽苗菜的产量最低(235.68 g/100 g)。各品种小豆芽苗菜的可食用鲜质量、全株鲜质量和可食率无显著性差异。

2.3 不同品种小豆及其芽苗菜抗氧化能力分析

利用 DPPH · 清除能力、FRAP、ORAC 3 种评价方法对小豆种子和芽苗菜的抗氧化能力进行测定(图 4)。可以看出,苏灰 1 号和苏黑珠 1 号小豆种子的 DPPH · 清除能力显著高于其他小豆种子,苏黑珠 1 号小豆种子的 FRAP 和 ORAC 值均显著高于其他小豆种子,此外苏白 1 号小豆种子的 FRAP 值显著高于除苏黑珠 1 号之外的其他小豆种子。不同品种小豆芽苗菜之间相比,苏白 1 号小豆芽苗菜的可食率、FRAP 值均显著高于其他品种小豆芽苗菜,而苏品红 1 号小豆芽苗菜的 DPPH · 值均显著低于其他品种小豆芽苗菜。与小豆种子相比,苏品红 1 号小豆芽苗菜的可食率、FRAP 和 ORAC 值分别是其种子的 1.08、1.34、1.27 倍。

2.4 功能性成分与抗氧化能力相关性分析

对小豆种子及其芽苗菜的功能性成分含量和

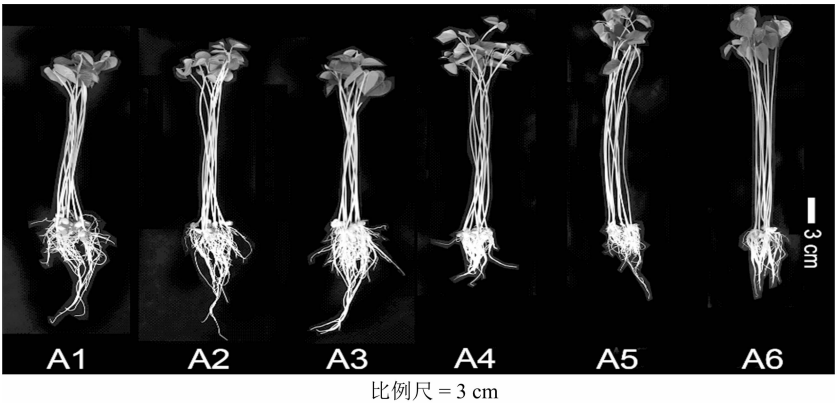
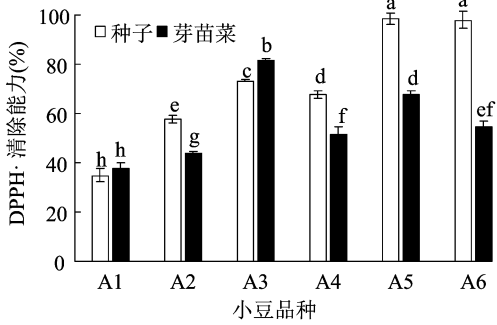


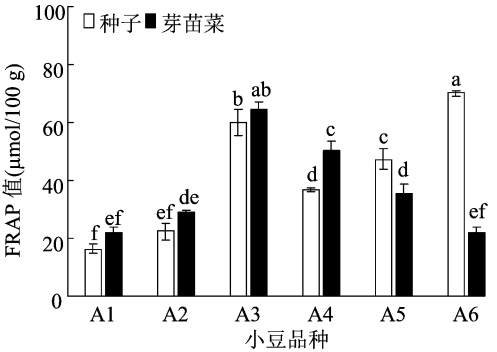
图3 不同品种小豆类芽苗菜的生长特性

表 2 不同品种小豆芽苗菜的生长特性

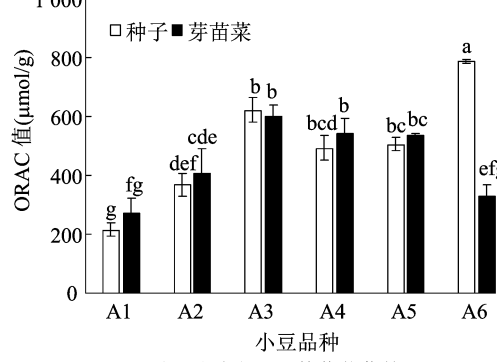
处理	株高 (cm)	可食用鲜质量 (g/10 株)	全株鲜质量 (g/10 株)	可食率 (%)	产量 (g/100 g 种子)
A1	19.71 ± 0.74bc	4.30 ± 0.07a	9.56 ± 0.10a	45.01 ± 1.17a	235.68 ± 6.14d
A2	20.16 ± 0.72bc	4.75 ± 0.29a	9.95 ± 0.48a	48.27 ± 5.21a	457.09 ± 32.81ab
A3	19.18 ± 0.61c	4.82 ± 0.17a	10.37 ± 0.48a	46.59 ± 2.01a	356.96 ± 21.03bc
A4	21.87 ± 0.90ab	4.83 ± 0.46a	10.66 ± 1.05a	45.35 ± 1.14a	311.10 ± 38.85cd
A5	23.75 ± 0.81a	5.06 ± 0.54a	11.82 ± 1.10a	42.66 ± 0.69a	400.52 ± 38.97abc
A6	23.87 ± 0.76a	4.74 ± 0.41a	10.33 ± 0.87a	45.91 ± 0.12a	500.66 ± 55.31a



a. 不同品种小豆及其芽苗菜的 DPPH 清除能力



b. 不同品种小豆及其芽苗菜的 FRAP



c. 不同品种小豆及其芽苗菜的 ORAC

图4 不同品种小豆及其芽苗菜的抗氧化能力分析

抗氧化能力进行相关性分析(表 3)表明,小豆种子总酚类化合物含量与 DPPH·清除能力显著正相关,与 FRAP 和 ORAC 极显著正相关。总黄酮类化合物含量与 DPPH·清除能力、FRAP 和 ORAC 显著或极显著正相关, γ -GABA 含量与 DPPH·清除能力显著正相关,而异黄酮含量与 DPPH·清除能力显著负相关。小豆芽苗菜的总酚类化合物含量与 DPPH·清除能力显著正相关,而总黄酮类化合物含量与 DPPH·清除能力、FRAP 和 ORAC 均呈负相关关系。

3 结论与讨论

豆类芽苗菜是一类利用豆类种子贮存的营养物质,使种子在适宜条件下萌发而产生的可食用幼苗。与大宗蔬菜相比,豆类芽苗菜具有风味独特、

表 3 小豆种子及其芽苗菜功能性成分与抗氧化能力相关性分析

样品	指标	相关系数		
		DPPH·清除能力	FRAP	ORAC
种子	总酚类化合物含量	0.825 *	0.977 **	0.985 **
	总黄酮类化合物含量	0.826 *	0.898 *	0.885 **
	异黄酮含量	-0.856 *	-0.726	-0.714
	皂苷含量	0.536	0.702	0.771
	γ -GABA 含量	0.874 *	0.754	0.690
芽苗菜	总酚类化合物含量	0.849 *	0.489	0.708
	总黄酮类化合物含量	-0.156	-0.243	-0.585
	异黄酮含量	0.042	-0.405	-0.159
	皂苷含量	-0.139	0.147	-0.034
	γ -GABA 含量	-0.124	0.228	0.265

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上相关性显著。

口感脆嫩、生育周期短和生产不受季节限制等特点,是一种经济价值较高的蔬菜^[13]。豆类芽苗菜主要包括黄豆(大豆)芽、绿豆芽、黑豆苗、豌豆苗、小豆苗和蚕豆苗等。目前,黄豆芽和绿豆芽消费需求量大,同时由于其整个生育期间均无光或者弱光条件下完成,前、中、后期培育条件较一致,所以工厂化、机械化、产业化进程较快;而小豆芽苗菜等是伴随现代设施农业、立体栽培农业和现代科学发展起来的新型特色蔬菜,系统研究不同品种小豆及其芽苗菜的芽用特性及相关栽培技术对于豆类芽苗菜的开发具有重要意义。

小豆中的总黄酮类化合物(如槲皮素和儿茶素等)具有较强的抗氧化能力^[14]。本研究结果也表明,小豆种子富含酚类化合物和黄酮类化合物,且具有较高的抗氧化特性(图 1、图 4)。本研究采用 3 种体外评价方法研究小豆种子及芽苗菜的抗氧化能力,小豆种子和芽苗菜的总酚类物质含量均与 DPPH 呈显著正相关关系,这表明酚类化合物的总量在抗氧化能力中起重要作用。苏黑珠 1 号小豆种子的总酚类和总黄酮类化合物含量最高,抗氧化能力最强,因此苏黑珠 1 号小豆种子最适宜开发抗氧化保健产品。苏品红 1 号和苏黄 1 号小豆芽苗菜的总酚类和总黄酮类化合物含量是其相应种子的 1.10~1.39 倍,因此苏品红 1 号和苏黄 1 号小豆可用于生产富含酚类和黄酮类化合物的小豆芽苗菜。

前期研究报道,深色种皮的豆类种子由于富含花青素等酚类物质而具有较强的抗氧化性,因此更有利于缓解由氧化应激反应引起的疾病^[15]。本研究也表明,与浅色种皮的种子相比,深色种皮的小

豆种子(如苏灰 1 号和苏黑珠 1 号小豆)具有更高含量的酚类化合物和更强的抗氧化能力。此外,小豆种子总酚类物质含量与抗氧化能力具有较好的相关性,这与 Lin 等的研究结果^[15]一致。然而,小豆发芽后子叶不出土,因此造成种皮中色素的损失,最终引起小豆芽苗菜中酚类物质含量和抗氧化能力下降。与此相反,部分浅色种皮的小豆芽苗菜总酚类物质含量和抗氧化能力显著高于其种子,这可能是由于浅色种皮的小豆芽苗菜对培养过程中的光环境更敏感,从而在光源下产生了更多的酚类代谢产物。

皂苷是豆类中的一种天然活性物质,本研究发现,小豆种子是良好的皂苷来源。然而发芽会造成皂苷含量的损失,这与 Guajardo - Flores 等对大豆的研究结果^[16]不一致。造成这种差异的原因可能是:一方面,皂苷主要存在于种脐中,小豆芽苗菜为子叶留土型芽苗菜,因此造成了芽苗中皂苷的大量损失^[17];另一方面,浸种时种子中的皂苷可能被浸出,从而降低整体的皂苷水平^[16]。 γ -GABA 是一种非蛋白质氨基酸,具有调节心率、降血压和缓解压力等生理功能。前期研究表明,发芽可显著提高豆类的 γ -GABA 含量^[18],而发芽过程中的低氧和盐胁迫等处理可进一步提高大豆和蚕豆芽苗菜的 γ -GABA 含量^[19]。本研究发现,小豆种子的 γ -GABA 含量高于小豆芽苗菜,因此小豆种子可以作为 γ -GABA 的良好膳食来源。

综上所述,苏品红 1 号和苏黄 1 号小豆可用于生产富含酚类和黄酮类化合物的小豆芽苗菜。苏黑珠 1 号小豆种子的功能性成分含量丰富、抗氧化能力最强,且苏黑珠 1 号小豆芽苗菜的产量最高,因此苏黑珠 1 号小豆既可以直接作为功能性食品的原料,也适合做小豆芽苗菜生产的原料,开发潜力较大。

参考文献:

- [1] 张旭娜,么 杨,任贵兴,等. 小豆功能活性成分及加工利用研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报,2018,9(1):1561 - 1566.
- [2] Kitano - Okada T, Ito A, Koide A, et al. Anti - obesity role of adzuki bean extract containing polyphenols; *in vivo* and *in vitro* effects [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92 (13): 2644 - 2651.
- [3] 陈 振,康玉凡. 豆类种子及萌发过程中功效性成分研究概述 [J]. 中国食物与营养,2012,18(10):27 - 32.
- [4] Kaur A, Kaur P, Singh N, et al. Grains, starch and protein characteristics of rice bean (*Vigna umbellata*) grown in Indian Himalaya regions [J]. Food Research International, 2013, 54 (1): 102 - 110.
- [5] Lee J, Hwang Y S, Lee J D, et al. Metabolic alterations of lutein, β - carotene and chlorophyll a during germination of two soybean sprout varieties [J]. Food Chemistry, 2013, 141 (3): 3177 - 3182.
- [6] 赵天瑶,张亚宏,康玉凡. 绿豆品种筛选及萌发过程中生长特性、营养成分变化 [J]. 食品研究与开发, 2018, 39 (10): 170 - 175.
- [7] 郑琳琳,常暖迎,庞肖杰,等. 生长调节物质对小豆豆芽营养成分影响和功能性评价 [J]. 中国农业大学学报, 2019, 24 (8): 19 - 26.
- [8] Bobo - García G, Davidov - Pardo G, Arroqui C, et al. Intra - laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods [J]. Journal of the Science of Food Agriculture, 2015, 95 (1): 204 - 209.
- [9] Horszwald A, Andlauer W. Characterisation of bioactive compounds in berry juices by traditional photometric and modern microplate methods [J]. Journal of Berry Research, 2011, 1 (4): 189 - 199.
- [10] Ma M, Wang P, Yang R Q, et al. Effects of UV - B radiation on the isoflavone accumulation and physiological - biochemical changes of soybean during germination [J]. Food Chemistry, 2018, 250: 259 - 267.
- [11] Chen Y, Chang S K C. Macronutrients, phytochemicals, and antioxidant activity of soybean sprout germinated with or without light exposure [J]. Journal of Food Science, 2015, 80 (6): 1391 - 1398.
- [12] Sharma S, Saxena D C, Riar C S. Changes in the GABA and polyphenols contents of foxtail millet on germination and their relationship with *in vitro* antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2018, 245 (15): 863 - 870.
- [13] 崔 瑾,张晓燕,鲁燕舞. LED 光调控技术在芽苗菜生产中的应用 [J]. 科技导报, 2014, 32 (10): 32 - 35.
- [14] Formica J V, Regelson W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids [J]. Food and Chemical Toxicology, 1995, 33 (12): 1061 - 1080.
- [15] Lin P Y, Lai H M. Bioactive compounds in legumes and their germinated products [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54 (11): 3807 - 3814.
- [16] Guajardo - Flores D, García - Patiño M, Serna - Guerrero D, et al. Characterization and quantification of saponins and flavonoids in sprouts, seed coats and cotyledons of germinated black beans [J]. Food Chemistry, 2012, 134 (3): 1312 - 1319.
- [17] Yoshiki Y, Kudou S, Okubo K. Relationship between chemical structures and biological activities of triterpenoid saponins from soybean [J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 1998, 62 (12): 2291 - 2299.
- [18] 翟玮玮,焦宇知. 黑豆发芽过程中蛋白质及 γ - 氨基丁酸的变化及发芽条件的优化 [J]. 食品科学, 2009, 30 (19): 51 - 54.
- [19] 郭元新,杨润强,陈 惠,等. 盐胁迫富集发芽大豆 γ - 氨基丁酸的工艺优化 [J]. 食品科学, 2012, 33 (10): 1 - 5.