

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.02.025

邱彦超, 李琳, 钱丽丽, 等. 绿豆发芽对其抗氧化作用的影响[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 180-185.

QIU Y C, LI L, QIAN L L, et al. Effects of mung bean germination on its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2): 180-185.

绿豆发芽对其抗氧化作用的影响

邱彦超¹, 李琳¹, 钱丽丽^{1,2,3}✉, 李殿威¹, 符丽雪¹

- (1. 黑龙江八一农垦大学 食品学院, 黑龙江 大庆 163319;
2. 黑龙江省杂粮加工及质量安全工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319;
3. 黑龙江省农产品加工与质量安全重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 研究绿豆发芽对其抗氧化作用的影响。实验设计绿豆萌发 6 d, 以抗氧化成分总酚、黄酮、Vc 含量, 与抗氧化能力 DPPH 清除率、-OH 清除率、总还原能力为衡量指标, 结合相关性、显著性分析等方法分析各指标变化规律。结果表明: 总酚、黄酮含量及抗氧化能力指标为先增后降趋势, Vc 含量为增加趋势。总酚含量在发芽第 4 d 达到最高含量, 1~4 d 从 0.561 2 mg/g 增加到 0.723 7 mg/g, 增加 28.95%; 黄酮含量在发芽第 3 d 达到最高含量, 1~3 d 从 0.660 5 mg/g 增加到 0.697 4 mg/g, 增加 5.59%; 1~6 d, Vc 含量从 0.783 3 mg/100 g 增加到 7.450 0 mg/100 g 范围变化。1~3 d, DPPH 清除率、-OH 清除率、总还原能力各指标达到最高, 分别为 99.28%、97.00%、79.26%, 分别提高 4.68%、1.04%、46.76%。

关键词: 绿豆芽; 发芽天数; 总酚; 黄酮; 抗氧化能力

中图分类号: TS214.9; S-3 A 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)02-0180-06

Effects of Mung Bean Germination on its Antioxidant Activity

QIU Yan-chao¹, LI Lin¹, QIAN Li-li^{1,2,3}✉, LI Dian-wei¹, FU Li-xue¹

- (1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, College of Food, Daqing, Heilongjiang 163319, China;
2. Heilongjiang Engineering Research Center for Coarse Cereals Processing and Quality Safety, Daqing, Heilongjiang 163319, China;
3. Key Laboratory of Agro-products Processing and Quality Safety of Heilongjiang Province, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: To study the effect of mung bean germination on its antioxidant activity. Experimental design mung bean germination for 6 days, the antioxidant content of total phenol, flavonoid, vitamin C, antioxidant ability DPPH clearance rate, -OH clearance rate, total reduction ability were selected as indicators, combined with correlation, significance analysis and other methods to analyze the changes of each indicator. The results showed that content of total phenols and flavones increased first and then decreased, vitamin C increased all the time, and the index of antioxidant capacity increased first and then decreased. The total phenol content reached its maximum on the 4th day of germination, and varied from 0.5612 mg/g to 0.7237 mg/g on the 1st to 4th day, increased by 28.95%. On the 3rd day of germination, the flavonol content reached the highest level. The flavonol content varied from 0.6605 mg/g to 0.6974 mg/g on the 1st to 3rd day, increased by

收稿日期: 2020-08-09

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0401203; 2018YFE0206300)

Supported by: National Key Research and Development Project (No. 2017YFD0401203; No. 2018YFE0206300)

作者简介: 邱彦超, 男, 1994 年出生, 硕士生, 研究方向为食品科学。E-mail: 1558230133@qq.com.

通讯作者: 钱丽丽, 女, 1979 年出生, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为农产品质量与安全。E-mail: qianlili286@163.com.

5.59%。Vitamin C varied from 0.7833 mg/100 g to 7.4500 mg/100 g on the 1st to 6th day. From 1st to 3rd day, DPPH clearance rate, -OH clearance rate and total reduction capacity reached the highest levels of 99.28%, 97.00% and 79.26% respectively, increased by 4.68%, 1.04% and 46.76% respectively.

Key words: gram bud; days of germination; total polyphenol; flavonoid.; oxidation resistance

绿豆营养丰富，是食品工业的重要原料^[1]。绿豆在发芽过程中，黄酮和酚类物质被释放出来^[2]，增加抗氧化能力，维生素类的物质含量也会大幅增加^[3-5]。黄酮类化合物具有抗肿瘤、延缓衰老等作用^[6-7]。黄酮和多酚在许多提取物中表现出较好的抗氧化能力^[8]。

Swiecarn 等^[9]在研究发芽时间和光照条件对扁豆芽抗氧化化合物和抗氧化能力的影响中发现，在萌发后 3~4 d，水杨酸、p-羟基苯甲酸、咖啡酸含量有大幅增加。黄六容^[10]等在研究发芽温度对绿豆芽抗氧化成分和抗氧化能力的影响时，发现在 30 °C 下培育绿豆芽能获得最大的产量，但只在 20 °C 下培育绿豆芽才能获得最高的抗氧化性。郭鸽等^[11]对 4 种大豆在发芽过程中的 DPPH 清除率及总酚和黄酮类物质进行含量测定，分析结果表明总酚含量与抗氧化能力呈现正相关，黄酮类物质含量也有明显的增加。自 20 世纪 60 年代初至今，人们不断从绿豆及其萌芽中寻找生物活性物质^[12-13]，从绿豆中分离纯化出了许多活性成分，并对其进行了功能性分析。

日常生活中，人们受环境、紫外线等各方面影响，体内会催生出大量的自由基，破坏人体抗氧化系统的平衡，威胁人们的健康^[14-15]。所以本实验从绿色健康的角度出发，在参考绿豆发芽最适温度，加水量条件后^[16]，通过对绿豆萌发过程中抗氧化成分及抗氧化能力变化进行研究，以期对绿豆发芽产品保留丰富的营养及功能活性物质做支持。

1 材料与amp;方法

1.1 原料

绿豆，明绿 2 号：2018 年采摘自黑龙江省齐齐哈尔市泰来县。

1.2 主要设备与试剂

751 型分光光度仪：上海仪电分析仪器有限公司；RH-600A 型高速多功能粉碎机：浙江荣浩工贸有限公司；CB-A323B 型发芽机：九阳股份有限公司。

芦丁，纯度 ≥ 94.47%：成都普思生物科技有限公司；没食子酸对照品，纯度 ≥ 98%：上海源叶生物科技有限公司；草酸，分析纯：天津市大茂化学试剂厂；福林酚试剂（Folin-Ciocalteu）：sigma 公司。

芦丁，纯度 ≥ 94.47%：成都普思生物科技有限公司；没食子酸对照品，纯度 ≥ 98%：上海源叶生物科技有限公司；草酸，分析纯：天津市大茂化学试剂厂；福林酚试剂（Folin-Ciocalteu）：sigma 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 绿豆芽制备

挑选无破损的优质绿豆进行冲洗、浸泡放入豆芽机中，20 °C 恒温培养萌发，制得豆芽备用。

1.3.2 待测样品制备

连续 6 d，每天同一时间，准确称取 25 g 萌发的绿豆芽，置于 250 mL 烧杯中，搅碎 5 min，打浆，取 3 g 定容于 50 mL 60% 丙酮水溶液，超声波提取 1 h，6 000 g 离心 10 min，取上清液，分别进行总黄酮、总多酚含量及总还原性、-OH 清除率、DPPH 清除率及 V_C 含量测定。

1.3.3 总酚含量测定

采用 Folin-Ciocalteu 法^[17]取上述提取液 5 mL，按标准曲线方法测定总酚含量。

测定三组平行数据，计算平均值，按下述公式 1 计算总酚含量。

$$X = \frac{A \times V}{m} \quad (1)$$

式中：X—试样中总酚含量，单位为毫克每克（mg/g）；A—测定用样液中没食子酸的浓度，单位为毫克每毫升（mg/mL）；m—试样的质量，单位为克（g）；V—试样处理液总体积，单位为毫升（mL）。

1.3.4 黄酮含量测定

参照文献^[18]NaNO₂-Al(NO₃)₃-NaOH 比色法。和略作改进文献^[19]取 1.3.1 节提取液 5 mL，按标准曲线方法测定总酚含量。

测定三组平行数据, 计算平均值。根据计算下列公式 2 进行黄酮含量测定。

$$X = \frac{A}{m \times \frac{V_1}{V_2}} \quad (2)$$

式中: X —试样中黄酮的含量(以芦丁计), 单位(mg/g 或 mg/mL); A —测定用样液中芦丁的质量, 单位为毫克(mg); m —试样的质量, 单位为克(g); V_1 —测定用样液体积, 单位为毫升(mL); V_2 —试样处理液总体积, 单位为毫升(mL)。

1.3.5 Vc 含量测定

取 1.3.1 节中的提取液 5 mL, 参照国标 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中第 3 法, 进行 Vc 含量测定。

1.3.6 总还原能力测定

参照 Benzie 的方法^[20]。取上述提取液 5 mL, 按标准曲线方法测定总还原能力。

1.3.7 DPPH 清除率测定

参考文献^[21]配制 0.2 mmol/L DPPH 无水乙醇溶液, 取 1.3.1 节中的提取液 5 mL, 测定在 517 nm 处的吸光值, 使用下面公式 3 对 DPPH 清除率进行计算。

$$DPPH(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100 \quad (3)$$

表 1 DPPH 自由基清除率测定
Table 1 DPPH free radical clearance rate determination mL

	0.2 mmol/L DPPH 无水 乙醇溶液	样液	无水 乙醇	H ₂ O
A1 (加样品吸光度)	4.0	4.0	-	-
A2 (空白组吸光度)	-	4.0	4.0	-
A3 (不加样 DPPH 吸光度)	4.0	-	-	4.0

注: -表示试验时不加入该试剂。

1.3.8 -OH 清除率测定

测定方法: 取 1.3.1 节中的提取液 5 mL, 取 3 支试管按下表依次添加 9 mmol/L 的 FeSO₄, 样液和 0.5% 的 H₂O₂ 等试剂, 振荡混匀, 室温条件下静置 10 min 后依次加入 9 mmol/L 的水杨酸-乙醇, 振荡混匀。用蒸馏水作对照液, 25 °C 水浴 30 min, 测定在 510 nm 处的吸光值, 使用公式 4 对 -OH 清除率进行计算。

$$-OH \text{ 清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100 \quad (4)$$

表 2 -OH 清除率测定
Table 2 Determination of -OH clearance rate mL

	FeSO ₄	样液	H ₂ O	H ₂ O ₂	水杨酸-乙醇
A1 (加样品后吸光度)	2.0	2.0	-	2.0	2.0
A2 (空白组吸光度)	2.0	2.0	2.0	2.0	-
A3 (不加样-OH 吸光度)	2.0	-	2.0	2.0	2.0

注: -表示试验时不加入该试剂, 单位: mL。

1.4 统计分析

应用 SPSS 22.0 软件处理试验数据, 进行分析。

2 结果与分析

2.1 标准曲线

由图 1 标准曲线显示, 标准曲线为 $Y=4.06X-0.0578$, $R^2=0.9990$ ($n=5$)。试验结果表明, 在 0.01~0.18 mg/mL 内, 没食子酸浓度与吸光值 A 有良好的线性关系。根据测定样品的吸光度值带入标准曲线中算出没食子酸标准品浓度, 根据计算公式得出各提取液中的总酚含量。由图 2 标准曲线显示, 标准曲线为 $Y=24.271X-0.0161$, $R^2=0.9958$ ($n=6$)。试验结果表明, 在 0~1 mg/mL 范

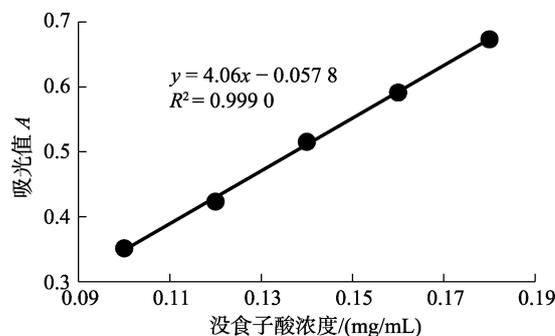


图 1 没食子酸标准曲线
Fig.1 The duofen standard curve

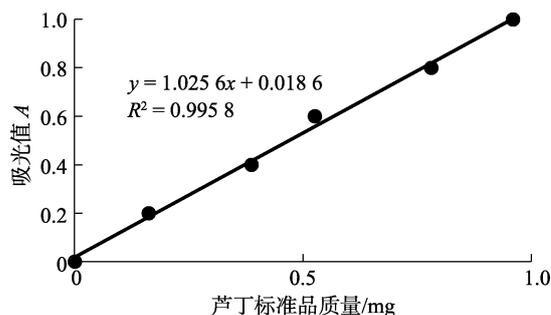


图 2 芦丁标准曲线
Fig.2 The luding standard curve

畴内, 芦丁含量与吸光值 A 有良好的线性联系。根据测定样品的吸光值, 带入标准曲线中算出芦丁浓度, 根据计算公式得出各提取液中黄酮含量。

2.2 不同发芽时间抗氧化物质含量与抗氧化能力变化研究

发芽 1~6 d 总酚、黄酮、Vc 含量变化分别见图 3~5, 由图得出发芽 1~6 d 总酚和黄酮先增加后降低, Vc 含量急剧增加。

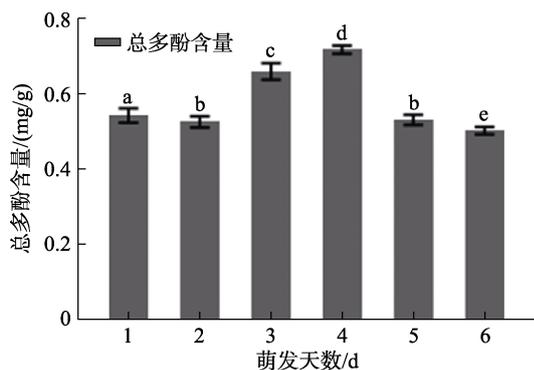


图 3 发芽过程中总酚含量变化

Fig.3 Changes of total phenol content during germination

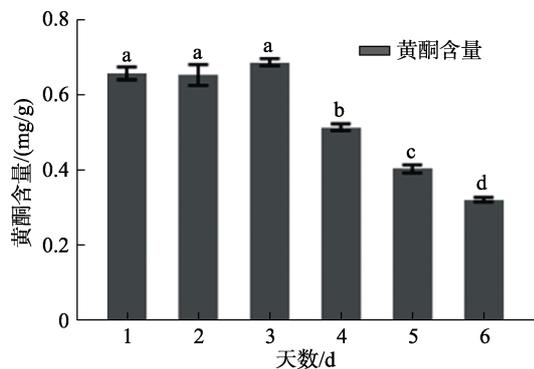


图 4 发芽过程中黄酮含量变化

Fig.4 Changes of flavonoid content during germination

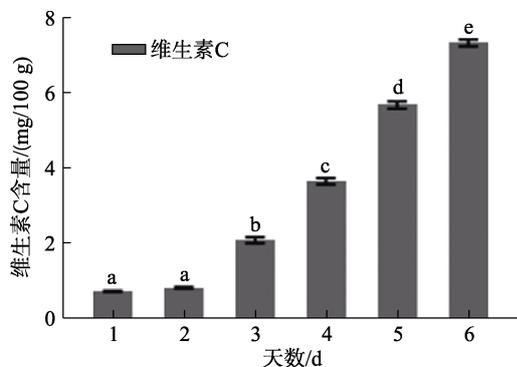


图 5 发芽过程中 Vc 含量变化

Fig.5 Changes in Vc content during germination

发芽第 4 d 多酚含量达到最高 0.723 7 mg/g, 发芽前 4 d 总酚含量增加 28.95%, 总体间有明显

差异。绿豆在发芽过程中, 随着外部形态的变化, 为满足发芽需要, 其中部分物质通过生化反应转化为酚类物质。当发芽达到一定程度 (约第 4 d 后), 绿豆芽形态变化达到一定程度, 液泡膜受到损伤, 液泡中酚类物质与多酚氧化酶反应, 催化酚类物质氧化成醌, 醌再经过聚合作用, 不可逆地产生有色物质, 引起褐变^[22]。从而表现为绿豆发芽过程中多酚含量先增加后降低。

发芽第 3 d 黄酮含量达到最高 0.697 4 mg/g, 发芽前 3 d 黄酮含量增加 5.59%。第 3 d 与第 4 d 有明显差异, 黄酮含量总体间差异较小。绿豆发芽过程中黄酮的含量增加与降低与酶的活性相关, 有研究表明^[23]黄酮含量与苯丙氨酸解氨酶活性有关。发芽前期 (1~3 d), 苯丙氨酸解氨酶活性较强, 催化部分物质通过生化反应转化为黄酮物质, 发芽后期, 酶活性降低, 黄酮合成趋于平缓, 最后降低。

发芽 1~6 d, Vc 增加了 89.48%, 总体间存在明显差异。发芽过程中, 淀粉水解产生的葡萄糖为 Vc 的生物合成提供了原料, 因而 Vc 含量大为增加^[12]。随着发芽的进程, 绿豆内部 Vc 得以释放, 使 Vc 功能特性也得以增加。另有研究表明^[25], Vc 的增加可以诱导 G6PDH 酶活性增加酚类物质含量。

发芽 1~6 d DPPH 清除率、-OH 清除率、总还原能力变化见图 6, 三种抗氧化能力都表现为先增加后降低。DPPH 清除率各数值间显著性差异较大, -OH 清除率各数值间均存在显著性差异, 总还原能力 6 个样品之间差异性不大。在发芽第 3 d 时, DPPH 清除率、-OH 清除率、总还原能力

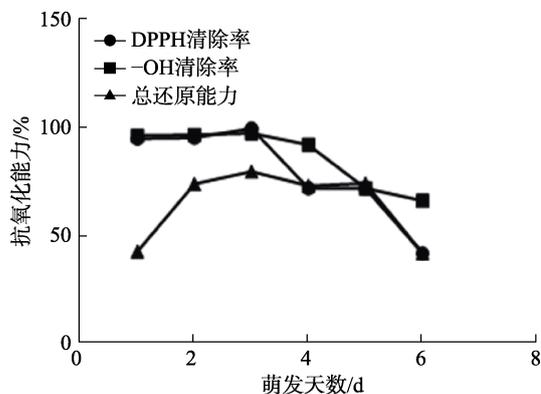


图 6 发芽过程中抗氧化能力变化

Fig.6 Changes in antioxidant capacity during germination

表 3 不同发芽时间抗氧化物质含量与抗氧化能力

Table 3 Antioxidant content and antioxidant capacity in different germination times

天数/d	总酚含量/(mg/g)	黄酮含量/(mg/g)	维生素 C/(mg/100 g)	DPPH 清除率/%	-OH 清除率/%	总还原能力
1	0.561 2±0.014 5	0.660 5±0.036 0	0.783 3±0.035 1	94.60±0.47	95.99±0.19b	0.422 0±0.006 0
2	0.534 8±0.000 7	0.677 7±0.051 6	0.863 3±0.051 3	94.91±0.55	95.26±0.09	0.736 6±0.020 8
3	0.673 9±0.001 9	0.697 4±0.012 3	2.063 3±0.041 6	99.28±0.53	97.00±0.13	0.792 6±0.005 0
4	0.723 7±0.001 8	0.520 5±0.007 5	3.716 7±0.035 1	71.54±0.26	91.63±0.24	0.723 0±0.005 5
5	0.526 1±0.001 2	0.409 6±0.026 3	5.730 0±0.045 8	71.51±0.17	71.51±0.17	0.741 6±0.010 4
6	0.525 3±0.001 8	0.362 3±0.008 3	7.450 0±0.117 9	41.40±1.01	65.58±0.04	0.414 0±0.010 2

各指标最高分别为 99.28%、97.00%、79.26%，分别提高了 4.68%、1.04%、46.76%。第 3 d 与第 6 d 相比，各指标均出现较大范围的数值变化。

据相关文献报道^[24]，黄酮和酚类物质具有良好的自由基清除能力，是近年来天然抗氧化剂研究的热点之一。因此选用这两种物质含量作为研究绿豆芽最佳食用时间指标，对人体健康吸收有益物质具有重要指导意义。

2.3 绿豆发芽过程中抗氧化成分与抗氧化能力的相关性分析

由表 4 可知，发芽过程中，总酚与 DPPH 清除率、-OH 清除率之间呈极显著，相关系数分别为 0.885 和 0.768，黄酮与 DPPH 清除率、-OH 清除率相关系数分别为 0.553 和 0.518，说明在发芽过程中主要的抗氧化物质为酚类物质。Gie 等^[25]研究表明油桃、桃和李中总酚含量与 FRAP 和 DPPH 抗氧化性高度相关，与本研究结果一致。

表 4 绿豆发芽过程中抗氧化成分与抗氧化能力的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between antioxidant content and antioxidant capacity in green bean germination process %

指标	DPPH 清除率	-OH 清除率
总酚	0.885**	0.768**
黄酮	0.553	0.518

注：**表示两指标间有极显著相关性 ($P < 0.01$)。

3 结论

绿豆发芽过程中，外部表现为形态发生变化，内部为一些生化反应，这些生化反应会在一段时间内会产生多种对人体有益的物质，酚类和黄酮物质也会相应增加。本研究显示：绿豆经发芽 6 d，总酚和黄酮含量先增加后减少，1~4 d 总酚含量增加 0.162 5 mg/g，提高 28.95%。1~3 d 黄酮含量增加 0.036 9 mg/g，提高 5.59%。另外绿豆本身含有

较少的维生素物质，发芽后维生素类的物质含量也会大幅增加。1~3 d，DPPH 清除率、-OH 清除率、总还原能力各指标达到最高分别为 99.28%、97.00%、79.26%，分别提高 4.68%、1.04%、46.76%。相关性结果表明，抗氧化能力主要与酚类物质有关，因此综合研究结果考虑，建议在绿豆发芽到第 4 天时食用，此时绿豆芽中含有较高的抗氧化物质和较高的抗氧化能力，对人体最有益，该结论也为绿豆芽食品的开发提供了支持。

参考文献：

- [1] 李晓红, 李淑荣, 罗红霞, 等. 芽苗活性成分研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(12): 1-4.
LI X H, LI S R, LUO H X, et al. Research progress on active ingredients of buds and Seedlings[J]. Grain and Oils, 2019, 32(12): 1-4.
- [2] 李洪亮, 李丹, 张东杰, 等. 鲜食水稻籽粒成熟过程中多糖组成及抗氧化活性分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 59-63+69.
LI H L, LI D, ZHANG D J, et al. Analysis of polysaccharide composition and antioxidant activity of fresh rice during grain maturation[J]. Food and Machinery, 2020, 36(5): 59-63+69.
- [3] 单杨. 中国果蔬加工产业现状及发展战略思考[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 1-9.
SHAN Y. Current situation and development strategy of fruit and vegetable processing industry in China[J]. Chinese Journal of Food, 2010, 10(1): 1-9.
- [4] 李建英, 田中艳, 周长军, 等. 绿豆芽菜萌发条件及物质含量测定[J]. 黑龙江农业科学, 2010, 33(7): 37-40.
LI J Y, TIAN Z Y, ZHOU C J, et al. Determination of germination conditions and substance content of Mung Bean sprout[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2010, 33(7): 37-40.
- [5] 汪旭, 陈野. 绿豆萌芽过程营养成分变化规律[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(9): 1-4.
WANG X, CHEN Y. The change rule of nutrition composition in mung bean germination process[J]. food research and developmen, 2015, 36(9): 1-4.
- [6] 黄六容, 蔡梅红, 仲元华, 等. 发芽温度对绿豆芽抗氧化成分和抗氧化能力的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(1):

- 31-34.
- HUANG L R, CAI M H, ZHONG Y H, et al. Effect of germination temperature on antioxidant components and antioxidant capacity of Mung Bean sprouts[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2011, 38(1): 31-34.
- [7] 刘婷婷, 包佳微, 阮长青, 等. 浸泡和发芽对杂豆酚类物质及其抗氧化性的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(8): 26-33.
- LIU T T, BAO J W, RUAN C Q, et al. Effects of soaking and germination on heterophenol and its antioxidant properties[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2019, 34(8): 26-33.
- [8] 李瑞国, 郭少英, 王怀远. 绿豆萌发期蛋白质和维生素 C 含量及营养价值[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 170-173.
- LI R G, GUO S Y, WANG H Y. Protein and vitamin C content and nutritional value of mung bean during germination[J]. food research and developmen, 2012, 33(4): 170-173.
- [9] 钟葵, 曾志红, 林伟静, 等. 绿豆多糖制备及抗氧化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(2): 93-98.
- ZHONG K, ZENG Z H, LIN W J, et al. Study on preparation and antioxidant properties of Mung Bean polysaccharide[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2013, 28(2): 93-98.
- [10] 张海均, 贾冬英, 姚开. 绿豆的营养与保健功能研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2012, 48(1): 7-10.
- ZHANG H J, JIA D Y, YAO K. Research progress on nutrition and health function of Mung bean[J]. Food and fermentation technology, 2012, 48(1): 7-10.
- [11] S'WIECA M, CAWLIK-DZIKI U. Impact of germination time and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of Lensculinaris sprouts[J]. Scientia Horticultu rae, 2012. 140: 87-95.
- [12] 姜宇婷. 绿豆发芽过程中组分及营养变化研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(14): 209+214.
- JIANG Y T. Progress in the study of composition and nutrition of Mung bean during germination[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(14): 209+214.
- [13] 朱伟, 吕莹果, 王艳艳, 等. 黄豆和绿豆在发芽过程中抗氧化性的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(4): 63-68.
- ZHU W, LV Y G, WANG Y Y, et al. Study on antioxidant activity of soybean and mung bean during germination[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science edition), 2016, 37(4): 63-68.
- [14] 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.
- CHEN Z, KANG Y F. Overview of studies on the efficacy components of legume seeds and germination process[J]. Chinese food and nutrition, 2012, 18(10): 27-32.
- [15] RAMOS S. Cancer chemoprevention and chemotherapy: dietary polyphenols and signalling pathways[J]. Molecular nutrition & Food research, 2008, 52(5): 507-526.
- [16] 刘婷婷. 不同加工方式对杂豆酚类物质及其抗氧化性的影响[D]. 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- LIU T T. Effects of different processing methods on heterophenol and its antioxidant properties[D]. Heilongjiang Bayi Agricultural Reclamation University, 2019.
- [17] PATAY ÉVA B, SALI N, PAPP N, et al. Antioxidant potential, tannin and polyphenol contents of seed and pericarp of three Coffea species[J]. Asian Pacific journal of tropical medicine, 2016, 9(4).
- [18] 秦亚茹, 张友胜, 张凯, 等. 藤茶总黄酮检测方法的对比研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(12): 302-309+188.
- QIN Y R, ZHANG Y S, ZHANG K, et al. Comparative study on the detection methods of total flavones in Tengcha[J]. Modern food technology, 2019, 35(12): 302-309+188.
- [19] 弓志青, 刘春泉, 李大婧. 不同品种板栗贮藏过程中总酚与抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(1): 45-50.
- GONG Z Q, LIU C Q, LI D J. Study on total Phenols and antioxidant activity of Chestnut in different cultivars during storage[J]. Chinese Journal of Food, 2011, 11(1): 45-50.
- [20] 冯晓翎, 曹诗瑜, 唐国焱, 等. 11 个鲜食葡萄品种总酚含量和抗氧化活性的评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 68-75.
- FENG X L, CAO S Y, TANG G Y, et al. Evaluation of total phenol content and antioxidant activity of 11 fresh grape varieties[J]. Technology of food industry, 2019, 40(6): 68-75.
- [21] LEE S C, KIM J H, JEONG S M, et al. Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of rice hulls[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2003, 51(15): 4400-4403.
- [22] JINSEN X. The effect of low-temperature storage on the activity of polyphenol oxidase in Castanea henryi chestnuts[J]. postharvest biology and technology, 2005, 38(1).
- [23] 刘淑欣. 融合双功能酶 4CL1-CCR 在苯丙烷类代谢物转化中的应用[D]. 北京林业大学, 2017.
- LIU S X. Application of fusion bifunctional enzyme 4CL1-CCR in the transformation of phenylpropane metabolites[D]. Beijing Forestry University, 2017.
- [24] KATRIN S. Dependence of DPPH radical scavenging activity of dietary flavonoid quercetin on reaction environment[J]. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, 2014, 14(6).
- [25] GIL M I, TOMÁS-BARBERÁN F A, HESS-PIERCE B, et al. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2002, 50(17). 完