

# 不同品种谷子醇提物抗氧化活性比较

王凌云<sup>1</sup>,宋小清<sup>1</sup>,王晓明<sup>2</sup>,范光宇<sup>2</sup>,赵治海<sup>2</sup>,赵艳<sup>1</sup>,刘颖慧<sup>1\*</sup>  
(1.河北北方学院,河北 张家口 075000; 2.张家口农业科学院,河北 张家口 075000)

**摘要:** 为了解谷子的抗氧化功效,以5个谷子品种为研究对象,测定了谷子醇提物中抗氧化活性物质的含量,比较了不同谷子品种醇提物的抗氧化能力,并分析了抗氧化能力与活性成分含量的相关性。结果显示,5个谷子品种总酚、黄酮、 $\alpha$ -生育酚含量分别为369.9~793.1、162.1~459.3、7.1~17.1 mg/kg;谷子醇提物的DPPH自由基清除率、OH自由基清除率、还原力的 $IC_{50}$ 值分别为0.09~0.24、0.41~0.74、0.98~2.35 mg/mL。其中,张杂谷9号的黄酮含量最高,总酚、 $\alpha$ -生育酚含量最低,DPPH自由基清除能力最强;8311总酚和 $\alpha$ -生育酚含量最高,黄酮含量最低,OH自由基清除能力最强;张杂谷3号提取物的还原力高于其他4个品种。相关性分析结果显示,谷子提取物对DPPH自由基的清除能力与总酚、 $\alpha$ -生育酚含量呈显著正相关,与黄酮含量呈显著负相关;对OH自由基的清除能力与总酚、 $\alpha$ -生育酚含量呈显著负相关,与黄酮含量呈显著正相关;还原力与 $\alpha$ -生育酚含量呈显著负相关。

**关键词:** 谷子;醇提取物;活性成分;抗氧化作用

**中图分类号:** S515      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2017)02-0028-05

## Comparative Study on Antioxidant Activity of Alcohol Extracts from Different Millet Cultivars

WANG Lingyun<sup>1</sup>, SONG Xiaoqing<sup>1</sup>, WANG Xiaoming<sup>2</sup>, FAN Guangyu<sup>2</sup>,  
ZHAO Zhihai<sup>2</sup>, ZHAO Yan<sup>1</sup>, LIU Yinghui<sup>1\*</sup>  
(1. Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China;  
2. Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou 075000, China)

**Abstract:** In order to study the antioxidant activity of millet, 5 millet cultivars were used to determine the content of antioxidative substance, the antioxidant capacity of alcohol extract from different millet cultivars were compared, and the relationship between the antioxidant capacity and the content of antioxidative substance was analyzed. The results showed that the content of the total phenol, flavonoid and alpha tocopherol ranged from 369.9 to 793.1 mg/kg, 162.1 to 459.3 mg/kg and 7.1 to 17.1 mg/kg, respectively. The  $IC_{50}$  of DPPH free radical scavenging, OH free radical scavenging and the power of reducing ranged from 0.09 to 0.24 mg/mL, 0.41 to 0.74 mg/mL and 0.98 to 2.35 mg/mL respectively. Zhangzagu No. 9 had the lowest contents of polyphenols, alpha tocopherol, the highest flavonoid content, and the DPPH free radical scavenging capacity was the highest in all test cultivars. 8311 had the highest total polyphenols and alpha tocopherol contents, the lowest flavonoid content, the strongest OH free radical scavenging capacity. Zhangzagu No. 3 had the highest power of reducing. The correlation analysis showed that the DPPH free radical scavenging capacity was positively correlated with the contents of total polyphenol and alpha tocopherol, negatively correlation with flavonoid content. The OH free radical

收稿日期:2016-08-19  
基金项目:国家科技重大专项(2014ZX0800909B);河北省科技厅项目(16226310D);张家口市科技局项目(1511076C)  
作者简介:王凌云(1988-),女,山东莱州人,在读硕士研究生,研究方向:谷子成分。E-mail:984112812@qq.com  
\* 通讯作者:刘颖慧(1971-),女,河北承德人,教授,博士,主要从事植物基因工程研究。E-mail:leely519@126.com

scavenging capacity was negatively correlated with the contents of total polyphenol and alpha tocopherol, positively correlated with flavonoid content. The reducing power was negatively correlated with alpha tocopherol content.

**Key words:** millet; alcohol extracts; active ingredients; antioxidation

氧化是人类新陈代谢的一部分。自由基学说建立以来,人们发现自由基对DNA、生物膜以及内脏器官都有一定的损伤<sup>[1-2]</sup>,并且与多种疾病有着密切联系<sup>[3]</sup>。人工合成的抗氧化剂能够清除自由基,但其工艺复杂、成本昂贵且对人体有毒害作用,一直无法应用于临床<sup>[4]</sup>。天然抗氧化剂由于取材于天然的食药材,对人体毒害作用较小而备受关注。天然抗氧化成分主要包括多酚类、黄酮类、多糖类及维生素类<sup>[5-6]</sup>,因具有独特的化学结构而能够清除自由基,进而起到抗氧化的作用<sup>[7-11]</sup>。刘清等<sup>[12]</sup>研究发现,大麦提取物具有良好的体外抗氧化作用,而且与提取物中的多酚浓度呈量效关系。郝亚楠等<sup>[13]</sup>研究了薏米醇提物对大鼠溃疡性结肠的作用,证实薏米提取物具有一定的抗氧化作用。

谷子是重要的农作物,营养价值丰富,且具有降血压、安眠等功效,被誉为“百谷之长”<sup>[14-16]</sup>。如何充分利用谷子吃出健康,一直是人们探讨的话题。目前对于谷子的研究多局限于产量及抗病虫害等方面<sup>[17-19]</sup>,对谷子抗氧化功效的研究鲜有报道。“张杂谷”是张家口市农业科学院历经半个世纪培育的优良杂交谷子系列品种<sup>[20]</sup>,凭借优良的种植效果和优异的品质、产量以及抗逆特性,近几年在全国及非洲地区推广种植面积迅速扩大<sup>[21]</sup>。为了探究“张杂谷”系列谷子中活性物质的抗氧化能力,以常规品种8311为对照,提取并测定了“张杂谷”系列谷子品种的抗氧化成分(总酚、黄酮和 $\alpha$ -生育酚)含量,并比较了其体外抗氧化特性,探讨了谷子抗氧化物质含量与抗氧化活性的关系,旨在增进人们对谷子抗氧化能力的了解,为人们合理食用谷子以及品种筛选提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试谷子品种分别为张杂谷3号、张杂谷5号、张杂谷9号、张杂谷10号和常规品种8311,均由张家口市农业科学院提供。谷子脱壳去皮获得小米,于45℃烘箱中烘干,粉碎。本试验以烘干粉碎后的小米为研究对象。

试剂:DPPH、福林试剂、芦丁、 $\alpha$ -生育酚均购

自于美国sigma公司;总抗氧化能力试剂盒购自苏州科铭生物有限公司;甲醇为色谱纯;硫酸亚铁、水杨酸、乙醇、抗坏血酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、铁氰化钾、三氯乙酸、三氯化铁、葡萄糖等均为分析纯。

主要仪器:723N可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)、UV-1800岛津紫外可见分光光度计(日本岛津公司)、JXFM110型锤式旋风磨(上海嘉定粮油仪器有限公司)、H2050R型高速冷冻离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)、万分之一天平(赛多利斯科学仪器有限公司)、液相色谱仪HP1100(Agilent公司)、冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司)、恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司)、RE-2000B旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂)。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 谷子活性成分的提取** 将不同品种谷子脱壳粉碎,过0.150 mm筛后脱脂备用。采用70%乙醇溶液作为溶剂<sup>[22]</sup>,以料液比1:10充分提取2次后,5 000 r/min离心10 min,之后将滤液置于45℃旋转蒸发仪中浓缩,浓缩液冷冻干燥至干粉得到谷子提取物。再用70%乙醇溶液将干粉溶解得到待测样品溶液<sup>[23]</sup>。

**1.2.2 谷子提取物中活性成分含量的测定**

**1.2.2.1 总酚含量** 采用福林酚法测定,精密移取各品种谷子醇提物待测提取液1 mL于10 mL容量瓶中,加入1 mL Folin-Ciocalteu显色剂,摇匀后再加入2 mL 15%碳酸钠溶液,用水定容至10 mL,室温下反应2 h,再在760 nm处测定吸光度值,依据标准曲线计算总酚的没食子酸当量,总酚含量以每1 kg小米粉的没食子酸当量(mg)表示<sup>[22]</sup>。

**1.2.2.2 黄酮含量** 精密移取待测液3 mL于25 mL容量瓶中,加入1 mL 5%亚硝酸钠,混匀,室温下静置6 min,再加入1 mL 10%硝酸铝,混匀后于室温下静置6 min,再加入10 mL 4% NaOH溶液,用蒸馏水定容,静置15 min,然后在500 nm波长下测其吸光度,根据标准曲线计算总黄酮的芦丁当量。总黄酮含量以每1 kg小米的芦丁当量(mg)表示<sup>[24]</sup>。

**1.2.2.3  $\alpha$ -生育酚含量** 采用外标法以 $\alpha$ -生育酚标准品做标准曲线,对醇提物中 $\alpha$ -生育酚的含

量进行测定,色谱柱采用安捷伦 C18 柱(150 mm × 4.6 mm,5 μm),流动相为甲醇(色谱级) - 水(95/5),流速为 1.0 mL/min,进样量为 20 μL,柱温为 30 ℃,紫外检测器波长为 280 nm,在此条件下测定谷子α - 生育酚含量。采用等度洗脱,在 16 min 左右出峰。

1.2.3 谷子提取物的抗氧化活性测定

1.2.3.1 DPPH 自由基清除率 分别精密量取质量浓度为 0.1、0.2、0.5、0.8、1.0 mg/mL 的谷子提取物 2 mL,分别加入 2 mL 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液,混匀后放置暗处静置 30 min,以无水乙醇作为参照溶液,以 Vc 为阳性对照,于 517 nm 处测定吸光值,按下列公式计算清除率( SE )。

$$SE = [1 - (A_1 - A_2/A_0)] \times 100\%$$

式中,A<sub>1</sub> 为 2 mL 样品溶液 + 2 mL 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液的吸光度,A<sub>2</sub> 为 2 mL 样品溶液 + 2 mL 无水乙醇的吸光度,A<sub>0</sub> 为 2 mL 无水乙醇 + 2 mL 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液的吸光度<sup>[25]</sup>。

1.2.3.2 OH 自由基清除率 分别精密量取质量浓度为 0.1、0.2、0.5、0.8、1.0、2.0 mg/mL 的谷子提取物 1 mL,分别加入 1 mL 9 mmol/L 硫酸亚铁溶液和 1 mL 9 mmol/L 水杨酸乙醇溶液,最后加入 1 mL 8.8 mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 启动反应,于 37 ℃ 恒温水浴箱反应 15 min。用蒸馏水做空白溶液,以 Vc 为阳性对照,在 510 nm 处测吸光值,清除率公式如下所示。

$$\text{清除率} = [A_i - (A_j - A_{ji})] \times 100\%$$

式中,A<sub>i</sub> 为空白溶液吸光度,A<sub>j</sub> 为加入待测溶液后的吸光度,A<sub>ji</sub> 为待测溶液本底吸光度<sup>[26]</sup>。

1.2.3.3 还原力 分别精密量取质量浓度为 0.1、0.2、0.5、0.8、1.0、2.0 mg/mL 的谷子提取物,按江苏科铭生物技术有限公司试剂盒说明书进行还原力测定,以酸性环境下,还原 Fe<sup>3+</sup> - 三吡啶三吡嗪(Fe<sup>3+</sup> - TPTZ)产生蓝色的 Fe<sup>2+</sup> - TPTZ 的能力反映还原力。

1.3 数据处理与分析

试验数据以 3 次重复的平均值 ± 标准差表示,体外抗氧化活性采用半数抑制浓度 IC<sub>50</sub> 来表示,IC<sub>50</sub> 值越小,抗氧化活性越强。数据作图采用 Excel 2010 进行,相关性与差异显著性分析采用 SPSS 16.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同品种谷子提取物中的活性成分含量分析

由表 1 可见,总酚含量因谷子品种不同而有差异,介于 369.9 ~ 793.1 mg/kg,8311 总酚含量最高,

为 793.1 mg/kg;张杂谷 9 号含量最低,仅为 369.9 mg/kg。不同谷子品种中黄酮和 α - 生育酚含量变异相对较小,分别介于 162.1 ~ 459.3 mg/kg 和 7.1 ~ 17.1 mg/kg。其中,张杂谷 9 号黄酮含量最高,为 459.3 mg/kg,α - 生育酚含量最低,为 7.1 mg/kg;品种 8311 提取物中黄酮含量较低,为 162.1 mg/kg,但 α - 生育酚含量最高,为 17.1 mg/kg。经统计分析,3 种成分含量之间无显著相关性。

表 1 不同品种谷子中的总酚、黄酮和 α - 生育酚含量

品种	mg/kg		
	总酚含量	黄酮含量	α - 生育酚
张杂谷 3 号	441.7 ± 37.9	366.7 ± 7.7	13.9 ± 3.3
张杂谷 5 号	427.9 ± 40.0	374.3 ± 6.3	10.7 ± 1.5
8311	793.1 ± 49.7	162.1 ± 3.1	17.1 ± 5.9
张杂谷 9 号	369.9 ± 12.1	459.3 ± 11.0	7.1 ± 8.2
张杂谷 10 号	532.3 ± 9.2	388.5 ± 6.1	15.3 ± 7.8

2.2 不同品种谷子提取物的抗氧化能力分析

2.2.1 对 DPPH 自由基的清除作用 由图 1 可知,谷子提取物质量浓度在 0.1 ~ 1.0 mg/mL 时,其(张杂谷 5 号除外)对 DPPH 自由基的清除能力随着提取物质量浓度的增加而增强,说明谷子提取物对 DPPH 自由基具有一定的清除作用。与 Vc 相比,谷子提取物清除 DPPH 自由基的能力相对较弱。Vc 对 DPPH 自由基的清除率在 0.5 mg/mL 时已达到 93%,随着 Vc 质量浓度的增加,清除自由基的能力增长缓慢。5 种谷子提取物清除 DPPH 自由基的能力不同,0.1 ~ 0.5 mg/mL 时,张杂谷 5 号清除 DPPH 自由基的能力高于其他 4 个品种;当提取物质量浓度大于 0.5 mg/mL 时,除了张杂谷 5 号除外,4 种谷子提取物清除自由基的能力基本达到稳定状态。不同谷子品种提取物清除 DPPH 自由基的半数抑制浓度 IC<sub>50</sub> 见表 2。由表 2 可知,5 种谷子提取物清除 DPPH 自由基的 IC<sub>50</sub> 值均高于 Vc,表明谷子提取物均具有一定的清除 DPPH 自由基的能力,但都弱于 Vc。5 个谷子品种的提取物对 DPPH 自由基的清除能力表现为 8311 < 张杂谷 10 号 < 张杂谷 3 号 < 张杂谷 5 号 < 张杂谷 9 号。

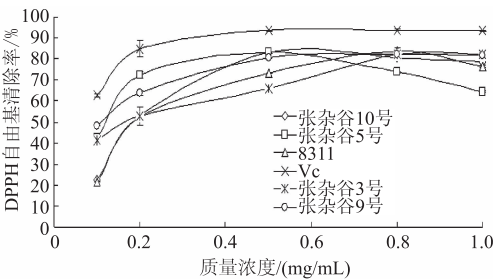


图 1 不同品种谷子提取物对 DPPH 自由基的清除作用

表 2 不同品种谷子提取物清除 DPPH 自由基的 IC <sub>50</sub> 值						mg/mL
项目	张杂谷 3 号	张杂谷 5 号	8311	张杂谷 9 号	张杂谷 10 号	V <sub>c</sub>
IC <sub>50</sub>	0.17 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.24 ± 0.00	0.09 ± 0.02	0.22 ± 0.01	0.02 ± 0.01

2.2.2 对 OH 自由基的清除作用 从图 2 可以看出,提取物质量浓度在 0.1 ~ 2.0 mg/mL 时,谷子提取物对 OH 自由基的清除能力随着提取液质量浓度的增加而增强,说明谷子提取物对 OH 自由基具有一定的清除作用。与 Vc 相比,谷子提取物清除 OH 自由基的能力相对较弱,当提取物质量浓度达到 2.0 mg/mL 时,8311 和张杂谷 5 号谷子提取物清除 OH 自由基的能力与 Vc 相当。5 种谷子提取物清除 OH 自由基的能力不同,其中品种 8311 提取物清除 OH 自由基的能力高于其他 4 个品种。不同品种谷子提取物清除 OH 自由基的 IC<sub>50</sub> 值见表 3。由表 3 可知,谷子提取物清除 OH 自由基的 IC<sub>50</sub> 值均大于

Vc, 说明谷子提取物对 OH 自由基的清除作用弱于 Vc。5 个谷子品种的提取物清除 OH 自由基的能力表现为张杂谷 9 号 < 张杂谷 5 号 < 张杂谷 3 号 < 张杂谷 10 号 < 8311。

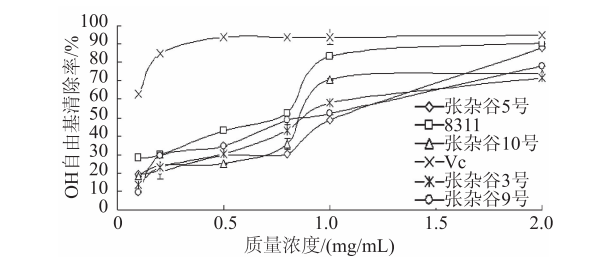


图 2 不同品种谷子提取物对 OH 自由基的清除作用

表 3 不同品种谷子取物清除 OH 自由基的 IC <sub>50</sub> 值						mg/mL
项目	张杂谷 3 号	张杂谷 5 号	8311	张杂谷 9 号	张杂谷 10 号	V <sub>c</sub>
IC <sub>50</sub>	0.65 ± 0.05	0.70 ± 0.02	0.41 ± 0.01	0.74 ± 0.02	0.59 ± 0.01	0.01 ± 0.02

2.2.3 还原力 由图 3 所示,谷子提取物的还原力与提取物质量浓度呈良好的量效关系,说明谷子提取物具有一定的还原力。当谷子提取物质量浓度大于 0.8 mg/mL 时,张杂谷 3 号的还原力高于其他品种。在 0.1 ~ 2.0 mg/mL 时,5 个谷子品种中 8311 的提取物还原力最弱。5 个谷子品种还原力的 IC<sub>50</sub> 值如表 4。由表 4 可知,5 个谷子品种提取物的还原力表现为: 8311 < 张杂谷 5 号 < 张杂谷 9 号 < 张杂

谷 10 号 < 张杂谷 3 号。

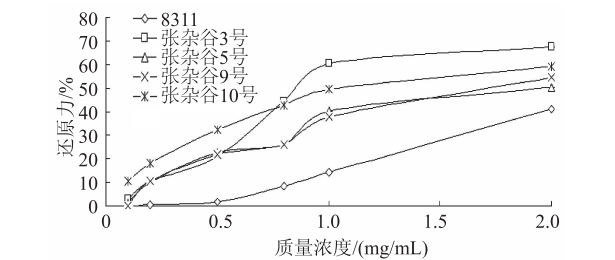


图 3 不同品种谷子提取物的还原力

表 4 不同品种谷子提取物还原力的 IC <sub>50</sub> 值					mg/mL
项目	张杂谷 3 号	张杂谷 5 号	8311	张杂谷 9 号	张杂谷 10 号
IC <sub>50</sub>	0.98 ± 0.05	1.45 ± 0.01	2.35 ± 0.02	1.35 ± 0.01	1.05 ± 0.02

2.3 谷子提取物的抗氧化能力与活性成分含量的相关性分析

由表 5 可知,谷子提取物对 DPPH 自由基的清除率与总酚、α - 生育酚含量呈显著正相关,相关系数分别为 0.850、0.975,而与黄酮含量呈显著负相关( $r = -0.944$ );对 OH 自由基的清除率与总酚、α - 生育酚含量呈显著负相关,相关系数分别为 -0.992、-0.877,与黄酮含量呈显著正相关( $r =$

0.991); 谷子提取物的还原力与总酚含量 ( $r = 0.622$ )、黄酮含量( $r = 0.744$ )呈显著正相关,与 α - 生育酚含量呈显著负相关( $r = -0.903$ )。

3 结论与讨论

谷子品种繁多,不同品种的抗氧化物含量和能力也存在一定差异。以“张杂谷”系列谷子品种与常规品种 8311 为对象,研究了不同谷子品种的抗氧化物含量和抗氧化能力。通过对谷子提取物的 3 种体外抗氧化试验研究发现,谷子提取物具有一定的体外抗氧化能力。目前,关于醇提物抗氧化能力与活性成分含量的相关性研究有不同的报道结果。何永艳等<sup>[27]</sup>指出,荞麦的总酚含量越高,对 OH 自由基的清除率越高,两者相关性显著。张名位等<sup>[28]</sup>发

表 5 谷子提取物的抗氧化活性与活性成分含量的相关性分析			
项目	DPPH 自由基清除率	OH 自由基清除率	还原力
总酚含量	0.850 *	-0.992 *	0.622 *
黄酮含量	-0.944 *	0.991 *	0.744 *
α - 生育酚含量	0.975 *	-0.877 *	-0.903 *

注: \* 代表相关性在 0.05 水平显著。

现,黑米抗氧化能力与其提取物中的黄酮含量呈显著正相关。李光等<sup>[29]</sup>通过对荞麦的研究发现,其抗氧化活性与黄酮、维生素 E 含量具有显著相关性,与多酚含量不存在相关性,证实了不同物种提取物中活性物质含量与抗氧化能力存在差异。本试验中,总酚、黄酮、 $\alpha$ -生育酚 3 种成分含量与抗氧化能力的相关性分析表明,总酚、黄酮和  $\alpha$ -生育酚含量与谷子提取物的抗氧化能力均具有显著相关性。其中,总酚含量与 OH 自由基清除率具有显著负相关关系,但与 DPPH 自由基清除率呈显著正相关,这与徐元元等<sup>[30]</sup>的研究结果一致;黄酮含量与 DPPH 自由基清除率具有显著的负相关关系,与 OH 自由基清除率、还原力则呈显著正相关。造成负相关的原因有可能是样本过少,由于样本数量有限,未能达到统计学最低样本数,也有可能是由于样品不纯造成的。本试验采用谷子醇提物进行抗氧化研究,其表现出复杂的抗氧化活性,但尚不能明确提取液中哪种成分起作用或者不同成分在同一溶液中的抗氧化作用强度是否存在协同或拮抗作用,下一步将增加样本数量、对抗氧化成分进行提纯后再进行各自的体外抗氧化试验,以明确谷子提取物中不同成分的抗氧化作用效果。目前,国内外对小米提取物的抗氧化作用研究较少,其复杂的抗氧化作用需要对小米中各个组分进行更深入地研究,来进一步明确其活性成分的抗氧化作用机制。

#### 参考文献:

- [1] 李勇,孔令青,高洪,等. 自由基与疾病研究进展[J]. 动物医学进展,2008,29(4):85-88.
- [2] Dutra R, Leite M, Barbosa N. Quantification of phenolic constituents and antioxidant activity of *Pterodon emarginatus* vogel seeds[J]. International Journal of Molecular Sciences,2008,9(4):606-614.
- [3] 郑聪聪,苏艳芳,黄雄,等. 黑豆乙醇萃取物中抗氧化成分的分离与鉴定[J]. 食品科学,2015,36(6):155-160.
- [4] 杜玉,娄红祥. 天然植物抗氧化剂的作用机制研究概况[J]. 中药材,2006,29(7):739-743.
- [5] 王立峰,何荣,袁建,等. 薏米中酚类提取物测定及抗氧化能力指数分析[J]. 食品科学,2012,33(1):72-76.
- [6] 徐宏化,程慧,王正加,等. 美国山核桃总多酚与总黄酮含量及抗氧化活性[J]. 核农学报,2016,30(1):72-78.
- [7] 李巍巍,李俊发,郭安臣,等. 植物多酚神经保护作用的研究进展[J]. 中国卒中杂志,2015,10(2):141-146.
- [8] Okawa M, Kinjo J, Nohara T, et al. DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activity of flavonoids obtained from some medicinal plants[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin,2001,24(10):1202-1205.
- [9] 孟庆华,于晓霞,张海凤,等. 天然黄酮类化合物清除自由基机理及其应用进展[J]. 云南民族大学学报(自然科学版),2012,21(2):79-83.
- [10] 周萌,李明,丁新华,等. 不同番茄品种中类黄酮和咖啡酰奎尼酸含量测定及与抗氧化能力相关分析[J]. 核农学报,2014,28(4):662-669.
- [11] 商军,潘娟,华贤辉. 高效液相色谱法测定维生素 E 原料含量[J]. 饲料工业,2009,30(14):51-54.
- [12] 刘清,李玉,姚惠源. 大麦提取物的体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2007,28(2):131-132,136.
- [13] 郝亚楠,李新平,刘宁,等. 薏米提取物对溃疡性结肠炎大鼠抗氧化作用的研究[J]. 中国预防医学杂志,2012,13(3):177-180.
- [14] 侯国泉. 全谷物食品——主要原料品种介绍[J]. 农业机械,2011(8):33-37.
- [15] 刘敬科,刁现民. 我国谷子产业现状与加工发展方向[J]. 农业工程技术(农产品加工业),2013(12):15-17.
- [16] 陈卫军,魏益民,张国权,等. 国内外谷子的研究现状[J]. 杂粮作物,2000,20(3):27-29.
- [17] 刘环,刘恩魁,周新建,等. 夏谷播期与籽粒产量的回归分析[J]. 天津农业科学,2013,19(3):77-86.
- [18] 苏宸瑾,黄学芳,王娟玲. 地膜穴播不同种植密度对杂交谷子产量及水分利用效率的影响[J]. 山西农业科学,2016,44(4):487-490.
- [19] 王士军. 冀西北地区张杂谷害虫发生特点与综合防治技术[J]. 河北北方学院学报(自然科学版),2013,29(4):45-48.
- [20] 韩俊华,张爱霞,罗敏,等. “张杂谷”系列谷子品种淀粉含量的分析与评价[J]. 河北工业科技,2012,29(1):23-26,34.
- [21] 常德军,张景斌,李霄峰,等. 张家口市“张杂谷”产业发展策略研究[J]. 现代农村科技,2015(13):4-5.
- [22] 赵金梅,高贵田,薛敏,等. 不同品种猕猴桃果实的品质及抗氧化活性[J]. 食品科学,2014,35(9):118-122.
- [23] 宗晓菲,时东方,张慧荣,等. 不同溶剂和提取方法对红花提取物抗氧化活性的影响[J]. 贵州农业科学,2012,40(10):44-46.
- [24] 李利敏,沈建福,吴晓琴. 8 种油茶蒴果提取物中活性物质含量及其抗氧化能力的比较研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(1):41-47.
- [25] 杨娜,王鸿飞,许凤,等. 蕨麻多糖提取及抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报,2014,14(2):60-66.
- [26] 卢化,张义生,郭胜男,等. 银木总黄酮体外抗氧化活性研究[J]. 中国药师,2015,18(4):555-557.
- [27] 何永艳,冯佰利,邓涛,等. 荞麦提取物抗氧化活性研究[J]. 西北农业学报,2007,16(6):76-79,84.
- [28] 张名位,郭宝江,池建伟,等. 不同品种黑米的抗氧化作用及其与总黄酮和花色苷含量的关系[J]. 中国农业科学,2005,38(7):1324-1331.
- [29] 李光,余霜,周永红,等. 金荞麦和甜荞植物叶抗氧化活性物质分析[J]. 广东农业科学,2013,40(7):7-11.
- [30] 徐元元,国旭丹,贺丽霞,等. 常见 6 种杂粮与 2 种主粮的抗氧化活性比较研究[J]. 食品科学,2012,33(7):20-25.