

宁夏杂草稻功能型品质性状分析

陈 丽¹, 马 静¹, 王兴盛¹, 孙建昌¹, 韩龙植²

(¹ 宁夏农林科学院农作物研究所, 永宁 750105; ² 中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程/农业部作物种质资源与生物技术重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: 采用 41 份杂草稻种质材料, 开展宁夏杂草稻米功能型品质的研究。结果表明, 杂草稻的黄酮、维生素 B₁ 以及铁、锌、硒含量存在较大变异, 变异系数均达 13% 以上; 杂草稻的黄酮、维生素 B₁ 含量低于选育品种, 铁、锌、硒元素含量与选育品种相似, 杂草稻的维生素 B₂ 含量 (0.032 mg/100 g) 总体高于地方品种 (0.026 mg/100 g) 和选育品种 (0.027 mg/100 g)。通过功能型品质性状综合分析, 筛选出了 9 份优异杂草稻资源, 为改善宁夏水稻品质, 拓宽宁夏水稻遗传基础奠定基础。

关键词: 杂草稻; 黄酮; B 族维生素; 微量元素

Analysis of Functional Quality Traits of Weedy Rice in Ningxia

CHEN Li¹, MA Jing¹, WANG Xing-sheng¹, SUN Jian-chang¹, HAN Long-zhi²

(¹ Institute of Crop Sciences, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yongning 750105; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Key Facility for Crop Gene Resource and Genetic Improvement/Key Laboratory of Crop Germplasm Resources and Biotechnology, Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

Abstract: The functional quality of weedy rice was studied using 41 representative weedy rice germplasm accessions in Ningxia, P. R. China. The results showed that the contents of flavonoids, vitamin B₁, iron, zinc, and selenium in weedy rice were highly variable, with the coefficient variation of > 13%. The contents of flavonoids, vitamin B₁ were lower than the selection. In contrast to the landraces and modern varieties, no significant difference iron, zinc, and selenium was observed in weedy rice, while the vitamin B₂ was significantly higher. Through comprehensive analysis of functional quality traits, nine weedy rice accessions with elite traits were identified, and these resources might be useful in breeding for super-quality rice and broadening the rice gene pool in Ningxia.

Key words: weedy rice; flavonoids; vitamins B; trace elements

水稻是我国栽培面积和总产量均居首位的作物, 现阶段常年种植面积约占粮食作物种植面积的 30%, 而总产量则占粮食总产量的 40% 以上^[1], 所以, 水稻是一种关系国计民生的重要作物。随着人们生活水平的提高, 粮食结构性过剩问题的出现, 原有的水稻品种品质严重不适应于生产发展的需要。农业农村部于 1986 年制订颁布了农业行业标准《优质

食用稻米》, 大大推动了优质米生产和科研的发展。根据《中国农业发展报告》, 优质稻的播种面积从 1998 年占水稻播种面积的 31%, 增长到 2003 年的 55%, 且水稻主要栽培品种的优质率从 2004 年的 33.7% 上升到了 2008 年的 74.0%, 有了长足的进步^[2]。

目前, 水稻研究已从单纯重视产量, 转为产量和品质兼顾, 并不断重视营养和特殊稻米功能性成分

收稿日期: 2018-03-16 修回日期: 2018-04-25 网络出版日期: 2018-07-18

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180717.1707.003.html>

基金项目: 宁夏农林科学院基础研究项目 (NKYJ-16-02); 国家重点研发项目子课题 (2016YFD0100101-16); 宁夏农林科学院青年基金项目 (NKYQ-18-07); 宁夏水稻育种专项 (2013NYYZ0302)

第一作者主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: chen1985li@163.com

通信作者: 孙建昌, 主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: nxsjch@163.com

韩龙植, 主要从事水稻种质资源研究。E-mail: hanlongzhi@caas.cn

的功效^[3]。日本针对高血压患者开发出 γ -氨基丁酸(GABA)含量较高的 Haiminori、北海 269、奥羽 359 等巨大胚水稻新品种,深受高血压患者的欢迎^[4-5]。

瑞士苏黎世联邦理工大学的研究人员通过农杆菌介导的转化方法,开发出可提高土壤中铁质吸收效率的水稻新品种,该新品种水稻米胚的含铁量比普通水稻高约 6 倍^[6]。Su 等^[7]将外源合成 β -胡萝卜素(维生素 A 的前体)的基因导入水稻基因组中,培育出维生素 A 含量比普通水稻提高了 20 多倍的新型转基因水稻金稻。将常规育种与生物技术相结合,又先后创制低谷蛋白品种益肾稻 1 号^[8]、低水溶性蛋白品种康盾 1 号^[9]、富硒米粤航 1 号^[10]、富铁米黑优粘 3 号^[11]、巨胚水稻胚水稻蛋白^[12]、紫米晚粳紫宝^[13]、黑米云谷 1 号^[14]、高花色昔稻花色昔稻^[15]、高抗性淀粉稻功米 3 号^[16]等一系列特种稻或功能性水稻新品种。魏毅等^[17]指出红米含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素、核黄素、生物活性物质以及人体必需的微量元素 Se、Zn、Fe、Mn、Ge 等,这些营养物质和微量元素通常优于白米,且营养比较全面合理,可以作为理想的保健食品。杂草稻因其绝大多数的果皮为红色,也被称为红米稻。杂草稻

是普通野生稻和栽培稻经自然选择和人为干预产生的兼有野生稻和栽培稻特性的类型。在植物分类上,杂草稻属于禾本科(Poaceae)稻属(*Oryza*),它和栽培稻一样同属于 AA 基因组型,形态上与亚洲栽培稻(*Oryza sativa* L.)相似,故通常被归属于同一个拉丁名下^[18]。当前,杂草稻的研究大部分都侧重于对杂草稻的识别、危害^[19]和抗逆性的利用探索等方面^[20-25],关于杂草稻的品质性状及其功能性研究鲜有报道。

本文针对宁夏杂草稻稻米的品质开展研究,通过对稻米的黄酮、维生素和微量元素含量方面分析,揭示杂草稻营养品质特性,为杂草稻的功能型研究和开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

选取所收集的 41 份杂草稻资源,分别为 2016WR-1 至 2016WR-41,其中种皮色为白色的材料有 8 份,其余材料种皮色均为红色;地方品种 2 份,小琥板稻、叶升白皮大稻;选育品种 2 份,为对照(宁粳 41、宁粳 43),共计 45 份参试材料,均来自宁夏稻区(表 1)。

表 1 本研究所用试验材料

Table 1 The materials used in the study

材料编号 Material code	来源地 Source	主要表型性状 Major phenotypic trait	材料编号 Material code	来源地 Source	主要表型性状 Major phenotypic trait
2016WR-1	青铜峡	短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-17	平罗	短芒、颖壳秆黄色、种皮白色、不落粒
2016WR-2	永宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-18	吴忠	短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、轻度落粒
2016WR-3	永宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-19	吴忠	短芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒
2016WR-4	银川	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-20	吴忠	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-5	银川	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、极易落粒	2016WR-21	吴忠	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-6	永宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-22	中宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-7	银川	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-23	中宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-8	吴忠	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-24	中宁	间短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-9	贺兰	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-25	中宁	间短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-10	贺兰	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-26	中宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-11	贺兰	短芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒	2016WR-27	中宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-12	贺兰	短芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒	2016WR-28	中宁	间短黑芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-13	青铜峡	短芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒	2016WR-29	中宁	间短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-14	青铜峡	短芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒	2016WR-30	贺兰	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-15	中宁	短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、不落粒	2016WR-31	平罗	无芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒
2016WR-16	中卫	短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-32	平罗	无芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒

表 1(续)

材料编号 Material code	来源地 Source	主要表型性状 Major phenotypic trait	材料编号 Material code	来源地 Source	主要表型性状 Major phenotypic trait
2016WR-33	贺兰	长芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	2016WR-40	贺兰	短芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒
2016WR-34	青铜峡	长芒、颖壳秆黄色、种皮白色、易落粒	2016WR-41	银川	中长芒、颖壳秆黄色、种皮红色、不落粒
2016WR-35	青铜峡	中长芒、颖壳秆黄色、种皮红色、不落粒	小琥板稻	银川	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、不落粒
2016WR-36	青铜峡	中长芒、颖壳秆黄色、种皮红色、轻度落粒	叶升白皮大稻	青铜峡	无芒、颖壳黄褐色、种皮白色、不落粒
2016WR-37	中宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	宁粳 41 号	永宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮白色、不落粒
2016WR-38	永宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒	宁粳 43 号	永宁	无芒、颖壳秆黄色、种皮白色、不落粒
2016WR-39	中卫	无芒、颖壳秆黄色、种皮红色、易落粒			

宁夏全区收集的杂草稻资源,材料编号等同于材料名称
Weed rice were collected in the whole district of Ningxia, the material number is equivalent to the material name

1.2 试验方法

利用 AFS-2201 原子荧光光度计测定硒含量;利用 Inductively Coupled Plasma Spectrometer (Model 8440, Labtam, Australia) 测定铁、锌矿质元素含量;利用 HP 高压液相色谱仪测定 B 族维生素含量,按照 GB5009.93-2017 标准测定黄酮含量,以上所测样品均为糙米。

1.3 统计分析

采用 SAS 统计软件进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 杂草稻的黄酮和维生素含量

由表 2 可见,杂草稻的黄酮和维生素含量存在较大变异。其中维生素 B₁ 含量变异在 0.023 ~ 0.399 mg/100 g,变异系数达 76.00%;黄酮变异系数次之(61.55%),平均值为 0.51 g/100 g;维生素 B₂ 含量变异幅度最小(0.027 ~ 0.040 mg/100 g),变

异系数为 9.68%。通过不同颜色稻米的黄酮和维生素含量比较,红米的黄酮和维生素含量变异较大,明显大于白米。

2.2 杂草稻的微量元素含量

表 3 列出了参试杂草稻的微量元素含量。微量元素铁含量变异在 7.510 ~ 79.400 mg/kg 之间,平均值为 16.19 mg/kg;硒元素含量变异系数为 24.61%,变异范围为 0.038 ~ 0.114 mg/kg,变异系数大小介于铁元素和锌元素之间;锌元素含量变异系数最小,为 13.10%。红米的铁、锌、硒含量变异趋势与参试杂草稻的微量元素含量趋势相同,其中红米的铁、锌、硒元素含量变异明显大于白米,白米的铁、锌、硒元素含量变异幅度分别为 10.77 ~ 18.11 mg/kg、12.18 ~ 20.82 mg/kg、0.0496 ~ 0.0679 mg/kg。可见参试的 41 份杂草稻的功能性微量元素含量整体变异较大,变异系数均在 13% 以上。

表 2 杂草稻的黄酮和维生素含量

Table 2 The contents of flavonoids and vitamins in weedy rice

变量 Variables	均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数(%) CV
黄酮(g/100 g) Flavone	0.510	0.31	1.360	0.240	61.55
维生素 B ₁ (mg/100 g) VB ₁	0.145	0.11	0.399	0.023	76.00
维生素 B ₂ (mg/100 g) VB ₂	0.032	0	0.040	0.027	9.68

表 3 杂草稻的微量元素含量

Table 3 Trace elements in weedy rice

变量 Variables	均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数(%) CV
铁(mg/kg) Iron	16.19	11.66	79.400	7.510	72.01
锌(mg/kg) Zinc	17.58	2.30	21.400	12.180	13.10
硒(mg/kg) Selenium	0.07	0.02	0.114	0.038	24.61

2.3 杂草稻、地方品种和选育品种功能品质比较

对杂草稻、地方品种和选育品种功能品质进行分析(图1),杂草稻的铁含量平均为 16.19 mg/kg,高于小琥板稻(11.58 mg/kg)和宁梗 43 号(8.70 mg/kg),

而低于叶升白皮大稻(24.60 mg/kg)和宁梗 41 号(27.30 mg/kg);杂草稻的锌含量平均为 17.58 mg/kg,略高于选育品种(17.10 mg/kg),但低于地方品种(27.40 mg/kg)。

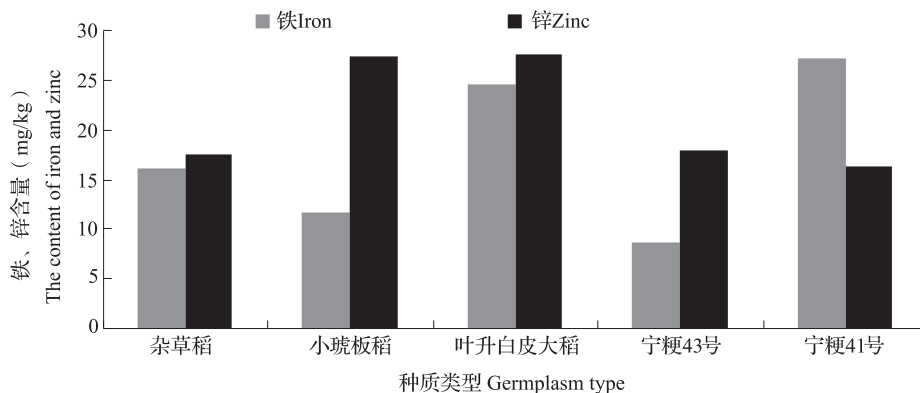


图1 杂草稻、地方品种和选育品种铁、锌含量比较

Fig.1 The contents of iron and zinc in weedy rice, local varieties and breeding lines

由图2可知,杂草稻的硒含量平均为 0.07 mg/kg,低于地方品种(0.10 mg/kg),而介于选育品种宁梗 41 号(0.0603 mg/kg)和宁梗 43 号(0.0929 mg/kg)

之间。结果表明,与选育品种比较,杂草稻在铁、锌、硒含量上没有明显优势,而地方品种有一定的优势。

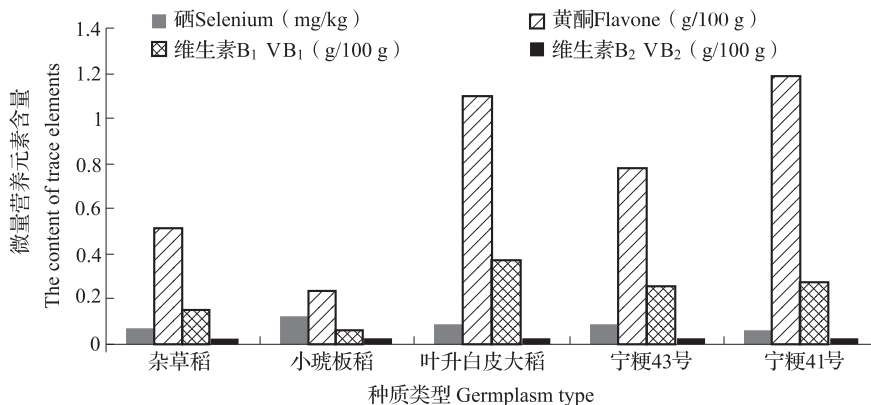


图2 杂草稻、地方品种和选育品种微量营养元素含量比较

Fig.2 The contents of trace elements in weedy rice, local varieties and breeding lines

对参试杂草稻的黄酮、维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量进行分析(图2),杂草稻平均黄酮含量为 0.51 g/100 g,高于地方品种小琥板稻(0.24 g/100 g),而低于叶升白皮大稻(1.10 g/100 g);与选育品种比较,均低于宁梗 41 号(1.19 g/100 g)和宁梗 43 号(0.78 g/100 g)的黄酮含量。杂草稻维生素 B₁ 平均含量为 0.145 mg/100 g,高于地方品种小琥板稻(0.061 mg/100 g),而低于叶升白皮大稻(0.373 mg/100 g);与选育品种比较,均低于宁梗 41 号(0.274 mg/100 g)和宁梗 43 号(0.257 mg/100 g)的含量。杂草稻维生素 B₂ 含量平均为 0.032 mg/100 g,均高于地方品种(0.026 mg/100 g)和选育品种(0.027 mg/100 g)。

结果表明,杂草稻的黄酮含量和维生素 B₁ 含量低于选育品种,但杂草稻的维生素 B₂ 含量总体高于地方品种和选育品种。

2.4 优异杂草稻资源筛选

从 41 份参试杂草稻中筛选出了 9 份优异资源(均为红米),结果可见表 4。通过与宁夏当地选育品种比较,优异杂草稻资源的铁、锌、硒、黄酮、维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量均较高。其中杂草稻 2016WR-6 和 2016WR-9 的铁元素含量明显高于宁夏当地选育品种(宁梗 41 号、宁梗 43 号);2016WR-2、2016WR-3 和 2016WR-5 的锌元素含量均高于选育品种;2016WR-2、2016WR-3、2016WR-5、

2016WR-6 和 2016WR-9 的硒元素含量较高,最高达 0.114 mg/kg;2016WR-30、2016WR-32 和 2016WR-33 的黄酮、维生素 B₁ 含量较高,且维生素 B₁ 含量明显高

于对照品种;维生素 B₂ 含量排名前三的分别是 2016WR-5、2016WR-33 和 2016WR-9,含量值分别为 0.040 mg/100 g、0.038 mg/100 g、0.036 mg/100 g。

表 4 筛选出的杂草稻优异资源

Table 4 The germplasm with elite traits in weedy rice

材料编号 Material code	铁 (mg/kg) Iron	锌 (mg/kg) Zinc	硒 (mg/kg) Selenium	黄酮 (g/100 g) Flavone	维生素 B ₁ (mg/100 g) VB ₁	维生素 B ₂ (mg/100 g) VB ₂
2016WR-2	19.00	20.90	0.095	0.35	0.068	0.030
2016WR-3	11.90	21.40	0.100	0.31	0.135	0.027
2016WR-5	12.90	20.60	0.114	0.24	0.116	0.040
2016WR-6	49.20	19.10	0.101	0.26	0.108	0.034
2016WR-9	79.40	18.80	0.095	0.27	0.133	0.036
2016WR-21	21.34	12.60	0.051	0.31	0.079	0.034
2016WR-30	10.28	16.08	0.062	0.96	0.376	0.031
2016WR-32	10.56	16.15	0.058	0.96	0.348	0.032
2016WR-33	9.75	16.84	0.0732	1.36	0.399	0.038
宁粳 43 号	8.70	17.90	0.0929	1.19	0.274	0.029
宁粳 41 号	27.30	16.20	0.0603	0.78	0.257	0.026

3 讨论

农产品功能品质是指农产品中含有一些“生物活性物质(功效成分)”,对人体具有保健功能。如水稻品种中的 R-氨基丁酸,能使中老年人耳聪目明^[3]。此外稻米中还有肌醇、谷微素、膳食纤维和维生素等物质以及铁、锌等微量元素^[26]。红米除富含以上物质外,还富含黄酮类生化物、生物碱等对人体健康有益的生物活性物质^[27],民间还认为红米有活血补血、健脾暖胃、消肿散淤等功效,称之为神仙米、长寿米等^[28-29]。通过宁夏杂草稻稻米功能性品质的研究分析,稻米的黄酮、维生素 B₁ 以及铁、锌、硒含量存在较大变异,变异系数均达 13% 以上,说明宁夏杂草稻稻米功能型品质变异性比较丰富,对于宁夏稻米的功能育种和开发利用十分有利。

本研究表明杂草稻的黄酮、维生素 B₁ 含量低于选育品种,铁、锌、硒元素含量与选育品种相似,该结果与刘守坎等^[30]所提出的红米中富含的微量元素锌、铜、铁、硒、钼、钙、锰等含量比普通稻(白)米高 0.5~3 倍不太一致。主要原因有两方面,一方面是宁夏在水稻品种选育过程中,较重视稻米品质,使得选育品种的稻米营养品质均较高;另一方面是本研究选用的杂草稻大部分稻米是红米,但还存在部分白米,通过对红白稻米功能型品质比较,红米的营养

物质和微量元素通常优于白米^[31]。杂草稻的维生素 B₂ 含量总体高于地方品种和选育品种。由于维生素 B₂ 是人体许多辅酶的组成部分,具有增进食欲、促进生长的功效,缺乏时可引起物质代谢障碍,从而出现维生素缺乏症,因此可将杂草稻维生素 B₂ 含量高这一特性,用于特种稻种质创新以及功能性稻米产品的开发。

通过与宁夏当地选育品种以及地方品种的比较,从 41 份参试杂草稻中筛选出了 9 份优异资源,优异资源的铁、锌、硒、黄酮、维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量均较高。其中,2016WR-9 铁含量(79.40 mg/kg)明显高于赖来展等选育出的富铁水稻品种黑优粘 3 号,其糙米含铁量达 52.20 mg/kg^[26]。由此可见,这些优异杂草稻品种在营养品质特性,尤其是稻米的功能性方面具有很大利用价值,今后应加大对宁夏杂草稻种质资源搜集和新种质创新力度,筛选和创制出更多优质、功能性好的稻米,更好适应人们的饮食习惯、饮食结构和生活方式的改变。

参考文献

- [1] 应存山,盛锦山,罗利军,张丽华. 中国优异稻种资源. 北京: 中国农业出版社,1997:1-3
- [2] 朱智伟. 当前我国稻米品质状况分析. 中国稻米,2006(1):1-4
- [3] 郑向华,何琴,叶新福. 稻米营养品质及功能稻种概述. 现代农业科技,2005(12):94-95
- [4] 胡培松. 功能性稻米研究与开发. 中国稻米,2003(5):3-5
- [5] 苏宁,万向元,翟虎渠,万建民. 功能型水稻研究现状和发展

- 趋向. 中国农业科学, 2007, 40(3): 433-439
- [6] Ye X D, Al-Babili S, Klöti A, Zhang J, Lucca P, Beyer P. Engineering the provitaminA (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science*, 2000, 287(5451): 303-305
- [7] Su N, Wan X Y, Zhai H Q, Wan J M. Progress and prospect of functional rice researches. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 7(1): 1-9
- [8] 黄大年, 钱前, 郭龙彪, 颜美仙. 功能性稻米的加工途径及其前景. *农产品加工*, 2009(3): 8-9
- [9] 刘凯, 张祥喜, 魏本华, 罗林广. 铁的生理功能与富铁水稻的研究进展. *江西农业学报*, 2008, 20(9): 22-26
- [10] 翁志强, 周汉钦, 张永健, 于宪, 刘鸣, 翟月明, 陈建西. 富硒粤航 1 号米对复发性阿弗他溃疡患者血清细胞因子调节. *广东农业学报*, 2010, 37(7): 160-162
- [11] 李晨, 涂从勇, 刘军, 潘大建, 周汉钦, 范芝兰. 一份富铁栽培稻新种质的发现. *广东农业科学*, 2004(5): 67-68
- [12] 刘玲珑, 江玲, 刘世家, 周时荣, 张文伟, 王春明, 陈亮明, 翟虎渠, 万建民. 巨胚水稻 W025 糙米浸水后 γ -氨基丁酸含量变化的研究. *作物学报*, 2005, 31(10): 23-28
- [13] 黎用朝, 闵军, 刘三雄, 李小湘, 黄海明, 唐善军, 刘利成. 特种稻新品种晚粳紫宝的选育与应用. *中国稻米*, 2015, 21(3): 75-76
- [14] 年伟, 邓伟, 李小林. 高原特色优质黑米云谷 1 号的选育及保护利用. *中国种业*, 2014(2): 58-59
- [15] 孙明茂, 韩龙植. 粳稻龙锦 1 号/香软米 1578 杂交组合 F_5 家系群糙米总花色苷含量变异及相关性分析. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(2): 186-192
- [16] 魏明亮, 杜鹃, 曾亚文, 杨树明, 普晓英, 杨涛. 云南稻微核心种质及其回交高代糙米功能成分含量的遗传变异. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2013, 39(2): 121-125
- [17] 魏毅, 靳西彪, 杨海亮, 张莹, 孙瑞婕, 王业文, 朱建清. 红米色素与微量元素硒之间关系的初步研究. *种子*, 2010, 29(5): 1-4
- [18] 王黎明, 陈勇. 杂草稻研究现状及利用展望. *植物保护*, 2009, 35(5): 14-17
- [19] 刘冠明, 林青山, 江奕君, 陈青春, 徐庆国. 杂草稻研究进展. *中国农学通报*, 2014, 30(21): 9-13
- [20] 杨金玲, 强胜, 张帮华, 宋小玲, 石志华, 蒋倩, 戴伟民. 中国杂草稻种群的发芽期耐冷性研究. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(1): 1-9
- [21] 陈惠哲, 玄松南, 王渭霞, 邵国胜, 孙宗修. 丹东杂草稻种子的耐冻能力和低温发芽特性研究. *中国水稻科学*, 2004, 18(2): 109-112
- [22] 刘睿, 强胜, 宋小玲, 陈世国, 戴伟民. 杂草稻苗期强竞争性的生理机制. *植物保护学报*, 2015, 42(1): 138-144
- [23] 赵娜, 马殿荣, 陈温福. 北方杂草稻发芽期耐盐性的初步评价. *中国稻米*, 2007(2): 20-24
- [24] 高南, 马殿荣, 陈温福. 北方杂草稻耐低温发芽特性的初步研究. *中国稻米*, 2007(3): 5-7
- [25] 马殿荣, 王楠, 王莹, 徐正进, 陈温福. 中国北方杂草稻深覆土条件下出苗动力源分析. *中国水稻科学*, 2008, 22(2): 215-218
- [26] 刘仲华, 李来平, 曾海燕, 曾霞娟, 马文杰, 翁志强. 国内外功能性稻米研究进展. *广东微量元素科学*, 2010, 17(12): 13-19
- [27] 曹学伟, 王熙, 唐晓清, 杨杰, 仲维功. 红米杂草稻中矿质元素及蛋白质含量分析. *江苏农业科学*, 2010(3): 368-370
- [28] 马静, 陈起萱, 凌文华. 红、黑米的保健功效研究. *食品科学*, 2000, 21(12): 139-140
- [29] 王丽华, 叶小英, 李杰勤, 朱建清. 黑米、红米的营养保健功效及其色素遗传机制的研究进展. *种子*, 2006, 25(5): 50-54
- [30] 刘守坎, 陈孝赏. 红米的营养价值及其开发利用. *上海农业科技*, 2008(5): 41-42
- [31] 韩磊, 汪旭东, 徐建第, 汪秀志, 张红宇. 有色稻米研究现状分析. *中国稻米*, 2003(5): 5-8