

云南不同种皮色地方稻种的总黄酮含量及其对种子萌发的影响

汤翠凤, 董超, 阿新祥, 张恩来, 陈丹, 张斐斐, 申时全, 戴陆园

(云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所/云南省农业生物技术重点实验室/
农业部西南作物基因资源与种质创制重点实验室/农业部云南稻种资源科学观测实验站, 昆明 650223)

摘要: 为了解不同种皮色地方稻种的总黄酮含量与其种子萌发品质的相关性, 测定了 17 份云南地方稻种谷粒、糙米和谷壳的总黄酮含量, 以及谷粒和糙米的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数 4 项萌发指标。结果表明, 红皮和紫皮谷粒及糙米的总黄酮含量显著、极显著高于白皮, 而谷壳的总黄酮含量则无明显差异。红皮谷粒的 4 项萌发指标均高于紫皮和白皮, 但仅红皮与白皮谷粒之间的发芽势差异达到极显著水平; 红皮糙米的 4 项萌发指标极显著地高于紫米和白米, 且除发芽指数外, 紫米的其他 3 项萌发指标显著或极显著地高于白米, 表明有色种皮谷粒、糙米的总黄酮含量较高, 其萌发指标也相应较高。相关分析表明, 谷粒的总黄酮含量与 4 项萌发指标之间没有明显的相关性, 但糙米的总黄酮含量则与 4 项萌发指标呈显著正相关; 谷壳的总黄酮含量与种子萌发无关, 而糙米的总黄酮含量则显著地影响种子的萌发特性。

关键词: 种皮颜色; 地方稻种; 总黄酮; 萌发特性; 相关性

Flavonoids Content of Rice Landraces with Different Seed Coat Color in Yunnan and Their effects on Seed Germination

TANG Cui-feng, DONG Chao, A Xin-xiang, ZHANG En-lai,
CHEN Dan, ZHANG Fei-fei, SHEN Shi-quan, DAI Lu-yuan

(Biotechnology and Germplasm Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences;
Yunnan Provincial Key Lab of Agricultural Biotechnology/Key Lab of Southwestern Crop Gene Resources and Germplasm Innovation,
Ministry of Agriculture; Scientific Observation/Station for Rice Germplasm Resources of Yunnan, Ministry of Agriculture, Kunming 650223)

Abstract: To understand total flavonoid content of rice landraces with different seed coat color and their correlations with germination quality, 17 rice landraces from Yunnan province were used to measure total flavonoid content in grains, brown rice and husk. The germination indexes of grains and brown rice including seed germination force (GF), germination percentage (GP), germination index (GI) and vigor index (VI) were investigated. The results showed that there were significant difference in total flavonoid content of grains and brown rice with purple and red seed coat, which was very significantly higher compared with that from white seed coat. However, there was no significant difference in total flavonoid content of husks. The above 4 germination indexes of grains with red seed coat were better than that of purple and white seed coat, respectively. However, it was only significant difference of seed germination force between grains with red and white seed coat. The 4 germination indexes of brown rice with red seed coat were very significantly higher than that of purple and white brown rice. The other 3 germination indexes of brown rice with purple seed coat were also significantly or very significantly higher than that of white seed coat except for GI. These results showed that total flavonoid content of colored grains and brown rice were higher than that of

收稿日期: 2015-12-11 修回日期: 2016-01-09 网络出版日期: 2016-08-12

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20160812.1316.024.html>

基金项目: 国家科技计划项目 (2014AA10A603); 国家自然科学基金项目 (31301301); 国家作物种质资源保护与利用项目 (2016NWB036-01); 云南省农业科学院专项 (YAAS2016ZY001)

第一作者主要从事稻类种质资源研究。E-mail: 741606821@qq.com。董超为共同第一作者, E-mail: cchaodong@126.com

通信作者: 戴陆园, 从事稻类种质资源与遗传育种研究。E-mail: Luyuandai@163.com

colorless. The germination indexes of colored grains and brown rice were also higher than that of colorless. There was no significant correlations existed between total flavonoid content and 4 germination indexes in grains. However, significant positive correlation was found between the total flavonoid content of brown rice and 4 germination indexes. These results indicated that flavonoids of grains didn't make contribution to seed germination. However flavonoids of brown rice significantly affect seed germination characteristics.

Key words: seed coat color; rice landraces; total flavonoid; germination characteristics; correlation

稻米是全球一半以上人口的主食,而食用富含生物活性物质的全谷食品有益于身体健康^[1]。黄酮是一种重要的生物活性物质,具有很强的抗氧化活性,是一类天然的抗氧化剂。稻谷中的黄酮具有清除自由基,延缓衰老,增强抗应激反应及免疫调节机能等生理功能,对降低癌症、肝纤维化、高胆固醇和心血管疾病的发生有重要作用^[2-6],因而在医疗保健、食品及化妆品方面广受青睐,也倍受研究者的关注。蔡碧琼等^[7]发现稻壳中黄酮提取物具有较强的抗脂质过氧化能力,说明稻谷的抗氧化作用与其黄酮含量密切相关^[8-9],其中羟基自由基的清除能力随着黄酮浓度的增加而增加^[10]。水稻总黄酮多分布于米糠和糙米,少量分布于精米中^[4-5]。有色稻的总黄酮含量显著高于无色稻^[5,11-12]。稻谷的总黄酮含量与粒型^[13]、剑叶宽和穗下节长^[14]、谷粒颜色和百粒重^[11]等农艺性状相关。N. Ramarathnam^[15]等发现水稻谷壳中的抗氧化物质与种子发芽力有密切关系,但未进行深入研究。

不同种皮颜色的种子,其发芽率不同,在水稻^[16]、棉花^[17]、薤菜^[18]和甘蓝^[19]及大白菜^[20]等作物中已有报道。其中,稻类红米的平均发芽率为

90.23%,较白米的80.36%高^[16];大白菜深色种子的平均发芽率为86.7%,显著地较次深色的种子(82.6%)高,而次深色的种子又显著较浅色的种子(75.1%)高^[20]。这种不同种皮色种子之间的发芽率差异是否与其种皮、颖壳等组织的抗氧化物质黄酮含量不同有关系,尚未见报道。云南地理、生态条件复杂多样,立体气候特点明显,农业生物资源丰富,是亚洲栽培稻的起源中心之一,地方稻种类型多样,变异类型丰富。本研究用17份云南地方稻种资源为研究对象,探讨了总黄酮含量在不同种皮颜色的谷粒、糙米之间的变化及其与萌发品质的关系,为特种功能稻的培育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

参试材料共17份,其中红种皮4份、紫种皮2份和白种皮11份,为云南腾冲、江川和新平3个县、市的地方稻种资源(表1),2013年种植于云南西双版纳州景洪市,常规栽培管理,完全成熟后收获,及时晒干至正常含水量,放置于通风干燥的室内备用。

表1 供试材料

Table 1 The experimental materials

序号 No.	本省保存编号 Saved number of the province	种质名称 Name of germplasm	壳及种皮色 Husk and pericarp colors	类型 Types	序号 No.	本省保存编号 Saved number of the province	种质名称 Name of germplasm	壳及种皮色 Husk and pericarp colors	类型 Types
1	105(018)-1-1(1)	二芒冬	白壳白米	籼水粘	10	105(081)-3-1	麻大谷	白壳白米	粳水粘
2	105(018)-1-1(2)	二芒冬	白壳白米	籼水粘	11	105(112)-3-1	早大谷	黄壳红米	粳水粘
3	105(027)-1-1	红禄丰	麻壳红米	籼水粘	12	105(124)-3-2	黄心糯	麻壳白米	粳水糯
4	105(029)-1-1	毛红谷	白壳红米	籼水粘	13	105(125)-3-2(1)	黄壳糯	黄壳白米	粳水糯
5	105(043)-1-1	白扳所	黄壳白米	籼水粘	14	105(125)-3-2(2)	黄壳糯	黄壳白米	粳水糯
6	105(050)-1-1(6)	陇川白	白壳用红米	籼水粘	15	110(016)-1-1	大白谷	白壳白米	籼水粘
7	105(075)-1-1/2	撒垫糯	麻壳用白米	籼水糯	16	114(022)-1-2	紫糯	黑壳紫米	籼水糯
8	105(076)-1-2	冬糯	麻壳白米	籼水糯	17	114(039)-3-2	老来红	赤壳白米	粳水糯
9	105(077)-1-2	鸡血糯	黑壳紫米	籼水糯					

1.2 方法

1.2.1 总黄酮含量的测定 参照庄向平等^[21]的硝酸铝络合溶液提取比色法测定水稻总黄酮含量(略有修改)。称取糙米、谷壳、谷粒粉末样品各 500 mg 于 15 mL 离心管中,加入 5 mL 50% 乙醇,放入振荡器震荡 2 h,7000 r/min 离心 3 min,取 1 mL 上清液于 10 mL 离心管中,加入 0.6 mL 5% NaNO₂,静置 5 min;加入 0.6 mL10% 的 Al(NO₃)₃,放置 6 min;加入 4 mL 5% NaOH,放置 10 min,在紫外分光光度计 510 nm 下测定吸光度,测定重复 3 次。以芦丁标准品作标准曲线,其标准曲线方程为: $y = 0.411x + 0.005$, $R^2 = 0.999$,计算总黄酮含量。

1.2.2 萌发指标测定 挑选放置了 3 个月的饱满、无损伤的完整谷粒(即种子)、糙米,每份参试材料各 300 粒,以 100 粒为 1 次重复,分别放入事先铺有 2 层滤纸的 3 个培养皿内,用咪鲜胺进行表面消毒杀菌后,加入适量蒸馏水、加盖。然后,将培养皿放进 20~30 ℃ 的光照培养箱内进行萌发试验。萌发培养 24 h 后滗去培养皿内的余水,并记录每天发芽的谷粒和糙米数,发芽培养至 120 h 时不再加盖,在第 8 天随机量取 10 株幼苗的长度(胚根长+胚芽长,cm)。

1.3 数据处理

用 Excel 2007 计算发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数。其中,发芽势(%) = 培养至 72 h 的种子或糙米发芽数/参试种子或糙米总数 × 100%,发芽率(%) = 培养至 168 h 的种子或糙米发芽数/参试种子或糙米总数 × 100%,发芽指数(GI) = $\sum(Gt/Dt)$,活力指数(VI) = $GI \times S$ 。式中 Gt 为第 Dt 天发芽的种子或糙米数, S 为平均苗长。用 IBM SPSS

Statistics v. 19 分析总黄酮含量和种子萌发指标在种皮颜色之间的差异显著性,以及总黄酮含量和种子萌发指标之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 谷粒、糙米及谷壳的总黄酮含量差异分析

对 17 份品种谷粒、糙米及谷壳的总黄酮含量的测定表明,其总黄酮含量平均分别为 288.097 mg/100 g、268.647 mg/100 g 和 320.282 mg/100 g,变幅分别为 186.494 ~ 498.487 mg/100 g、148.881 ~ 617.583 mg/100 g 和 192.909 ~ 788.600 mg/100 g,变异系数分别为 27.97%、49.87% 和 47.54%,品种间的变幅均较大。方差分析表明,在红、紫和白色 3 类种皮颜色之间,谷粒、糙米的总黄酮含量存在极显著差异($p = 0.003$ 和 $0, < 0.01$,表 2),但谷壳的总黄酮含量则无明显差异($p = 0.207 > 0.05$),这说明谷粒在 3 类种皮颜色间极显著的总黄酮含量差异主要来自于糙米而不是谷壳。红皮、紫皮和白皮谷粒的平均总黄酮含量分别为 329.994 mg/100 g、420.653 mg/100 g 和 248.761 mg/100 g(表 3),紫皮谷粒的总黄酮含量虽然高于红皮,但两者之间的差异不显著($p = 0.085$),红皮、紫皮谷粒的总黄酮含量平均都高于白皮,二者与白皮之间的差异达到了显著或极显著性($p = 0.027 < 0.05$ 或 $p = 0.001 < 0.01$)水平(表 4);红皮糙米的总黄酮含量平均为 393.900 mg/100 g、紫皮为 468.904 mg/100 g、白皮为 186.691 mg/100 g(表 3),紫皮糙米的总黄酮虽然也较红皮的高,但二者之间不存在显著性差异,而二者与白皮之间的差异都达到了极显著性水平(表 4)。

表 2 谷粒、糙米和谷壳总黄酮含量的方差分析

Table 2 Variance analysis of total flavonoid content in grains,brown rice and rice husk

	变异来源 Source of variation	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	显著性检验值 Sig.
谷粒	BG	59184.272	2	29592.136	9.260	0.003
Grains	WG	44742.134	14	3195.867		
	T	103926.406	16			
糙米	BG	216841.930	2	108420.965	21.570	0
Brown rice	WG	70372.127	14	5026.581		
	T	287214.057	16			
谷壳	BG	74691.617	2	37345.808	1.765	0.207
Rice husk	WG	296216.671	14	21158.334		
	T	370908.288	16			

BG:组间,WG:组内,T:总数;下同

BG:Between groups,WG:Within groups,T:Total,the same as below

表 3 不同种皮色谷粒、糙米的总黄酮含量及萌发指标

Table 3 Total flavonoid content and seed germination indexes of grains and brown rice with different color

种皮色 Seed coat colors	总黄酮含量 (mg/100 g)		发芽势 (%)		发芽率 (%)		发芽指数		活力指数	
	Total flavonoid content		Seed germination force		Germination percentage		Germination index		Vigor index	
	谷粒 Grains	糙米 Brown rice	谷粒 Grains	糙米 Brown rice	谷粒 Grains	糙米 Brown rice	谷粒 Grains	糙米 Brown rice	谷粒 Grains	糙米 Brown rice
红色 Red	329.994	393.900	91.3	83.4	96.1	87.5	36.7	38.5	628.5	489.8
紫色 Purple	420.653	468.904	86.5	54.3	93.2	58.5	32.4	25.4	550.5	239.9
白色 White	248.761	186.691	75.4	38.3	90.8	40.9	33.2	18.3	530.4	115.3

表 4 谷粒、糙米总黄酮含量在不同种皮色之间的差异性比较

Table 4 Comparison of total flavonoid content between different seed coat colors in grains and brown rice

	种皮色(I) Seed coat colors(I)	种皮色(J) Seed coat colors(J)	平均值差值(I-J) Mean difference value (I-J)	标准误差 Standard error	显著性检验值 Sig.	95% 置信区间	
						95% confidence interval	
						下限	上限
						Lower bound	Upper bound
谷粒	红色	紫色	-90.659	48.958	0.085	-195.664	14.345
Grains	红色	白色	81.233	33.008	0.027	10.439	152.027
	紫色	白色	171.892	43.456	0.001	78.687	265.097
糙米	红色	紫色	-75.006	61.400	0.242	-206.696	56.683
Brown	红色	白色	207.207	41.396	0	118.422	295.992
	rice	紫色	白色	282.213	54.500	0	165.322

2.2 萌发品质指标在不同种皮色之间的差异

17 份品种谷粒的发芽势变幅为 41.3% ~ 95.0%、发芽率为 64.3% ~ 97.7%、发芽指数为 19.0 ~ 41.6、活力指数为 247.5 ~ 737.1;糙米的发

芽势变幅为 8.7% ~ 89.3%、发芽率为 8.7% ~ 95.0%、发芽指数为 4.1 ~ 41.2、活力指数为 15.4 ~ 655.4。从表 5 可知,在红、紫和白色 3 类种皮颜色之间,谷粒的发芽势差异达到显著性水平 ($p =$

表 5 萌发指标在不同种皮色间的方差分析

Table 5 Variance analysis of seed germination indexes between different seed coat colors

指标 Indexes	变异来源 Source of variation	平方和 SS		自由度 <i>df</i>	均方 MS		<i>F</i> 值 <i>F</i> value		显著性检验 Sig.	
		谷粒	糙米		谷粒	糙米	谷粒	糙米	谷粒	糙米
		Grains	Brown rice		Grains	Brown rice	Grains	Brown rice	Grains	Brown rice
发芽势(%)GF	BG	2485.995	17969.828	2	1242.998	8984.914	4.604	32.114	0.015	0
	WG	12958.156	13429.583	48	269.962	279.783				
	T	15444.152	31399.412	50						
发芽率(%)GP	BG	254.020	19269.671	2	127.010	9634.836	1.913	37.808	0.159	0
	WG	3187.636	12232.015	48	66.409	254.834				
	T	3441.657	31501.686	50						
发芽指数 GI	BG	122.921	3594.142	2	61.461	1797.071	1.445	28.084	0.246	0
	WG	2041.165	3071.491	48	42.524	63.989				
	T	2164.086	6665.633	50						
活力指数 VI	BG	84753.601	1237179.529	2	42376.801	618589.764	1.972	67.826	0.150	0
	WG	1031464.003	437773.925	48	21488.833	9120.290				
	T	1116217.604	1674953.454	50						

0.015 < 0.05),其他 3 项萌发指标的差异不明显;而糙米的 4 项指标均达到极显著水平 ($p = 0 < 0.001$)。红皮谷粒的 4 项指标虽然都较紫皮、白皮的高(表 3),但红皮与紫皮间的差异不具有统计学

意义(表 6),除发芽势外,红皮与白皮的另外 3 项指标的差异也无显著性;红糙米的 4 项指标极显著地高于紫米和白米,除发芽指数外,紫米的其他 3 项指标也显著或极显著地高于白米(表 6)。

表 6 萌发指标在种皮颜色之间的差异性比较
Table 6 Comparison of seed germination indexes between seed coat colors

指标 Indexes	种皮色(I)	种皮色(J)	谷粒 Grains		糙米 Brown rice	
	Seed coat	Seed coat	平均值差 (I - J)	显著性检验值	平均值差数 (I - J)	显著性检验值
	colors (I)	colors (J)	Meandifference (I - J)	Sig.	Meandifference (I - J)	Sig.
发芽势 (%) GF	红色	紫色	4.800	0.562	29.100	0.001
	红色	白色	15.900	0.006	45.100	0
	紫色	白色	11.100	0.133	16.000	0.036
发芽率 (%) GP	红色	紫色	2.900	0.479	29.000	0.001
	红色	白色	5.300	0.059	46.600	0.000
	紫色	白色	2.400	0.509	17.600	0.016
发芽指数 GI	红色	紫色	4.300	0.196	13.100	0.002
	红色	白色	3.500	0.119	20.200	0
	紫色	白色	-0.800	0.788	7.100	0.052
活力指数 VI	红色	紫色	78.000	0.293	249.900	0
	红色	白色	98.100	0.053	374.500	0
	紫色	白色	20.100	0.759	124.600	0.005

2.3 不同种皮色地方稻种的总黄酮含量与种子萌发品质的相关性

对总黄酮含量和萌发指标在不同种皮颜色间的差异性分析表明,有色稻(红、紫)谷粒、糙米的总黄酮含量和萌发指标都明显较无色稻(白)的高,暗示黄酮含量和萌发品质之间存在一定相关性。相关分析表明,谷粒的总黄酮含量与其发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数呈不显著的负相关关系,相关系数 r 分别为 -0.0305 ($p = 0.907$)、 -0.0341 ($p = 0.896$)、 -0.2794 ($p = 0.278$) 和 -0.2143 ($p = 0.409$);糙米的总黄酮含量与 4 项萌发指标则呈显著的正相关关系, r 分别为 0.5422 ($p = 0.025$)、 0.5476 ($p = 0.023$)、 0.5445 ($p = 0.024$) 和 0.5348 ($p = 0.027$)。这说明,在谷粒状态下,有色种皮对无色显著、极显著的黄酮含量差异并没有显著地提高谷粒的萌发品质,而糙米的黄酮含量则明显地影响了其萌发品质指标。

3 讨论

种子是作物繁殖和农业生产的重要生产资料,因此,种子萌发质量直接影响生产的效益和种质资源的保存。种子活力的高低取决于遗传机制和发育

状态,DNA 的修复膜完整性复原和萌发初始的吸涨过程可保持种子高活力。谷壳对稻种的正常萌芽至关重要,是水稻幼苗健康生长的保障^[22]。本研究发现,去壳后糙米的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指标数分别仅相当于谷粒的 50.8% ~ 91.3%、45.0% ~ 91.1%、55.1% ~ 78.4% (红皮除外) 和 21.7% ~ 77.9% (表 3)。很显然,糙米的萌发指标比谷粒的低,且有色稻 > 无色稻,这种明显的差异若不是由稻壳的黄酮含量差异带来的,则可能是由稻壳的物理保护作用导致的。裂颖的种子吸湿快^[23]、颖壳保护性能差且易感染霉菌、破坏了种子萌发时正常有序的吸湿过程,因而生活力、发芽势^[22]、发芽率降低^[22,24]。这说明谷壳的完整性对保护种子的萌发及其健壮生长有着重要的作用。

稻谷中的营养元素主要分布于米糠和糙米中^[5,25]。目前,对水稻黄酮类物质的研究主要集中于米糠(谷壳)、糙米和精米,本研究结果显示谷壳的总黄酮含量高于谷粒和糙米,谷粒又高于糙米。紫米谷粒中总黄酮含量高于红米,红米又大幅度高于白米;紫米糙米总黄酮含量高于红米和白米,即有色稻黄酮显著高于无色稻,并存在品种或基因型间

的差异,这一研究结果与其他研究者的研究结果一致^[3-4,12,26]。红米和紫米的总黄酮含量高于中草药黄芪(97.70 mg/100 g)^[27]。因此,富含黄酮的有色稻品种应作为功能稻研究和开发的重点。今后,应加强高黄酮含量稻种资源的筛选及新品种选育研究,还应开展稻米黄酮有效成分的分析及其作用机理的研究,鼓励食用糙米,同时重视米糠和谷粒产品营养价值的开发利用。

有色稻种皮内含有的黄酮类物质原花色素^[28-29]、花色素苷^[28]和酚类物质^[30]有利于清除生命体内的氧自由基并延缓衰老,其中,花色素含量越高,清除氧自由基的比率越高,种子的抗氧化能力和耐贮性也就更好^[31]。本研究结果表明,谷粒、糙米的萌发品质和总黄酮含量均为有色稻>无色稻,谷粒的总黄酮含量与其萌发品质的关系较小,而糙米的总黄酮含量与其萌发品质呈显著的正相关关系。试验中发现,白皮糙米在培养至48~72 h时,大多数米粒已开始腐烂,而有色糙米在培养至96~120 h时才有少数米粒发生腐烂现象。这说明谷壳的黄酮不参与调节种子萌发的生理过程,而在糙米条件下,糙米富含的黄酮对其维持较高的萌发品质起着重要作用,这一结果与张丽丽等^[32]的研究报道相一致。本研究为高黄酮含量新品种的选育提供了参考依据。

参考文献

- [1] Liu R H. Whole grain phytochemicals and health[J]. J Cereal Sci, 2007, 46: 207-219
- [2] Ambavaram M R, Vaka S R, Brian E S, et al. Novel transgenic rice overexpressing anthocyanidin synthase accumulates a mixture of flavonoids leading to an increased antioxidant potential[J]. Metab Eng, 2007, 9: 95-111
- [3] Yawadio R, Tanimori S, Morita N. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities[J]. Food Chem, 2007, 101: 1644-1653
- [4] 许东晖,陈颖,梅雪婷,等. 水稻黄酮对大鼠实验性肝纤维化的作用[J]. 中国药科大学学报, 2002, 33(3): 234-237
- [5] 李清华,江川,林玲娜,等. 不同色稻精米与米糠中黄酮含量的差异分析[J]. 福建农业学报, 2005, 20(1): 49-52
- [6] 张建明,朴钟泽,陆家安,等. 中国特种稻的研究利用现状与前景[J]. 上海农业学报, 2002, 18(S): 53-57
- [7] 蔡碧琼,蔡珠玉,张福娣,等. 稻壳中黄酮提取物的抗氧化性质研究[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(4): 813-818
- [8] 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
- [9] 孙玲,张名位,池建伟,等. 黑米的抗氧化性及其与黄酮和种皮色素的关系[J]. 营养学报, 2000, 22(3): 246-249
- [10] Jing S Q, Wang S S, Li Q, et al. Dynamic high pressure microfluidization-assisted extraction and bioactivities of *Cyperus esculentus* (C. esculentus L.) leaves flavonoids[J]. Food Chem, 2016, 192: 319-327
- [11] Shen Y, Jin L, Xiao P, et al. Totalphenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight[J]. J Cereal Sci, 2009, 49: 106-111
- [12] 王雨辰,杜娟,曾亚文,等. 云南稻粳亚种间功能性成分含量差异[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 175-178
- [13] 孙玲,张名位,池建伟,等. 黑米资源的黄酮含量及其与粒形性状的相关性[J]. 湖北农学院学报, 2000, 20(1): 1-5
- [14] 谢勇武,杨树明,曾亚文,等. 粳稻02428 突变体重组自交系糙米功能成分含量及其与农艺性状的相关分析[J]. 西南农业学报, 2011, 24(5): 1620-1624
- [15] Ramaratnam N, Osawa T, Namiki M, et al. Studies on the relationship between antioxidative activity of rice hull and germination ability of rice seeds[J]. J Agric Food Chem, 1989, 37: 719-726
- [16] 江川,王金英,丁红萍,等. 影响水稻种子贮藏的因素[J]. 福建稻麦科技, 2000, 18(4): 46-47
- [17] 张晓洁,隋洁,胡苏汶. 棉花种子成熟度与活力状况分析. 中国种业, 2005(1): 32-33
- [18] 王广印,韩世栋. 提高蕹菜种子活力的试验研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2007, 28(3): 90-94
- [19] 李贺勤,张文健,江绪文,等. 种子大小和种皮颜色对甘蓝种子活力的影响[J]. 种子, 2013, 32(10): 46-49
- [20] 柳举红,李红元. 大白菜种子大小种皮颜色对种子活力的影响[J]. 中国蔬菜, 1989(4): 26-27
- [21] 庄向平,虞杏英,杨更生,等. 银杏叶黄酮含量的测定和提取方法[J]. 中草药, 1992, 23(3): 122-124
- [22] 刘洪伟,李小林,任万军. 裂颖与去壳对水稻种子萌发生理的初步研究[J]. 种子, 2009, 28(6): 81-85
- [23] 穆丹. 水稻种子颖壳开裂对活力的影响[J]. 种子世界, 2008(2): 38-39
- [24] 苏林勇. 水稻种子裂颖对发芽率的影响[J]. 种子科技, 1999(3): 29-30
- [25] 郭咏梅,段延碧,李少明,等. 有色稻米 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量及与种皮颜色相关分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(6): 971-974, 981
- [26] 曾亚文,杜娟,杨树明,等. 云南稻核心种质糙米功能成分栽培型差异及其地带性特征[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(12): 3384-3394
- [27] 肖卫华,韩鲁佳,杨增玲,等. 响应面法优化黄芪黄酮提取工艺的研究[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(5): 52-56
- [28] 董继平,李素敏,刘学军,等. 有色稻米研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 13-18
- [29] 黄大辉,刘驰,马增凤,等. 普通野生稻红色种皮遗传分析及育种利用初探[J]. 热带作物学报, 2013, 34(10): 1859-1862
- [30] Zhou Z K, Chen X S, Zhang M, et al. Phenolics, flavonoids, proanthocyanidin and antioxidant activity of brown rice with different pericarp colors following storage[J]. J Stored Prod Res, 2014, 59: 120-125
- [31] 蒋家月,吴跃进,张从合,等. 稻种资源的储藏特性与抗氧化代谢的关系[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(3): 387-394
- [32] 张丽丽,刘斌美,许学,等. 水稻种子花色苷形成及其对稻谷储藏特性的影响[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(6): 974-978