

# 寒地粳稻品种功能营养品质分析

胡月婷, 王敬国, 刘化龙, 孙健, 孙晓雪, 赵宏伟, 邹德堂

(东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 功能型稻米因其具有调节人体生理功能、改善人体健康等特点, 越来越受到人们的重视。本研究对 226 份寒地粳稻品种的 6 种功能营养品质进行了遗传变异、相关分析和主成分分析。结果表明, 2 年间各功能营养品质差异不显著, 赖氨酸、谷蛋白、 $\gamma$ -氨基丁酸、总黄酮含量、平均胚重和胚占糙米重在 226 份寒地粳稻品种中均呈现较大的变异, 其中平均胚重的变异系数最大为 92.17%, 总黄酮含量的变异系数最小为 11.51%。绥粳 3 号、绥粳 5 号、牡丹江 21 号、合粳 1 号、牡丹江 22 号、龙糯 2 号、系选 1 号 7 个品种, 同时具有 2 种功能营养品质优良的特点。赖氨酸含量与平均胚重和胚占糙米重呈极显著正相关, 总黄酮含量与  $\gamma$ -氨基丁酸含量呈显著负相关, 与谷蛋白含量呈显著正相关。胚型因子、黄酮和谷蛋白型因子、 $\gamma$ -氨基丁酸型因子的累计贡献率达到 69.149%, 是影响寒地粳稻功能营养品质的主要因子。在功能型稻米品种选育过程中, 应首先注意对巨胚、高  $\gamma$ -氨基丁酸和低谷蛋白的选择, 并可以利用分子标记辅助选择或转基因育种手段, 实现多个功能营养品质性状的聚合育种。

**关键词:** 寒地粳稻; 功能营养品质; 相关分析; 主成分分析

## Functional Nutrition Quality Analysis of Japonica Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties in the Cold Region

HU Yue-ting, WANG Jing-guo, LIU Hua-long, SUN Jian, SUN Xiao-xue, ZHAO Hong-wei, ZOU De-tang

(College of Agriculture, Northeast Agriculture University, Harbin 150030)

**Abstract:** Functional rice has been paid more and more attention because of the functions of adjusting human body's physiological function, improving human health and other characteristics. This study was conducted to analysis the genetic variation, correlation and principal component of 6 functional nutrition qualities of 226 japonica rice varieties in the cold region. Results showed that there were no significant difference in each functional nutrition qualities in two years, lysine, gluten,  $\gamma$ -Aminobutyric Acid (GABA), flavonoids and average embryo weight, embryo of brown rice all had large variation of the 226 japonica rice varieties in the cold region. Among them, average embryo weight had the biggest variable coefficient, of 92.17%, flavonoids had the smallest variable coefficient, of 11.51%. Seven varieties (Suijing 3, Sujing 5, Mudanjiang 21, Hejing 1, Mudanjiang 22, Longnuo 2, Xixuan 1) had two higher functional nutrition components. Lysine content and average embryo weight, embryo of brown rice were all had extremely significant positive correlation. Flavonoids content was significant negative correlative with GABA and significant positive correlative with gluten. The cumulative contribution of the embryo factor, flavonoids and gluten factor, GABA factor was 69.149%. In the process of functional variety breeding, we should pay attention to select big embryo, high GABA and low gluten and use marker-assisted selection or transgenic breeding methods to realize polymerization breeding of multiple functional nutrition quality traits.

**Key words:** japonica rice in the cold region; functional nutrition quality; correlation analysis; principal component analysis

收稿日期: 2015-10-27 修回日期: 2015-12-07 网络出版日期: 2016-08-12

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20160812.1317.038.html>

基金项目: 黑龙江省重大科技招标项目 (GA14B102); “十二五”农村领域国家科技计划课题 (2013BAD20B04)

第一作者研究方向为水稻遗传育种。E-mail: huyuetingt@163.com

通信作者: 邹德堂, 研究方向为水稻遗传育种。E-mail: zoudt@163.com

水稻在世界粮食作物中占有重要地位,是我国的主要粮食作物,也是东北地区 3 大作物之一。东北寒地稻区是世界上纬度最高、面积最大的粳稻生产区,得天独厚的地理条件使寒地水稻不仅高产稳产,而且米质优良<sup>[1]</sup>。由于人们生活节奏的加快以及饮食结构不合理,导致高血压、高血脂、糖尿病、肾脏病、肥胖和生长发育不良等疾病的发病率越来越高。长期服用药物治疗对人体产生的副作用较大<sup>[2]</sup>,使得社会消费对稻米品质提出了更高的要求,人们不仅仅停留在饱腹的需求上,更在寻求一种兼具美味、营养、保健功能的稻米即功能型稻米。功能型稻米富集生理活性成分,通过食用这种兼具营养、保健和治疗功能的稻米有望实现医食同源,最终达到健康和延年益寿的作用<sup>[2-3]</sup>。

稻米的种皮和胚富含稻米 64% 以上的营养元素和生理活性物质。米胚富含多种功能性的生理活性成分,如多种矿物质、维生素、氨基酸、不饱和脂肪酸、优质蛋白质和  $\gamma$ -氨基丁酸等<sup>[4]</sup>。 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA,  $\gamma$ -Aminobutyric acid)又名氨酪酸,是哺乳动物中枢神经系统的重要抑制性神经递质,具有降血压、抗动脉硬化、改善肝肾胰功能、治疗尿毒症等功效<sup>[5-7]</sup>。黄酮类化合物是自然界存在的一大类酚类物质,具有抗菌消炎、抗氧化、抗肿瘤、降血压、降血脂、增强机体免疫力等生理功能<sup>[6-7]</sup>。赖氨酸是人体生长发育必须氨基酸的一种,它不能在人体内合成,只能从食物中摄取,具有促进矿物质吸收、促进骨骼生长、增强免疫力等功能<sup>[8-9]</sup>。稻米蛋白是优质植物蛋白,而肾功能出现障碍的人不能食用可溶性蛋白超过 4% 的稻米,因此低水溶性蛋白(低谷蛋白)稻米可作为肾病患者的专用食品,使其在饱腹的同时又能缓解病情<sup>[10-12]</sup>。我国对功能性稻米的研究从 20 世纪 80 年代开始,赵则胜等<sup>[13]</sup>先后筛选或育成了上农香粳、上农黑糯、黑优粘、黑珍珠、苏御糯、龙锦 1 号、紫香糯等一系列具有较高营养价值的有色稻新品种;赖来展等<sup>[14-15]</sup>培育的富铁水稻黑优粘 3 号含铁量达 52.20 mg/kg,显著高于国外培育的富铁水稻;赵则胜等<sup>[13]</sup>培育的巨胚稻 6601 胚重占糙米重的 7%;王艳平等<sup>[16]</sup>利用 SDS-PAGE 方法筛选出 10 份天然的低谷蛋白品种;林冬枝等<sup>[17]</sup>对早熟晚粳功能性水稻品系巨胚红粳 1 号检测结果表明,胚大小是普通品种的 2~3 倍,而且  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)和维生素 E 的含量也高于普通品种的 2

倍以上;T. Matsui 等<sup>[18]</sup>研究表明,低谷蛋白性状受一显性基因控制,并成功开发了 2 个近等位基因标记。张云辉等<sup>[19]</sup>利用日本低谷蛋白品种 LGC-1 和武育粳 3 号杂交,通过分子标记辅助选择在  $F_2$  筛选出 3 株新低谷蛋白品种。黑龙江寒地稻区是著名的优质粳米生产区,五常大米、响水大米以其优良的品质和口感享誉全国,但黑龙江省对功能营养型稻米则少有研究,限制了其优质大米被更广泛地利用。本研究以 226 份黑龙江寒地粳稻品种为材料,检测其赖氨酸、谷蛋白、GABA、总黄酮含量和胚大小,并对上述材料进行了遗传变异、相关分析和主成分分析,为明确寒地粳稻品种功能营养成分含量,培育富含功能型营养成分的水稻品种提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

供试材料为 226 份寒地粳稻品种,由东北农业大学水稻研究所保存。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 田间试验** 田间试验于 2014-2015 年在东北农业大学试验实习基地进行。采取完全随机设计,单行区,行长 2 m,行距 30 cm,穴距 10 cm,3 次重复。4 月中旬播种,5 月中旬插秧,施肥与田间管理按照常规栽培方式进行。成熟后各株系随机选取 3 株收获,晒干储存待理化性质稳定后经过砻谷机脱壳,得到糙米,用于测定胚大小。剩余糙米粉碎成糙米粉,过 100 目筛用于其他功能营养品质的测定。

**1.2.2 功能营养成分的测定** 胚大小的测定 参考韩龙植等<sup>[20]</sup>的方法测定糙米胚的大小:挑选饱满糙米样品 100 粒,称其重量。用镊子小心将胚剥离,用小刀刮净胚和胚乳的结合部。称去胚后的胚乳重,并从糙米重减去胚乳重获得 100 粒胚重,然后换算成 1000 粒胚重和胚占糙米重,以这 2 个指标来衡量胚的大小。

赖氨酸的测定 参照茆三酮比色法<sup>[21]</sup>测定糙米中赖氨酸的含量,略有改动。准确称取样品 0.025 g,放入烘干试管中,加入 1 mL 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液,混匀,80℃ 水浴 10 min,期间常搅动,然后加入 2 mL 茆三酮试剂,混匀,80℃ 水浴(显色) 30 min。取出后立即放入冷水浴中 3 min,加 5 mL 95% 乙醇,混匀过滤后利用紫外分光光度计在 530 nm 处测定吸光值,3 次重复。

谷蛋白的测定 参考王艳平等<sup>[10]</sup>的方法提取

稻米中谷蛋白,略有改动。准确称取样品 0.1 g 于 15 mL 离心管中。加入 2 mL 75% 乙醇,混匀,在 50℃ 下水浴 1 h,振荡离心,弃上清(重复 3 次)。向离心管中的沉淀加入 2 mL 8% NaCl,混匀,将混合液放于 50℃ 下水浴 1 h,振荡离心,弃上清(重复 3 次)。向离心管中的沉淀加入 2 mL 0.2% NaOH,混匀,将混合液放在 50℃ 下水浴 1 h,振荡离心,将离心液倒入 50 mL 离心管中(重复 3 次)。将提取液以 0.2% NaOH 定容至 50 mL,即为谷蛋白提取液。采用考马斯亮蓝 G-250 法<sup>[22-23]</sup>,使用 721 型分光光度计进行谷蛋白含量测定,3 次重复。

$\gamma$ -氨基丁酸的测定 参考 K. Inatomi 等<sup>[24]</sup>方法测定糙米中  $\gamma$ -氨基丁酸含量:准确称取样品 0.5 g 于 10 mL 带盖离心管中,每管加 5 mL 蒸馏水,振荡器上振荡 4 h(200 次/min),10000 r/min 离心 3 min,离心后取 1 mL 上清液于 25 mL 容量瓶中,加入 0.6 mL 0.2 mol/L (PH9.0) 硼酸缓冲液、2 mL 5% 苯酚溶液、2 mL 7% NaClO 溶液摇匀后沸水浴 10 min,直到颜色变成黄绿色后取出冰浴 5 min,5000 r/min 离心 3 min,待温度升至室温,于 645 nm 处测定溶液吸光度,3 次重复。

总黄酮的测定 参考赵春艳等<sup>[25]</sup>的方法:准确

称取样品  $500 \pm 1$  mg 于 10 mL 带盖离心管中,每管加 5 mL 50% 乙醇,振荡器上震荡 2 h(200 次/min),5000 r/min 离心 3 min,离心后取上清液 1 mL 于另一 10 mL 离心管中,加入 0.6 mL 5% NaNO<sub>2</sub>,混匀后静置 5 min,加入 0.6 mL 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>,混匀后静置 6 min,加入 4 mL 5% NaOH,混匀后静置 10 min,待颜色变为红色并稳定后于波长 500 nm 处测定吸光值,3 次重复。

### 1.3 数据分析

运用 Excel 2003 软件进行数据处理和基本统计分析,用 SPSS (Version 17.0 for Windows) 软件进行方差分析、相关性分析和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 功能营养品质性状在年际间的差异

为了明确功能营养品质在年际间的变化规律,对 2014 年和 2015 年的测定结果进行方差分析。由表 1 可知,赖氨酸含量 2 年间差异达显著水平;而其他各功能营养成分含量在 2 年间差异均不显著,说明供试材料的功能营养成分在年际间的差异不大,可以用 2 年的平均值来反映性状间的变异和品种间的差异。

表 1 功能营养品质的方差分析

Table 1 Analysis of variance for functional nutrition quality

变异来源 Variation source	赖氨酸 Lys	谷蛋白 Glu	$\gamma$ -氨基丁酸 GABA	总黄酮 Tfl	平均胚重 Aew	胚占糙米重 Ewbr
年份 Year	8.119*	1.723	252.687	0.064	2.486	27.269
误差 Error	0.531	119.041	574.165	92.530	71.974	87.150

\* 表示在 0.05 水平上差异显著,下同

\* correlation is significant at the 0.05 level. Lys: Lysine, Glu: Glutenin; GABA:  $\gamma$ -aminobutyric acid, Tfl: Total flavonoids, Aew: Average embryo weight, Ewbr: Embryo of brown rice, the same as below

### 2.2 功能营养品质性状的变异

遗传变异分析结果如表 2 所示,除  $\gamma$ -氨基丁酸外,各功能型营养成分含量的变幅差异均较大;其中赖氨酸平均含量为 0.19%,最高含量(0.36%)是最低含量(0.06%)的 6 倍;谷蛋白平均含量为 46.93 mg/g,最高含量(85.67 mg/g)是最低含量(22.68 mg/g)的 3.77 倍;总黄酮平均含量为 331.39 mg/100 g,最高含量(441.21 mg/100 g)是最低含量(217.63 mg/100 g)的 2.03 倍; $\gamma$ -氨基丁酸和总黄酮的变异系数相对较小,而赖氨酸、谷

蛋白、平均胚重和胚占糙米重的变异系数较大,变化幅度呈现出:总黄酮 <  $\gamma$ -氨基丁酸 < 谷蛋白 < 赖氨酸 < 胚占糙米重 < 平均胚重。其中,平均胚重的变异系数高达 92.17%,胚占糙米重的变异系数为 56.42%,明显高于其他性状;总黄酮含量的变异系数最小,为 11.51%。综上所述,寒地粳稻品种资源在已测 6 种功能型营养品质性状上都存在较大的变异,说明其遗传潜力大,具有较大的选择空间,为功能型稻米的选育提供了良好的材料基础。

表 2 功能营养品质的变异

Table 2 Variation of functional nutrition quality

项目 Items	赖氨酸 (%) Lys	谷蛋白 (mg/g) Glu	$\gamma$ -氨基丁酸 (mg/100g) GABA	总黄酮 (mg/100g) Tfl	平均胚重 (mg) Aew	胚占糙米重 (%) Ewbr
变异范围 RV	0.06 ~ 0.36	22.68 ~ 85.67	2.69 ~ 5.81	217.63 ~ 441.21	0.04 ~ 1.25	0.18 ~ 3.67
平均值 Mean	0.19	46.93	4.42	331.39	0.56	1.40
标准差 SD	0.04	10.88	0.56	38.04	0.52	0.79
变异系数 (%) CV	21.05	23.18	12.22	11.51	92.17	56.42

筛选出每一性状含量最高的 10 个品种和含量最低的 10 个品种(表 3)。赖氨酸含量最高的品种为龙粳 17 号和绥粳 13 号,最低的品种为朴洪根稻,含量最高的 10 个品种的赖氨酸含量均大于 0.18%;谷蛋白含量最高的品种为龙洋 1 号,最低的品种为牡丹江 8 号,含量最低的 10 个品种的谷蛋白含量均小于 32 mg/g; $\gamma$ -氨基丁酸含量最高的品种为牡丹江 22 号,最低的品种为龙盾 107,含量最高的 10 个品种的  $\gamma$ -氨基丁酸含量均大于 5.0 mg/100g;总黄酮含量最高的品种为松粳 13 号,最低的品种为牡丹江 8 号,含量最高的 10 个品种的总黄酮含量均

大于 390 mg/100 g;平均胚重最高的品种为牡丹江 4 号,最低的品种为绥粳 9 号,最高的 10 个品种的平均胚重均大于 1.0 mg;胚占糙米重最高的品种为牡丹江 22 号,最低的品种为绥粳 9 号,最高的 10 个品种的胚占糙米重均大于 3.0%。通过表 3 还可以看出,绥粳 3 号、绥粳 5 号的赖氨酸含量、平均胚重均较高,牡丹江 21 号的赖氨酸含量和  $\gamma$ -氨基丁酸含量均较高,合粳 1 号的  $\gamma$ -氨基丁酸含量和平均胚重均较高,牡丹江 22 号的  $\gamma$ -氨基丁酸含量和胚占糙米重均较高,龙糯 2 号、系选 1 号的平均胚重和胚占糙米重均较高。

表 3 功能营养品质高含量及低含量品种

Table 3 High content and low content varieties of functional nutritional quality

性状 Characteristics	高含量品种 High content varieties	低含量品种 Low content varieties
赖氨酸 Lys	龙粳 17 号、绥粳 13 号、合江 5 号、绥粳 3 号、绥粳 5 号、黑粳 8 号、黑粳 5 号、松粳 2 号、松粳 6 号、牡丹江 21 号	石狩白毛、青森 5 号、早熟青森、垦鉴稻 3 号、垦糯 1 号、龙粳 21 号、龙粳 26 号、龙粳 31 号、牡粘 4 号、朴洪根稻
谷蛋白 Glu	龙洋 1 号、龙联 1 号、绥糯 1 号、龙香稻 1 号、龙粳 25 号、三江 11 号、垦稻 9 号、松粳 3 号、合江 8 号、松粳 6 号	龙粳 13 号、龙粳 26 号、龙粳 29 号、合江 19 号、空育 131、鸡西稻 1 号、上育 397、牡丹江 3 号、牡丹江 7 号、牡丹江 8 号
$\gamma$ -氨基丁酸 GABA	牡丹江 22 号、嫁禾 1 号、牡丹江 23 号、松粳 10 号、藤系 137、合粳 1 号、垦稻 20 号、牡丹江 20 号、牡丹江 21 号、牡丹江 24 号	龙稻 7 号、龙香稻 1 号、五优稻 4 号、松粳 5 号、绥粳 12 号、牡丹江 31 号、龙粳 23 号、合江 18 号、合江 19 号、龙盾 107
总黄酮 Tfl	松粳 13 号、龙粳 31 号、松粳 4 号、宾旭、龙香稻 1 号、龙稻 12 号、绥糯 1 号、东农 418、东农 423、东农 426	中龙稻 1 号、龙稻 1 号、松粳 6 号、合江 20 号、合江 17 号、龙粳 18 号、龙粳 13 号、龙粳 2 号、垦稻 9 号、牡丹江 8 号
平均胚重 Aew	牡丹江 4 号、绥粳 3 号、绥粳 5 号、松粳 3 号、北稻 2 号、龙糯 2 号、合江 19 号、鸡西稻 1 号、系选 1 号、合粳 1 号	黑粳 7 号、垦稻 10 号、垦稻 19 号、垦糯 2 号、松粳 7 号、松粳 12 号、五优稻 4 号、延粘 1 号、东农 422、绥粳 9 号
胚占糙米重 Ewbr	牡丹江 22 号、龙糯 2 号、合江 19 号、系选 1 号、合粳 1 号、绥粳 13 号、东农 426、绥粳 3 号、牡丹江 10 号、北稻 4 号	黑粳 7 号、垦稻 10 号、垦稻 19 号、垦糯 2 号、龙粳 18 号、牡丹江 12 号、松粳 7 号、松粳 12 号、五优稻 4 号、绥粳 9 号

### 2.3 功能型营养品质性状间的相关分析

从表 4 可以看出,糙米中各功能型营养品质性状间均存在一定的相关性,赖氨酸含量与平均胚重和胚占糙米重均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.194\*\* 和 0.199\*\*,说明平均胚重和胚占糙米重越高,赖氨酸含量越高。黄酮含量与谷蛋白含量呈显著正相关,与  $\gamma$ -氨基丁酸含量呈显著负相关,相关系数分别为 0.138\* 和 -0.172\*,说明黄酮含量较高时谷蛋白含量也较高,而  $\gamma$ -氨基丁酸含量相对较低;平均胚重与胚

占糙米重呈极显著正相关,相关系数为 0.990\*\*,说明胚重量越大时,胚占糙米重也越大。

### 2.4 功能型营养品质性状的主成分分析

对以上 6 项功能型营养品质性状进行主成分分析,计算相关矩阵的特征根和相应特征向量的结果表明(表 5),前 4 个主成分的累计贡献率达到了 83.625%,说明这 4 个主成分能较好地反映稻米中功能型营养品质的特性,可以用来对不同材料进行系统的综合评价。

表 4 功能型营养品质性状间的相关分析

Table 4 Correlation analysis between functional nutrition quality

性状 Characteristics	赖氨酸 Lys	谷蛋白 Glu	$\gamma$ -氨基丁酸 GABA	总黄酮 Tfl	平均胚重 Aew	胚占糙米 Ewbr
赖氨酸 Lys	1					
谷蛋白 Glu	0.034	1				
$\gamma$ -氨基丁酸 GABA	-0.054	-0.088	1			
总黄酮 Tfl	0.016	0.138*	-0.172*	1		
平均胚重 Aew	0.194**	-0.043	0.086	-0.074	1	
胚占糙米重 Ewbr	0.199**	-0.036	0.058	-0.060	0.990**	1

\*\* , \* 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异

\*\* , \* correlation is significant at the 0.01 and 0.05 level, respectively

表 5 功能营养品质的主成分分析

Table 5 The principal components analysis of functional nutrition quality

性状 Characteristics	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
赖氨酸 Lys	0.346	0.401	-0.499	0.201
谷蛋白 Glu	-0.096	0.674	-0.244	0.397
$\gamma$ -氨基丁酸 GABA	0.204	0.268	0.840	-0.235
总黄酮 Tfl	-0.087	0.776	0.177	0.645
平均胚重 Aew	0.923	0.012	0.017	-0.307
胚占糙米重 Ewbr	0.911	-0.026	0.030	-0.324
特征根值 Eigenvalues	1.835	1.244	1.070	0.869
累计贡献率(%) AC	30.584	51.320	69.149	83.625

从表 5 可以看出,第 1 主成分中平均胚重的特征向量值为正数且数值最大,胚占糙米重次之,而谷蛋白和总黄酮含量的特征向量为负值,其中总黄酮含量的特征向量的绝对值最小,故可将第 1 主成分叫做胚型因子。第 1 主成分越大,胚重和胚占糙米重相对较高,而谷蛋白和总黄酮含量较低。

第 2 主成分中总黄酮含量的特征向量值为正数且数值最大,谷蛋白含量次之,而胚占糙米重的特征向量为负值,故可将第 2 主成分叫做总黄酮、谷蛋白型因子。第 2 主成分越大,总黄酮和谷蛋白含量越高,同时胚越小,胚占糙米的重量越小,与第 1 主成分分析结果一致。

第 3 主成分中  $\gamma$ -氨基丁酸含量的特征向量值为正数且数值最大,而赖氨酸和谷蛋白含量的特征向量值为负数,且谷蛋白含量的特征向量绝对值最小,故可将第 3 主成分因子叫做  $\gamma$ -氨基丁酸型因子。第 3 主成分越大, $\gamma$ -氨基丁酸含量较高,谷蛋白含量较低。

第 4 主成分中总黄酮含量的特征向量值为正数且数值最大,而平均胚重、胚占糙米重和  $\gamma$ -氨基丁

酸含量的特征向量值为负数,且  $\gamma$ -氨基丁酸含量的特征向量绝对值最小,故可将第 4 主成分因子叫做总黄酮型因子。第 4 主成分越大,总黄酮含量越高,而胚重量较小, $\gamma$ -氨基丁酸含量较低。

### 3 讨论

本研究结果表明,226 份寒地粳稻的赖氨酸、谷蛋白、 $\gamma$ -氨基丁酸、总黄酮含量和胚大小均呈现出较大的遗传变异。谷蛋白含量变异范围 21.29 ~ 84.28 mg/g,变异系数 23.25%,变异范围较大。王益华<sup>[12]</sup>研究表明,肾脏病和糖尿病患者不能食用可溶性蛋白(谷蛋白)含量高于 4% 的稻米,低谷蛋白稻米可作为肾脏病和糖尿病患者的专用食品。本研究测定的寒地粳稻品种中牡丹江 3 号、牡丹江 7 号和牡丹江 8 号的谷蛋白含量较低,可作为低谷蛋白稻米选育的材料基础。 $\gamma$ -氨基丁酸含量的变异范围为 3.07 ~ 5.11 mg/100g,平均值为 4.42 mg/100 g,略低于已培育出的功能型稻米 6.38 mg/100 g 的报道<sup>[26]</sup>。众多研究表明, $\gamma$ -氨基丁酸的合成途径与逆境刺激有关,如低温冷害、缺氧和干旱等恶劣环境均能引起植物体中  $\gamma$ -氨基丁酸含量的积累<sup>[5-7]</sup>。本研究所选水稻品种均为寒地粳稻品种,低温、昼夜温差大等环境刺激诱导了  $\gamma$ -氨基丁酸的富集,是寒地粳稻  $\gamma$ -氨基丁酸含量相对较高的可能原因。总黄酮含量的平均值为 331.39 mg/100 g,与曾亚文等<sup>[27]</sup>对云南稻核心种质糙米总黄酮含量的测定值(306.98 mg/100 g)相近,但高于孙丹等<sup>[5]</sup>对功米 3 号和滇屯 502 及其 219 个 F<sub>3</sub> 株系的研究中糙米总黄酮含量的平均值 130.15 mg/100 g,东北地区高海拔、低温、昼夜温差大等环境条件是否有利于总黄酮的表达合成还有待研究。平均胚重最高的品种牡丹江 22 号,胚重量为 1.14 mg,低于韩龙植等<sup>[20]</sup>巨胚稻平均胚重 2.1 mg 的报道,可见已测寒地粳稻品种

不含天然的巨胚品种,但各品种间仍存在较大的遗传变异(变异系数 92.17%),可为巨胚水稻品种的培育提供较好的基础材料。

水稻中各功能营养成分的相关性研究报道较少。本研究结果表明,赖氨酸含量与平均胚重和胚占糙米重均呈极显著正相关,即胚大的品种其赖氨酸含量也较高,如已筛选出的绥粳 3 号和绥粳 5 号,同时具有高赖氨酸和平均胚重大的特点。总黄酮含量与  $\gamma$ -氨基丁酸含量呈显著负相关,这与孙丹等<sup>[5]</sup>的报道一致,即总黄酮含量较高时  $\gamma$ -氨基丁酸含量相对较低。总黄酮含量与谷蛋白含量呈显著正相关,即总黄酮含量较高的品种谷蛋白含量也较高,相反,低谷蛋白含量的稻米总黄酮含量也较低。以上这些特点为聚合多种功能型营养品质性状增加了一定的难度,即很难将高总黄酮、高  $\gamma$ -氨基丁酸和低谷蛋白这 3 种功能营养品质性状同时聚合到某一品种上,并且某一性状含量的提高很可能造成另一性状含量的降低。但随着水稻分子标记辅助选择和转基因育种技术的飞速发展,利用功能分子标记辅助选择或通过基因工程手段,聚合多个功能营养品质性状于一体,是不难实现的目标<sup>[28]</sup>。

本研究的主成分分析结果表明,可以将 6 种功能型营养品质性状简化为 4 个综合指标(主成分),这 4 个主成分所提供的信息量占全部信息量的 83.625%。第 1 主成分越大,胚越大,胚占糙米重量越大,谷蛋白和总黄酮含量越小;第 2 主成分越大,总黄酮和谷蛋白含量越高,胚越小,胚占糙米的重量越小;第 3 主成分越大, $\gamma$ -氨基丁酸含量越高,谷蛋白含量越低;第 4 主成分越大,总黄酮含量越高,而胚重量越小, $\gamma$ -氨基丁酸含量越低。其中第 1、2、3 主成分的累计贡献率占 69.149%,因此,在功能型稻米育种过程中,育种工作者应首先注意对巨胚、高  $\gamma$ -氨基丁酸和低谷蛋白的选择,发挥其优势,培育出优良的功能型稻米品种。在选育综合功能型营养品质性状优良的品种时,要充分利用主成分信息,综合考虑每个主成分互相之间的影响作用。

#### 参考文献

- [1] 张子军,冯永祥,吕艳东. 东北寒地旱粳稻品质相关及主成分分析[J]. 中国农业大学学报,2008,13(5):35-39
- [2] 杨武振,杨涛,王荔,等. 02428 × 合系 35 的 RIL 群体糙米总黄酮与总生物碱含量的遗传分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(3):477-480
- [3] 朴钟泽,张建国,陆家安,等. 功能性水稻新品种巨胚粳 1 号选育及应用[J]. 中国稻米,2009,15(3):34-35
- [4] 胡培松. 功能性稻米研究与开发[J]. 中国稻米,2003,9(5):3-5
- [5] 孙丹,杜娟,曾亚文,等. 功米 3 号 × 滇屯 502 的 F3 群体糙米总黄酮和  $\gamma$ -氨基丁酸含量的遗传变异及相关性分析[J]. 西南农业学报,2013,26(2):389-394
- [6] 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
- [7] 魏明亮,杜娟,曾亚文,等. 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[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2013,39(2):121-125
- [8] 田颖,彭景,陈玉. 人体赖氨酸需要量的研究进展[J]. 现代预防医学,2014,41(1):22-24,27
- [9] 方先文,林静,王艳平,等. 高赖氨酸含量水稻品种资源的筛选[J]. 金陵科技学院学报,2009,25(3):46-48
- [10] 王艳平,田孟祥,汤陵华,等. 水稻 57H 谷蛋白突变体的谷蛋白含量分析[J]. 江苏农业科学,2009(6):34-35
- [11] 毕京翠. 水稻蛋白质含量分析与四种蛋白组分的 QTL 定位[D]. 南京:南京农业大学,2006
- [12] 王益华. 水稻谷蛋白合成途径关键基因的图位克隆与功能研究[D]. 南京:南京农业大学,2007
- [13] 赵则胜,蒋家云. 高营养功能性巨胚稻米研究初报[J]. 上海农业学报,2002,18(S1):5-8
- [14] 赖来展,张名位,彭仲明,等. 中国黑米种质资源的评价与利用研究进展[J]. 湖北农学院学报,1995(4):309-317
- [15] 赖来展. 应用生物技术选育黑优粘系列新品种的研究[J]. 中山大学学报,1989,16(4):123-127
- [16] 王艳平,汤陵华,方先文. 天然低谷蛋白水稻突变体的筛选[J]. 金陵科技学院学报,2008,24(1):45-47
- [17] 林冬枝,林琛,张建辉. 高营养功能性水稻“巨胚红粳 1 号”选育、营养价值及应用[J]. 上海师范大学学报:自然科学版,2014(6):578-581
- [18] Matsui T, Ishizaki K, Hashimoto N, et al. Development of PCR markers to breed near-isogenic line of low-glutelin gene, *Lgcl*, in rice and effects of *Lgcl* on basic agronomic characteristics[J]. Breeding Rese,2013,15(3):83-89
- [19] 张云辉,张所兵,周金云亮,等. 水稻低谷蛋白创新种质的选育和鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):158-162
- [20] 韩龙植,南钟浩,全东兴,等. 特种稻种质创新与营养特性评价[J]. 植物遗传资源学报,2003,4(3):207-213
- [21] 张书贤. 茛三酮比色法检测饲料中赖氨酸含量的研究[J]. 四川畜牧兽医,1995(1):34-35
- [22] 赵英永,戴云,崔秀明,等. 考马斯亮蓝 G-250 染色法测定草乌中可溶性蛋白质含量[J]. 云南民族大学学报:自然科学版,2006,15(3):235-237
- [23] 曲春香,沈颂东,王雪峰,等. 用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J]. 苏州大学学报:自然科学版,2006,22(2):82-85
- [24] Inatomi K, Slaughter J C. The role of glutamate decarboxylase and  $\gamma$ -aminobutyric acid in germinating barley[J]. J Expe Bot, 1971(22):561-571
- [25] 赵春艳,普晓英,曾亚文. 大麦麦芽总黄酮类化合物含量的测定分析[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(4):498-502
- [26] 杨涛,杨武振,王荔,等. 02428 × 合系 35 RILs 群体糙米和发芽糙米  $\gamma$ -氨基丁酸、抗性淀粉的遗传分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):205-209
- [27] 曾亚文,杜娟,杨树明. 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):3388-3394
- [28] 程芳艳,王继亮,孟巧霞,等. 功能型水稻的研究成果及进展[J]. 北方水稻,2011,41(6):76-80