

姚 姝, 陈 涛, 赵春芳, 等. 低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)的氨基酸组分含量及淀粉理化性质[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(8): 1617-1626.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.08.001

低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)的氨基酸组分含量及淀粉理化性质

姚 姝, 陈 涛, 赵春芳, 周丽慧, 赵 凌, 赫 磊, 路 凯, 梁文化, 朱 镇, 赵庆勇, 王才林, 张亚东

(江苏省农业科学院粮食作物研究所/国家耐盐碱水稻技术创新中心华东中心/江苏省优质水稻工程技术研究中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 氨基酸含量是评价稻米营养品质的重要指标之一,提高稻米中的氨基酸含量,尤其是提高赖氨酸等必需氨基酸含量是提高稻米品质的重要目标。低谷蛋白半糯型粳稻品种是一种具有低直链淀粉含量、低谷蛋白含量特性的新型粳稻品种,适合肾病患者食用。为了明确低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)的氨基酸组分含量与淀粉理化特性,以低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)为材料,半糯型粳稻、普通粳稻品种为对照,在相同生态环境和栽培条件下种植3种不同类型的粳稻品种(品系)共16个,测定并分析稻米总氨基酸含量及各氨基酸组分含量,同时分析直链淀粉含量、糊化温度、胶稠度等淀粉理化特征,并进一步分析氨基酸组分含量与淀粉理化指标的相关性。结果表明,3种类型粳稻品种(品系)间的总氨基酸、赖氨酸、苏氨酸及谷氨酸含量存在显著差异,低谷蛋白半糯型粳稻的总氨基酸、赖氨酸的平均含量显著低于半糯型粳稻、普通粳稻,半糯型粳稻谷氨酸的平均含量显著高于低谷蛋白半糯型粳稻、普通粳稻。低谷蛋白半糯型粳稻的崩解值显著低于半糯型粳稻、普通粳稻,半糯型粳稻的胶稠度与峰值黏度显著高于普通粳稻、低谷蛋白半糯型粳稻;赖氨酸、苏氨酸含量与峰值黏度、食味值呈显著或极显著负相关,与硬度呈显著或极显著正相关。3种不同类型粳稻品种(品系)在赖氨酸含量、直链淀粉含量和崩解值上存在显著差异,其中低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)的赖氨酸含量最低,半糯型粳稻品种具有较低的直链淀粉含量、消减值和回复值,同时具有较高的谷氨酸含量、胶稠度和崩解值。17种氨基酸中,赖氨酸含量对米饭食味品质的影响最大,与米饭的外观、黏度和食味值呈极显著负相关。

关键词: 低谷蛋白半糯型粳稻; 氨基酸含量; 淀粉理化特性; 食味品质

中图分类号: S511.2⁺201 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)08-1617-10

Amino acid component content and physicochemical properties of starch in low gluten semi-waxy japonica rice

YAO Shu, CHEN Tao, ZHAO Chun-fang, ZHOU Li-hui, ZHAO Ling, HE Lei, LU Kai, LIANG Wen-hua, ZHU Zhen, ZHAO Qing-yong, WANG Cai-lin, ZHANG Ya-dong

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/East China Branch of National Center of Technology Innovation for Saline-Alkali Tolerant Rice/Jiangsu High-quality Rice Research and Development Center, Nanjing 210014, China)

收稿日期: 2023-02-06

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(22)3143];现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-1)

作者简介: 姚 姝(1982-),女,江苏镇江人,博士,副研究员,从事水稻遗传育种研究。(E-mail) rice19820911@hotmail.com

通讯作者: 王才林, (E-mail) clwang@jaas.ac.cn; 张亚东, (E-mail) zhangyd@jaas.ac.cn

Abstract: Amino acid content is an important evaluation index of rice nutritional quality. Increasing the content of amino acids in rice, especial essential amino acids such as lysine, is an important goal to improve rice quality. Low glutelin semi-waxy japonica rice variety is a new type of rice variety with low amylose content and low glutelin content,

which is suitable for kidney disease patients who need to control protein intake. The objective of this study was to clarify the amino acid composition content and starch physicochemical properties of low glutelin semi-waxy *japonica* rice varieties (lines). The low glutelin semi-waxy *japonica* rice varieties (lines) were used as materials, and the semi-waxy *japonica* rice and common *japonica* rice varieties were used as control. A total of 16 *japonica* rice varieties including three different types were planted under the same ecological environment and cultivation conditions. The contents of total amino acids and amino acid components and physicochemical characteristics of starch such as amylose content, gelatinization temperature and gel consistency were analyzed, and the correlation between the content of amino acid components and physicochemical properties of starch was further analyzed. The results showed that there were significant differences in the contents of total amino acids, lysine, threonine and glutamic acid among the three types of *japonica* rice varieties (lines). The average content of total amino acids and lysine in low glutelin semi-waxy *japonica* rice was significantly lower than that in semi-waxy *japonica* rice and common *japonica* rice, and the average content of glutamic acid in semi-waxy *japonica* rice was significantly higher than that in low glutelin semi-waxy *japonica* rice and common *japonica* rice. The breakdown value of low glutelin semi-waxy *japonica* rice was significantly lower than that of semi-waxy *japonica* rice and common *japonica* rice, and the gel consistency and peak viscosity of semi-waxy *japonica* rice were significantly higher than those of common *japonica* rice and low glutelin semi-waxy *japonica* rice. The results of correlation analysis showed that the contents of lysine and threonine were negatively correlated with peak viscosity and taste value significantly or extremely significantly, and were significantly or extremely significantly positively correlated with hardness. There were significant differences in lysine content, amylose content and breakdown value among the three different types of *japonica* rice varieties (lines). Among them, the low glutelin semi-waxy *japonica* rice varieties (lines) had the lowest lysine content. Semi-waxy *japonica* rice varieties had lower amylose content, setback value and recovery value, higher glutamic acid content, gel consistency and breakdown value. Among the 17 amino acids, lysine content had the greatest influence on the taste quality of rice, and was significantly negatively correlated with the appearance, viscosity and taste value of rice ($P < 0.001$).

Key words: low gluten semi-waxy *japonica* rice; amino acid content; starch physicochemical properties; taste quality

水稻是人类最重要的粮食作物之一,与粮食安全休戚相关。随着人民生活水平的提高和健康意识的增强,人们的膳食结构发生了翻天覆地的变化,更加注重饮食营养与健康,因此提高稻米营养品质已成为水稻育种的重要目标。氨基酸是蛋白质的基本组成单位,其含量和组成是评价稻米营养品质的重要指标。通常情况下,从稻米中检测获得的氨基酸组分有 17 种,主要包括 8 种必需氨基酸、2 种半必需氨基酸及 7 种非必需氨基酸。研究发现,稻米氨基酸含量主要受遗传因素影响,且不同品种间差异较大^[1]。相关研究发现,中国稻米中赖氨酸含量为 0.11%~0.61%,不同水稻品种(品系)间遗传差异大。稻米氨基酸含量还与栽培措施和环境条件有很大关联,影响氨基酸含量的环境因素主要有光照、温度及水分等^[2-3]。

近年来,随着人们生活节奏的加快和饮食结构不合理,肾脏病、糖尿病、肥胖等疾病的发病率迅速上升。研究发现,普通大米中的蛋白质含量约为 8%~10%,其中谷蛋白占比最高,可达 80%,容易被人体消化吸收,因此糖尿病、肾病患者不宜以普通大米为主食,培育一种可以被糖尿病、肾病患者食用的

优良食味水稻品种已经成为新的育种目标。低谷蛋白水稻品种是指一种水溶性蛋白质含量只有 3.1%~4.0% 水稻品种。患者食用低谷蛋白大米后,人体吸收的可溶性蛋白质很少,体内转换为葡萄糖的量也随之减少,因此能有效预防和辅助治疗一些糖尿病、肾病。本研究团队前期利用低谷蛋白水稻资源 LGC-1 和半糯粳稻品种杂交、连续多代回交,培育了一种具有低直链淀粉、低谷蛋白含量特性的新型粳稻品种^[4]。

目前,国内关于低谷蛋白水稻的研究多集中在分子标记辅助选育与高产栽培技术研究方面,关于低谷蛋白粳稻的功能特性及其淀粉理化特性尚缺乏深入研究,限制了其更广泛的利用^[5]。因此,本试验拟开展低谷蛋白半糯型粳稻品种的稻米氨基酸组分含量和蒸煮食味品质的关系研究,寻求低谷蛋白含量、高氨基酸含量特别是高必需氨基酸含量的半糯型粳稻资源,以期今后优质功能稻开发利用及如何促进人体营养健康提供理论指导。

本研究选用低谷蛋白半糯型粳稻、半糯型粳稻、普通粳稻 3 种类型的粳稻品种(品系)16 个,分别比较各类型稻米总氨基酸含量及各氨基酸组分含量与

直链淀粉含量、胶稠度、糊化温度及淀粉黏滞性特征值(RVA)等淀粉理化特征的差异,同时分析各指标之间的相关性,以期对低谷蛋白水稻品种(品系)稻米品质有较为全面的认识,指导功能性专用水稻品种选育。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究共采用 16 份供试材料(表 1)和对照品种 LGC-1,系统比较其氨基酸组分含量与淀粉理化指标的差异和相互关系。其中 L03、L05、L07、L16、L19 和 L20 是本研究组以低谷蛋白品种 LGC-1 为父本与优良食味粳稻品种南粳 46 进行杂交、多代回交,并通过分子标记定向选择得到的低谷蛋白半糯型粳稻新品系。

表 1 不同类型粳稻品种(品系)名称与来源

Table 1 Names and sources of different japonica rice varieties (lines)

品种(品系)类型	品种(品系)名称	来源
低谷蛋白半糯型粳稻	L03	江苏省农业科学院
	L05	江苏省农业科学院
	L07	江苏省农业科学院
	L16	江苏省农业科学院
	L19	江苏省农业科学院
	L20	江苏省农业科学院
半糯型粳稻	关东 194	日本关东茨城县作物研究所
	南粳 9108	江苏省农业科学院
	南粳 5055	江苏省农业科学院
	南粳 46	江苏省农业科学院
普通粳稻	淮稻 5 号	江苏省金地种业科技有限公司
	武育粳 3 号	江苏(武进)水稻研究所
	武粳 13	江苏(武进)水稻研究所
	武香粳 14	江苏(武进)水稻研究所
	武运粳 23	江苏(武进)水稻研究所
	武运粳 24	江苏(武进)水稻研究所

1.2 基因型鉴定

低直链淀粉含量基因 Wx^{mp} 和低谷蛋白含量基因 $LGC-1$ 的分子鉴定均采用陈涛等^[4,6-7]设计的引物,以 17 份粳稻品种(品系)的 DNA 为模板,进行 PCR 扩增、电泳检测。

1.3 试验设计

田间试验于 2020 年在江苏省农业科学院科研基地进行,将 16 份供试材料和对照品种 LGC-1 浸种催芽后于 5 月 20 日播种,6 月 15 日移栽。各品种(品系)在田间采用随机区组排列,重复 3 次,每个小区种植 50 株,单本栽插,栽插密度为 $18.0\text{ cm} \times 20.0\text{ cm}$ 。试验田肥力中等偏上且均匀,地势平坦,整个水稻生育期田间管理措施同一般大田保持一致。

1.4 测定项目及方法

水稻成熟后,每个小区随机选取 3 个代表性样点,每穴连续收取 10 株水稻,稻谷收获后贮藏 3 个月,使其含水量控制在 14% 左右,用微型精米机将稻谷去皮脱壳加工成精米,再用 FW-80 型高速万能粉碎机粉碎,并过 100 目筛,供品质分析用,每个样品的所有指标均重复测定 3 次,取均值。

1.4.1 总氨基酸含量及各氨基酸组分含量测定 总氨基酸含量的测定采用茚三酮比色法^[8],氨基酸组分含量的测定采用柱前衍生反相高效液相色谱法^[9-10]。17 种氨基酸组分包含 8 种必需氨基酸(色氨酸未检测)、2 种半必需氨基酸和 7 种非必需氨基酸。具体测定方法:称取 0.2 g 样本放于安瓿瓶中,加入含有 1.5 ml 0.1% 苯酚的 6 mol/L 盐酸溶液 2.0 ml,研磨成浆后移入衍生管中,充氮气封口。然后将衍生管放入 100 °C 恒温干燥箱中水解 20 h 左右。取出衍生管,冷却,取 1 ml 水解液,吹氮至干,加入 1 ml 0.1 mol/L 稀盐酸溶解,过滤膜,于 4 °C 储存待衍生。用高效液相色谱法进行氨基酸分析,所用对照品试剂及溶剂均为色谱纯,其他试剂为分析纯,17 种氨基酸对照品由中国水稻研究所提供,相关液相色谱分析结果见图 1。

氨基酸的衍生操作:(1)衍生反应物包括 200 μl 样品上清液及 200 μl 氨基酸标样溶液,置于 1.5 ml 衍生管底部;(2)每个衍生管中加入正亮氨酸内标溶液 20 μl ,涡旋混合;(3)加入配好的衍生剂三乙胺乙腈溶液 200 μl ,将 100 μl 异硫氰酸苯酯乙腈溶液涡旋混合 10 s,于 25 °C 静置 1 h;(4)加入 400 μl 正己烷至离心管中,在室温下混匀后静置 10 min;(5)吸取下层溶液,用 0.45 μm 针式过滤器过滤,待测。

色谱分析条件如下:采用 Rigol L 3000 高效液相色谱仪, Kromasil C₁₈ 反相色谱柱 (250.0 mm \times 4.6 mm, 5 μm)。流动相 A 的制备:称取 7.6 g 无水乙酸钠,加 925 ml 水,充分溶解后用冰乙酸调节 pH 值至 6.5,然后加入 70 ml 乙腈混匀,用 0.45 μm 滤膜过滤。流动相 B 的

组分:80%乙腈水溶液。流动相 C 的组分:纯水。设置进样体积为 10 μl ,流速为 1.0 ml/min,柱温为 37 $^{\circ}\text{C}$,样品分析时间为 45 min,检测波长为 254 nm。

1.4.2 稻米品质指标的测定 将各供试水稻品种(品系)种子样品脱壳并磨成精米,再将精米研磨成米粉,

分析直链淀粉含量、糊化温度、胶稠度等食味品质性状指标。参照农业农村部《优质食用稻米》(NY20-1986)测定上述食味品质指标^[11]。各水稻品种(品系)的品质指标均重复测定 3 次,结果取平均值。

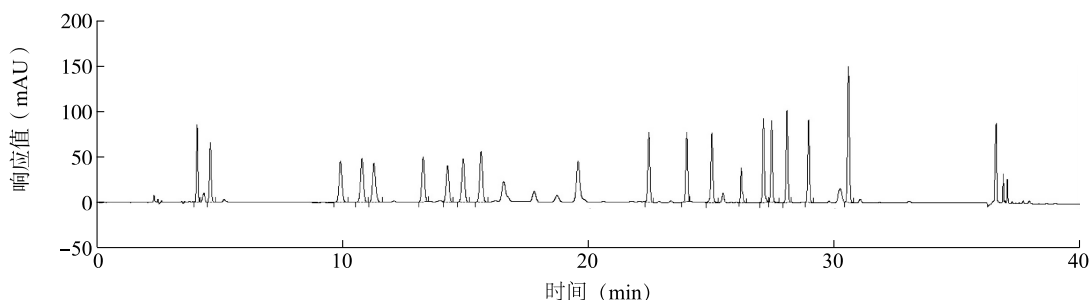


图 1 17 种标准氨基酸(250 nmol/L)液相色谱分析结果

Fig.1 Analysis of 17 standard amino acids (250 nmol/L) by liquid chromatography

采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司生产的 Super3 型快速黏度分析仪测定 RVA 特征值,用配套软件 TCW 分析数据。

1.4.3 米饭食味值的测定 采用日本佐竹公司生产的 RCTA-11A 型米饭食味计测定米饭的食味特性。具体步骤:准确称取 30 g 整精米,洗涤 30 s 后加 40 g 水,随后转移至容积为 50 ml 的铝罐中,加入 40 ml 蒸馏水,覆上滤纸,用胶皮圈密封,室温浸泡 20 min 后用电饭锅蒸煮大约 30 min,搅拌并焖 10 min,在冷却箱里冷却 20 min,关闭冷却箱。取出铝罐,室温静置 100 min,然后每份试材称取 8.0 g 米饭放入配套的不锈钢样品圆环内,用压饭器正反方向各压 10 s 测定饭样,随后上机测定,获得食味值。每个样品进行 4 次重复测定。

1.5 数据分析

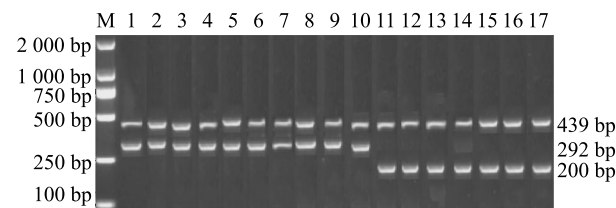
用 Excel 2016 软件进行数据处理及绘图,用 SPSS 16.0 进行其他统计分析,相关性矩阵热图采用 R(4.0.5)语言绘制。

2 结果与分析

2.1 分子鉴定结果

对 16 份供试材料和对照品种关东 194 进行低直链淀粉含量相关基因 Wx^{mp} 的鉴定,扩增产物经 1.5% 琼脂糖电泳后表现出 2 种不同带型(图 2)。1 号泳道关东 194 为 Wx^{mp} 基因型对照,扩增条带分别位于 439 bp、292 bp 处。2~10 泳道扩增出和关东 194 一样大小的带型,即 Wx^{mp} 型。与 Wx^{mp} 型相比,

非 Wx^{mp} 型在 292 bp 处无条带,在 200 bp 处有 1 条条带。图 2 显示,10 份样品扩增出的条带大小为 439 bp、292 bp,说明供试的这 10 份样品均为含有 Wx^{mp} 等位基因的半糯型粳稻品种。此外,11~17 泳道扩增出的条带大小为 439 bp、200 bp,表明对应水稻品种(品系)为普通粳稻,而非 Wx^{mp} 型粳稻。



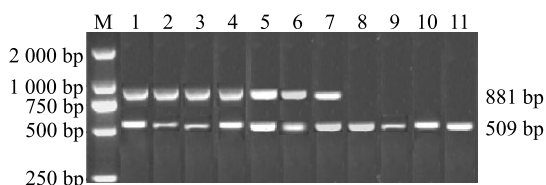
M: DL 2 000 bp marker; 1: 关东 194; 2: L03; 3: L05; 4: L07; 5: L16; 6: L19; 7: L20; 8: 南梗 9108; 9: 南梗 5055; 10: 南梗 46; 11: LGC-1; 12: 淮稻 5 号; 13: 武育梗 3 号; 14: 武梗 13; 15: 武香梗 14; 16: 武运梗 23; 17: 武运梗 24。

图 2 17 个粳稻品种(品系) Wx^{mp} 基因检测结果

Fig.2 Detection of the Wx^{mp} gene in 17 japonica rice varieties (lines)

对上述含有 Wx^{mp} 基因的 9 个粳稻品种(品系)和对照品种 LGC-1 进行低谷蛋白含量基因 $LGC-1$ 的鉴定,PCR 产物经 1.5% 琼脂糖电泳后,可以扩增出 2 种不同的条带(图 3)。所有供试材料均可扩增出 509 bp 大小的条带,携带 $LGC-1$ 基因的单株同时可扩增出 1 条大小为 881 bp 的条带。其中,6 个低谷蛋白半

糯型品系和 LGC-1 均扩增出 881 bp 条带,说明供试 6 个低谷蛋白半糯型品系均为携带 *LGC-1* 基因。



M: DL 2 000 bp Marker; 1: LGC-1; 2: L03; 3: L05; 4: L07; 5: L16; 6: L19; 7: L20; 8: 关东 194; 9: 南梗 9108; 10: 南梗 5055; 11: 南梗 46。

图 3 10 个粳稻品种(品系) *LGC-1* 基因的检测结果

Fig.3 Detection of the *LGC-1* gene in 10 japonica rice varieties (lines)

16 份供试材料和对照品种 LGC-1 的分子鉴定结果表明, L03、L05、L07、L16、L19 和 L20 是同时含有 Wx^{mp} 和 *LGC-1* 基因的品系; 关东 194、南梗 9108、南梗 5055、南梗 46 仅含有 Wx^{mp} 基因, 为半糯型粳稻品种; 淮稻 5 号、武育梗 3 号、武梗 13、武香梗 14、武运梗 23、武运梗 24 不含 Wx^{mp} 、*LGC-1* 基因, 为普通粳稻品种^[7,12]。

2.2 不同类型粳稻品种(品系)总氨基酸含量及各氨基酸组分含量的差异

从表 2、表 3 可以看出, 低谷蛋白半糯型粳稻品系的总氨基酸、谷氨酸、组氨酸、苏氨酸、甲硫氨酸、半胱氨酸和亮氨酸含量的变异范围较小, 变异系数分别为 1.00、1.04、4.29、0.62、4.00、0 和 0.50。3 种类型粳稻品种(品系)的总氨基酸、天门冬氨酸、苏氨酸、亮氨酸、谷氨酸、酪氨酸及赖氨酸的平均含量存在显著差异, 而其他氨基酸组分含量无显著差异。低谷蛋白半糯型粳稻品系的总氨基酸、赖氨酸的平均含量显著低于半糯型粳稻、普通粳稻, 酪氨酸的平均含量显著高于半糯型粳稻、普通粳稻; 半糯型粳稻谷氨酸、赖氨酸的平均含量显著高于低谷蛋白半糯型粳稻、普通粳稻, 苏氨酸、亮氨酸的平均含量低于低谷蛋白半糯型粳稻、普通粳稻。经综合考虑, 本研究选取 3 类粳稻品种(品系)的 7 种必需氨基酸含量作图, 详见图 4。

2.3 不同类型粳稻品种(品系)间淀粉理化特征及 RVA 特征值的差异

本研究通过测定直链淀粉含量(AC)、糊化温度(GT)、胶稠度(GC)及淀粉黏滞性(RVA)特征值来分析不同类型粳稻品种(品系)的淀粉理化特

征。结果表明, 3 种不同类型的粳稻品种(品系)的 AC 存在显著差异, 其中低谷蛋白半糯型粳稻的 AC 介于半糯型粳稻和普通粳稻之间, 显著高于半糯型粳稻, 且显著低于普通粳稻; 低谷蛋白半糯型粳稻、普通粳稻的 GC 显著低于半糯型粳稻; 3 种不同类型粳稻品种(品系)的 GT 无显著差异(图 5)。RVA 特征值分析结果表明, 3 种类型粳稻品种(品系)的崩解值间存在显著差异, 低谷蛋白半糯型粳稻的崩解值显著低于半糯型粳稻、普通粳稻, 低谷蛋白半糯型粳稻和半糯型粳稻的最终黏度、回复值无显著差异, 但显著低于普通粳稻, 半糯型粳稻的峰值黏度显著高于普通粳稻、低谷蛋白半糯型粳稻(图 6)^[12]。

2.4 不同类型粳稻品种(品系)间食味品质的差异

用米饭食味计对所有供试材料的食味值指标进行了测定, 由图 7 可以看出, 低谷蛋白半糯型粳稻在外观、硬度、黏度、平衡度和食味值上与普通粳稻相比无显著差异, 其外观、黏度、平衡度和食味值显著低于半糯型粳稻, 硬度显著高于半糯型粳稻^[12]。

2.5 稻米氨基酸组分含量与淀粉理化指标的相关性

稻米氨基酸组分含量与淀粉理化指标的相关性分析结果表明, 总氨基酸、赖氨酸含量与直链淀粉含量、糊化温度在 0.05、0.001 水平呈显著正相关, 其中赖氨酸含量与直链淀粉含量的相关性达到了极显著水平, 而总氨基酸、亮氨酸、苏氨酸含量与胶稠度呈显著或极显著负相关。此外, 谷氨酸、丝氨酸、丙氨酸、脯氨酸、酪氨酸、半胱氨酸及异亮氨酸含量与直链淀粉含量、糊化温度呈不同程度的负相关(图 8)。

2.6 稻米氨基酸组分含量与 RVA 特征值的相关性

通过分析稻米氨基酸组分含量与 RVA 特征值的相关性, 发现氨基酸各组分含量与 RVA 特征值之间有一定相关性, 但大部分氨基酸组分含量与 RVA 特征值之间的相关性均未达到显著水平。具体来说, 亮氨酸含量与回复值、峰值时间、消减值及最终黏度呈极显著正相关($P < 0.001$), 与崩解值、峰值黏度呈负相关($P > 0.05$); 甲硫氨酸含量与热浆黏度、峰值黏度呈极显著负相关($P < 0.01$), 而组氨酸含量则与热浆黏度、峰值黏度呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关(图 9)。

2.7 稻米氨基酸组分含量与食味品质指标的相关性

各稻米氨基酸组分含量与稻米食味品质指标的相关性分析结果表明, 总氨基酸、赖氨酸含量与米饭

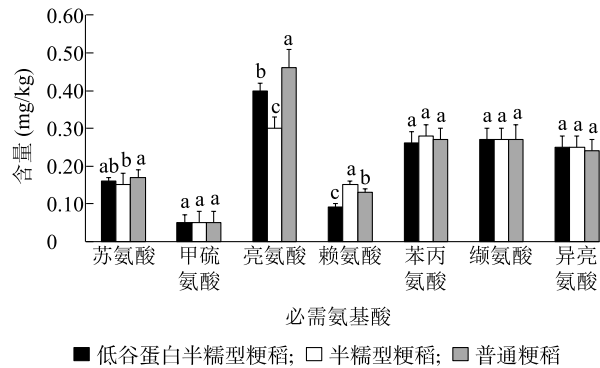
表 2 不同类型梗稻品种(品系)总氨基酸含量及各氨基酸组分含量

Table 2 Total amino acid content and the content of each amino acid component in different japonica rice varieties (lines)																			
品种(品系)类型	品种(品系)名称	总氨基酸含量 (mg/kg)	天门冬氨酸含量 (mg/kg)	谷氨酸含量 (mg/kg)	丝氨酸含量 (mg/kg)	甘氨酸含量 (mg/kg)	组氨酸含量 (mg/kg)	精氨酸含量 (mg/kg)	苏氨酸含量 (mg/kg)	丙氨酸含量 (mg/kg)	脯氨酸含量 (mg/kg)	酪氨酸含量 (mg/kg)	缬氨酸含量 (mg/kg)	甲硫氨酸含量 (mg/kg)	半胱氨酸含量 (mg/kg)	异亮氨酸含量 (mg/kg)	亮氨酸含量 (mg/kg)	苯丙氨酸含量 (mg/kg)	赖氨酸含量 (mg/kg)
低谷蛋白半糯型梗稻	L03	0.10	0.32	0.95	0.29	0.24	0.09	0.39	0.16	0.30	0.27	0.28	0.24	0.02	0.01	0.23	0.38	0.24	0.10
	L07	0.10	0.34	0.86	0.30	0.26	0.09	0.40	0.16	0.31	0.29	0.26	0.25	0.04	0.02	0.25	0.43	0.25	0.09
半糯型梗稻	L16	0.11	0.36	1.05	0.33	0.30	0.05	0.43	0.17	0.37	0.32	0.33	0.29	0.05	0.01	0.26	0.40	0.28	0.09
	L19	0.09	0.28	0.98	0.31	0.30	0.05	0.35	0.16	0.36	0.31	0.32	0.28	0.06	0.02	0.26	0.42	0.27	0.10
	L20	0.10	0.31	0.94	0.28	0.28	0.06	0.29	0.16	0.35	0.31	0.30	0.27	0.06	0.02	0.26	0.39	0.26	0.09
	关东 194	0.16	0.33	0.97	0.27	0.25	0.03	0.37	0.19	0.28	0.25	0.22	0.24	0.09	0.01	0.21	0.30	0.25	0.15
普通梗稻	南梗 9108	0.11	0.38	1.07	0.31	0.32	0.07	0.44	0.14	0.34	0.32	0.28	0.30	0.06	0.01	0.26	0.26	0.30	0.17
	南梗 5055	0.12	0.39	1.25	0.32	0.29	0.11	0.45	0.14	0.31	0.30	0.25	0.28	0.03	0.02	0.25	0.32	0.28	0.15
	南梗 46	0.12	0.35	1.94	0.31	0.31	0.07	0.40	0.14	0.33	0.31	0.26	0.28	0.04	0.02	0.28	0.30	0.27	0.14
	淮稻 5 号	0.12	0.37	0.86	0.28	0.27	0.08	0.36	0.18	0.32	0.29	0.24	0.27	0.07	0.01	0.25	0.46	0.27	0.13
	武育梗 3 号	0.15	0.23	0.60	0.26	0.23	0.09	0.38	0.16	0.24	0.24	0.24	0.23	0.03	0.02	0.21	0.42	0.24	0.12
	武运梗 23	0.12	0.34	0.80	0.29	0.26	0.10	0.41	0.17	0.28	0.28	0.29	0.26	0.02	0.02	0.24	0.43	0.25	0.13
	武梗 13	0.13	0.21	1.01	0.31	0.33	0.01	0.36	0.19	0.37	0.32	0.29	0.32	0.09	0.01	0.26	0.53	0.32	0.13
	武香梗 14	0.09	0.36	0.90	0.32	0.29	0.06	0.42	0.18	0.33	0.30	0.25	0.27	0.04	0.01	0.25	0.46	0.28	0.14
	武运梗 24	0.13	0.30	0.67	0.30	0.28	0.07	0.43	0.17	0.29	0.28	0.25	0.27	0.04	0.01	0.24	0.44	0.27	0.13

表 3 不同类型梗稻品种(品系)总氨基酸含量及各氨基酸组分含量差异

Table 3 Difference of total amino acid content and the content of each amino acid component in different japonica rice varieties (lines)																			
品种(品系)类型	项目	总氨基酸含量 (mg/kg)	天门冬氨酸含量 (mg/kg)	谷氨酸含量 (mg/kg)	丝氨酸含量 (mg/kg)	甘氨酸含量 (mg/kg)	组氨酸含量 (mg/kg)	精氨酸含量 (mg/kg)	苏氨酸含量 (mg/kg)	丙氨酸含量 (mg/kg)	脯氨酸含量 (mg/kg)	酪氨酸含量 (mg/kg)	缬氨酸含量 (mg/kg)	甲硫氨酸含量 (mg/kg)	半胱氨酸含量 (mg/kg)	异亮氨酸含量 (mg/kg)	亮氨酸含量 (mg/kg)	苯丙氨酸含量 (mg/kg)	赖氨酸含量 (mg/kg)
低谷蛋白半糯型梗稻	均值±标准差 (mg/kg)	0.10±0.011b	0.32±0.04ab	0.96±0.10b	0.30±0.04a	0.28±0.04a	0.07±0.03a	0.37±0.08a	0.16±0.01ab	0.34±0.05a	0.30±0.04a	0.30±0.04a	0.27±0.03a	0.05±0.02a	0.02±0a	0.25±0.03a	0.40±0.02b	0.26±0.03a	0.09±0.01c
	CV	1.00	1.25	1.04	1.33	1.48	4.29	2.16	0.62	1.47	1.33	1.33	1.11	4.00	0	1.20	0.50	1.15	1.11
半糯型梗稻	均值±标准差 (mg/kg)	0.13±0.02a	0.36±0.04a	1.31±0.40a	0.30±0.03a	0.29±0.04a	0.07±0.04a	0.42±0.05a	0.15±0.03b	0.32±0.04a	0.30±0.04a	0.25±0.03b	0.28±0.03a	0.06±0.03a	0.02±0.01a	0.25±0.03a	0.30±0.03c	0.28±0.03a	0.15±0.01a
	CV	1.54	1.11	3.05	1.00	1.38	5.71	1.19	2.00	1.25	1.33	1.20	1.11	6.00	1.00	1.20	1.00	1.07	0.67
普通梗稻	均值±标准差 (mg/kg)	0.12±0.02a	0.30±0.07b	0.80±0.16b	0.29±0.03a	0.28±0.05a	0.07±0.04a	0.39±0.04a	0.17±0.02a	0.30±0.06a	0.29±0.04a	0.26±0.04b	0.27±0.04a	0.05±0.03a	0.01±0a	0.24±0.03a	0.46±0.05a	0.27±0.03a	0.13±0.01b
	CV	1.67	2.33	2.00	1.03	1.79	5.71	1.03	1.18	2.00	1.38	1.54	1.48	6.00	0	1.25	1.09	1.11	0.77

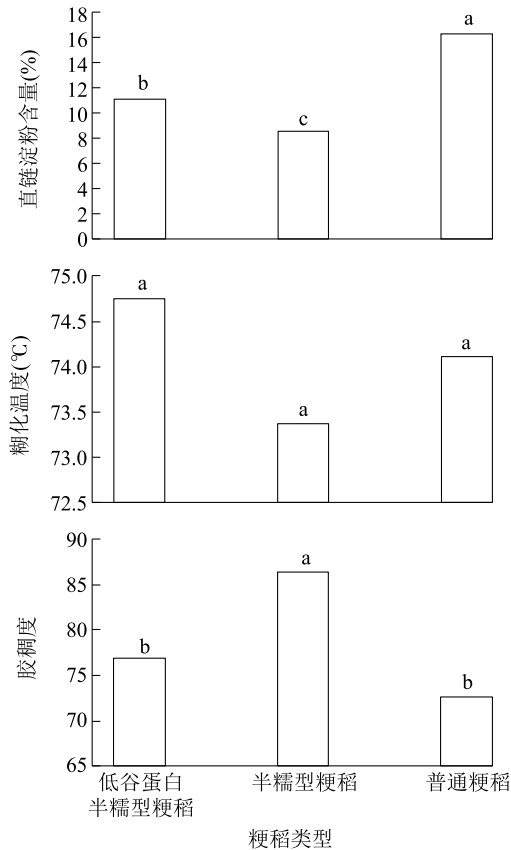
同列数据后标有不同小写字母表示不同类型梗稻品种(品系)间差异显著 ($P<0.05$)。CV:变异系数。



同一种必需氨基酸不同类型粳稻图柱上标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图4 不同类型粳稻品种(品系)的7种必需氨基酸含量

Fig.4 Contents of seven essential amino acids in different types of japonica rice varieties (lines)

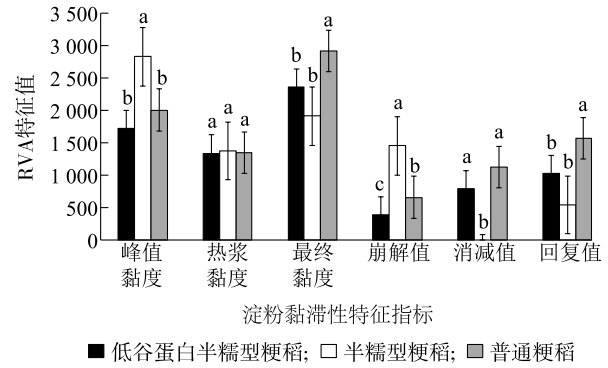


图柱上标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图5 不同类型粳稻品种(品系)的淀粉理化指标

Fig.5 Starch physicochemical indices in different types of japonica rice varieties (lines)

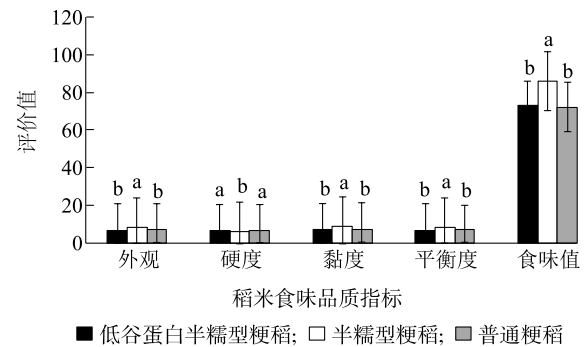
外观、黏度、平衡度及食味值呈极显著负相关,酪氨酸含量与米饭外观、黏度、平衡度及食味值呈显著或极显著正相关(图10)。



同一种淀粉黏滞性特征值不同类型粳稻图柱上标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图6 不同类型粳稻品种(品系)的淀粉黏滞性(RVA)特征值

Fig.6 Starch viscosity characteristic values in different types of japonica rice varieties (lines)



同一种指标不同类型粳稻图柱上标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

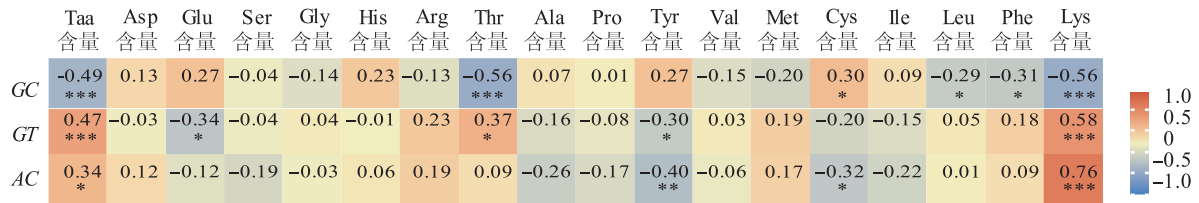
图7 不同类型粳稻品种(品系)稻米食味品质指标

Fig.7 Taste quality indices in different types of japonica rice varieties (lines)

3 讨论

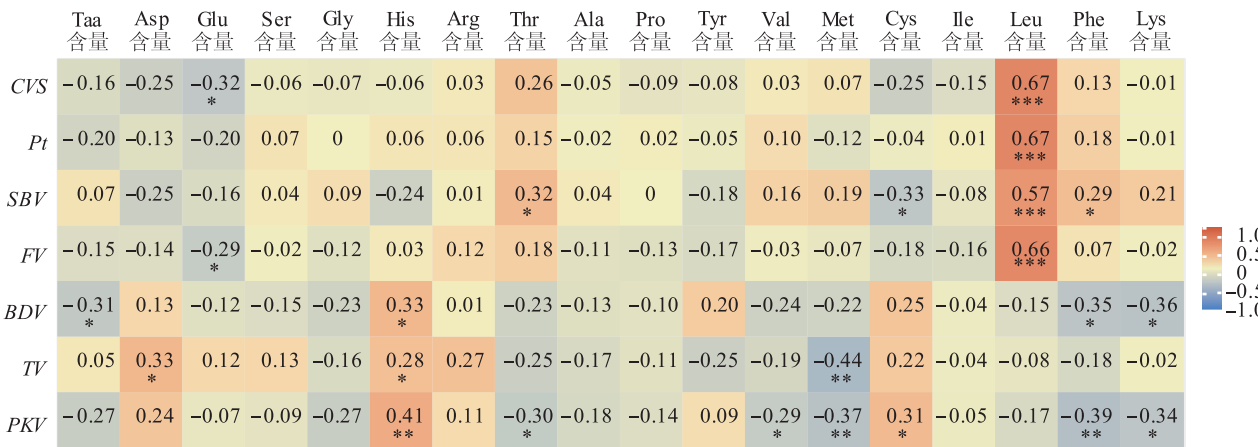
3.1 不同类型粳稻品种(品系)的总氨基酸含量及各氨基酸组分含量差异

稻米中的氨基酸含量是衡量其营养品质的重要指标之一,氨基酸的组成与平衡决定了稻米营养价值。众多研究者认为,不同水稻品种(品系)间的氨基酸含量差异显著^[13-14]。本研究通过对3种不同类型粳稻品种(品系)的总氨基酸含量及各氨基酸组分含量的比较发现,不同类型粳稻品种(品系)的总氨基酸含量不同,半糯型粳稻、普通粳稻间的总氨基酸的平均含量无显著差异,但显著高于低谷蛋白半糯型粳稻,其平均含量排序为半糯型粳稻>普通



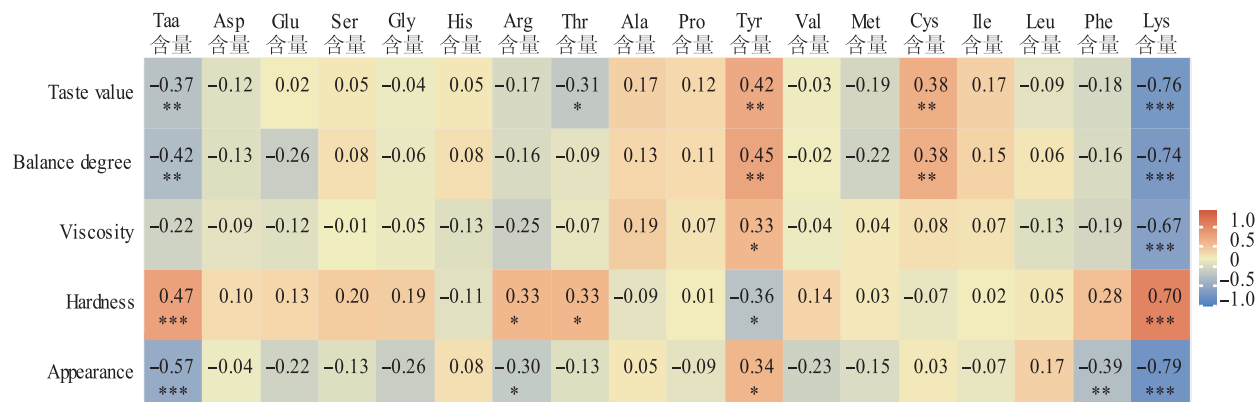
颜色强弱代表相关系数大小,红色表示正相关,蓝色表示负相关,*、**、*** 分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平显著相关。*GC*:胶稠度;*GT*:糊化温度;*AC*:直链淀粉含量;*Taa*:总氨基酸;*Asp*:天门冬氨酸;*Glu*:谷氨酸;*Ser*:丝氨酸;*Gly*:甘氨酸;*His*:组氨酸;*Arg*:精氨酸;*Thr*:苏氨酸;*Ala*:丙氨酸;*Pro*:脯氨酸;*Tyr*:酪氨酸;*Val*:缬氨酸;*Met*:甲硫氨酸;*Cys*:半胱氨酸;*Ile*:异亮氨酸;*Leu*:亮氨酸;*Phe*:苯丙氨酸;*Lys*:赖氨酸。

图 8 氨基酸组分含量与淀粉理化指标的相关性
Fig.8 Correlation between the content of amino acid components and starch physicochemical indices



颜色强弱代表相关系数大小,红色表示正相关,蓝色表示负相关,*、**、*** 分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平显著相关。*CVS*:回复值;*Pt*:峰值时间;*SBV*:消减值;*FV*:最终黏度;*BDV*:崩解值;*TV*:热浆黏度;*PKV*:峰值黏度;*Taa*:总氨基酸;*Asp*:天门冬氨酸;*Glu*:谷氨酸;*Ser*:丝氨酸;*Gly*:甘氨酸;*His*:组氨酸;*Arg*:精氨酸;*Thr*:苏氨酸;*Ala*:丙氨酸;*Pro*:脯氨酸;*Tyr*:酪氨酸;*Val*:缬氨酸;*Met*:甲硫氨酸;*Cys*:半胱氨酸;*Ile*:异亮氨酸;*Leu*:亮氨酸;*Phe*:苯丙氨酸;*Lys*:赖氨酸。

图 9 氨基酸组分含量与淀粉黏滞性特征值的相关性
Fig.9 Correlation between the content of amino acid components and starch viscosity characteristic values



颜色强弱代表相关系数大小,红色表示正相关,蓝色表示负相关。*、**、*** 分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平显著相关。*Taste value*:食味值;*Balance degree*:平衡度;*Viscosity*:黏度;*Hardness*:硬度;*Appearance*:外观;*Taa*:总氨基酸含量;*Asp*:天冬氨酸;*Glu*:谷氨酸;*Ser*:丝氨酸;*Gly*:甘氨酸;*His*:组氨酸;*Arg*:精氨酸;*Thr*:苏氨酸;*Ala*:丙氨酸;*Pro*:脯氨酸;*Tyr*:酪氨酸;*Val*:缬氨酸;*Met*:甲硫氨酸;*Cys*:半胱氨酸;*Ile*:异亮氨酸;*Leu*:亮氨酸;*Phe*:苯丙氨酸;*Lys*:赖氨酸。

图 10 氨基酸组分含量与食味品质指标的相关性
Fig.10 Correlation between the content of amino acid components and taste quality indices

粳稻>低谷蛋白半糯型粳稻。在赖氨酸、苏氨酸及谷氨酸的平均含量上,3种不同类型粳稻间存在显著差异,半糯型粳稻的谷氨酸平均含量显著高于低谷蛋白半糯型粳稻、普通粳稻,这与李维强^[15]的研究结果一致。有研究发现,食味好的大米,游离的氨基酸总量大,谷氨酸含量高,这可能涉及一个简单的谷草转移酶代谢途径,说明稻米食味与谷氨酸含量有复合的直接或间接关系^[16]。与半糯型粳稻、普通粳稻相比,低谷蛋白半糯型粳稻的赖氨酸平均含量最低,谷氨酸平均含量与普通粳稻相当,显著低于半糯型粳稻。这是因为稻米谷蛋白中的赖氨酸含量高于醇溶性蛋白质中的赖氨酸含量,在3种不同类型粳稻品种(品系)中,低谷蛋白半糯型粳稻品种(品系)本身的谷蛋白含量较低,因此其赖氨酸含量也较低^[17]。有研究发现,蛋白质含量高的粳稻品种(品系)赖氨酸含量反而不高^[18-21]。上述结果也可能与品种(品系)在改良进程中对环境适应能力及品种(品系)在不同时期对氮肥吸收利用率的差异有关,其机制复杂,值得进一步关注和深入研究。

3.2 稻米氨基酸组分含量与淀粉理化指标的关联性

氨基酸是构成蛋白质的基本单位,与稻米品质息息相关。在稻米蛋白质含量与食味品质的关系方面,国内外学者已做过大量研究^[22-25],但关于氨基酸各组分含量与稻米食味品质关系的研究则鲜有报道^[26]。本研究分析了稻米氨基酸各组分含量与直链淀粉含量、胶稠度、糊化温度、RAV特征值的关系,结果表明,总氨基酸、赖氨酸含量与直链淀粉含量、糊化温度呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)正相关,其中赖氨酸含量与直链淀粉含量的相关性达到了极显著水平,而亮氨酸、苏氨酸含量与胶稠度呈显著或极显著负相关。氨基酸各组分含量与RAV特征值之间有一定相关性,但大部分氨基酸组分含量与RAV特征值之间的相关性不显著。亮氨酸含量与回复值、峰值时间、消减值及最终黏度呈极显著正相关($P<0.001$),甲硫氨酸含量与热浆黏度、峰值黏度呈极显著负相关($P<0.01$)。事实上,有研究者认为赖氨酸、亮氨酸含量与直链淀粉含量、糊化温度、回复值和消减值呈正相关,不利于稻米食味品质的改善^[27],该结论在本研究中也得到验证。但也有学者认为,赖氨酸含量对稻米蒸煮食味品质有正相关效应,这可能与试验选用的水稻品种(品系)、

栽培措施、生态环境及碾磨加工等因素有关^[28-30]。

3.3 稻米氨基酸组分含量与米饭食味品质指标的关联性

米饭食味是大米品质的重要组成部分,随着人们生活水平的提高,人们对米饭的要求不再停留在果腹,而是更加关注大米的营养和食味品质。本研究分析了稻米各氨基酸组分含量与米饭食味品质相关指标的关联性,结果表明:总氨基酸含量与米饭光泽(外观)、平衡度、综合口感(食味值)呈显著负相关。其中赖氨酸含量与米饭的黏度、平衡度和食味值均呈极显著负相关($P<0.001$)。而酪氨酸、半胱氨酸含量与米饭外观、黏度、平衡度及食味值呈正相关,其中与米饭食味值、平衡度的正相关性达到了极显著水平。这与汪跃君等^[31-32]的研究结果一致,研究结果还表明,若以赖氨酸含量作为稻米食味品质的改良的目标,研究者需尽量降低其含量来提升稻米的食味品质。如果以提高赖氨酸含量作为稻米营养品质改良目标,研究者需从提高稻米总蛋白质含量入手,通过适当的栽培措施,提高总蛋白质中的赖氨酸含量。

3.4 低谷蛋白粳稻品种(品系)育种趋势

近年来,随着人口老化及人们物质生活的改善,患肾脏病和糖尿病的病人逐年攀升。肾病患者为了防止增加肾脏负担,不能食用可溶性蛋白质含量超过4%的大米^[33-34]。谷蛋白是稻米中含量最高、可供人体吸收的主要贮藏蛋白质,占稻米蛋白质总量的60%,具有很高的营养价值。现有水稻品种(品系)中的谷蛋白含量大多较高。培育低谷蛋白水稻新品种(品系)以满足肾病患者在蛋白质代谢方面的特殊要求,已经成为当今功能性水稻育种的一个研究热点。目前,笔者所在研究室已利用分子标记技术将半糯基因 Wx^{mp} 导入低谷蛋白粳稻品种(品系)中,培育了适合江苏省不同生态区种植的低谷蛋白半糯型粳稻品种^[4]。但是,由于以往的研究过多注重稻米蒸煮食味品质的改良,对提高稻米中蛋白质含量、氨基酸含量等营养成分的关注不够,使得一些人体必需的营养物质在稻米中的含量明显不足,未能达到人们提高健康生活水平的美好需求。平衡好稻米营养品质与蒸煮食味品质一直是水稻育种家追求的目标之一。在今后的研究中,可增强筛选必需氨基酸含量高且平衡、微量元素和维生素含量丰富且食味品质好的水稻新品种(品系),深入研

究氨基酸含量的积累规律和调控机制,从籽粒发育角度进行稻米食味品质的影响机制探讨,并结合科学、标准的栽培技术,进一步研究稻米总氨基酸含量及各氨基酸组分含量与蒸煮食味品质的关系,为进一步提高和维持优良食味稻米的营养水平以及水稻的可持续发展奠定基础。

参考文献:

- [1] 石春海,朱 军. 稻米营养品质种子效应和母体效应的遗传分析[J]. 遗传学报,1995,22(5):372-379.
- [2] 谢桂先,刘 强,荣湘民,等. 稻米氨基酸含量的影响因素及其研究进展[J]. 湖南农业科学,2008(1):32-34.
- [3] 杨建昌,李超卿,江 怡. 稻米氨基酸含量和组分及其调控[J]. 作物学报,2022,48(5):1037-1050.
- [4] 陈 涛,赵庆勇,朱 镇,等. 利用分子标记辅助选择培育优良食味、低谷蛋白香粳稻新品系[J]. 中国水稻科学,2023,37(1):55-65.
- [5] 兰 艳,黄 翌,胡明明,等. 施氮量对低谷蛋白水稻籽粒品质及蛋白质组分的影响[J]. 浙江农业学报,2019,31(2):182-190.
- [6] 陈 涛,骆名瑞,张亚东,等. 利用四引物扩增受阻突变体系PCR技术检测水稻低直链淀粉含量基因 *Wx-mq* [J]. 中国水稻科学,2013,27(5):529-534.
- [7] CHEN T, TIAN M X, ZHANG Y D, et al. Development of simple functional markers for low glutelin content gene 1 (*Lgc1*) in rice (*Oryza sativa*) [J]. Rice Science, 2010, 17(3):173-178.
- [8] 孙晓雪,孙 健,王敬国,等. 水稻赖氨酸和总黄酮含量的QTL定位及环境互作分析[J]. 核农学报,2017,31(9):1684-1692.
- [9] 张宏杰,周建军,李新生,等. 2,4-二硝基氟苯衍生法测定氨基酸方法的优化[J]. 氨基酸和生物资源,2000,22(4):59-62.
- [10] 傅博强,唐治玉,王 晶,等. 转基因大米中氨基酸含量超高效液相色谱定量[J]. 中国粮油学报,2014,29(1):110-115.
- [11] 中华人民共和国农业部. 优质食用稻米:NY20—1986[S]. 北京:中国标准出版社,1986.
- [12] 姚 姝,赵春芳,陈 涛,等. 低谷蛋白半糯型粳稻营养品质与蒸煮食味品质特征分析[J]. 中国水稻科学,2023,37(2):178-188.
- [13] 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.
- [14] 彭 波,庞瑞华,孙艳芳,等. 豫南香稻种质资源稻米氨基酸含量的检测与分析[J]. 西南农业学报,2019,32(7):1524-1530.
- [15] 李维强. 大米食味性影响因素探讨[J]. 粮食加工,2012,37(3):28-31.
- [16] YUJI M, KOJI O, MICHKAZU H. Differences in amylose content, amylographic characteristics and storage proteins of grains on primary and secondary rachis branches in rice [J]. Crop Science, 1995, 64(3):601-606.
- [17] 路 凯,赵庆勇,周丽慧,等. 稻米蛋白质含量与食味品质的关系及其影响因素研究进展[J]. 江苏农业学报,2020,36(5):1305-1311.
- [18] 郑向华,何 琴,叶新福. 稻米营养品质及功能稻种概述[J]. 现代农业科技,2005(12):94-95.
- [19] 吴长明,孙传清,陈 亮,等. 稻米营养品质性状的QTL及其与食味品质的关系研究[J]. 吉林农业科学,2002,27(4):3-7.
- [20] 张 顺,李志坚,张跃飞,等. 不同品种精白米必需氨基酸、总氨基酸和蛋白质含量的相关分析[J]. 湖北农业科学,2020,59(2):24-26.
- [21] 陆艳婷,张小明,叶胜海,等. 粳稻七种必需氨基酸含量近红外漫反射光谱分析技术研究[J]. 核农学报,2007,21(5):478-482.
- [22] 焦爱霞,杨昌仁,曹桂兰,等. 水稻蛋白质含量的遗传研究进展[J]. 中国农业科学,2008,41(1):1-8.
- [23] 谢黎虹,罗 炬,唐绍清,等. 蛋白质影响水稻米饭食味品质的机理[J]. 中国水稻科学,2013,27(1):91-96.
- [24] 孙 涛,同拉嘎,赵书宇,等. 氮肥对水稻胚乳淀粉品质、相关酶活性及基因表达量的影响[J]. 中国水稻科学,2018,32(5):475-484.
- [25] 石 吕,张新月,孙惠艳,等. 不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. 中国水稻科学,2019,33(6):541-552.
- [26] 王德仁,卢婉芳,陈 苇. 施氮对稻米蛋白质、氨基酸含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(3):353-356.
- [27] 罗舜萍,李 燕,杨 榕,等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学,2017,38(15):178-182.
- [28] 张小明,石春海,吴建国,等. 杂交稻米必需氨基酸含量与亲本的关系[J]. 中国水稻科学,2003,17(1):91-94.
- [29] 彭辉辉,刘 强,荣湘民,等. 不同栽培法对晚稻氨基酸含量影响及其机理的研究[J]. 中国农学通报,2006(11):112-117.
- [30] 谢桂先,刘 强,荣湘民,等. 不同栽培法对食用稻子粒氨基酸含量的影响及其机理初探[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5):781-788.
- [31] 汪跃君. 不同基因型粳稻米理化基础与食味品质的相关性研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2018.
- [32] 顾丹丹,刘正辉,刘 杨,等. 粳稻稻米脂肪含量和组分对蒸煮品质的影响及其对氮素的响应[J]. 作物学报,2011,37(11):2001-2010.
- [33] WATANABE M, ICHINOSE K, SASANO K, et al. Effect of enzymatic treatment on sedimentation and flocculation abilities of solid particles in rice washing drainage and its relationship with protein profiles[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2011, 112(1):67-70.
- [34] MARTIN M, FIZGERAALD M A. Proteins in rice grains influence cooking properties[J]. Journal of Cereal Science, 2002, 36(3):285-294.

(责任编辑:徐 艳)