

姚 宇, 邢志鹏, 陶 钰, 等. 粒叶比对优质粳稻稻米品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 865-874.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.04.001

粒叶比对优质粳稻稻米品质的影响

姚 宇, 邢志鹏, 陶 钰, 黄志成, 王坤庭, 霍中洋, 胡雅杰, 郭保卫, 魏海燕, 高 辉, 张洪程

(扬州大学农学院/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心/扬州大学水稻产业工程技术研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 为阐明不同粒叶比水稻群体的稻米品质特征与差异,以大面积生产上代表性迟熟中粳水稻品种淮稻 5 号和南粳 9108 为试验材料,设置穗肥施氮量和齐穗期花叶疏剪处理,在灌浆结实期形成不同粒叶比差异的水稻群体,以研究粒叶比对优质粳稻稻米品质的影响。结果表明,随粒叶比的提高,稻米的糙米率、精米率和整精米率降低,稻米加工品质变差。高粒叶比处理的米粒垩白粒率和垩白度较高,外观品质较差;稻米蛋白质含量随粒叶比的升高而降低,水稻粒叶比低,则营养品质优。增加水稻粒叶比能降低直链淀粉含量,增加胶稠度、黏度和平衡度,降低硬度,提高米饭食味值。穗肥用氮量减少,稻米外观品质变优,米饭食味值提高,水稻淀粉黏滞性改善。在穗肥施氮量和齐穗期花叶疏剪处理下,稻米直链淀粉含量和蛋白质含量均与食味值呈极显著负相关关系,且蛋白质含量与食味值的相关性更大。因此,减施穗肥施氮量和提高粒叶比均利于米饭食味值增加,且蛋白质含量改变对米饭食味值的调节作用更大。

关键词: 水稻; 花叶疏剪; 粒叶比; 穗肥施氮量; 稻米品质

中图分类号: S511.2⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)04-0865-10

Effects of grain-leaf ratio on quality of high-quality japonica rice

YAO Yu, XING Zhi-peng, TAO Yu, HUANG Zhi-cheng, WANG Kun-ting, HUO Zhong-yang, HU Ya-jie, GUO Bao-wei, WEI Hai-yan, GAO Hui, ZHANG Hong-cheng

(College of Agriculture, Yangzhou University, Jiangsu Key Laboratory of Crop Cultivation and Physiology/Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops/Research Institute of Rice Industrial Engineering Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In order to clarify the characteristics and differences of rice quality under different grain-leaf ratios, Huaidao 5 and Nanjing 9108, two representative late maturing medium japonica rice varieties in large-scale production, were used as test materials. Treatments of panicle nitrogen-fertilizer amount and flower-leaf thinning at full heading stage were set to form different rice grain filling population with different grain-leaf ratios and different grain quality. The results showed that with the increase of

grain-leaf ratio, the brown rice rate, milled rice rate and head rice rate were decreased, thus the processing quality of rice became worse; the chalkiness rate and chalkiness degree were increased, then the rice appearance quality was deteriorated; the nutritional quality was decreased with reduced protein content; the amylose content was decreased, while the gel consistency, viscosity and equilibrium degree were increased; the hardness was reduced; the taste value of rice was increased. In addition, the reduction of panicle nitrogen-fertilizer amount promoted the rice appearance quality, in-

收稿日期: 2021-12-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801293); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(20)1012]; 江苏水稻产业技术体系项目[JATS(2020)432]; 江苏省大学生创新创业训练计划项目(202011117087Y); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 姚 宇(1998-), 女, 江苏泰州人, 硕士, 主要从事稻米品质研究。(E-mail) 1824931138@qq.com

通讯作者: 邢志鹏, (E-mail) zpxing@yzu.edu.cn

creased the taste value, and improved the starch viscosity properties of rice. Under the treatments of panicle nitrogen-fertilizer amount and flower-leaf thinning, the amylose content and protein content of rice were negatively correlated with the taste value, and the correlation between protein content and taste value was the largest. Therefore, the reduction of panicle nitrogen-fertilizer amount and increasing of grain-leaf ratio were conducive to the improvement of rice taste value. In addition, the difference in protein content could have a greater regulatory effect on rice taste value.

Key words: rice; flower-leaf thinning; grain-leaf ratio; panicle nitrogen-fertilizer amount rice; quality

近年来,优质稻米越来越受到市场认可,稻米品质的提升与改善也越来越成为研究的热点话题。稻米品质的形成与灌浆结实期水稻籽粒的灌浆充实密切相关。籽粒的灌浆充实受水稻植株状态及其所处温、光、气等多方面影响,其中水稻植株的源库关系对籽粒的灌浆充实具有直接的作用。粒叶比是水稻源库协调关系的关键参数之一,反映了水稻单位叶面积所建立和负载的库容大小,可通过调节水稻植株籽粒库与光合源的多少,影响籽粒灌浆特性,形成不同的稻米品质^[1]。关于源库研究的方法,多采用花叶疏剪、同位素示踪、密肥水管理、温光调控等,其中花叶疏剪是最直接并常用的方法^[2]。结实期花叶疏剪后,植株籽粒库与光合源比例发生变化,籽粒主要物质淀粉、蛋白质的合成、转运与积累过程受到影响,进而成熟期籽粒的形态结构与理化性质发生改变^[3-4]。前人关于花叶疏剪改变源库关系对产量的影响已开展了大量研究,且较为一致地认为适宜的叶面积指数和较高的群体颖花量利于水稻高产^[1]。而关于花叶疏剪对稻米品质影响的报道相对较少,且因品种、栽培措施、试验环境等条件差异,研究结果不尽相同。前人较为一致地认为,剪叶处理提高了稻米垩白,疏花利于改善稻米外观^[5-6]。稻米加工品质上,有研究者认为疏花后,籽粒更加充实,整精米率增加^[7-8],也研究者认为疏花后稻米加工品质有所下降^[9],还有研究者发现疏花处理对稻米整精米率的影响不显著^[10-11]。籽粒蛋白质含量一般在剪叶后降低^[12],疏花可能会引起稻米直链淀粉含量显著提高、胶稠度显著降低^[7]。综合前人研究,多集中于探讨花叶疏剪如何影响稻米品质,而关于花叶疏剪下籽粒库与光合源关系变化对优质粳稻品质形成的影响尚缺乏系统的比较研究。因此本研究以大面积生产上代表性优质粳稻为材料,在 2 个穗肥施氮量的基础上,齐穗期实施花叶疏剪,形成灌浆结实期颖花

数与叶面积比差异的水稻群体,重点研究不同水稻群体下稻米品质的特征与差异,探索颖花数与叶面积比和稻米品质形成特征的关系,为丰富水稻优质丰产调控栽培技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验于 2020 年在扬州大学校外试验基地扬州市沙头镇进行。试验田前茬为小麦,实收产量 6.3 t/hm²,麦秸秆全量还田。土壤为沙壤土。经测定,土壤耕层有机质含量为 21.5 g/kg,全氮含量为 1.5 g/kg,碱解氮含量为 153.3 mg/kg,速效磷含量为 16.8 mg/kg,速效钾含量为 139.4 mg/kg。

试验选用水稻大面积生产上代表性迟熟中粳水稻品种淮稻 5 号和南粳 9108。

1.2 试验设计与管理

试验采用裂区设计,以穗肥施氮量为主区,花叶疏剪为裂区,水稻品种为小裂区,重复 3 次,小区面积 25 m²。穗肥施氮量处理间筑土埂,覆膜,保证单独排灌,防止串肥。各小区基肥和分蘖肥施氮量分别为 94.5 kg/hm²和 94.5 kg/hm²,氮肥为尿素。在穗肥施用时期设置促花肥施氮量 40.5 kg/hm²和保花肥施氮量 40.5 kg/hm²(N1)和不施保花肥和促花肥处理(N0)。花叶疏剪处理在齐穗期实施,包括剪去茎秆上 1/2 叶片处理(RSL1)、不剪叶和不疏颖花处理(RSL2)、疏去稻穗上 1/3 颖花处理(RSL3)和疏去稻穗上 1/2 颖花处理(RSL4)。穗肥施氮量和花叶剪疏处理后水稻粒叶比(本研究中粒叶比特指颖花数与叶面积比)见表 1。

5 月 28 日播种,采用毯苗机插软盘育秧。6 月 15 日人工移栽,行距 30 cm,株距 12 cm,每穴 4 苗,基本苗 1 hm² 1.112×10⁶。各小区基施 135.0 kg/hm²的 P₂O₅(过磷酸钙),基施 135.0 kg/hm²的 K₂O(氯化钾),促花肥追施 135.0 kg/hm²的 K₂O(氯化钾)。其他栽培管理按水稻高产要求实施。

表 1 不同处理下水稻的粒叶比
Table 1 Grain-leaf ratio of rice under different treatments

品种	穗肥施氮量处理	花叶疏剪处理	每穗颖花数	单茎叶面积 (cm ²)	实粒数	单穗粒质量 (g)	粒叶比		
							颖花数/叶面积 (cm ⁻²)	实粒数/叶面积 (cm ⁻²)	穗粒质量/叶面积 (mg/cm ²)
淮稻 5 号	N0	RSL1	100.53b	83.21d	90.33d	2.38c	1.21b	1.08b	28.67b
		RSL2	100.43b	163.33b	96.90c	2.63b	0.61d	0.59d	16.13d
		RSL3	66.82d	164.32b	65.47f	1.79e	0.41f	0.40f	10.92f
		RSL4	47.01f	164.39b	46.38h	1.25g	0.29h	0.28h	7.63h
	N1	RSL1	113.04a	87.36c	98.91b	2.59b	1.29a	1.13a	29.59a
		RSL2	115.34a	176.32a	110.01a	2.93a	0.65c	0.61c	16.64c
		RSL3	76.75c	175.04a	74.92e	2.01d	0.44e	0.42e	11.47e
		RSL4	56.42e	176.07a	55.42g	1.46f	0.32g	0.30g	8.26g
南粳 9108	N0	RSL1	117.96b	93.23d	104.28d	2.61c	1.27b	1.12b	28.00b
		RSL2	117.17b	194.34b	111.85c	2.93b	0.60d	0.58d	15.08d
		RSL3	78.42d	195.65b	76.08f	2.02e	0.40f	0.39f	10.30f
		RSL4	57.40f	196.59b	55.85h	1.46g	0.29h	0.28h	7.41h
	N1	RSL1	133.50a	102.04c	115.86b	2.90b	1.31a	1.14a	28.42a
		RSL2	133.43a	201.66a	125.81a	3.25a	0.66c	0.62c	16.12c
		RSL3	89.94c	203.64a	86.47e	2.29d	0.44e	0.42e	11.22e
		RSL4	66.43e	202.65a	64.51g	1.72f	0.33g	0.32g	8.48g

N1:促花肥施氮量 40.5 kg/hm²,保花肥施氮量 40.5 kg/hm²;N0:不施保花肥和促花肥。RSL1:剪去茎秆上 1/2 的叶片;RSL2:不剪叶和不疏颖花;RSL3:疏去稻穗上 1/3 的颖花;RSL4:疏去稻穗上 1/2 的颖花。同列中同一品种不同小写字母表示差异显著(P<0.05),表中数据均为 3 个重复平均值。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 花叶疏剪方法 每个小区于抽穗开花始日选择开花期相同、穗型大小基本一致、茎秆绿叶数相等的单茎约 600 个(3 个重复1 800个单茎)挂牌标记,参考凌启鸿等^[1]、许蓓蓓等^[13]方法实施花叶疏剪处理。RSL1 处理:剪除单茎绿色叶片的 1/2,每个小区取 300 个标记单茎从叶枕处剪去自上而下的奇数叶位叶片,另 300 个剪去偶数叶位叶片。RSL3 处理:疏去稻穗颖花的 1/3,疏花方法为剪去稻穗一次枝梗,每个小区取 200 个标记单茎稻穗自上而下每 3 个一次枝梗剪去最上一个枝梗,又 200 个剪去中间一个枝梗,另 200 个剪去最下一个枝梗。若单茎稻穗有剩余未处理一次枝梗,则按照上述剪枝梗位置的方法在一次枝梗内按顺序每 3 粒剪去对应 1 粒的方法,若仍有未处理籽粒,则剪去。RSL4 处理:疏去稻穗颖花的 1/2,疏花方法同 RSL3,每个小区取 300 个标记单茎稻穗自上而下每 2 个一次枝梗剪去最上一个枝梗,另 300 个剪去最下一个枝梗。剩余未处理的一次枝梗按照上述剪枝梗位置的方法在一次枝梗内按顺序每 2 粒剪去对应 1 粒的方法,若仍有未处理籽粒,则剪

去。花叶疏剪处理过程中,为防止同穴内生育不同步茎秆之间的物质转移,处理穴内统一保留 8 个标记单茎。为保障处理后田间小气候的稳定性,以穴为单位实施处理,且处理穴四周稻株不实施处理。

1.3.2 单茎叶面积和颖花数测定 花叶疏剪当日,采取五点取样法,各处理下每个小区随机取代表性 30 个标记单茎(代表性单茎即需含有各花叶疏剪处理下等量的不同叶位或枝梗位处理单茎)。用叶面积仪(LI-3100, LI-COR, USA)测定单茎叶面积,人工统计稻穗颖花数。

1.3.3 产量及其构成因素测定 成熟期,采取五点取样法,各处理下每个小区随机取代表性 60 个标记单茎(代表性单茎即需含有各花叶疏剪处理下等量的不同叶位或枝梗位处理单茎),测定结实率和千粒质量。按照各花叶疏剪处理下样本具有等量的不同叶位或枝梗位处理单茎的原则,收取剩余标记单茎,脱粒去杂,折算单茎产量(含水量 14.5%)。

1.3.4 稻米品质、稻米淀粉黏滞特性和米饭食味值测定 将上述产量及其构成因素测定中所取样品参照 GB/T 17891-2017《优质稻谷》测定稻米的加工

品质、外观品质、营养品质等,蛋白质含量和蛋白质组分测定参照 Luthe^[14]的方法进行。稻米淀粉黏滞特性采用 Super3 型快速黏度分析仪和 TWC 软件测定与分析^[15]。采用米饭食味计(STA/A,日本佐竹公司)测定米饭食味值及食味值特征参数^[16]。

1.4 数据计算和统计分析

颖花数与叶面积比=每穗颖花数÷单茎叶面积。
实粒数与叶面积比=(每穗颖花数×结实率)/单茎叶面积。
穗粒质量与叶面积比=单穗籽粒质量/单茎叶面积,单位为mg/cm²。

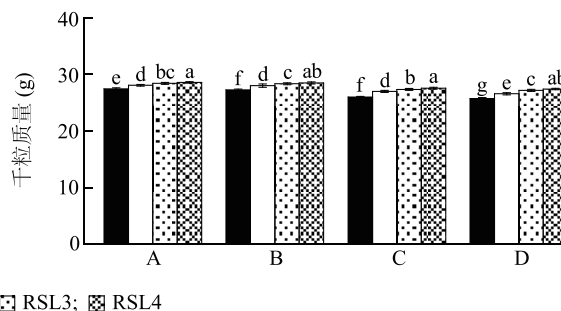
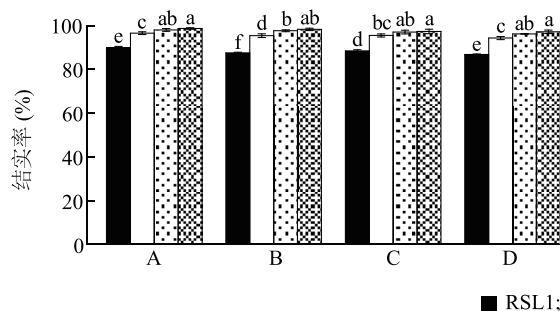
采用 Microsoft Excel 2016 录入与整理数据,统

计分析用 SPSS 22.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 粒叶比对水稻结实率及千粒质量的影响

由图 1 可知,随着粒叶比降低,结实率与千粒质量均呈上升趋势。与 RSL2 处理相比,RSL1 处理的结实率和千粒质量分别显著降低 7.62% 和 2.93%,RSL3 和 RSL4 处理的结实率分别显著提高 1.86% 和 2.54%,千粒质量分别显著增加 1.49% 和 2.18%。同一花叶疏剪处理下,增施穗肥降低了水稻的结实率和千粒质量,但差异不显著。



■ RSL1; □ RSL2; ▨ RSL3; ▩ RSL4

A: 淮稻 5 号 N0; B: 淮稻 5 号 N1; C: 南粳 9108 N0; D: 南粳 9108 N1。N0、N1、RSL1 等各处理见表 1 注。同一品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

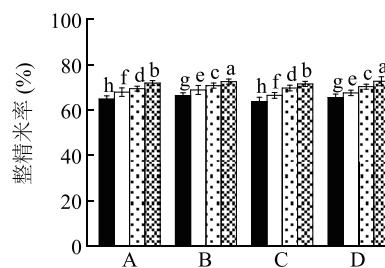
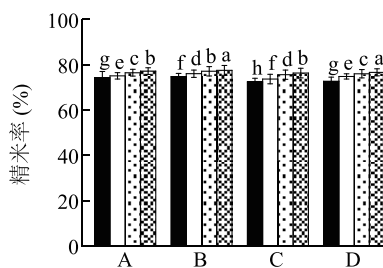
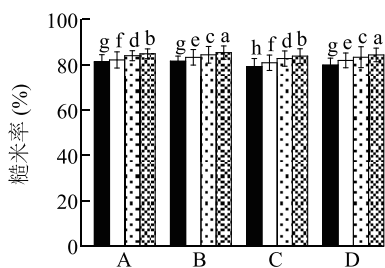
图 1 粒叶比对水稻结实率及千粒质量的影响

Fig.1 Effects of grain-leaf ratio on seed setting rate and thousand-grain weight of rice

2.2 粒叶比对稻米加工品质的影响

由图 2 可知,随着粒叶比的减小,稻米的糙米率、精米率和整精米率显著升高,加工品质变优。RSL1 处理的整精米率较 RSL2 处理显著减少了 3.80%,

RSL3 和 RSL4 处理的整精米率分别较 RSL2 处理显著增加了 3.49% 和 6.62%。与 N0 处理相比,N1 处理下水稻的整精米率提高了 1.26%~2.52%,其中剪叶处理的整精米提高幅度大于疏花处理。



■ RSL1; □ RSL2; ▨ RSL3; ▩ RSL4

A: 淮稻 5 号 N0; B: 淮稻 5 号 N1; C: 南粳 9108 N0; D: 南粳 9108 N1。N0、N1、RSL1 等各处理见表 1 注。同一品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

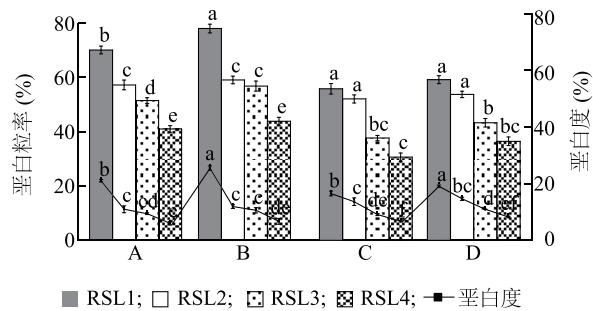
图 2 粒叶比对稻米加工品质的影响

Fig.2 Effects of grain-leaf ratio on rice processing quality

2.3 粒叶比对稻米外观品质的影响

随着粒叶比的减小,稻米垩白粒率和垩白度下降,外观品质变优(图 3)。与 RSL2 处理相比,RSL1 处理的垩白粒率和垩白度分别显著提高 17.99% 和

64.72%,RSL3 处理分别显著降低了 15.24% 和 21.03%,RSL4 处理分别显著降低了 31.89% 和 45.95%。与 N0 处理相比,N1 处理的垩白粒率提高了 3.20%~13.00%,垩白度提高了 8.06%~18.50%。



A:淮稻 5 号 N0;B:淮稻 5 号 N1;C:南梗 9108 N0;D:南梗 9108 N1。N0、N1、RSL1 等各处理见表 1 注。同一品种不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图 3 粒叶比对稻米外观品质的影响

Fig.3 Effects of grain-leaf ratio on rice appearance quality

2.4 粒叶比对稻米蒸煮食味品质的影响

由表 2 可知,随着粒叶比的减小,稻米直链淀粉

表 2 粒叶比对稻米蒸煮食味品质的影响

Table 2 Effects of grain-leaf ratio on rice eating quality

品种	穗肥施氮量处理	花叶疏剪处理	直链淀粉含量 (%)	胶稠度 (mm)	食味值	食味值特征参数			
						外观	硬度	黏度	平衡度
淮稻 5 号	N0	RSL1	17.86d	79.33b	76.67a	7.30a	5.73h	7.33a	7.30a
		RSL2	18.77bc	75.67c	71.00c	6.73c	6.50f	6.93c	6.73c
		RSL3	19.16a	73.33de	64.33e	6.27e	6.87d	6.20e	6.00e
		RSL4	19.33a	72.00f	59.33g	5.43g	7.13b	5.40g	5.20g
	N1	RSL1	17.41e	80.67a	73.00b	7.07b	6.33g	7.17b	6.97b
		RSL2	18.70c	78.67b	67.67d	6.53d	6.63e	6.57d	6.37d
		RSL3	19.05ab	74.00d	62.33f	5.70f	7.03e	5.73f	5.53f
		RSL4	19.26a	72.67ef	57.67h	5.27h	7.23a	5.13h	4.87h
南梗 9108	N0	RSL1	10.58de	85.00b	87.67a	8.33a	4.77h	8.37a	8.13a
		RSL2	10.79d	80.00c	82.67c	8.10c	5.23f	7.90c	7.70c
		RSL3	11.56b	76.00e	75.33e	7.57e	5.80d	7.27e	7.07e
		RSL4	12.09a	73.67f	72.33fg	7.13g	6.27b	6.73g	6.53g
	N1	RSL1	10.48e	86.33a	84.67b	8.20b	5.03g	8.07b	7.87b
		RSL2	10.61de	84.33b	78.00d	7.77d	5.50e	7.50d	7.27d
		RSL3	11.28c	77.67d	73.67f	7.23f	6.10c	6.93f	6.73f
		RSL4	11.77b	75.33e	71.33g	6.77h	6.53a	6.53h	6.30h

N0、N1、RSL1 等各处理见表 1 注。同列中同一品种不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。表中数据均为 3 个重复平均值。

2.5 粒叶比对稻米营养品质的影响

由表 4 可知,稻米蛋白质含量和各蛋白质组分含量均随着粒叶比的减少呈显著升高的趋势,营养品质变优。在相同剪叶疏花处理下,增施穗肥显著提高了稻米蛋白质含量和各蛋白质组分含量。显著性分析结

含量呈上升趋势,胶稠度呈变小趋势,米饭外观、黏度和平衡值下降,米饭硬度增加,最终米饭食味值呈显著下降趋势。与 RSL2 处理相比,RSL1 处理的直链淀粉含量下降了 3.73%,胶稠度变大了 4.00%、食味值提高了 7.62%。RSL3 和 RSL4 处理的直链淀粉含量较 RSL2 处理分别增加了 4.35% 和 7.24%,胶稠度较 RSL2 处理分别变小了 5.48% 和 7.77%,食味值较 RSL2 处理分别降低了 7.93% 和 13.07%。与 N0 处理相比,N1 处理稻米直链淀粉含量减少了 1.02%~1.73%,胶稠度增加了 1.53%~4.47%,食味值评分降低了 2.09%~5.17%。显著性分析结果表明,品种、穗肥施氮量和花叶疏剪处理均能显著或极显著影响稻米的蒸煮食味品质,而且品种和花叶疏剪处理之间存在着显著的互作效应(表 3)。

果表明,品种、穗肥施氮量和花叶疏剪处理均能显著或极显著地影响稻米的营养品质,而且品种与花叶疏剪处理之间、品种与穗肥施氮量之间、花叶疏剪处理与穗肥施氮量之间以及品种、穗肥施氮量、花叶疏剪三因素之间均存在着显著或极显著的互作效应(表 5)。

表 3 花叶疏剪处理对稻米蒸煮食味品质影响的显著性分析结果

Table 3 Significance analysis of the effects of flower-leaf thinning on rice eating quality

项目	F 值						
	直链淀粉含量	胶稠度	食味值	外观	硬度	黏度	平衡度
C	33 635.55 **	107.16 **	2 392.76 **	5 921.90 **	3 961.62 **	1 922.22 **	2 593.34 **
N	22.89 **	579.56 **	120.27 **	257.99 **	257.73 **	153.97 **	266.33 **
T	263.85 **	5.54 *	791.14 **	1 609.87 **	1 247.86 **	962.14 **	1 432.72 **
C×N	0.28	20.81 **	0.03	0.52	0.58	0.03	1.89
C×T	23.70 **	11.96 **	5.20 **	32.39 **	31.58 **	14.77 **	30.04 **
N×T	0.61	0.66	6.82 **	11.70 **	12.53 **	3.31 *	2.20
C×N×T	2.66	107.16 **	1.00	6.19 **	13.40 **	1.34	1.07

C:品种;N:穗肥施氮量;T:花叶疏剪处理。* 和 ** 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平。

表 4 粒叶比对稻米营养品质的影响

Table 4 Effects of grain-leaf ratio on nutritional quality of rice

品种	穗肥施氮量处理	花叶疏剪处理	蛋白质含量 (mg/g)	蛋白质组分含量 (mg/g)			
				清蛋白	球蛋白	醇溶蛋白	谷蛋白
淮稻 5 号	N0	RSL1	55.22h	3.19h	3.46h	5.07h	43.49h
		RSL2	57.99f	3.32f	3.86f	5.23f	45.58f
		RSL3	63.57d	3.48d	4.03d	5.56d	50.50d
		RSL4	67.21b	3.60b	4.18b	5.83b	53.60b
	N1	RSL1	56.46g	3.24g	3.67g	5.16g	44.38g
		RSL2	60.97e	3.42e	3.89e	5.38e	48.28e
		RSL3	65.75c	3.56c	4.09c	5.74c	52.37c
		RSL4	68.48a	3.68a	4.22a	5.99a	54.58a
南粳 9108	N0	RSL1	57.24h	4.20g	4.02h	5.24h	43.78h
		RSL2	63.69f	4.34e	4.18f	5.36f	49.81f
		RSL3	70.33d	4.57c	4.30d	5.51d	55.97d
		RSL4	75.26b	4.70b	4.36b	5.61b	60.59b
	N1	RSL1	60.69g	4.29f	4.11g	5.29g	47.00g
		RSL2	66.88e	4.41d	4.25e	5.39e	52.83e
		RSL3	72.56c	4.68b	4.34c	5.54c	58.00c
		RSL4	76.44a	4.74a	4.41a	5.64a	61.65a

N0、N1、RSL1 等各处理见表 1 注。同列中同一品种不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。表中数据均为 3 个重复平均值。

表 5 花叶疏剪处理对稻米营养品质影响的显著性分析结果

Table 5 Significance analysis of the effects of flower-leaf thinning on nutritional quality of rice

项目	F 值				
	蛋白质含量	清蛋白	球蛋白	醇溶蛋白	谷蛋白
C	2 859.58 **	49 350.62 **	15 981.92 **	92.96 **	1 619.88 **
N	398.35 **	250.00 **	859.98 **	321.88 **	297.04 **
T	3 274.14 **	1 775.65 **	6 682.00 **	2 522.28 **	2 468.17 **
C×N	7.13 *	0.07	26.78 **	107.62 **	10.10 **
C×T	87.26 **	21.37 **	748.24 **	363.71 **	106.70 **
N×T	11.90 **	2.78	106.94 **	1.56	10.80 **
C×N×T	6.05 **	5.25 *	38.12 **	5.06 *	5.53 **

C:品种;N:穗肥施氮量;T:花叶疏剪处理。* 和 ** 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平。

2.6 粒叶比对水稻淀粉 RVA 谱特征值的影响

由表 6 可见,峰值黏度、崩解值和消减值在花叶疏剪处理间表现趋势一致,均为RSL1<RSL2<RSL3<RSL4 的显著趋势。峰值黏度和崩解值在穗肥施氮量间表现为N0>N1 的显著趋势,消减值表现为N0<

N1 的显著趋势。显著性分析结果表明,品种、穗肥施氮量和花叶疏剪处理对稻米 RVA 谱特征值影响显著或极显著,而且品种和花叶疏剪处理之间存在着显著的互作效应(表 7)。

表 6 粒叶比对水稻淀粉 RVA 谱特征值的影响

Table 6 Effects of grain-leaf ratio on RVA spectrum characteristic values

品种	穗肥施氮量处理	花叶疏剪处理	峰值黏度 (cP)	热浆黏度 (cP)	最终黏度 (cP)	崩解值 (cP)	消减值 (cP)
淮稻 5 号	N0	RSL1	2 284f	1 629e	2 338g	655f	55e
		RSL2	2 601d	1 847c	2 668e	754d	67cd
		RSL3	2 722bc	1 932b	2 801c	790b	80b
		RSL4	2 826a	2 003a	2 938a	824a	112a
	N1	RSL1	2 137g	1 570e	2 199h	567g	63de
		RSL2	2 442e	1 705d	2 516f	737e	74bc
		RSL3	2 671cd	1 900bc	2 754d	772c	83b
		RSL4	2 748b	1 952ab	2 866b	796b	118a
南粳 9108	N0	RSL1	2 151f	1 269de	1 737e	882bc	-414f
		RSL2	2 265de	1 343cd	1 889cd	922ab	-376d
		RSL3	2 420bc	1 468abc	2 059b	952a	-361c
		RSL4	2 531a	1 571a	2 180a	961a	-351ab
	N1	RSL1	2 026g	1 179e	1 627f	848c	-399e
		RSL2	2 191ef	1 296de	1 818de	895bc	-373d
		RSL3	2 326cd	1 402bcd	1 967c	924ab	-359bc
		RSL4	2 473ab	1 517ab	2 124ab	957a	-350a

N0、N1、RSL1 等各处理见表 1 注。同列中同一品种不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。表中数据均为 3 个重复平均值。

表 7 花叶疏剪处理对水稻淀粉 RVA 谱特征值影响的显著性分析结果

Table 7 Significance analysis of the effects of flower-leaf thinning on RVA spectrum characteristic values

项目	F 值				
	峰值黏度	热浆黏度	最终黏度	崩解值	消减值
C	794.59 **	3 198.38 **	5 955.06 **	967.66 **	12 6782.23 **
N	116.53 **	76.56 **	100.99 **	27.59 **	19.48 **
T	560.73 **	389.33 **	670.97 **	121.44 **	339.65 **
C×N	1.32	0.18	1.26	1.51	0.01
C×T	25.12 **	8.54 **	20.31 **	17.87 **	25.77 **
N×T	3.35 *	1.89	2.65	3.19	2.30
C×N×T	2.07	3.83 *	1.96	1.81	0.86

C:品种;N:穗肥施氮量;T:花叶疏剪处理。* 和 ** 分别表示达到 0.05 和 0.01 显著水平。

2.7 相关性分析

在穗肥施氮量和花叶疏剪共同作用下,水稻的整精米率、直链淀粉含量、蛋白质含量、峰值黏度、崩解值和消减值均与粒叶比呈极显著负相关关系,垩白粒率、垩白度、胶稠度、食味值均与粒叶比呈极显著正相

关关系(表 8)。米饭食味值与直链淀粉含量和蛋白质含量呈极显著负相关关系(表 9),相关系数表现为蛋白质含量>直链淀粉含量。进一步分析食味值特征参数,直链淀粉含量和蛋白质含量增加对硬度有显著的正效应,对外观、黏度和平衡度有显著的负效应。

表 8 粒叶比和部分稻米品质特征参数的相关性分析

Table 8 Correlation analysis of grain-leaf ratio and some rice quality characteristic parameters

指标	淮稻 5 号	南粳 9108
整精米率	-0.917 **	-0.892 **
垩白粒率	0.952 **	0.862 **
垩白度	0.985 **	0.928 **
直链淀粉含量	-0.993 **	-0.827 **
胶稠度	0.929 **	0.906 **
食味值	0.899 **	0.912 **
蛋白质含量	-0.894 **	-0.914 **
峰值黏度	-0.973 **	-0.907 **
崩解值	-0.971 **	-0.931 **
消减值	-0.797 *	-0.969 **

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

3 讨论

3.1 粒叶比对水稻产量及其构成的影响

水稻粒叶比与产量形成密切相关。颖花数直接影响产出稻谷的多少;叶面积通过调节光合源的大小,影响干物质的生产、积累与转运,调控籽粒充实。颖花数与叶面积相互影响、相互制约,颖花数多与叶面积小易引起籽粒充实不良,稻谷质量差;颖花数少与叶面积大易造成植株贪青、高位分蘖发生、穗型参差、灌浆充实差异大,产出稻谷量不足且品质差异

大;颖花数与叶面积适宜是籽粒充实、穗型整齐、成熟期熟相好、产量高和品质优的关键。吴降星等^[17]研究发现,水稻生育前期剪叶处理(剪叶量不超过 70%)的产量不受影响,在剪叶量小的情况下由于植株的补偿效应,产量有增加的趋势;孕穗期剪叶 10%以上,粒叶比提高,产量下降,且剪叶量增加产量降幅增大,与植株叶片光合作用显著降低,不能负载更多籽粒灌浆充实有关。王勋等^[18]认为,粒叶比较高的水稻品种产量也高,在叶面积适宜的条件下,水稻产量与总颖花量呈正比,其中库的增量对叶源增强具有促进作用,光合产物转运也提高。在水稻产量构成方面,前人较为一致地认为,剪叶后粒叶比升高,结实率、粒质量和单穗产量显著降低^[19-20];疏花后粒叶比降低,显著提高了水稻的结实率及粒质量^[21]。本研究结果表明,花叶疏剪处理后水稻结实率、粒质量和单穗质量变化趋势与前人一致。增施穗肥后,各花叶疏剪处理的水稻粒叶比增加,水稻产量增加,结实率和千粒质量均降低,与增施穗肥协同提高颖花数、叶面积及粒叶比密切相关^[22-23]。从同一穗肥施氮量下疏花处理来看,水稻千粒质量较无花叶疏剪处理增加显著,说明通过栽培措施的优化以提高无花叶疏剪处理水稻千粒质量是实现增产的关键途径,这与提高水稻弱势粒灌浆充实有关。

表 9 稻米营养品质与食味相关参数的相关性分析

Table 9 Correlation analysis between nutritional quality and taste related parameters of rice

品种	指标	食味值	食味值特征参数			
			外观	硬度	黏度	平衡度
淮稻 5 号	直链淀粉含量(AC)	-0.864 **	-0.852 **	0.840 **	-0.842 **	-0.841 **
	蛋白质含量(PC)	-0.994 **	-0.989 **	0.948 **	-0.994 **	-0.994 **
南粳 9108	直链淀粉含量(AC)	-0.865 **	-0.871 **	0.890 **	-0.880 **	-0.877 **
	蛋白质含量(PC)	-0.994 **	-0.977 **	0.994 **	-0.996 **	-0.994 **

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

3.2 粒叶比对稻米品质的影响

水稻叶源与籽粒库协调关系对灌浆结实期水稻植株碳氮代谢影响显著,籽粒淀粉和蛋白质的积累过程也随植株碳氮代谢的差异而不同,进而形成不同类型的稻米品质^[24-25]。前人通过花叶疏剪的方法改变水稻粒叶比,探索稻米加工品质变化的研究结果不尽相同。有研究者认为疏花后,粒叶比减小,稻米加工品质差异不显著^[11];也有研究者认为疏花后,源相对充足,籽粒更饱满,稻米加工品质明显改善^[26];还有

研究发现剪叶后,粒叶比增加,整精米率显著降低^[8]。这些研究结果的差异可能与试验选用的水稻品种类型和源库类型差异及试验环境、栽培措施等不同有关。本研究选用了当地大面积生产上应用的水稻品种,发现在 2 个穗肥施氮量水平下通过花叶疏剪处理使粒叶比减小,稻米的加工品质均呈升高趋势,这与陶龙兴等^[8]的研究结果较为一致。试验中,穗肥施氮量增加后,水稻颖花数、叶面积及粒叶比均增加,稻谷整精米率提高^[27],与花叶疏剪处理引起的加工品质

变化趋势不同,这可能与颖花分化受穗肥施氮量影响有关,同时穗肥施氮增加促进了功能叶片发育,光合作用增强,灌浆较为充实,整精米率高。

垩白粒率和垩白度是评价稻米外观的关键参数,也是影响稻米市场价值的关键因素^[28-29]。多数研究者认为,垩白形成与籽粒淀粉体充实不足、淀粉体间存在间隙有关,光线不能穿透而发生散射,进而呈现垩白^[30]。水稻源库流关系通过影响淀粉体的合成与运输等形成垩白^[31],垩白随剪叶而增加,随疏花而减少^[10, 32]。本研究中,低粒叶比处理稻米的垩白粒率与垩白度也低,外观品质改善,可能是由于籽粒库减少和光合源增加能提高结实期干物质生产与转运,延长灌浆时间和提升籽粒充实度^[5, 33]。穗肥施氮量增加,粒叶比提高,稻米的垩白粒率和垩白度提高,外观品质变劣^[34],与花叶疏剪处理下粒叶比和垩白粒率、垩白度的关系一致。

有研究者认为,直链淀粉含量随剪叶而显著降低,随疏花的变化规律因品种而异^[10]。也有研究者发现,疏花能增加籽粒直链淀粉含量^[35]。漆映雪^[36]研究发现,增源和减库可促进氮素向穗部的转运,提高籽粒蛋白质含量,减源后,籽粒蛋白质含量下降,降幅因品种而异^[37-38]。花叶疏剪处理对胶稠度影响因品种差异而不同,有研究者认为疏花后胶稠度明显提高^[8],也有研究者认为疏花后胶稠度降低^[10, 39]。本研究中,低粒叶比处理的水稻直链淀粉含量增加,蛋白质含量提高,胶稠度变小。在稻米的直链淀粉含量、胶稠度和蛋白质含量影响米饭食味值方面,前人较为一致地认为,稻米蛋白质含量高,则胶稠度小,米饭吸水性下降,米饭硬度高、黏性低,食味值不高^[40-42]。因品种、试验环境、栽培措施等的不同,直链淀粉含量与米饭食味值关系也不同,有研究者认为直链淀粉含量升高,米饭食味值降低^[43],也有研究认为直链淀粉含量适度增加利于稻米食味值增加^[44]。本试验中,在同一穗肥施氮量处理下疏花使水稻粒叶比下降,直链淀粉含量升高,蛋白质含量升高,胶稠度变小,米饭外观变差、硬度增大、黏度降低、平衡度变差,食味值降低。食味值与直链淀粉含量和蛋白质含量均极显著负相关,且蛋白质含量的作用更明显。同一花叶疏剪处理下增施穗肥,粒叶比增加,降低了稻米的直链淀粉含量及食味值,增加了胶稠度及蛋白质含量。疏花和增施穗肥施氮量均显著增加了4种蛋白质组分含量,其中

谷蛋白含量变异更大,可能是由于疏花通过增加源库比的方式加强了物质转运与养分运输,增施穗肥则是提高植株的养分供给。

稻米淀粉黏滞特性与水稻蒸煮食味密切相关。有研究者认为,剪叶能显著降低稻米淀粉峰值黏度、热浆黏度和最终黏度,且剪叶量增加能增大上述指标的降幅,疏花则规律相反^[39]。本研究中,随粒叶比的降低,峰值黏度、热浆黏度、最终黏度、崩解值、消减值均呈升高趋势,这可能与稻米直链淀粉含量增加,淀粉晶体结构紧密,糊化时不易被破坏,流动性变差有关^[45]。

4 结论

在2种穗肥施氮量水平下,齐穗期花叶疏剪处理形成灌浆结实期不同粒叶比的水稻群体稻米品质差异显著。随粒叶比的降低,水稻结实率和千粒质量提高,稻米加工、外观和营养品质提升,直链淀粉含量增加,胶稠度变小,米饭食味值降低,水稻淀粉峰值黏度、崩解值和消减值均增加。在穗肥施氮量和齐穗期花叶疏剪处理下,直链淀粉含量和蛋白质含量均与食味值呈极显著负相关关系,且蛋白质含量调节食味值的作用更大。从栽培措施来看,减施穗肥用氮量和剪叶利于提升优质粳稻的稻米食味值。

参考文献:

- [1] 凌启鸿,杨建昌. 水稻群体“粒叶比”与高产栽培途径的研究[J]. 中国农业科学, 1986, 19(3): 1-8.
- [2] 潘圣刚,莫钊文,田华,等. 源库调节对水稻生长发育的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(14): 1-3.
- [3] 蔡一霞,朱庆森,王志琴,等. 结实期土壤水分对稻米品质的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(5): 601-608.
- [4] 兰洪国,杜春影,刘梦红. 水稻源库关系研究进展[J]. 北方水稻, 2007(1): 13-18.
- [5] CHENG F M, ZHONG L J, WANG F, et al. Differences in cooking and eating properties between chalky and translucent parts in rice grains-ScienceDirect[J]. Food Chemistry, 2005, 90(1/2): 39-46.
- [6] SEOK W S, SHUGO C. Studies on the characters of the improved semi-dwarf, high-yielding indica rice varieties: II. Shape and quality of rice kernel, especially occurrence of white belly kernel[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1979, 48(3): 418-424.
- [7] 吕文彦,邵国军,裴忠友,等. 辽宁省水稻品质兼及品质与产量关系的研究 IV. 不同源库关系与稻米品质[J]. 辽宁农业科学, 2001(2): 1-4.
- [8] 陶龙兴,王熹,廖西元,等. 灌浆期气温与源库强度对稻米品

- 质的影响及其生理分析[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 647-652.
- [9] 马莲菊, 吕文彦, 曹 萍, 等. 源库处理对杂交稻辽优 1052 及其亲本碾磨品质的影响[J]. 辽宁农业科学, 2004(5): 44-45.
- [10] 袁继超, 丁志勇, 赵 超, 等. 高海拔地区水稻遮光、剪叶和疏花对米质影响的研究[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 45-52.
- [11] 缪小建, 王绍华, 李刚华, 等. 疏花对杂交水稻灌浆期非结构性碳水化合物运转及稻米品质的影响[J]. 杂交水稻, 2008, 23(5): 55-59.
- [12] 贺明荣, 曹鸿鸣, 王振林, 等. 源库比改变对小麦氮磷吸收积累量及利用效率的影响[J]. 西北植物学报, 1996, 16(4): 361-367.
- [13] 许蓓蓓, 尤翠翠, 丁艳锋, 等. 源库调节对常规粳稻花后营养器官碳水化合物及氮磷钾转运的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(4): 643-656.
- [14] LUTHE D S. Storage protein accumulation in developing rice (*Oryza sativa* L.) seeds[J]. Plant Science Letters, 1983, 32(1/2): 147-158.
- [15] 马中涛, 马会珍, 崔文培, 等. 成熟度对优良食味水稻南粳 9108 产量、品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1353-1360.
- [16] 朱 盈, 徐 栋, 胡 蕾, 等. 江淮优良食味高产中熟常规粳稻品种的特征[J]. 作物学报, 2019, 45(4): 578-588.
- [17] 吴降星, 郑许松, 周光华, 等. 不同生育期剪叶对水稻生长、产量及生理的影响[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(3): 651-658.
- [18] 王 勋, 戴廷波, 姜 东, 等. 不同生态环境下水稻基因型产量形成与源库特性的比较研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 615-619.
- [19] 白一松, 王伍梅, 杨联松, 等. 杂交稻 80 优 121 库源关系对结实率的影响[J]. 中国农学通报, 2002, 18(3): 17-18, 21.
- [20] 赖上坤, 吴艳珍, 沈士博, 等. 剪叶疏花条件下高浓度 CO₂ 对汕优 63 生长和产量的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(15): 4751-4761.
- [21] 张亚芳, 陈宗祥, 娄丽娟, 等. 几个水稻品种源库关系分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2011, 32(1): 6-9, 13.
- [22] 杨树明, 曾亚文, 张 浩, 等. 不同时期养分管理对水稻产量及其构成因子的影响[J]. 西南农业学报, 2009, 22(5): 1363-1366.
- [23] 谭亚华, 姜硕琛, 胡 抗, 等. 穗肥对中稻农艺性状、产量及经济效益的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(11): 56-59, 7.
- [24] 张 欣, 施利利, 刘晓宇, 等. 不同施肥处理对水稻产量、食味品质及蛋白质组分的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(4): 104-108.
- [25] 蔡一霞, 徐大勇, 朱庆森. 稻米品质形成的生理基础研究进展[J]. 植物学通报, 2004, 21(4): 419-428.
- [26] KATO T. Effects of the shading and rachis-branch clipping on the grain-filling process of rice cultivars differing in the grain size[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1986, 55(2): 252-260.
- [27] WOPEREIS-PURA M M, WATANABE H, MOREIRA J, et al. Effect of late nitrogen application on rice yield, grain quality and profitability in the Senegal River valley[J]. European Journal of Agronomy, 2002, 17(3): 191-198.
- [28] 张昌泉, 赵冬生, 李钱峰, 等. 稻米品质性状基因的克隆与功能研究进展[J]. 中国农业科学, 2016, 49(22): 4267-4283.
- [29] 杜雪树, 戚华雄. 水稻垩白性状的遗传研究进展及遗传改良策略[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(23): 6029-6032.
- [30] RAJU G N, SRINIVAS T. Effect of physical, physiological, and chemical factors on the expression of chalkiness in rice[J]. Cereal Chemistry, 1991, 68(2): 210-211.
- [31] 彭 勃, 陈光辉. 稻米垩白形成的研究进展[J]. 作物研究, 2009, 23(5): 310-313.
- [32] 陈秀琴, 范俊山, 王春敏, 等. 中日水稻品种剪叶对单株粒重和垩白粒率的影响[J]. 天津农林科技, 2007(2): 5-7.
- [33] ZHU D W, ZHANG H C, GUO B W, et al. Effects of nitrogen level on yield and quality of japonica soft super rice[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(5): 10.
- [34] 陈 盈, 于广星, 代贵金, 等. 杂交粳稻辽优 5206 穗肥中氮素适宜用量研究[J]. 杂交水稻, 2020, 35(6): 49-52.
- [35] 谢志萍, 张晓贤, 张 森, 等. 源库调节对冷、暖型小麦籽粒物质积累的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(7): 53-56.
- [36] 漆映雪. 水稻胚乳蛋白及其四种组分的研究进展[J]. 江西农业科技, 1997(3): 2-5.
- [37] 周 琴, 姜 东, 戴廷波, 等. 源库改变对小麦籽粒淀粉和蛋白质积累及面粉品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6): 95-99.
- [38] 马冬云, 郭天财, 宋 晓, 等. 源库改变对小麦籽粒蛋白质含量及其组分的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(1): 112-116.
- [39] 周龙祥, 唐 设, 刘正辉, 等. 开花期剪叶和疏花对‘宁粳 1 号’和‘镇稻 88’稻米淀粉 RVA 谱特征值的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(21): 59-69.
- [40] 朱庆森, 杜 永, 王志琴, 等. 杂交稻米的直链淀粉含量与米饭口感黏度硬度关系的研究[J]. 作物学报, 2001, 27(3): 377-382.
- [41] 丁 毅, 华泽田, 王 芳, 等. 粳稻蛋白质与蒸煮食味品质的关系[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 42-46.
- [42] JIN Z X, QIAN C R, YANG J, et al. Changes in activities of glutamine synthetase during grain filling and their relation to rice quality[J]. Rice Science, 2007, 14(3): 211-216.
- [43] 张小明, 石春海, 富田桂. 粳稻米淀粉特性与食味间的相关性分析[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(2): 157-161.
- [44] 高 辉, 马 群, 李国业, 等. 氮肥水平对不同生育类型粳稻米蒸煮食味品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(21): 4543-4552.
- [45] 张艳霞, 丁艳锋, 李刚华, 等. 直链淀粉含量不同的稻米淀粉结构、糊化特性研究[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1201-1205.

(责任编辑: 张震林)