

稻鸭共作对稻米品质的影响

全国明^{1,2}, 章家恩^{1,*}, 杨 军¹, 陈 瑞¹, 许荣宝¹

(1. 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642; 2. 广州城市职业学院生物与环境工程系, 广州 510405)

摘要: 稻鸭共作技术是中国传统农业的精华。作为一种可持续的水稻生态种养模式, 稻鸭共作对水稻生长、病虫害防治、生物多样性和稻田环境的改善具有明显的作用, 然而目前还没有关于稻鸭共作对稻米品质影响的报道。因此, 于 2005 年在华南农业大学增城教学科研基地进行了田间试验, 共设计稻鸭共作、混水处理和常规稻作 3 个处理, 研究其对稻米加工品质、外观品质、蒸煮品质、营养品质和微量元素含量的影响效应。结果表明: 稻鸭共作技术能够提高整精米率, 减少垩白, 增加粒宽, 降低米粒长宽比值, 同时促进稻米蛋白质和氨基酸含量的下降, Mn 元素含量上升, 但对出糙率、精米率、胶稠度和直链淀粉含量没有显著影响。说明稻鸭共作可在一定程度上改善稻米品质, 为水稻的优质生产提供了一条较好的生态技术途径。

关键词: 稻鸭共作; 水稻; 稻米品质

文章编号: 1000-0933(2008)07-3475-09 中图分类号: Q14; S511 文献标识码: A

Impacts of integrated rice-duck farming system on rice quality

QUAN Guo-Ming^{1,2}, ZHANG Jia-En^{1,*}, YANG Jun¹, CHEN Rui¹, XU Rong-Bao¹

1 Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Department of Biology and Environmental Engineering, Guangzhou City Polytechnic, Guangzhou 510405, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3475 ~ 3483.

Abstract: Integrated rice-duck farming system (IRDFS) is one of the cream practices in traditional Chinese agriculture. As a sustainable and ecological mode in rice production, the IRDFS has shown great impacts on rice growth, control of insect, disease and weed, biodiversity, and paddy environment. However, there is no direct field evidence concerning the impacts of the IRDFS on rice grain quality. In this study, we examined the impacts of different rice growing techniques on a variety of rice grain qualities and properties, including milling, appearance, cooking, nutrition, and microelement contents through field experiments in Zengcheng Research and Education Station, South China Agricultural University, Guangdong Province, China in 2005. The treatments included the IRDFS, turbid water system, and conventional rice farming system. Our results showed that IRDFS significantly increased the rate of head milled rice, the grain width and the Mn content, but decreased the rice chalkiness, the length/width ratio, and the contents of protein and amino acid. No significant impacts were

基金项目: 国家(973)重大基础研究计划资助项目(2006CB100206); 国家自然科学基金资助项目(30770403); 国家科技星火计划资助项目(2006EA780011); 国家教育部博士点基金资助项目(20050564005); 广东省科技计划资助项目(2004B20101017, 2007B020709007); 广东省自然科学基金资助项目(06105467)

收稿日期: 2008-01-07; **修订日期:** 2008-04-01

作者简介: 全国明(1975 ~), 男, 广东人, 博士生, 主要从事农业生态学教学与研究. E-mail: gzbyqgm@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

致谢: 美国佛罗里达大学(University of Florida) OUYANG YING 博士对本文写作给予帮助, 谨表谢意。

Foundation item: The project was financially supported by State Key Development Program for Basic Research of China(No. 2006CB100206), National Natural Science Foundation of China(No. 30770403), Star Plan Program of Sci-technology of China(No. 2006EA780011), Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China(No. 20050564005), Sci-technology Plan Program of Guangdong Province(No. 2004B20101017, 2007B020709007), Natural Science Foundation of Guangdong Province(No. 06105467)

Received date: 2008-01-07; **Accepted date:** 2008-04-01

Biography: QUAN Guo-Ming, Ph. D. candidate, mainly engaged in agriculture ecology. E-mail: gzbyqgm@126.com

observed on the rates of brown rice and milled rice production and on the contents of gel consistency and amylose. This study suggests that IRDFS can improve rice grain quality to a certain degree and is an effective ecological technology for high-quality rice production.

Key Words: integrated rice-duck farming system; *Oryza sativa*; rice quality

稻米品质是水稻生产中不可忽视的重要部分,一般包括加工品质、外观品质、蒸煮食味品质和营养品质,随着生活水平的提高和经济条件的改善,人们对稻米品质的要求越来越高,水稻生产也由单纯追求高产的数量型向优质、高效型转化。稻米品质的形成主要受品种本身的遗传基因所控制,同时也受到环境条件和栽培技术的影响,是一种多基因系统与环境因素交互作用的结果^[1]。有关栽培措施和环境因子对稻米品质的影响效应,国内外已经在施肥、灌溉、播期、土壤、气候、地域等方面开展了较多的研究,并取得了重要的成果^[2~4]。

稻鸭共作是一项种养复合、环保生态型的综合农业开发技术,它利用稻、鸭之间的共生共长关系构建起一个立体种养殖生态系统。鸭子旺盛的杂食性,取食稻田内的杂草、害虫和菌丝,可起到良好的生物防治效应;不间断的田间活动对水稻植株、稻田水体和土壤等产生一定的影响作用,刺激水稻生长;同时鸭粪又是良好的生物肥料,持续供给水稻生长发育所需^[5]。通过这种复合种养模式,能有效利用稻田生态系统中各种自然资源和能量,在水稻生长期间不使用农药、化肥和除草剂等化学合成物,节约了生产成本,并可改善稻田生态环境。目前,稻鸭共作技术的开发利用和生态效应已有较多的研究,如对水稻生长、土壤肥力、病虫草害防治、温室气体排放和水生生物的影响等,但稻鸭共作系统中稻米品质的变化规律尚无详细报道^[6~12]。本试验对稻米的常规品质、蛋白质、氨基酸和微量元素含量等进行综合的监测分析,以探明稻鸭共作对稻米品质的影响效应,为稻鸭共作生态种植模式的推广应用提供理论基础和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于广东省增城市华南农业大学教学科研基地,该区属亚热带季风湿润气候,夏季海洋暖气流造成高温、高湿和多雨,冬季北方大陆冷风则导致低温、干燥和少雨。光照充足、太阳辐射量高,年平均日照时数 1820 ~ 1960h,日照百分率 41% ~ 44%,太阳辐射总量 $105.3 \times 4.814 \sim 109.8 \times 4.814 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。年平均气温 21.4 ~ 21.9℃,最冷月(1 月份)平均气温 12.4 ~ 13.5℃,绝对最低气温为 -2.6℃;最热月(7 月份)平均气温 28.0 ~ 28.7℃,绝对最高气温 38.7℃;无霜期 290 ~ 346d。雨量充沛、水热同期,年平均降雨量 1623.6 ~ 1899.8mm,约 85% 的降水集中在 4 ~ 9 月份之间的汛期。试验田为赤红壤发育而成的水稻土,土壤肥力较高,排灌方便。

1.2 供试材料

供试水稻品种为丝苗选(*Oryza sativa* cv. Simiaoxuan),由华南农业大学农学院提供。供试鸭品种为地方麻鸭(*Tadorna tadorna*)。

1.3 试验设计

试验于 2005 年 3 ~ 11 月在野外田间小区进行。早造试验设 3 个处理,即稻鸭共作、混水处理和常规稻作,4 次重复,选取土壤肥力均匀,地面平整的稻田,田埂四周用网围住,面积为 667m²。为了保证各处理的水稻病虫条件和土壤本底肥力基本一致,稻鸭共作区、混水区和常规稻作区在试验田内随机排列,其中稻鸭共作区在样方的四个角插四根竹竿围成 1.5m × 2m 的开放小区,鸭子、稻田水分和养分可以自由通过,秧苗返青后放入鸭子,全天候地生活在稻田中,抽穗后将鸭子赶回;混水区用塑料网围成 1.5m × 2m 的半封闭小区,鸭子不能进入,但稻田水分和养分可以自由通过而交换,目的是考察去除鸭子对水稻植株的机械刺激作用后稻米品质的变化规律;常规稻作区用铁皮插入泥土 10cm 深处围成 3m × 5m 的封闭小区,鸭子、稻田水分和养分不

能进入,生育期内按常规水稻栽培模式进行施肥与病虫害管理。3月17日大田育秧;4月5日抛秧,抛秧前每小区施用干鸡粪 $7200\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,折合 N、P、K 纯量为 $234.72\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $221.76\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $122.40\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;4月13日围网,试验田四周用高 80cm 的尼龙网围栏,以防鸭子逃逸;4月23日放鸭,在稻鸭共作区以 $300\text{只}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的规格放入 5~10 日龄的雏鸭;6月16日赶回鸭子;7月15日水稻成熟收割,稻田共育时间为 53d。

晚造试验同样设稻鸭共作、混水处理和常规稻作 3 个处理,在稻鸭共作区与常规稻作区之间用泥土堆起 50cm 宽、30cm 高的田埂,以免肥水串灌,混水区则在稻鸭共作区内用塑料网围成,每处理 4 次重复,随机区组排列。除混水区面积 3m^2 外,其余小区面积均为 67m^2 。7月28日大田育秧;8月15日插秧,栽插规格为株行距 $20\text{cm}\times 20\text{cm}$,每穴 4 棵秧苗,插秧前每小区施用干鸡粪 $6750\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,折合 N、P、K 纯量分别为 $220.05\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $207.90\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $114.75\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;8月22日围网;8月28日放鸭,规格为 $450\text{只}\cdot\text{hm}^{-2}$;10月18日赶回鸭子;11月23日水稻成熟收割,稻田共育时间 50d。

稻鸭共作区在水稻整个生育期间不施用化肥、农药和除草剂。常规稻作区在早季的 4月21日、5月4日和 5月20日各喷施 1 次农药(马杀乳油),在 4月21日和 5月21日各施用 1 次化肥(水稻复混肥料),并且在第一次施肥的同时施用除草剂;在晚季的 8月28日和 10月16日各喷施 1 次农药(杀虫快乳油),化肥采用一次性基施法,即第一次喷药时施入水稻复混肥料。水稻返青后,稻田始终保持 8~10 cm 的水深,收鸭后排水晒田,保持田面水分干-干-湿-湿的状态直至水稻成熟。常规稻作区的水分管理与稻鸭共作处理的相同。

1.4 测定方法

稻米的出糙率、精米率、整精米率、垩白、粒形、胶稠度、直链淀粉含量等品质分析采用 GB/T 17891-1999 标准方法^[13]。

蛋白质含量 称取烘干粉碎的精米米粉 0.25g,倒入消化管底部,加入适量混合加速剂($\text{K}_2\text{SO}_4:\text{CuSO}_4 = 10:1$)和 6ml 浓硫酸后置于消化炉上消化(200°C 1h, 400°C 2h),消化完全后移出冷却至室温,采用瑞典 Kjeltec-2300 型凯氏自动定氮仪测定稻米全氮含量,再按 6.25 的系数计算稻米蛋白质的含量。

氨基酸含量 称取烘干粉碎的精米米粉 120mg,倒入水解管底部,加入 $6\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸 10ml,充入纯氮气 2min,以排去水解管中的氧气,拧紧管塞,置于振荡器上振荡以使样品充分分散,然后放入高温烘箱中水解(110°C , 22h),取过滤后的水解液 2ml 转移到烧杯中水浴蒸干(60°C),再加入蒸馏水约 2ml 重蒸 2 次,取出冷却至室温,加入 pH 2.2 的柠檬酸钠缓冲液 2ml,再次振荡摇匀,然后吸取溶液注入药品瓶,置于 HITACHI L-8800 型全自动氨基酸分析仪上分析测定。

微量元素含量 将粉碎的精米样品过 100 目筛后在 60°C 下烘干,准确称取 2~3g (精确到 0.0001g),置于瓷坩埚内,半盖坩埚在电炉上炭化,当不冒烟时,移入 550°C 马福炉内灰化 5h,此时灰分应为白色或灰白色,不得有炭粒存在,否则,可用 10% 硝酸润湿灰分,继续灰化至无炭粒存在为止。冷却后取出瓷坩埚,用 10% 硝酸溶液溶解灰分,并用热离子水洗涤,过滤至 10ml 容量瓶中,超纯水定容后用 HITACHI Z-5300 型火焰原子吸收分光光度计测定。

试验数据采用 SPSS11.5 和 EXCEL 进行统计,采用邓肯新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 稻鸭共作对稻米加工品质的影响

稻米加工品质指稻谷在脱壳及碾精过程中所表现出来的品质特性,包括出糙率、精米率和整精米率,其中整精米率是国标优质米等级划分中的定级指标。表 1 的数据显示,出糙率、精米率在早、晚造之间的变化幅度不大,其中出糙率在 79%~81% 左右波动,精米率则保持在 73%~75% 之间,稻鸭共作对两指标的影响效果不明显,各处理间的差异不显著,但有提高精米率的趋势,早、晚造分别比常规稻作增加 0.08% 和 1.58%;整精米率在早、晚造的变化规律相同,稻鸭共作均高于常规稻作和混水处理,其中早造的差异显著,晚造的差异只与混水处理的达到显著水平。以上结果说明稻鸭共作能够改善稻米的加工品质,尤其是提高稻米的整精米率,但对稻米的出糙率和精米率影响较小。

表 1 稻鸭共作对稻米加工品质的影响

Table 1 Effect of integrated rice-duck farming system on rice milling quality

处理 Treatment	出糙率 Brown rice(%)		精米率 Milled rice(%)		整精米率 Head milled rice(%)	
	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS
稻鸭共作 IRDFS	79.84 ± 0.28a	79.02 ± 0.15a	73.97 ± 0.16a	74.76 ± 0.54a	48.20 ± 0.68a	54.46 ± 2.35a
混水处理 TWS	80.10 ± 0.35a	79.18 ± 0.10a	74.62 ± 0.56a	74.24 ± 0.19a	35.07 ± 1.34b	33.84 ± 3.23b
常规稻作 CRFS	79.97 ± 0.23a	79.17 ± 0.31a	73.91 ± 0.05a	73.60 ± 0.70a	38.44 ± 3.12b	45.89 ± 5.13ab

稻鸭共作: Integrated rice-duck farming system (IRDFS), 混水处理: Turbid water system (TWS), 常规稻作: Conventional rice farming system (CRFS); 早造: Early growing season, 晚造: Late growing season; 4 次重复平均值 ± 标准误, 同一列字母相同者表示在 0.05 的水平上差异不显著, 下同 Means of four replicates ± standard error, Values in the same column followed by different letters are significantly different at 0.05 level; the same below

2.2 稻鸭共作对稻米外观品质的影响

稻米的外观品质包括米粒的形状、大小、垩白、透明度、颜色和光泽等, 是稻米商品价值的主要体现。垩白指稻米胚乳中的白色不透明部分, 是籽粒灌浆时胚乳淀粉粒、蛋白质颗粒排列疏松和充实不良造成, 垩白高的稻米透明度下降, 碎米率高, 影响整精米率和食味品质^[14]。

表 2 表明, 与早造相比, 晚造稻米的垩白较少, 垩白粒率、垩白面积和垩白度均有大幅度的下降, 表明晚造稻米的垩白发生情况得到明显的改善, 这与两季水稻生产期间的光、温、热等气候环境条件存在差异密切相关^[15,16]。从处理间的对比来看, 垩白粒率、垩白面积和垩白度在早、晚造的变化趋势一致, 均为常规稻作 > 混水处理 > 稻鸭共作, 其中常规稻作与稻鸭共作的差异在全年均达到显著水平, 混水处理的垩白粒率在晚造与常规稻作差异显著, 垩白面积、垩白度则在全年与常规稻作差异显著, 而稻鸭共作与混水处理的垩白面积、垩白度在晚造也达到显著差异水平。说明稻鸭共作能够显著降低稻米垩白的发生情况, 有利于稻米外观品质的改善。

表 2 稻鸭共作对稻米垩白的影响

Table 2 Effect of integrated rice-duck farming system on rice chalkiness

处理 Treatment	垩白粒率 Chalkiness rate(%)		垩白面积 Chalkiness area(%)		垩白度 Chalkiness degree(%)	
	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS
稻鸭共作 IRDFS	6.00 ± 0.00b	0.75 ± 0.25b	37.06 ± 4.09b	3.25 ± 1.18c	2.22 ± 0.25b	0.03 ± 0.01c
混水处理 TWS	6.33 ± 1.45ab	1.00 ± 0.00b	41.02 ± 3.09b	15.00 ± 2.87b	2.51 ± 0.39b	0.15 ± 0.03b
常规稻作 CRFS	9.67 ± 1.33a	3.00 ± 0.41a	68.23 ± 3.50a	30.42 ± 4.23a	6.53 ± 0.77a	0.58 ± 0.09a

粒形是描述米粒外形的主要性状, 一般用整精米粒的长宽比表示, 籼稻多为长粒形, 粳稻则多呈圆粒形。稻鸭共作对米粒长度的影响较小, 早、晚造各处理间的差异均不显著, 但有促进增长的趋势, 早、晚造的粒长分别比常规稻作增加 0.08mm 和 0.04mm; 稻鸭共作能够增加米粒宽度, 其中晚造与常规稻作、混水处理的差异显著; 对于米粒的长宽比值, 稻鸭共作在早、晚造的影响程度不同, 早造各处理间的差异均不显著, 晚造稻鸭共作则显著低于混水处理, 但各处理的长宽比值均远高于国家优质籼稻米的一级标准(表 3)。上述结果说明稻鸭共作能在一定程度上改变米粒形状, 增加粒宽并降低长宽比值。对于粒形较为细长的籼稻米, 长宽比值的下降不利于碾磨时产生碎米, 有助于保持较高的整精米率^[17]。

表 3 稻鸭共作对稻米粒形的影响

Table 3 Effect of integrated rice-duck farming system on rice shape

处理 Treatment	米粒长 Grain length(mm)		米粒宽 Grain width(mm)		长/宽比 Length/width ratio	
	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS
稻鸭共作 IRDFS	5.72 ± 0.04a	5.81 ± 0.02a	1.61 ± 0.01a	1.62 ± 0.01a	3.56 ± 0.01a	3.58 ± 0.03b
混水处理 TWS	5.69 ± 0.06a	5.83 ± 0.03a	1.57 ± 0.02a	1.58 ± 0.01b	3.63 ± 0.04a	3.70 ± 0.02a
常规稻作 CRFS	5.64 ± 0.03a	5.77 ± 0.06a	1.58 ± 0.03a	1.57 ± 0.01b	3.57 ± 0.08a	3.67 ± 0.03ab

2.3 稻鸭共作对稻米蒸煮品质的影响

稻米的蒸煮品质指稻米在蒸煮、食用过程中所表现的各种理化特征和感官特性,包括胶稠度和直链淀粉含量二项。表4的结果显示,胶稠度在早、晚造之间的变幅较小,直链淀粉含量的变幅则较大,晚造稻米的直链淀粉含量明显高于早造,其原因可能是早稻结实期间正值盛夏高温,而高温可促使直链淀粉含量下降^[15]。稻鸭共作对胶稠度、直链淀粉含量的影响作用不明显,各处理间的差异均不显著,但有促进其提高的趋势,其中胶稠度在早、晚造分别比常规稻作增加6.30%和5.46%,直链淀粉含量则分别上升3.94%和2.76%,而混水处理的胶稠度、直链淀粉含量在早、晚造也分别比常规稻作提高0.74%、3.67%、2.25%和0.37%。胶稠度升高米质变软,而对直链淀粉含量偏低的本试验的稻米品种,直链淀粉含量的上升将有助于改善稻米的蒸煮品质。

表4 稻鸭共作对稻米蒸煮品质的影响

Table 4 Effect of integrated rice-duck farming system on cooking quality of rice

处理 Treatment	胶稠度 Gel consistency (mm)		直链淀粉含量 Amylose content (%)	
	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS
稻鸭共作 IRDFS	95.67 ± 3.76a	93.33 ± 2.91a	12.94 ± 0.63a	16.73 ± 0.49a
混水处理 TWS	90.67 ± 7.21a	91.75 ± 6.05a	12.73 ± 0.05a	16.34 ± 0.14a
常规稻作 CRFS	90.00 ± 5.57a	88.50 ± 5.07a	12.45 ± 0.07a	16.28 ± 0.22a

2.4 稻鸭共作对稻米营养品质的影响

稻鸭共作能够促进早稻米的蛋白质含量下降,并与常规稻作的差异显著(图1)。蛋白质含量与稻米食味品质的关系密切,其含量过高往往导致食味品质降低,即对食味具有一定的负效应^[18]。一般而言,稻米的蛋白质含量控制在9%以内为宜,近年更有学者提出,优质稻米的蛋白质含量应该在6.9%以下^[19,20]。因此,在一定范围内降低蛋白质的含量将有利于稻米食味品质的提高。

对于氨基酸的种类和含量,早稻米共检测出17种氨基酸,包括7种必需氨基酸和10种非必需氨基酸,其中谷氨酸(Glu)、缬氨酸(Val)、亮氨酸(Leu)、天门冬氨酸(Asp)和精氨酸(Arg)的含量较高,蛋氨酸(Met)、组

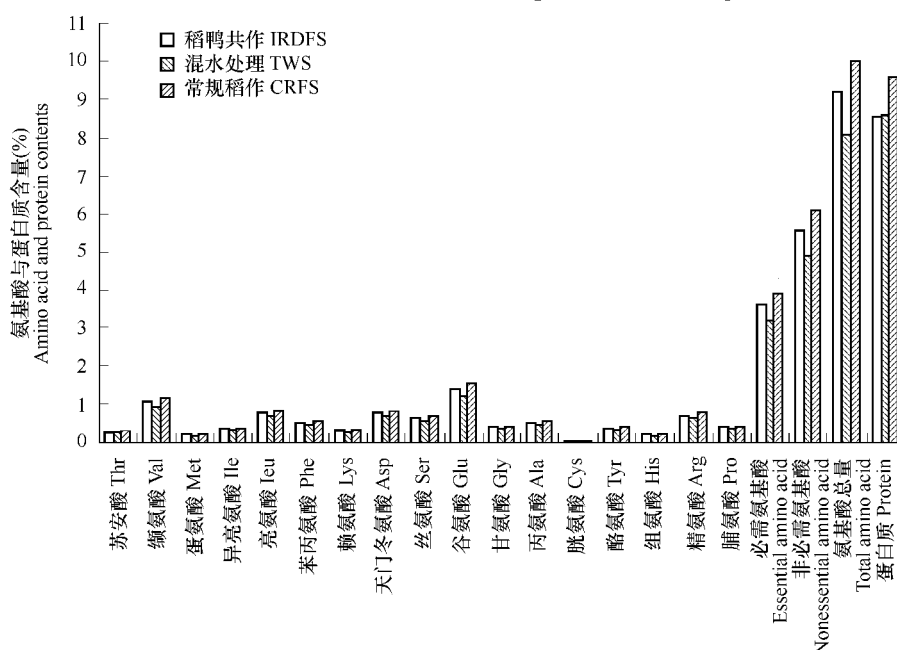


图1 稻鸭共作对早稻米氨基酸与蛋白质含量的影响

Fig. 1 Effect of integrated rice-duck farming system on the contents of amino acid and protein of rice at the early growing season

氨酸(His)和胱氨酸(Cys)的含量较低。稻米的氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸和各种氨基酸的含量在处理间均表现为常规稻作>稻鸭共作>混水处理,其中稻鸭共作的氨基酸总量、必需氨基酸和非必需氨基酸的含量分别比常规稻作下降 8.01%、7.59% 和 8.28%,而混水处理则分别比常规稻作下降 19.02%、18.48% 和 19.37%。在全部氨基酸中降幅较高的是胱氨酸(Cys)和酪氨酸(Tyr),稻鸭共作、混水处理分别比常规稻作下降 28.21%、11.36%、40.72% 和 23.35%。在必需氨基酸的相对含量方面,稻鸭共作、混水处理和常规稻作分别为 39.44%、39.53% 和 39.26%,差异不大。以上的分析说明了稻鸭共作能够降低早稻米的氨基酸含量(包括氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸和各种氨基酸的含量),与蛋白质的影响效应类似。

图 2 显示,与早造相比,晚稻米的蛋白质和氨基酸含量较低,这与早季水稻生长后期气温较高,氮素代谢较强,蛋白质的合成增加有关^[21]。稻鸭共作同样能够显著降低晚稻米的蛋白质和氨基酸含量,与早造的影响效应类似。不同的是晚稻米未检出异亮氨酸(Ile);并且稻米的氨基酸总量、必需氨基酸和非必需氨基酸的含量在处理间表现为常规稻作>混水处理>稻鸭共作,其中稻鸭共作分别比常规稻作下降 9.43%、9.26% 和 9.52%,而混水处理则分别下降 0.40%、0.05% 和 0.61%,降幅相对较低。

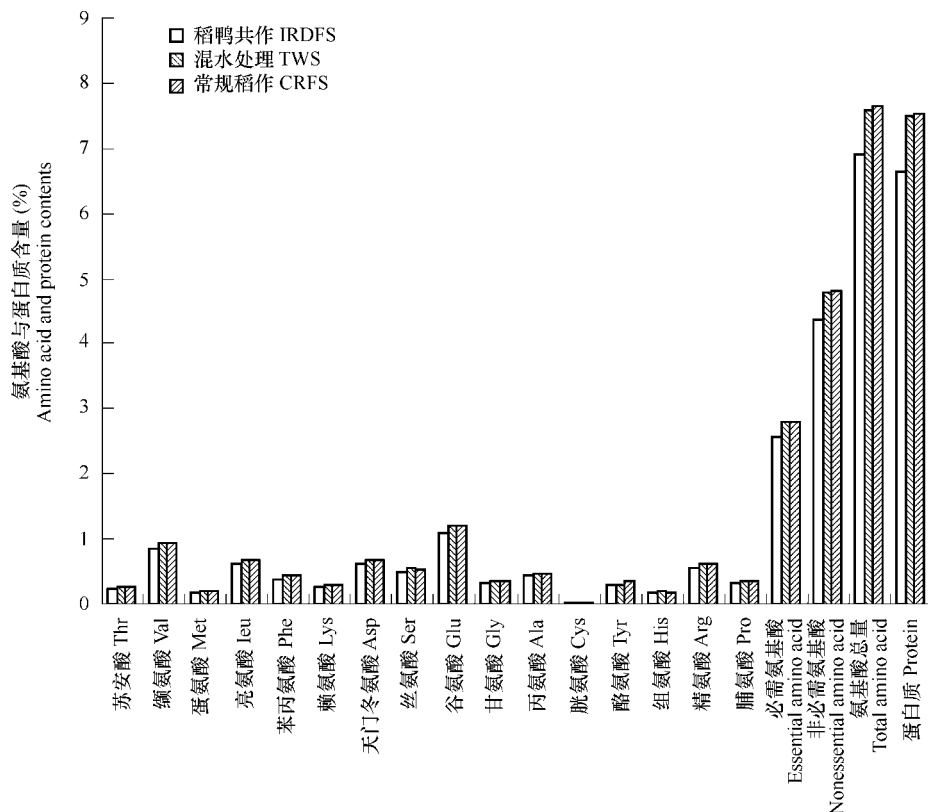


图 2 稻鸭共作对晚稻米氨基酸与蛋白质含量的影响

Fig. 2 Effect of integrated rice-duck farming system on the contents of amino acid and protein of rice at the late growing season

2.5 稻鸭共作对稻米微量元素含量的影响

微量元素在作物生长、产量形成中具有重要的作用,能够促进酶的催化功能,参与激素的分泌和新陈代谢,也是许多器官和组织的重要组成部分^[22]。表 5 显示,稻鸭共作对早稻米 Cu、Zn、Fe 含量的影响作用不明显,处理间的差异不显著,但有提高 3 种微量元素含量的趋势,而 Mn 的含量则显著上升;对于晚稻米微量元素的变化,混水处理的 Cu、Zn、Fe 含量均显著高于常规稻作,而稻鸭共作与常规稻作的差异则不显著,但也有促进其提高的趋势,与早稻的影响效应类似。上述的结果说明稻鸭共作能够提高稻米 Mn 元素的含量,对其它 3 种微量元素的增加也有一定的促进作用。这与鸭粪是一种天然的优质有机肥料,含有较多的微量元素有

关^[23]。共作期间鸭子粪便不间断的回归入田,能持续供给稻株 N、P、K 等常规营养物质和各种微量元素,而常规稻田所施用的化肥微量元素缺乏,从而导致稻米中微量元素含量的差异。

表 5 稻鸭共作对稻米微量元素含量的影响 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 5 Effect of integrated rice-duck farming system on microelement content of rice

处理 Treatment	Cu		Zn		Fe		Mn	
	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS	早造 EGS	晚造 LGS
稻鸭共作 IRDFS	2.68 ± 0.21a	2.77 ± 0.30ab	23.54 ± 0.21a	17.17 ± 0.47ab	20.88 ± 0.88a	8.27 ± 0.40b	10.31 ± 0.19a	6.92 ± 0.37a
混水处理 TWS	3.60 ± 0.88a	3.70 ± 0.24a	24.34 ± 1.82a	18.18 ± 0.65a	23.44 ± 2.05a	11.18 ± 0.18a	9.95 ± 0.74ab	7.57 ± 0.26a
常规稻作 CRFS	2.56 ± 0.73a	2.12 ± 0.38b	22.85 ± 0.85a	16.54 ± 0.32b	20.39 ± 0.78a	7.42 ± 1.07b	8.43 ± 0.48b	6.82 ± 0.15a

3 讨论

在稻米品质性状中,出糙率、精米率、粒形等指标主要由水稻品种本身的遗传特性决定,所受环境条件的影响较小,而整精米率、垩白、胶稠度、直链淀粉含量和蛋白质等则易受环境条件的调控,其中垩白是所有稻米品质指标中对环境生态条件变化反应最敏感的性状^[24]。

研究结果表明,稻鸭共作对稻米的出糙率、精米率影响不显著,但能够提高稻米的整精米率,显著降低垩白粒率、垩白面积和垩白度,并在一定程度上改变稻米的粒形,增加稻米粒宽,降低长宽比值。在稻鸭共作条件下,水稻生长健壮,群体质量较高,绿叶数多,根系发达,灌浆结实期的干物质积累充足,植株不易早衰,这均有助于从环境中吸收更多的养分,保证叶片的光合作用在水稻生长后期继续保持旺盛状态,满足籽粒灌浆对养分的需求和物质的高效转运,促进结实率和千粒重的增加^[8,11]。而结实率、千粒重的增加能显著提高整精米率,并促进垩白粒率、垩白面积和垩白度降低,改善垩白的发生情况^[25]。同时鸭子在共作期间所排泄的粪便可作为水稻追肥,能有效培肥土壤,而速效 N、P、K 等养分的提高均有利于降低稻米垩白^[15,23];土壤 Mn、Zn、Cu、Si 等微量元素对整精米率的提高也有一定促进的作用^[26]。并且整精米率与垩白发生程度、粒形密切相关,垩白越高越容易产生碎米,而米粒长宽比值在一定范围内越大,整精米率也越低^[14,17]。因此常规稻作的整精米率偏低可能与其垩白发生程度严重,淀粉粒间空隙大、抗折力差有关;而混水处理的整精米率较低则可能与其垩白发生程度偏中、粒形过于细长有关,米粒越长、越细在碾米时越容易产生机械损伤。

研究还表明,稻鸭共作对稻米胶稠度和直链淀粉含量的影响不显著,而蛋白质和氨基酸的含量则降低。上述结果与王强盛等^[7]的研究报道不一致,可能与两个试验所采取的水稻品种不同有关。本试验认为稻鸭共作主要从两个方面影响稻米的食味品质和营养品质:一是稻鸭共作系统中水稻群体结构的优化使田间通透性高,光照充足,相反常规稻作区的水稻基部枯黄叶多,田间较为荫蔽,光照强度减弱,而光强下降对稻米蛋白质的合成和氨基酸的积累均具有促进作用^[27,28]。二是稻田肥料结构与肥力供应的差异,常规稻作主要施用化肥,而稻鸭共作则依靠鸭粪持续供肥。鲜鸭粪的有机质、N、P、K 平均含量分别为 26.2%、0.71%、0.36% 和 0.55%,另外还含有丰富的 Fe、Mn、B、Ca 等微量元素,是养分含量较多、质量较高的有机肥,能较好地满足水稻养分吸收的要求,生长后期稻田仍保持较高的土壤肥力^[5,23]。施用有机肥能增加稻米的胶稠度和直链淀粉含量,并促进蛋白质含量降低,改善食味品质^[29-30]。土壤 P、K、Si 含量的提高也利于增加稻米直链淀粉含量^[15]。此外,千粒重的增加能在一定程度上促进直链淀粉含量的上升^[31],而常规稻作蛋白质含量的提高则进一步降低稻米的胶稠度和直链淀粉含量,食味品质变劣^[32]。

试验结果也显示稻鸭共作能够提高早稻米 Mn 元素的含量,并且对 Cu、Zn、Fe 的增加有一定的促进作用,而混水处理则显著增加晚稻米的 Cu、Zn、Fe 的含量。微量元素是稻米营养品质的组成部分,在特种稻米如香稻、色稻等的营养成分中,微量元素更是特殊品质的指标^[33]。但目前对稻米微量元素所进行的研究较少,张名位、仲维功等^[34,35]指出,特种稻米中含有丰富的 Fe、Mn、Zn、Cu、Se 等微量元素,尤其是 Fe 的含量比普通稻米高 1~5 倍,Mn、Zn 亦比普通大米高 2~4 倍,具有特殊的营养和保健功能。并且 Fe、Mn、Zn、Cu 与水稻产量之间有着良好的正相关性,对水稻的生长和结实具有促进作用,Mn、Zn、Cu、B 等微量元素还能增进稻米的风

味,在一定范围内,Mn、Zn、Cu 含量越高,稻米品质越好^[22,26]。虽然国家优质米标准未对 Cu、Zn 等微量元素做出具体规定,但微量元素具有重要的营养价值和药用价值是毫无疑问的。稻鸭共作、混水处理稻米中微量元素含量的增加可能与植株根系吸收功能强大和鸭粪中微量元素含量较多有关。

晚季稻鸭共作的垩白面积、垩白度、米粒宽、长宽比值、Fe 含量以及全年的整精米率均与混水处理存在显著差异。究其原因,可能是鸭子的采食、追逐、戏水等行为搅动稻田土壤,并使细小的土壤颗粒最终大部分沉降在未受鸭子活动干扰的混水区中,从而形成一个不同于共作区的稻田微环境;其次是鸭子在稻田的日常活动将对水稻植株产生直接的机械刺激作用,影响水稻的生理生态特性,从而影响稻米品质。有关机械刺激对水稻生长的影响效应,本课题组正在开展相应的试验研究,结果将在后续的论文进行报道。

稻米品质的形成是一个动态的复杂过程,是植株叶片光合作用的产物合成、转运及积累的结果。环境条件的影响、栽培措施的调控等均是通过影响植株内部生理生化过程而发挥作用,尤其是籽粒灌浆速率、水稻库源关系与稻米品质的最终表现关系密切。稻鸭共作对水稻植株籽粒的灌浆动态和库、源调节将产生哪些影响作用,还有待于深入研究,以探明其促进稻米品质改善的内在机理。

References:

- [1] Zhou Y, Wen T Q, Song G Q, *et al.* Effect of Phytic Acid and Chlorine Ion on the Rice Grain Quality. *Chinese Journal of Rice Science*, 1995, 9 (4): 217—222.
- [2] Meng Y L, Gao R S, Zhang S W. The Major Meteorological and Ecological Factors Affecting Rice Grain Qualities. *Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalis*, 1994, 22(1): 40—43.
- [3] 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. *European Journal of Agronomy*, 2002, 17: 191—198.
- [4] Chen X H, Liu K, Xu G W, *et al.* Effects of Nitrogen and Soil Moisture on Photosynthetic Characters of Flag Leaf, Yield and Quality During Grain Filling in Rice. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2004, 22(1): 48—53.
- [5] Shen X K. A New Pollution-free Rice-duck Farming Technology. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2003.
- [6] Zhang J E, Lu J X, Zhang G H, *et al.* Study on the Function and Benefit of Rice-duck Agroecosystem. *Ecologic Science*, 2002, 21(1): 6—10.
- [7] Wang Q S, Huang P S, Zhen R H, *et al.* Effect of Rice-duck Mutualism on Nutrition Ecology of Paddy Field and Rice Quality. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 639—645.
- [8] Liu X Y, Yang Z P, Huang H, *et al.* Developing Rules of Field Weeds in Wetland Rice-Duck Compounded System. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2004, 30(3): 292—294.
- [9] Huang H, Yang Z H, Wang H, *et al.* A Study on the Pattern of Methane Emission in Wetland Rice-duck Complex Ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 929—934.
- [10] Cao C G, Wang J P, Deng H. The Impact of Rice-duck Intergrowth on Aquatic Animals Community of Rice Fields. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (10): 2644—2649.
- [11] Yu S M, Ouyang Y N, Zhang Q Y, *et al.* Effects of Rice-duck Farming System on *Oryza sativa* Growth and Its Yield. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1252—1256.
- [12] Zhen R H, Wang Q S, Zhang W J, *et al.* Effects of rice-duck integrated farming on developing regularity of rice stripe disease. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 3060—3065.
- [13] Supervising Department of Quality and Technology of China Issue. Quality Standard of Staple Grain. Beijing: China Standard Press, 1999.
- [14] Shen B. Observation on the Starch Grain Development in Endosperm of Early *Indica* Rice During Chalkiness Formation with Scanning Electronic Microscope. *Chinese Journal of Rice Science*, 2000, 14(4): 225—228.
- [15] Dai P A, Zhou K L, Li Y C, *et al.* Effects of Soil Conditions on Quality and Yield of High-Quality Edible Rice. *Chinese Journal of Rice Science*. 1998, 12(Supplement): 51—57.
- [16] Zhou S C, Li H, Wang J S, *et al.* Studies on Regular Changes of Quality under Different Treatments between Early and Late Cropping Season in South-China indica Rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(2): 225—229.
- [17] Xu F X, Zhen J K, Zhu Y C, *et al.* Preliminary analysis of inferior head rice of hybrid mid-season rice. Southwest China. *Journal of Agricultural Science*, 2002, 15(4): 26—29.
- [18] ZHeng G P, Chen S Q, Guo X H, *et al.* Effect of Soil Water on Compositions and Eating Quality of Rice. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2004, 35(4): 332—335.
- [19] Huang F S, Sun Z X, Hu P S, *et al.* Present Situations and Prospects for the Research on Rice Quality Forming. *Chinese Journal of Rice Science*, 1998, 12(3): 172—176.
- [20] Shi B, Wan C Z, Quan L Y, *et al.* Study on Nitrogen Fertilizer Application in Rice Cultivation on Ensuring Quality Rice Production in Japan. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2001, 17(1): 45—48.
- [21] Shi M T, Cai Q H, Yang R C. Rice Protein Content and Amino Acid Composition in Early indica Rice. *Journal of Fujian Agricultural University*, 1995, 24(3): 358—362.
- [22] Zhou C S, Liu W H, Fan B W, *et al.* Study on Correlation between Trace Elements and Quality and Output of Rice in Sichuan. *Guangdong Weiliang Yuansu Kexue*, 2003, 10(10): 56—59.

- [23] Yang Z H, Huang H, Wang H. Paddy Soil Quality of Wetland Rice-duck Complex Ecosystem. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 117—121.
- [24] Cheng F M, Zhong L J. Variations of Rice Quality Traits under Different Climate and Its Main Affected Factors. *Chinese Journal of Rice Science*, 2001, 15(3): 187—191.
- [25] Xu F Y, Ma J, Wang H Z, *et al.* Rice Quality under the Cultivation of SRI. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(5): 577—582.
- [26] Yang Z Z, Huang H. Effects of Microelement Fertilizer on Yield and Quality of rice. *Hunan Agricultural Science*, 2003(1): 34—35.
- [27] Zhou G Q, Xu M L, Tan Z, *et al.* Effects of Ecological Factors of Protein and Amino Acids of Rice. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 537—542.
- [28] Cheng F M, Zhu B Y. Present Research on the Effect of Meteorological Factors on Rice Quality. *Chinese Journal of Agricultural Meteorology*, 1998, 19(5): 39—45.
- [29] Liu J, Wei Y F, Wu K, *et al.* Relationship between Different Ratio of Organic Nitrogen and Mineral Nitrogen and Grain Quality of Mid-season Rice. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2004, 22(3): 246—250.
- [30] Chen L G, Shen M X, Yao Y M, *et al.* Effects of the Ratio of Organic to Inorganic Nitrogen on Rice Yield and Quality and Environment. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2004, 20(4): 249—253.
- [31] Cheng F M, Ding Y S, Zhu B Y. The Formation of Amylase Content in Rice Grain and its Relation with Field Temperature. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 646—652.
- [32] Miao S J, Luo S G, Jiang B W, *et al.* Effects of N Application Rates on Oxidizing Ability of Root and Quality of Rice. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2004, 35(5): 522—525.
- [33] Ma S Q, Wang M H. Effect of Different Fertilizer on Quality of Rice. *Journal of Nanjing Agricultural Technology College*, 2000, 16(2): 28—33.
- [34] Zhang M W, Peng Z M, Du Y Q. Combining Ability and Stability Analysis of the Content of Trace Elements Fe, Zn and Mn in Special Rice Grains. *Chinese Journal of Rice Science*, 1996, 10(4): 201—206.
- [35] Zhong W G, Chen Z D, Yang J, *et al.* Special Rice in China. *Journal of Nanjing Agricultural Technology College*, 1999, 15(3): 30—35.

参考文献:

- [1] 周勇, 文铁桥, 宋国清, 等. 植酸和氯离子对稻米品质的影响. *中国水稻科学*, 1995, 9(4): 217—222.
- [2] 孟亚利, 高如嵩, 张嵩午. 影响稻米品质的主要气候生态因子研究. *西北农业大学学报*, 1994, 22(1): 40—43.
- [4] 陈新红, 刘凯, 徐国伟, 等. 结实期氮素营养和土壤水分对水稻光合特性、产量和品质的影响. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2004, 22(1): 48—53.
- [5] 沈晓昆. 稻鸭共作无公害有机稻米生产新技术. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003.
- [6] 章家恩, 陆敬雄, 张光辉, 等. 鸭稻共作生态农业模式的功能与效益分析. *生态科学*, 2002, 21(1): 6—10.
- [7] 王强盛, 黄丕生, 甄若宏, 等. 稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 639—645.
- [8] 刘小燕, 杨治平, 黄璜, 等. 湿地稻-鸭复合系统中田间杂草的变化规律. *湖南农业大学学报*, 2004, 30(3): 292—294.
- [9] 黄璜, 杨志辉, 王华, 等. 湿地稻-鸭复合系统的 CH_4 排放规律. *生态学报*, 2003, 23(5): 929—934.
- [10] 曹凑贵, 汪金平, 邓环. 稻鸭共生对稻田水生动物群落的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2644—2649.
- [11] 禹盛苗, 欧阳由男, 张秋英, 等. 稻鸭共育复合生态系统对水稻生长与产量的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1252—1256.
- [12] 甄若宏, 王强盛, 张卫建, 等. 稻鸭共作对水稻条纹叶枯病发生规律的影响. *生态学报*, 2006, 26(9): 3060—3065.
- [13] 国家质量技术监督局发布. 主要粮食质量标准. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [14] 沈波. 早籼稻垩白形成中胚乳淀粉发育的电镜观察. *中国水稻科学*, 2000, 14(4): 225—228.
- [15] 戴平安, 周坤炉, 黎用朝, 等. 土壤条件对优质食用稻品质及产量的影响. *中国水稻科学*, 1998, 12(增刊): 51—57.
- [16] 周少川, 李宏, 王家生, 等. 华南籼稻不同处理间早晚造品质变化规律研究. *作物学报*, 2003, 29(2): 225—229.
- [17] 徐富贤, 郑家奎, 朱永川, 等. 杂交中稻稻谷整精米率差的因素分析. *西南农业学报*, 2002, 15(4): 26—29.
- [18] 郑桂萍, 陈书强, 郭晓红, 等. 土壤水分对稻米成分及食味品质的影响. *沈阳农业大学学报*, 2004, 35(4): 332—335.
- [19] 黄发松, 孙宗修, 胡培松, 等. 食用稻米品质形成研究的现状与展望. *中国水稻科学*, 1998, 12(3): 172—176.
- [20] 施标, 万常照, 全立勇, 等. 日本水稻保优栽培中的氮肥施用技术研究. *上海农业学报*, 2001, 17(1): 45—48.
- [21] 施木田, 蔡秋红, 杨仁崔. 早籼稻米的蛋白质含量及其氨基酸组成. *福建农业大学学报*, 1995, 24(3): 358—362.
- [22] 周崇松, 刘文宏, 范必威, 等. 川稻铜铁锌锰四种微量元素的研究. *广东微量元素科学*, 2003, 10(10): 56—59.
- [23] 杨志辉, 黄璜, 王华. 稻-鸭复合生态系统稻田土壤质量研究. *土壤通报*, 2004, 35(2): 117—121.
- [24] 程方民, 钟连进. 不同气候生态条件下稻米品质性状的变异及主要影响因子分析. *中国水稻科学*, 2001, 15(3): 187—191.
- [25] 许凤英, 马均, 王贺正, 等. 水稻强化栽培下的稻米品质. *作物学报*, 2005, 31(5): 577—582.
- [26] 杨志珍, 黄河. 施用微量元素肥料对水稻产量与品质的影响. *湖南农业科学*, 2003(1): 34—35.
- [27] 周广治, 徐孟亮, 谭周, 等. 温光对稻米蛋白质及氨基酸含量的影响. *生态学报*, 1997, 17(5): 537—542.
- [28] 程方民, 朱碧岩. 气象生态因子对稻米品质影响的研究进展. *中国农业气象*, 1998, 19(5): 39—45.
- [29] 刘建, 魏亚凤, 吴魁, 等. 有机无机 N 不同配比与中梗稻稻米品质关系的研究. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2004, 22(3): 246—250.
- [30] 陈留根, 沈明星, 姚月明, 等. 不同有机无机氮比例对水稻产量、品质及环境的影响. *江苏农业学报*, 2004, 20(4): 249—253.
- [31] 程方民, 丁元树, 朱碧岩. 稻米直链淀粉含量的形成及其与灌浆结实期温度的关系. *生态学报*, 2000, 20(4): 646—652.
- [32] 苗淑杰, 罗盛国, 姜佰文, 等. 减氮处理对水稻根系氧化力和产质量的影响. *东北农业大学学报*, 2004, 35(5): 522—525.
- [33] 马盛群, 王明海. 不同肥源对稻米营养品质的影响. *南京农专学报*, 2000, 16(2): 28—33.
- [34] 张名位, 彭仲明, 杜应琼. 特种稻米中微量元素铁、锌、锰含量的配合力和稳定性分析. *中国水稻科学*, 1996, 10(4): 201—206.
- [35] 仲维功, 陈志德, 杨杰, 等. 中国的特种稻米. *南京农专学报*, 1999, 15(3): 30—35.