

# 甬优 4949 和超优 1000 在华中地区再生稻种植的氮肥运筹研究

何爱斌<sup>1</sup> 于朋超<sup>1</sup> 陈乾<sup>1</sup> 姜广磊<sup>1</sup> 王慰亲<sup>1</sup> 聂立孝<sup>1,2,\*</sup>

(<sup>1</sup> 华中农业大学 长江中游作物生理生态与耕作制度重点实验室/华中农业大学 植物科学与技术学院, 武汉 430070; <sup>2</sup> 长江大学 粮食产业协同创新中心, 湖北 荆州, 434023; \*通讯联系人, E-mail: nielixiao@mail.hzau.edu.cn)

## Optimizing the Nitrogen Management for Yongyou 4949 and Chaoyou 1000 in Ratoon Rice System in Central China

HE Aibin<sup>1</sup>, YU Pengchao<sup>1</sup>, CHEN Qian<sup>1</sup>, JIANG Guanglei<sup>1</sup>, WANG Weiqin<sup>1</sup>, NIE Lixiao<sup>1,2,\*</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in the Middle Reaches of the Yangtze River, MOA, P.R. China, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; <sup>2</sup> Hubei Collaborative Innovation Center for Grain Industry, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; \*Corresponding author, E-mail: nielixiao@mail.hzau.edu.cn)

**Abstract:**【Objective】The grain yield, nitrogen partial factor productivity (PFPN) and regeneration rate of Chaoyou 1000 (CY1000) and Yongyou 4949 (YY4949) were investigated in ratoon rice system under various nitrogen rates. And the possibilities of introducing these varieties into ratoon rice system in central China were also evaluated. 【Method】The experiment was laid out in a split-plot design with four replications. The nitrogen rates were designed as main plots with six levels: N<sub>1</sub>(120<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>), N<sub>2</sub>(120<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>), N<sub>3</sub>(185<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>), N<sub>4</sub>(185<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>), N<sub>5</sub>(250<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>), N<sub>6</sub>(250<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>). The varieties [YY4949, CY1000, Liangyou 6326 (LY6326, as control)] were set as sub-plots. The plant height, tiller numbers, leaf area index, aboveground biomass, grain yield, yield components and grain nitrogen concentration of each variety were measured under various nitrogen rates. 【Result】The highest grain yields in the main season were 9.16t/hm<sup>2</sup>, 9.08t/hm<sup>2</sup> and 11.15t/hm<sup>2</sup> at the N levels of 185 kg/hm<sup>2</sup>, 120 kg/hm<sup>2</sup> and 185 kg/hm<sup>2</sup> in LY6326, CY1000 and YY4949, respectively. The average yields of LY6326, YY4949 and CY1000 in ratoon season were 5.41t/hm<sup>2</sup>, 4.98t/hm<sup>2</sup>, 6.02t/hm<sup>2</sup> and 5.78t/hm<sup>2</sup>, 5.41t/hm<sup>2</sup>, 6.49t/hm<sup>2</sup> at the nitrogen levels of 225kg/hm<sup>2</sup> and 150kg/hm<sup>2</sup>, respectively. Moreover, the increases in nitrogen input(from 150 to 225kg/hm<sup>2</sup>) significantly decreased the PFPN. In summary, it suggested that the optimum nitrogen management for LY6326 and YY4949 should be N<sub>3</sub>(185kg/hm<sup>2</sup> during main season and 150kg/hm<sup>2</sup> during ratoon season). 【Conclusion】The N management practice of YY4949 should be consistent with that of LY6326 when YY4949 was introduced into ratoon rice system, while the whole growth duration of CY1000 was too long to ensure maturity of ratoon season, so it is not suitable for ratoon rice production in Central China. **Key words:** ratoon rice; grain yield; nitrogen management

**摘要:**【目的】研究不同氮肥运筹处理下, 超优 1000、甬优 4949 作再生稻种植时的产量、氮肥偏生产力以及再生力的表现, 以期对超优 1000 和甬优 4949 引入再生稻系统提供理论依据。【方法】试验为裂区设计, 主区为氮肥处理, 共设置了 6 个不同的氮肥处理, 分别为 N<sub>1</sub>(120<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>)、N<sub>2</sub>(120<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>)、N<sub>3</sub>(185<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>)、N<sub>4</sub>(185<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>)、N<sub>5</sub>(250<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>)、N<sub>6</sub>(250<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>); 品种为副区(甬优 4949、超优 1000, 两优 6326 作为再生稻大面积种植的对照品种)。测定不同品种在不同氮肥运筹下株高、分蘖数、叶面积指数、地上部生物量、产量、产量构成因子和成熟籽粒氮含量。【结果】试验结果表明, 在头季, 两优 6326、超优 1000、甬优 4949 最高产量分别为 9.16 t/hm<sup>2</sup>、9.08 t/hm<sup>2</sup> 和 11.15 t/hm<sup>2</sup>, 其对应的施氮量分别为 185 kg/hm<sup>2</sup>、120 kg/hm<sup>2</sup> 和 185 kg/hm<sup>2</sup>。三个品种在高施氮量下(225 kg/hm<sup>2</sup>)的平均再生季产量分别为 5.41 t/hm<sup>2</sup>、4.98 t/hm<sup>2</sup>、6.02 t/hm<sup>2</sup>, 在低施氮量下(150 kg/hm<sup>2</sup>)的平均再生季产量分别为 5.78 t/hm<sup>2</sup>、5.41 t/hm<sup>2</sup>、6.49 t/hm<sup>2</sup>。然而, 三个品种在低氮处理下的氮肥偏生产力均显著高于高氮处理。综合产量和氮肥偏生产力, 甬优 4949 的最优氮肥运筹应与两优 6326 保持一致(185<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>), 而超优 1000 在目前的产量水平下的头季施氮量低于两优 6326(120 kg/hm<sup>2</sup>), 而再生季可与两优 6326 保持一致。【结论】甬优 4949 可在华中地区作再生稻种植并且氮肥运筹模式可与两优 6326 保持一致, 而超优 1000 由于生育期太长, 再生季不能完全成熟, 不适合在华中地区作再生稻种植。

**关键词:** 再生稻; 产量; 氮肥运筹

中图分类号: S143.1; S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2019)01-0047-10

收稿日期: 2018-06-19; 修改稿收到日期: 2018-07-23。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31371571); 国家 863 计划资助项目(2014AA10A605); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2662017JC001)。

水稻是中国主要的粮食作物之一,中国 65% 以上的人口选择稻米作为主食<sup>[1]</sup>。根据人口增长趋势,到 2030 年,中国的水稻产量需增加 20% 以上才能满足人们对大米的需求<sup>[2]</sup>,所以提高我国的水稻产量势在必行。相对于通过增加单产和耕地面积来说,通过提高复种指数来增产更有利于减少对生态环境的影响<sup>[3]</sup>,也是更简洁有效的增产途径,而再生稻正是提高复种指数的有效措施之一<sup>[4]</sup>。再生稻是指头季收获后,利用稻茬上存活的休眠芽,采取一定的栽培管理措施使之萌发,进而抽穗、开花、结实,再收获一季水稻的种植模式<sup>[5]</sup>,具有生育期短、日产量高、省种、省工、节水、调节劳力、生产成本低和经济效益高等优点。发展再生稻对适应当前农业结构调整、提高粮食产量、确保粮食安全和增加农民收入具有重要意义<sup>[6]</sup>。但是再生稻还存在很多有待解决的问题,如再生稻品种单一、头季机械收割对稻桩的碾压、再生季产量低和卖粮难等。其中,品种是蓄留再生稻的基础,头季稻产量高,再生力强是选取再生稻品种的重要指标<sup>[4]</sup>。华中地区作为再生稻种植的品种多为杂交籼稻,周年产量为 15 t/hm<sup>2</sup> 左右<sup>[7]</sup>。籼粳杂交稻拥有高于常规稻和杂交籼稻的氮肥群体最高生产力,而籼粳杂交稻中又以甬优系列品种最具代表性<sup>[8-9]</sup>。其中,三系籼粳杂交稻新品种甬优 4949 在华中地区种植的单季产量可达 12~14.6 t/hm<sup>2</sup><sup>[10-11]</sup>。两系杂交籼稻超优 1000 是湖南杂交水稻研究中心用不育系广湘 24S 与恢复系 R900 组配而成的新组合,具有穗大、高度抗倒、分蘖能力强等特点<sup>[12]</sup>,2014 年超优 1000 在海南三亚小面积试种获得了 14.45 t/hm<sup>2</sup> 的单季产量<sup>[13]</sup>。超优 1000 和甬优 4949 的单季产量均高于华中地区作为再生稻大面积种植的杂交籼稻两优 6326。因此,将超高产品种超优 1000 和甬优 4949 引入再生稻系统符合我国当前粮食增产的主题,对进一步提高再生稻系统的周年产量具有重要意义。再生稻采用的施肥管理措施与常规的水稻施肥管理措施存在明显的差异,常规的水稻施肥管理措施与再生稻种植模式并不匹配。郑景生等<sup>[14]</sup>研究表明,杂交稻汕优明 86 在头季施氮肥 225~300 kg/hm<sup>2</sup> 并加施适量促芽肥处理时,头季稻和再生季稻生育中后期干物质净积累量及稻谷产量均最高。陈鸿飞等<sup>[15]</sup>研究表明,杂交稻 II 优航 2 号在头季施氮量为 225 kg/hm<sup>2</sup> 情况下,适当减少再生稻头季前期施氮比例,增加中、后期施氮比例,即增加穗肥比重,对水稻氮素累积量、干物质生产、产量及氮素利用率具有显著影响。徐富贤等<sup>[16]</sup>对不同促芽肥的施用

量对杂交稻再生力的影响进行了研究,结果表明,头季颖花数较多的品种在再生季获得高产的前提是较高的促芽肥施用量,其促芽肥的尿素施用量应在 150~300 kg/hm<sup>2</sup>。超优 1000 和甬优 4949 皆属于需肥性品种,需要在高氮肥条件下才能获得高产<sup>[11,17]</sup>。前人多在一季中稻种植模式下对超优 1000 和甬优 4949 的种植表现进行研究,而对超优 1000 和甬优 4949 引入再生稻种植系统的可行性以及两者作为再生稻种植时的产量表现及氮肥运筹模式还鲜有研究。本研究设置了 6 个不同的氮肥处理,通过与两优 6326(作再生稻在华中地区大面积种植的杂交籼稻)进行对比,对超优 1000(超高产杂交籼稻),甬优 4949(籼粳杂交稻)的产量、需肥量以及再生力等进行研究,以期将为超优 1000 和甬优 4949 引入再生稻系统提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2017 年 3—11 月在湖北省黄冈市蕲春县酒铺村试验基地(N 30°14', E 115°25')进行,水稻供试品种为当地已推广种植的杂交籼稻两优 6326、籼粳杂交稻甬优 4949 以及超高产杂交籼稻超优 1000。其中,超优 1000 由不育系广湘 24S 与恢复系 R900 选育而成,具有穗大、高度抗倒、分蘖能力强等特点,种子由湖南杂交水稻研究中心提供。甬优 4949 由“甬粳 49A”作母本,“F9249”作父本选育而成的三系籼粳杂交稻品种,具有株型紧凑,穗粒数多等特点,由武汉佳禾生物科技有限责任公司提供。试验田为多年水稻田,土壤基本状况如下:pH 值 4.57,土壤有机质含量 30.04 g/kg,速效磷含量 12.62 mg/kg,速效钾含量 168.50 mg/kg,全氮含量 0.25%。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 试验设计

采用大田试验,裂区试验设计,以氮肥处理为主区,品种为副区,头季三种氮肥处理(折合纯氮 120、185、250 kg/hm<sup>2</sup>),再生季两种氮肥处理(折合纯氮 150、225 kg/hm<sup>2</sup>),共 6 种氮肥处理组合,分别为 N<sub>1</sub>(头季 120 kg/hm<sup>2</sup>,再生季 150 kg/hm<sup>2</sup>, 120<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>), N<sub>2</sub>(120<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>), N<sub>3</sub>(185<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>), N<sub>4</sub>(185<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>), N<sub>5</sub>(250<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>), N<sub>6</sub>(250<sub>main</sub>225<sub>ratoon</sub>),供试品种为两优 6326、超优 1000 和甬优 4949。4 次重复,共计 72 个小区,小区面积为 32 m<sup>2</sup>。

### 1.2.2 田间管理

3 月 16 日播种, 4 月 19 日移栽, 双本移栽且移栽密度为  $13.3\text{ cm} \times 30.0\text{ cm}$ 。试验过程中施用的肥料均为单质肥, 其中氮肥为尿素(含 N 46.4%), 磷肥为过磷酸钙(12%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 钾肥为氯化钾(60%  $\text{K}_2\text{O}$ )。头季氮肥施用量分别为 120、185、250  $\text{kg}/\text{hm}^2$ (纯 N), 按  $m_{\text{基肥}}:m_{\text{分蘖肥}}:m_{\text{幼穗分化肥}}=1:1:1$  的比例施用; 头季钾肥施用量为 120  $\text{kg}/\text{hm}^2$ (纯 K), 按  $m_{\text{基肥}}:m_{\text{幼穗分化肥}}=1:1$  施用; 头季磷肥施用量为 40  $\text{kg}/\text{hm}^2$ (纯 P), 作基肥一次性施用。再生稻氮肥施用量分别为 150、225  $\text{kg}/\text{hm}^2$ (纯 N), 按  $m_{\text{促芽肥}}:m_{\text{提苗肥}}=1:1$  的比例施入。再生季钾肥施用量为 50  $\text{kg}/\text{hm}^2$ (纯 K), 作促芽肥一次性施用。再生稻促芽肥于头季齐穗后 15 d 结合灌水施用, 提苗肥于头季收割后 3 d 结合灌水施用。头季苗期湿润管理, 分蘖期至齐穗期保持浅水层(3~5 cm), 齐穗期至收获期干湿交替管理。头季收割后立即灌水, 保持水层(3~5 cm)直至收获。头季采用人工收割, 留桩高度保留至倒 2 节(约 40 cm 左右)。

田间病虫害采用统一管理, 根据植保部门的预测预报, 重点防治纹枯病、稻瘟病、叶蝉、稻飞虱及螟虫危害。

## 1.3 测定项目及其方法

### 1.3.1 气象数据的采集

在整个大田生育期使用 AWS 800(Campbell Scientific, Inc, 美国)小型农业气象站进行数据收集。记录的气象数据指标包括辐射量、最高温度、最低温度、平均温度和降雨量等。

### 1.3.2 土样的采集

基肥施用前 3 d 内进行土壤取样, 采用土壤取样器取田间表层 0~20 cm 处的土壤。每个大区采用对角取样法取 5 个点的土样, 然后混合, 4 次重复。采集后的土样于室内自然风干, 然后碾碎从中称取约 200 g 粉样进行土壤分析。测定项目包括土壤有机质含量、pH 值、全氮含量、速效磷含量、速效钾含量。

### 1.3.3 生育期记载

准确记录全生育期(头季和再生季)水稻关键时期对应的日期。

### 1.3.4 干物质

分别于头季和再生季的齐穗期、成熟期取样。每个小区取 0.5  $\text{m}^2$  植株, 在室内测定株高、分蘖数、有效穗数、齐穗期叶面积(叶面积仪: LICOR-3100), 并将其分割为稻桩、茎鞘、穗、叶器官, 分别装于网袋, 然后在 105℃烘箱中杀青 0.5 h, 再在 80℃烘

箱中烘干至恒重, 并用百分位电子称称量, 以计算干物质产量、叶面积指数等指标。

### 1.3.5 产量及其构成的测定

每小区选取 5  $\text{m}^2$  进行实割测产, 用谷物水分仪(LDS-1G)测定籽粒含水量, 然后称量, 按 14% 的含水量换算产量。于成熟期取 0.5  $\text{m}^2$  植株样品手工脱粒, 手工去除籽粒中混杂的枝梗, 然后采用水选法将饱粒和非饱粒分开, 风干后再用风选机将半饱粒与空粒分开。称量饱粒、半饱粒、空粒的总质量, 然后分别从中取小样。从饱粒中取 3 个 25 g 的小样, 从空粒中取 3 个 2 g 的小样, 分别数每个小样的粒数和全部半饱粒数。然后置于 80℃烘箱中烘干至恒重, 称干质量(采用精度 0.001 g 天平)。最后完成产量构成因子(单位面积穗数、每穗颖花数、结实率、千粒重、生物量和收获指数)的计算。

### 1.3.6 再生芽生长动态调查

头季收割后, 每小区标记 12 株水稻, 每隔 3 d 记录一次再生芽数量, 直至数量不再增加。

### 1.3.7 氮素含量的测定

基于半微量凯氏定氮法, 测定成熟期籽粒氮含量, 样品经浓硫酸消煮处理后, 采用间断式流动分析仪进行含氮量测定<sup>[18]</sup>。其中, 氮肥偏生产力( $\text{kg}/\text{kg}$ )由籽粒产量与施氮量的比值计算而来( $\text{PFP}_\text{N}=\text{籽粒产量}/\text{施氮量}$ )。

## 1.4 统计分析

采用 Excel 2007 软件进行数据整理; Statistix 9 软件进行统计与显著性分析; SigmaPlot 10.0 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 全生育气象数据

2017 年气象数据从播种日期 3 月 16 日开始记录, 一直到 11 月中旬, 包括全生育期的温度、光照辐射、降雨量分布等气象数据。头季以及再生季生育期内的温度、辐射量以及降雨量分布如图 1 所示。水稻整个生育期未受到极端高温天气的影响, 但是由于 6 月下旬和 7 月上旬连续阴雨天气, 导致田间长时间淹水, 对水稻生长发育产生了不利的影响。7 月底至 8 月上旬连续降雨伴随大风, 部分小区发生了倒伏。

### 2.2 不同氮肥运筹对两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 生育期的影响

增施氮肥延长了两优 6326 和甬优 4949 的全生育期, 但对超优 1000 的全生育期无影响。由表 1 可知, 超优 1000 和甬优 4949 的周年全生育期均长

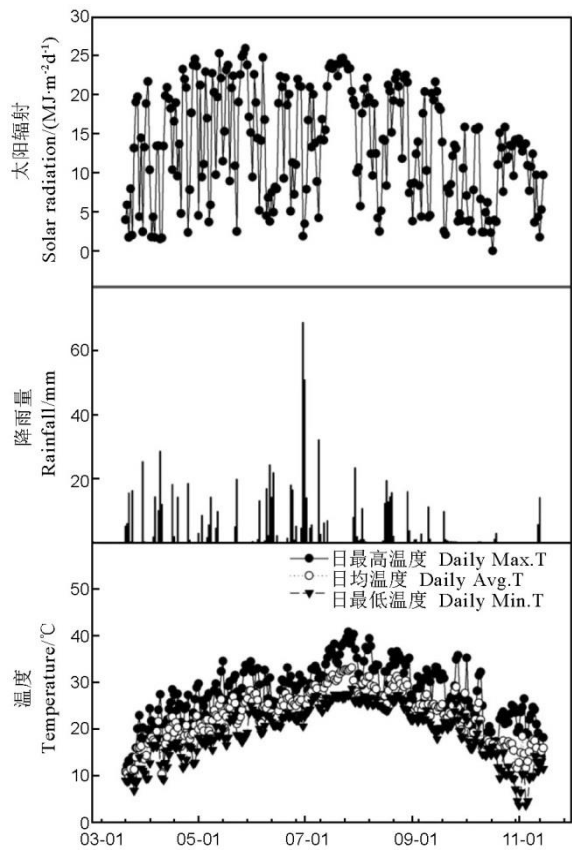


图 1 全生育时期光照辐射、降雨量及温度  
Fig. 1. Temperature (daily maximum, daily average and daily minimum), solar radiation and rainfall during the rice-growing season.

于两优 6326，其中超优 1000 周年生育期最长比两优 6326 长 18 d 左右，甬优 4949 周年生育期比两优

6326 长 10 d 左右，主要由于超优 1000 和甬优 4949 的头季生育期长于两优 6326，再生季三个品种生育期基本一致。在本研究中，甬优 4949 再生季齐穗期为 9 月 15 日，超优 1000 再生季齐穗期为 9 月 22 日，且华中地区再生稻再生季安全齐穗期为 9 月 20 日。因此，两优 6326 和甬优 4949 均可安全齐穗，超优 1000 不能安全齐穗。头季增施氮肥，两优 6326 和甬优 4949 头季生育期延长，而超优 1000 在头季三个氮肥水平下的生育期一致；再生季增施氮肥对生育期无影响，且三个品种表现一致。

2.3 不同氮肥运筹对两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 头季产量及其构成的影响

在头季，甬优 4949 的最优施氮量与两优 6326 相似，为 185 kg/hm<sup>2</sup>，而超优 1000 的最优施氮量则低于两优 6326，为 120 kg/hm<sup>2</sup>。两优 6326 头季产量在 185 kg/hm<sup>2</sup> 氮处理下达到最大值且显著高于 120 kg/hm<sup>2</sup> 氮处理，但与 250 kg/hm<sup>2</sup> 氮处理下的产量无显著差异。甬优 4949 在不同氮处理下的产量表现趋势与两优 6326 一致。超优 1000 在 120 kg/hm<sup>2</sup> 氮处理下获得了最高产量，且三个氮处理之间的产量均无显著差异。三个品种间的产量表现为甬优 4949>两优 6326>超优 1000，其中甬优 4949 产量显著高于其他两个品种，而两优 6326 与超优 1000 的产量无显著差异。各品种的生物量随着氮肥施用量增加而增加，两优 6326 和甬优 4949 在 120 kg/hm<sup>2</sup> 氮处理的生物量显著低于 250 kg/hm<sup>2</sup> 氮处理，而超优 1000 的三个氮处理间的生物量均无显著差异，甬优 4949 的生物量显著高于其他两个品种，而两

表 1 不同氮肥运筹对两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 生育期的影响

Table 1. Growth duration of LL6326, CY1000 and YY4949 under various nitrogen treatments.													
品种 Variety	头季施氮量	头季 Main season				再生季施氮量	再生季 Ratoon season			周年生育期 Whole crop growth duration/d			
	Nitrogen level of main season /(kg hm <sup>-2</sup> )	播种期 Sowing date	齐穗期 Heading stage	成熟期 Mature stage	生育期 Growth duration/d	Nitrogen level of ratoon season /(kg hm <sup>-2</sup> )	齐穗期 Heading stage	成熟期 Mature stage	生育期 Growth duration/d				
两优 6326 LY6326	120	03-16	06-26	07-29	135	150	09-11	10-25	88	223			
						225	09-11	10-25	88	223			
	185					06-26	08-02	139	150	09-11	10-29	88	227
									225	09-11	10-29	88	227
	225								06-26	08-02	139	150	09-11
225			09-11	10-29	88							227	
超优 1000 CY1000	120		07-10	08-15	152							150	09-22
						225	09-22	11-14				91	243
	185					07-12	08-15	152				150	09-22
									225	09-22	11-14	91	243
	225								07-12	08-15	152	150	09-22
225			09-22	11-14	91							243	
甬优 4949 YY4949	120		06-30	08-05	142							150	09-15
						225	09-15	11-02				89	231
	185					06-30	08-09	146				150	09-15
		225							09-15	11-06	89	237	
	225	06-30							08-09	146	150	09-15	11-06
225			09-15	11-06	89						237		

表 2 不同氮肥运筹对两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 头季产量及其产量构成的影响

Table 2. Effects of different nitrogen treatments on yield and its components of LY6326, CY1000 and LY4949 in main season.

品种 Variety	头季施氮量 Main season treatment/(kg hm <sup>-2</sup> )	头季产量 Main season yield/(t hm <sup>-2</sup> )	生物量 Biomass /(t hm <sup>-2</sup> )	收获指数 Harvest index /%	每 1m <sup>2</sup> 穗数 Panicle number per squaremeter	每穗颖花数 Grain number per panicle	千粒重 1000-grain weight/g	结实率 Seed-setting rate/%
两优 6326 LY6326	120	8.71 b	14.78 b	54.2 a	240 b	169 a	25.1 a	68.9 a
	185	9.47 a	15.99 ab	52.3 a	276 ab	153 a	25.2 a	68.8 a
	250	9.30 a	17.39 a	52.2 a	294 a	160 a	24.9 a	66.7 a
	平均 Mean	9.16 B	16.05 B	52.9 B	270 A	161 B	25.0 A	68.1 B
超优 1000 CY1000	120	9.19 a	15.21 a	49.9 a	204 a	229 a	20.7 b	70.9 a
	185	9.15 a	15.35 a	51.6 a	210 a	237 a	21.1 a	72.3 a
	250	8.90 a	16.88 a	50.1 a	222 a	264 a	20.8 b	65.9 a
	平均 Mean	9.08 B	15.81 B	50.5 C	212 C	243 A	20.8 B	69.7 B
甬优 4949 YY4949	120	10.57 b	17.00 b	56.6 a	216 b	246 a	20.0 a	87.0 a
	185	11.45 a	17.84 ab	56.3 a	246 a	241 a	19.6 b	80.4 b
	250	11.43 a	18.91 a	57.0 a	258 a	246 a	19.4 b	81.2 b
	平均 Mean	11.15 A	17.91 A	56.6 A	240 B	244 A	19.7 C	83.1 A

不同小写字母代表同一品种不同处理间差异达显著水平( $P<0.05$ )。同列平均值(Mean)后不同大写字母表示品种间差异达显著水平( $P<0.05$ )。

Different lowercase letters in the same column represent significant difference among treatments( $P<0.05$ ). Different uppercase letters after the mean values in the same column represent significant difference among treatments ( $P<0.05$ ).

优 6326 和超优 1000 的生物量无显著差异。不同氮肥处理下的收获指数无显著差异,三个品种趋势一致。产量构成因子方面,随氮肥施用量增加,各品种单位面积穗数也随之增加。两优 6326 在 250 kg/hm<sup>2</sup> 氮处理下的有效穗数最多显著高于其他两个氮肥处理,120 kg/hm<sup>2</sup> 和 185 kg/hm<sup>2</sup> 施氮量下的有效穗数无显著差异。超优 1000 的三个氮处理间的单位面积穗数均无显著差异,甬优 4949 在 120 kg/hm<sup>2</sup> 施氮条件下的单位面积穗数显著低于其他

两个氮处理。甬优 4949 与超优 1000 的每穗颖花数均显著高于两优 6326。甬优 4949 在 120 kg/hm<sup>2</sup> 施氮量下的结实率显著高于其他两个氮处理,且甬优 4949 的结实率显著高于超优 1000 和两优 6326。氮肥主要通过影响品种的生物量和单位面积穗数来影响头季产量,氮肥施用量增加,生物量和单位面积穗数均增加。甬优 4949 头季产量在三个品种中最高,主要是由于其生物量、收获指数、每穗颖花数和结实率高于其他两个品种。

表 3 不同氮肥运筹对两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 的再生季产量及其构成的影响

Table 3. Effects of different nitrogen treatments on yield and its components of LY6326, CY1000 and LY4949 in ratoon season.

品种 Variety	头季施氮量 Main season treatment/(kg hm <sup>-2</sup> )	再生季施氮量 Ratoon season treatment/(kg hm <sup>-2</sup> )	再生季产量 Ratoon season yield/(t hm <sup>-2</sup> )	生物量 Biomass /(t hm <sup>-2</sup> )	收获指数 Harvest index/%	每 1 m <sup>2</sup> 穗数 Panicle number per square meter	每穗颖花数 Grain number per panicle	千粒重 1000-grain weight/g	结实率 Seed-setting rate/%
两优 6326 LY6326	120	150	5.55 ab	11.10 b	50.5 a	337 b	71 a	25.0 a	81.8 a
		225	5.99 a	13.15 ab	45.9 ab	370 ab	82 a	24.5 ab	78.3 ab
		185	5.45 ab	12.97 ab	42.1 bc	368 ab	82 a	24.0 ab	79.3 ab
		225	5.54 ab	14.28 a	38.9 c	417 a	82 a	23.7 ab	74.2 b
	250	150	5.25 b	14.02 a	37.5 c	380 ab	81 a	23.2 b	73.2 b
		225	5.81 ab	13.45 a	42.4 bc	414 a	83 a	23.7 ab	72.0 b
		平均 Mean	5.60 B	13.16 A	45.5 B	381 A	80 B	24.0 A	76.5 B
超优 1000 CY1000	120	150	5.17 ab	12.43 a	44.5 ab	355 a	112 ab	20.7 a	59.0 a
		225	5.29 ab	13.53 a	44.5 ab	377 a	116 ab	20.2 a	60.8 a
		185	5.06 ab	12.24 a	46.3 ab	335 a	118 a	20.7 a	60.7 a
		225	5.57 a	13.70 a	46.6 a	381 a	117 ab	20.6 a	61.4 a
	250	150	4.72 b	13.38 a	44.6 ab	393 a	107 b	20.4 a	61.7 a
		225	5.38 a	13.09 a	43.7 b	378 a	113 ab	20.3 a	57.8 a
		平均 Mean	5.20 C	13.06 A	45.0 B	370 A	114 A	20.5 B	60.3 C
甬优 4949 YY4949	120	150	6.20 ab	13.23 a	50.0 ab	310 a	118 a	20.0 a	84.1 a
		225	6.36 ab	13.27 a	50.8 a	313 a	125 a	19.9 a	83.2 a
		185	6.21 ab	14.43 a	49.3 ab	326 a	119 a	20.0 a	84.0 a
		225	6.33 ab	13.73 a	50.1 ab	339 a	118 a	20.1 a	84.3 a
	250	150	5.65 b	13.72 a	48.4 b	328 a	105 b	22.2 a	83.0 a
		225	6.79 a	14.17 a	49.1 ab	335 a	120 a	20.1 a	84.9 a
		平均 Mean	6.26 A	13.76 A	49.6 A	325 B	118 A	20.4 B	83.9 A

不同小写字母代表同一品种不同处理间差异达显著水平( $P<0.05$ )。同列平均值(Mean)后不同大写字母表示品种间差异达显著水平( $P<0.05$ )。

Different lowercase letters in the same column represent significant difference among treatments( $P<0.05$ ). Different uppercase letters after the mean values in the same column represent significant difference among treatments ( $P<0.05$ ).

## 2.4 不同氮肥运筹对两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 再生季产量及其产量构成的影响

再生季增施氮肥,三个品种的再生季产量均没有显著增加,且三个品种的最优施氮量相同。三个品种在  $N_5(250_{\text{main}}150_{\text{ratoon}})$  处理下的产量均低于其他 5 个处理。品种在不同氮肥运筹下的平均再生季产量表现为甬优 4949>两优 6326>超优 1000。两优 6326  $N_1(120_{\text{main}}150_{\text{ratoon}})$  处理下的生物量显著低于其他 5 个处理,而超优 1000 和甬优 4949 的生物量在各个处理间均没有显著差异。再生季的收获指数表现为甬优 4949>两优 6326>超优 1000,其中甬优 4949 显著高于其他两个品种,而两优 6326 与超优 1000 之间无显著差异。两优 6326  $N_1(120_{\text{main}}150_{\text{ratoon}})$  处理下的单位面积穗数显著低于其他 5 个处理,其他 5 个处理之间无显著差异;甬优 4949 单位面积穗数显著低于其他两个品种。超优 1000 和甬优 4949 在  $N_5(250_{\text{main}}150_{\text{ratoon}})$  处理下的每穗颖花数均显著低于其他 5 个处理,而其他 5 个处理之间无显著差异。品种在不同氮肥运筹下的平均结实率的表现表现为甬优 4949>两优 6326>超优 1000,且差异显著。对三个供试品种而言,再生季增施氮肥能提高产量,但是提高的幅度为 6.7%~8.6%,增幅并不大;氮肥主要是通过影响品种的单位面积穗数来影响再生季产量,氮肥施用量增加,单位面积穗数增加;甬优 4949 在三个品种间再生季产量最高,主要是由于其生物量、收获指数、每穗颖花数以及结实率的优势。

## 2.5 不同氮肥运筹对两优 6326、甬优 4949 和超优 1000 再生芽生长的影响

三个品种的再生芽数量均经历了“快速增长-缓慢增长-缓慢减少”的过程,增施氮肥促进了再生芽的萌发与生长(图 2)。在头季施氮量相同的情况下,再生季在施氮量为  $225 \text{ kg/hm}^2$  处理下的再生芽数量高于  $150 \text{ kg/hm}^2$  处理,三个品种趋势一致。再生季再生芽萌发数表现为超优 1000>两优 6326>甬优 4949;其中,超优 1000 的最高再生芽数达到 466 个/ $\text{m}^2$ ,两优 6326 的最高再生芽数为 449 个/ $\text{m}^2$ ,而甬优 4949 的最高再生芽数为 395 个/ $\text{m}^2$ ,在三个品种中最低。

## 2.6 不同氮肥运筹对两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 的籽粒氮素含量以及氮肥偏生产力的影响

在再生季,增施氮肥显著增加了籽粒氮素含量,但显著降低了氮肥偏生产力。随着施氮量的增加,头季和再生季的籽粒氮素含量均呈增长趋势,三个品种趋势一致(表 4);在头季,两优 6326 高氮

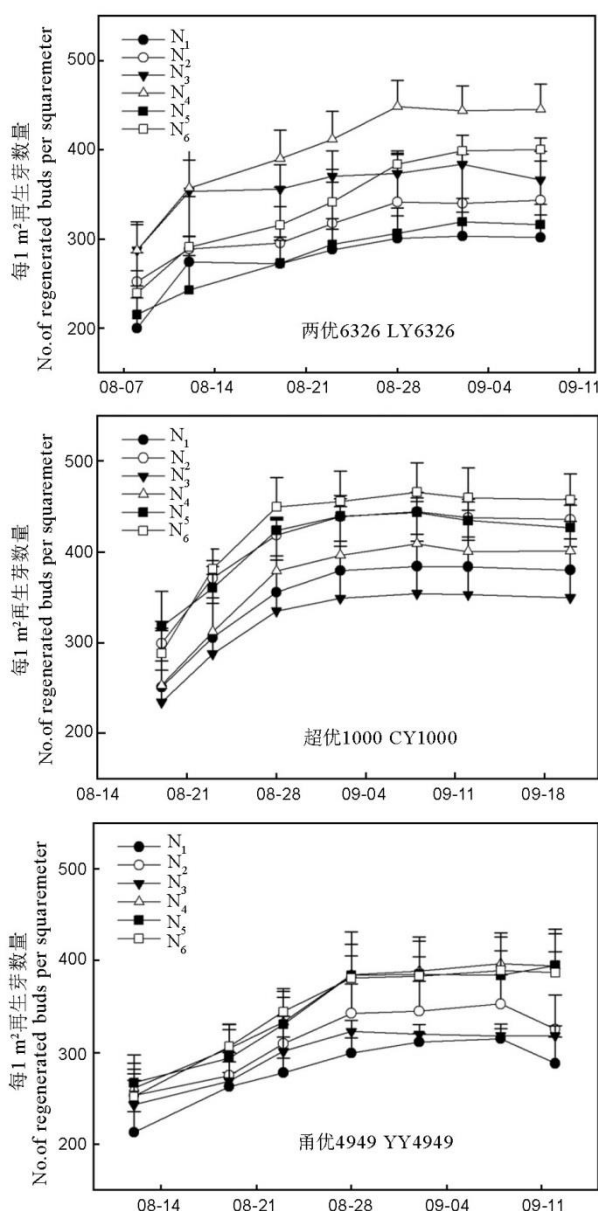


图 2 两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 头季收获-再生季齐穗期的再生芽生长动态

Fig. 2. Growth dynamics of regenerated buds in ratoon rice under various nitrogen treatments.

( $250 \text{ kg/hm}^2$ ) 处理下的籽粒氮素含量显著高于低、中氮处理,而超优 1000 和甬优 4949 的三个氮处理下的籽粒氮素含量无显著差异。甬优 4949 头季的籽粒氮素含量显著高于其他两个品种,其再生季的籽粒氮素含量仍显著高于超优 1000,但与两优 6326 无显著差异。随着施氮量的增加,氮肥偏生产力则会降低,各个氮肥处理之间差异显著,且在两个季度和三个品种之间氮肥偏生产力与施氮量趋势一致。甬优 4949 在头季和再生季的氮肥偏生产力和籽粒氮素含量均显著高于超优 1000 和两优 6326。

表 4 不同氮肥处理下两优 6326、超优 1000 及甬优 4949 的籽粒氮素含量以及氮肥偏生产力  
Table 4. Grain nitrogen content and nitrogen partial factor productivity of LY6326, CY1000 and YY4949 under various nitrogen treatments.

品种 Variety	头季施氮量 Main season treatment/(kg hm <sup>-2</sup> )	头季籽粒氮素含量 Grain N content of main season/(kg hm <sup>-2</sup> )	头季氮肥偏生产力 Nitrogen partial factor productivity of main season/(kg kg <sup>-1</sup> )	再生季施氮量 Ratoon season treatment/(kg hm <sup>-2</sup> )	再生季籽粒氮素含量 Grain N content of ratoon season/(kg hm <sup>-2</sup> )	再生季氮肥偏生产力 Nitrogen partial factor productivity of ratoon season/(kg kg <sup>-1</sup> )
两优 6326 LY6326	120	115.51 b	72.5 a	150	59.81 b	37.0 a
				225	68.91 ab	26.6 b
				150	60.41 b	36.3 a
				225	86.04 a	24.6 b
	250	129.21 a	37.2 c	150	69.39 ab	35.0 a
超优 1000 CY1000	120	114.81 a	76.6 a	225	77.57 ab	25.2 b
				225	70.35 AB	30.8 B
				150	46.22 c	34.4 a
				225	73.99 a	23.5 b
	185	119.81 a	49.4 b	150	57.77 bc	33.7 a
甬优 4949 YY4949	120	124.04 a	35.6 c	225	71.47 ab	24.8 b
				150	63.99 ab	31.4 a
				225	67.82 ab	23.9 b
				225	63.55 B	28.6 C
	185	119.55 B	53.9 B	150	74.49 a	41.3 a
超优 1000 CY1000	120	150.48 a	88.1 a	225	83.08 a	28.3 b
				150	70.30 a	41.4 a
				225	76.66 a	28.1 b
				150	51.19 b	37.7 a
	250	165.12 a	45.7 c	225	82.83 a	30.2 b
平均 Mean		155.42 A	65.2 A	73.09 A		34.5 A

不同小写字母代表同一品种不同处理间差异达显著水平( $P<0.05$ )。同列平均值(Mean)后不同大写字母表示品种间差异达显著水平( $P<0.05$ )。  
Different lowercase letters in the same column represent significant difference among treatments( $P<0.05$ ). Different uppercase letters after the mean values in the same column represent significant difference among treatments ( $P<0.05$ ).

3 讨论

本研究表明两优 6326、超优 1000 和甬优 4949 在头季对应的最优施氮量分别应为 185 kg/hm<sup>2</sup>、120 kg/hm<sup>2</sup> 和 185 kg/hm<sup>2</sup> (表 2), 而在再生季, 增施氮肥(225 kg/hm<sup>2</sup>)并没有进一步增加各品种的再生季产量, 反而显著降低了各品种的氮肥偏生产力(表 3 和表 4), 因此, 本研究中两优 6326 和甬优 4949 在再生季的最优施氮处理均为 150 kg/hm<sup>2</sup>、超优 1000 再生季的最优施氮量为 120 kg/hm<sup>2</sup>。综合头季以及再生季的施氮量, 在华中地区, 两优 6326 和甬优 4949 的最优施氮模式均为 N<sub>3</sub>(185<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>)。本研究结果表明, 甬优 4949 在华中地区作再生稻种植时, 均不需要增加氮肥的施用量。两优 6326 和甬优 4949 头季均在 185 kg/hm<sup>2</sup> 处理下获得了最高产量, 但最高氮肥偏生产力对应的氮肥处理为 120 kg/hm<sup>2</sup>, 两优 6326 和甬优 4949 在氮肥利用效率方面仍能有所提升, 可以对两者的氮肥运筹进行更为深入的研究, 从而提高氮肥利用效率, 获得更高产量。钱太平等研究表明, 当头季和再生季施氮量分别为 215 kg/hm<sup>2</sup> 和 122 kg/hm<sup>2</sup> 时, 再生稻系统的周年产量达到了 12.2 t/hm<sup>2</sup>[19]。刘丹等[20]研究表明, 头季

和再生季氮肥运筹分别为 200 kg/hm<sup>2</sup> 和 100 kg/hm<sup>2</sup> 时, 周年产量可达到 13.7 t/hm<sup>2</sup>。谢春甫等[21]研究表明, 头季和再生季的氮肥运筹分别为 195 kg/hm<sup>2</sup> 和 105 kg/hm<sup>2</sup> 时, 再生稻系统周年产量达到 13.9 t/hm<sup>2</sup>。Dong 等[7]最近研究表明头季和再生季的氮肥用量均为 150 kg/hm<sup>2</sup> 时, 周年产量达到 13 t/hm<sup>2</sup> 左右。综上所述, 前人在华中地区种植再生稻时头季的氮肥施用量范围为 180~250 kg/hm<sup>2</sup>;再生季的氮肥施用量范围为 100 kg/hm<sup>2</sup>~150 kg/hm<sup>2</sup>。本研究的最佳氮肥运筹为 N<sub>3</sub>(185<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>)与华中地区再生稻氮肥运筹范围基本一致。其次, 不同地区土壤肥力有所差异, 前人就测土配方施肥进行了大量的研究; 刘芳等[22]研究表明, 湖北土壤的全氮含量、有效磷、速效钾、有机质和 pH 分别为 1.329 g/kg、15.48 mg/kg、111.36 mg/kg、21.46 mg/kg 和 6.44; 而本研究中土壤全氮含量、有效磷、速效钾、有机质和 pH 分别为 0.25%、12.62 mg/kg、168.50 mg/kg、30.04 mg/kg 和 4.57, 试验地土壤肥力在华中地区及全国属于中等偏上水平。因此, 甬优 4949 可以在华中作为再生稻种植, N<sub>3</sub>(185<sub>main</sub>150<sub>ratoon</sub>)可作为田间施用参考模式, 其最优氮肥运筹与本地区的土壤养分含量有关, 有待进一步的深入研究。

生育期是品种能否作为再生稻种植的关键因

素之一。品种生育期过长会导致再生季齐穗期及齐穗期以后遭遇低温,使得水稻不能安全齐穗、灌浆,从而影响灌浆结实,导致再生季减产,其适宜推广面积会有所减少;生育期太短则不利于光合产物的积累,生育期过长过短均不利于高产。王书裕等研究表明水稻灌浆期遭遇低温会导致灌浆不完整<sup>[23]</sup>。超优 1000 在华中地区作再生稻种植时,虽然再生力最高、再生芽数最多,但其周年生育期过长,再生季存在不能安全齐穗的风险,且本研究表明超优 1000 在再生季齐穗期超过安全齐穗期 9 月 20(表 1),导致其再生季结实率低(表 3),进而导致再生季产量低,故其不适合在华中地区作再生稻种植,应选择温光资源更为充足的地区作再生稻种植。

再生稻拥有悠久的种植历史,但因再生季产量低、再生力不强和品种单一等原因,其主要作为一种减灾措施,因此种植面积并不大<sup>[24]</sup>。但是,近年来随着单产和种植面积的提高以及相关政策的支持,再生稻种植面积逐年增加,尤其在湖北省<sup>[25]</sup>。由于再生稻推广品种单一,再生稻品种的选育与筛选尤为重要。本研究旨在把超高产籼粳杂交稻代表品种甬优 4949 和超高产杂交籼稻代表品种超优 1000 引入再生稻种植系统,结果表明甬优 4949 适合华中地区种植。目前再生稻产量仍处于较低水平,引用更多类型的水稻品种在华中地区作再生稻种植来实现提高周年产量有待进一步的探究。其次,再生稻具有品质优等特点,在筛选再生稻品种时,水稻的高产与优质是一个重要的考虑因素。本研究结果表明甬优 4949 在华中地区做再生稻种植时,其头季产量和再生季产量均显著高于对照品种两优 6326(表 3),但其稻米品质还未见报道,有待进一步的研究。前人研究表明稻米品质受氮肥的施用时期和施用量的影响,施氮过多,增加稻米的蛋白质含量,使籽粒变硬,糊化温度升高、胶稠度变短影响稻米蒸煮食味品质,施氮过少,产量不高<sup>[26-29]</sup>。王德仁等<sup>[30]</sup>研究表明,增施氮肥显著增加糙米中蛋白质含量。稻米蛋白质含量稻米的食味品质呈负相关<sup>[31-33]</sup>。因此,在引用其他品种作再生稻种植时,其最优氮肥运筹还应综合考虑施氮量对稻米品质的影响。

综上所述,将优良的品种引入再生稻系统对于促进再生稻的发展,保证粮食安全和改善稻米品质具有重要意义。因此,在引进优良品种作再生稻种植时,应充分考虑品种的生育期和根据土壤肥力设计高产优质的氮肥运筹模式。

## 4 结论

本研究结果表明,甬优 4949 需氮量与两优 6326 基本一致,然而,与两优 6326 相比,甬优 4949 具有明显的产量优势,周年生育期也较为适宜,为达到增产目的,可以选择甬优 4949 在华中地区作再生稻种植,而超优 1000 生育期过长不宜在华中做再生稻种植。

## 参考文献:

- [1] 章秀福,王丹英,方福平,曾衍坤,廖西元. 中国粮食安全和水稻生产. 农业现代化研究, 2005, 26(2): 85-88. Zhang X F, Wang D Y, Fang F P, Zeng Y K, Liao X Y, Food safety and rice production in China. *Res Agric Moder*, 2005, 26(2): 85-88. (in Chinese with English abstract)
- [2] Peng S B, Tang Q Y, Ying Z. Current status and challenges of rice production in China. *Plant Prod Sci*, 2009, 12(1): 3-8.
- [3] Ray D K, Foley J A. Increasing global crop harvest frequency: Recent trends and future directions. *Environ Res Lett*, 2013, 8: 44041-44050.
- [4] 熊洪,冉茂林,徐富贤,洪松. 南方稻区再生稻研究进展及发展. 作物学报, 2000, 26(3): 1-5. Xiong H, Ran M L, Xu F X, Hong S. Achievements and developments of ratooning rice in South of China. *Acta Agron Sin*, 2000, 26(3): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [5] 朱永川,熊洪,徐富贤,郭晓艺,张林,刘茂,周兴兵. 再生稻栽培技术的研究进展. 中国农学通报, 2013, 29(36): 1-8. Zhu Y H, Xiong H, Xu F X, Guo X Y, Zhang L, Liu M, Zhou X B. Progress on research of ratoon rice cultivation technology. *Chin Agric Sci Bull*, 2013, 29(36): 1-8. (in Chinese with English abstract)
- [6] 谢华安. 超级稻作再生稻高产栽培特性的研究. 杂交水稻, 2010(S1): 17-26. Xie H A. Studies on high-yielding cultivation characteristics of super hybrid rice grown as ratoon rice. *Hybrid Rice*, 2010(S1): 17-26. (in Chinese with English abstract)
- [7] Dong H L, Peng S B, Huang J L, Cui K H, Nie L X. The growth and yield of a wet-seeded rice-ratoon rice system in central China. *Field Crops Res*, 2017, 208: 55-59.
- [8] 孟天瑶,许俊伟,邵子彬,葛梦婕,张洪程,魏海燕,戴淇根,霍中洋,许轲,荆培培. 甬优系列籼粳杂交稻氮肥群体最高生产力的优势及形成特征. 作物学报, 2015, 41(11): 1711-1725. Meng T Y, Xu J W, Shao Z B, Ge M J, Zhang H C, Wei H Y, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Jing P P. Advantages and their formation characteristics of the highest population productivity of nitrogen fertilization in japonica/indica



- hybrid rice of Yongyou series. *Acta Agron Sin*, 2015, 41(11): 1711-1725. (in Chinese with English abstract)
- [9] 韦还和, 李超, 孟天瑶, 葛梦婕, 张洪程, 魏海燕, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 郭保卫, 荆培培. 甬优系列籼粳杂交稻高产栽培与生理特性研究进展. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2015, 36(4): 79-84.
- Wei H H, Li C, Meng T Y, Ge M J, Zhang H C, Wei H Y, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K, Guo B W, Jing P P. Research advances in physiological characteristics and high-yielding cultivation of Yongyou hybrid rice. *J Yangzhou Univ: Agric Life Sci*, 2015, 36(4): 79-84. (in Chinese with English abstract)
- [10] 李梦婷. 氮肥运筹对籼粳亚种间杂交中稻甬优 4949 产量形成及氮肥吸收利用的影响研究. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- Li M T. Effects of different nitrogen management on yield formation and nitrogen absorption and utilization of the subspecific hybrid medium rice. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [11] 熊渠, 王文丰, 李爱武, 王记安, 马琼瑶, 刘丹. 籼粳杂交稻新组合甬优 4949 在湖北孝感种植表现及栽培技术. 杂交水稻, 2016, 31(5): 41-43.
- Xiong Q, Wang W F, Li A W, Wang J A, Ma Q Y, Liu D. Performance and cultural techniques of new indica-japonica hybrid rice combination Yongyou 4949 planted at Xiaogan, Hubei. *Hybrid Rice*, 2016, 31(5): 41-43. (in Chinese with English abstract)
- [12] 魏中伟, 马国辉. 超高产杂交水稻超优 1000 的生物学特性及抗倒性研究. 杂交水稻, 2015, 30(1): 58-63.
- Wei Z W, Ma G H. Study on the biological characteristics and anti-inversion of super high yield hybrid rice CY 1000. *Hybrid Rice*, 2015, 30(1): 58-63. (in Chinese with English abstract)
- [13] 陈健晓, 孟卫东, 林朝上. 超级稻苗头组合超优 1000 在海南三亚 6.82 hm<sup>2</sup> 连片高产示范表现及栽培技术. 杂交水稻, 2016, 31(3): 40-42.
- Chen X J, Meng W D, Lin C S. Performance and cultivation techniques of promising super hybrid rice combination Chaoyou 1000 in the 6.82 hm<sup>2</sup> large demonstrative production at Sanya, Hainan. *Hybrid Rice*, 2016, 31(3): 40-42. (in Chinese with English abstract)
- [14] 郑景生, 林文雄, 李义珍, 姜照伟, 卓传营. 再生稻头季不同施氮水平的双季氮素吸收及产量效应研究. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 78-82.
- Zheng J S, Lin W X, Li Y Z, Jiang Z W, Zhuo C Y. Nitrogen uptake and grain yield effects of double-cropping rice at different nitrogen application rates in the first crop of ratoon rice. *Chin J Eco-Agric*, 2004, 12(3): 78-82. (in Chinese with English abstract)
- [15] 陈鸿飞, 杨东, 梁义元, 张志兴, 梁康迳, 林文雄. 头季稻氮肥运筹对再生稻干物质积累、产量及氮素利用率的影响. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 50-56.
- Chen H F, Yang D, Liang Y Y, Zhang Z X, Liang K J, Lin W X. Effect of nitrogen application strategy in the first cropping rice on dry matter accumulation, grain yield and nitrogen utilization efficiency of the first cropping rice and its ratoon rice crop. *Chin J Eco-Agric*, 2010, 18(1): 50-56. (in Chinese with English abstract)
- [16] 徐富贤, 熊洪, 朱永川, 张林. 促芽肥施用量对杂交中稻再生力的影响与组合间源库结构的关系. 西南农业学报, 2008, 21(3): 688-694.
- Xu F X, Xiong H, Zhu Y C, Zhang L. The relationship between the effects of fertilizer application on the regenerative capacity of hybrid middle rice and the structure of the source sink of hybrid rice. *Southwest China J Agric Sci*, 2008, 21(3): 688-694.
- [17] 方军. 水稻新品种超优 1000 引进试种初报. 安徽农学通报, 2016, 22(03-04): 43-44.
- Fang J. Evaluating the growth performance of a newly developed variety Chaoyou 1000. *Anhui Agric Sci Bull*, 2016, 22(03-04): 43-44. (in Chinese)
- [18] 张玉葵, 叶尔太. 凯氏定氮(半微量)法测定牛乳中蛋白质含量的方法. 中国乳业, 2005(6): 35-36.
- Zhang Y K, Ye R T. Kjeldahl nitrogen determination (semi micro) method for determination of protein content in milk. *China Dairy*, 2005(6): 35-36. (in Chinese)
- [19] 钱太平, 方锡文, 张继新, 邹春华, 陈建军, 徐志进, 肖齐圣. 杂交中稻-再生稻品种筛选试验. 湖北农业科学, 2012, 51(19): 4193-4195.
- Qian T P, Fang X W, Zhang J X, Zou C H, Chen J J, Xu Z J, Xiao Q S. Selection experiment of Hybrid middle rice-ratoon rice varieties. *Hubei Agric Sci*, 2012, 51(19), 4193-4195. (in Chinese)
- [20] 刘丹, 黄修荣, 王记安, 高长清, 罗珍美, 程建平. 孝感市再生稻品种的筛选试验. 湖北农业科学, 2016(11): 2739-2742.
- Liu D, Huang X R, Wang J A, Gao C Q, Luo Z M, Cheng J P. Selection experiment of Ratoon rice varieties in Xiaogan. *Hubei Agric Sci*, 2016(11): 2739-2742.
- [21] 谢春甫, 王记安, 刘红平, 刘华曙, 高长清, 刘长兵, 乐菊, 汤汉华, 林忠辉, 汪新胜, 王伟刚, 郑明. 不同品种作再生稻筛选试验. 现代农业科技, 2014(2): 64-65.
- Xie C P, Wang J A, Liu H P, Liu H S, Gao C Q, Liu C B, Le J, Tang H H, Lin Z H, Wang X S, Wang W G, Zheng M. Selection experiment of different varieties for Ratoon rice. *Mod Agric Sci Technol*, 2014(2): 64-65. (in Chinese)
- [22] 刘芳, 梁华东, 刘涛, 张淑贞, 何迅, 贺立源, 徐能海. 湖北省近三十年耕地土壤肥力变化解析. 华中农业大学学报, 2016, 35(6): 79-85.

- Liu F, Liang H D, Liu T, Zhang S Z, He X, He L Y, Xu H N. Analysis of soil fertility changes of cultivated land in Hubei Province in recent thirty years. *J Huazhong Agric Univ*, 2016, 35(6): 79-85. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王书裕. 水稻灌浆与气温. 中国农业气象, 1980, 1(1): 19-25.  
Wang S Y. Rice grain filling and temperature. *Agron Meteorol China*, 1980, 1(1): 19-25. (in Chinese)
- [24] 刘代银, 丁明忠. 洪水再生稻的蓄留及管理技术. 四川农业科技, 2007(8): 23.  
Liu D Y, Ding M Z. Storage and management technology of flood regenerated rice. *Sichuan Agric Sci Technol*, 2007(8): 23.
- [25] 何红卫. 湖北: 再生稻如何绿色“再生”. 农民日报, 2017-11-13.  
He H W. Hubei: Green “regeneration” of ratoon rice. *Farmers' Daily*, 2017-11-13. (in Chinese)
- [26] Perez C M, Juliano B O, Liboon S P, Alcantara M, Cassman K G. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. *Cereal Chem*, 1996, 73(5): 556-560.
- [27] Leesawatwong M, Jamjod S, Kuo J, Dell B, Rerkasem B. Nitrogen fertilizer increases seed protein and milling quality of rice. *Cereal Chem*, 2005, 82(5): 588-593.
- [28] 慕永红, 于杨, 王安东, 张莉萍, 王智敏. 施肥对稻米品质的影响. 现代化农业, 2009(4): 7-9.  
Mu Y H, Gan Y, Wang A D, Zhang L P, Wang Z M. Effects of fertilization on the quality of rice. *Mod Agric*, 2009(4): 7-9. (in Chinese)
- [29] 杨静, 罗秋香, 钱春荣, 刘海英, 金正勋. 氮素对稻米蛋白质组分含量及蒸煮食味品质的影响. 东北农业大学学报, 2006, 37(2): 145-150.  
Yang J, Luo Q X, Qian C R, Liu H Y, Jin Z X. Effects of nitrogen on protein content and cooking and eating quality of rice. *J Northeast Agric Univ*, 2006, 37(2): 145-150. (in Chinese with English abstract)
- [30] 王德仁, 卢婉芳, 陈苇. 施氮对稻米蛋白质、氨基酸含量的影响. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 353-356.  
Wang D R, Lu W F, Chen W. Effects of nitrogen application on the contents of protein and amino acid in rice. *J Plant Nutr Fert*, 2001, 7 (3): 353-356. (in Chinese with English abstract)
- [31] Hamaker B, Griffin V K. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. *Cereal Chem*, 1990, 67(3): 261-264.
- [32] Champagne E T, Lyon B G, Min B K, Vinyard B T, Bett K L, Barton, F, E I, Webb B D, Mcclung A M, Moldenhauer K A, Linscombe S, Mckenzie K S, Kohlwey D E. Effect of post-harvest processing on texture profile analysis of cooked rice. *Cereal Chem*, 1998, 75(2): 181-186.
- [33] 沈鹏, 罗秋香, 金正勋. 稻米蛋白质与蒸煮食味品质关系研究. 东北农业大学学报, 2003, 34(4): 378-381.  
Shen P, Luo Q X, Jin Z X. Study on the relationship between rice protein and cooking and eating quality. *J Northeast Agric Univ*, 2003, 34(4): 378-381.