

李阳, 杨晓龙, 汪本福, 等. “早籼晚粳”双季机插周年氮肥高效运筹研究[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(5): 9-16.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.05.002

# “早籼晚粳”双季机插周年氮肥高效运筹研究

李阳<sup>1</sup>, 杨晓龙<sup>1</sup>, 汪本福<sup>1</sup>, 张枝盛<sup>1</sup>, 李进兰<sup>2</sup>, 程建平<sup>1</sup>

1. 湖北省农业科学院粮食作物研究所/粮食作物种质与遗传改良湖北省重点实验室, 武汉 430064;

2. 湖北省黄冈市农业科学院, 黄冈 438000

**摘要** 以“早籼晚粳”(早稻“两优 287”, 晚稻“鄂粳 403”)种植模式为研究对象, 设置了 6 组氮肥组合, 包括早稻 3 组(基肥: 分蘖肥: 穗肥分别为 N1/N2(6: 4: 0)、N3/N4(6: 3: 1)和 N5/N6(5: 3: 2))、晚稻 2 组(基肥: 分蘖肥: 穗肥分别为 N1/N3/N5(5: 3: 2)、N2/N4/N6(5: 2: 3)及不施氮肥处理(对照, CK, N0), 考察双季的分蘖动态变化、叶面积指数(LAI)和 SPAD 值、关键生育期干物质积累量、产量和产量构成、氮肥利用率等指标。结果显示: 早稻氮素施用后移显著提高成穗率, N5/N6 的成穗率达到 95.5%, 晚稻以 N3 处理有效穗最高; 早稻叶面积指数以 N3/N4 处理最高, 较 N1/N2 提高 42.6%, 前者叶片衰老速度低于后者, 晚稻 LAI 也以 N3 处理最高; 早稻氮素施用后移后, N3/N4 和 N5/N6 产量较 N1/N2 显著提高, 增产分别达到 17.3%、14.6%, 晚稻 N3 产量显著高于其他处理, 周年产量以 N3 处理最高; N3 处理的周年氮肥农学利用率(AE)比其他处理的平均值高 43.3%, 氮肥偏生产效率(PFP)高 11.7%。研究表明早籼稻氮肥施用比例以基肥: 分蘖肥: 穗肥=6: 4: 0, 晚粳稻以 5: 3: 2 的搭配组合对提高周年产量和氮肥利用率有显著促进作用。

**关键词** “早籼晚粳”; 双季稻; 机插; 氮肥利用率; 产量

**中图分类号** S 511.06 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)05-0009-08

双季稻种植模式是我国水稻种植模式中非常重要的模式之一, 是保障我国粮食安全的重要措施。然而, 随着我国经济的不断发展, 农村劳动力逐渐向城市转移, 农村劳动力短缺严重, 且成本逐渐升高<sup>[1]</sup>, 加上生产物资价格的不断上涨, 导致双季稻的种植面积逐渐萎缩<sup>[2]</sup>。在保障粮食安全且无法增加耕地面积的客观前提下, 前人创新和优化了很多水稻种植技术, 如再生稻技术<sup>[3-4]</sup>、双季机械直播技术<sup>[5]</sup>、“早籼晚粳”模式等。

双季稻种植对温度的要求较高, 而处于长江中游的湖北省正处于一个过渡地带, 每年早稻收获、晚稻种植的时候就会出现“双抢”的现象, 所以优化该地区种植双季稻模式的某个环节, 提高对该地区的环境适应能力, 是保障粮食安全生产的重要措施。“早籼晚粳”模式主要指早稻籼稻和晚稻粳稻的双季机插模式。粳稻的优势在于有较强的抗寒能力, 在较低的温度下仍然可以灌浆, 提高全生育期温光资源积累量<sup>[6]</sup>, 而籼稻的抗寒能力则显著低于粳稻。

所以, “早籼晚粳”模式的安全收获能力高于双季籼稻, 前人对双季籼稻的密度、施氮<sup>[7-8]</sup>、栽插方式<sup>[9]</sup>、温室气体排放<sup>[10]</sup>以及耕作模式<sup>[11]</sup>等方面都有较深入的研究。对粳稻的研究多集中在中稻<sup>[12-14]</sup>, 有少数的研究在双季晚粳稻上, 如许柯等<sup>[15]</sup>认为基肥: 穗肥为(6: 4)~(7: 3)的氮肥运筹方案, 可使双季晚粳稻高产、优质、高效能够较好地协调统一, 不同栽培方式应配套适宜晚粳稻品种类型<sup>[16]</sup>, 以及杂交晚粳稻超高产的特征<sup>[17]</sup>。本研究以长江中游地区为基点, 综合考虑“早籼晚粳”全年的产量形成特点和氮肥利用效率, 以期为该地区双季稻的高产高效种植提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

早稻: 两优 287, 由湖北大学生命科学学院以自育的早籼温敏核不育系 HD9802S 为母本, 与自育的早籼新品系 R287 配组育成的两系杂交早籼新组

收稿日期: 2021-03-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0301300); 国家水稻产业技术体系(CARS-01-04A)

李阳, E-mail: liyley@163.com

通信作者: 程建平, E-mail: chjp609@163.com

合;晚稻:鄂粳 403,是由湖北省农业科学院粮食作物研究所用“武大 99155”作母本、“闽恢 128/3402)F8”作父本杂交,经系谱法选择育成的常规粳稻品种。

## 1.2 试验设计

试验在湖北省农业科学院南湖核心试验基地进行。试验田冬季为冬闲田,土壤 pH 7.23,有机质 27.5 g/kg,碱解氮 110.0 mg/kg,速效磷 8.0

mg/kg,速效钾 120.4 mg/kg。

早晚稻均采用机械插秧,早稻播种时间为 3 月 20 日,晚稻为 7 月 5 日,采用硬质秧盘育秧。插秧规格为 30 cm×12 cm。

早、晚稻氮肥均设置基肥、分蘖肥、穗肥 3 次施肥比例,构建 6 种氮肥周年运筹模式,同时以不施氮肥处理为对照(CK,N0),见表 1。

表 1 试验设计及施肥比例

Table 1 Experimental design and fertilizer application proportion

处理 Treatment	早稻 Early rice			晚稻 Late rice		
	基肥 Base fertilizer	分蘖肥 Tillering fertilizer	穗肥 Panicle fertilizer	基肥 Base fertilizer	分蘖肥 Tillering fertilizer	穗肥 Panicle fertilizer
N1	6	4	0	5	3	2
N2	6	4	0	5	2	3
N3	6	3	1	5	3	2
N4	6	3	1	5	2	3
N5	5	3	2	5	3	2
N6	5	3	2	5	2	3
CK(N0)	0	0	0	0	0	0

施氮肥(以纯氮计):早稻为 180 kg/hm<sup>2</sup>,晚稻为 210 kg/hm<sup>2</sup>。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 75 kg/hm<sup>2</sup>。磷肥作底肥一次施用,钾肥的底肥与追肥比例为 5:5。氮肥选用尿素(含纯 N46%),磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。

## 1.3 测定项目与方法

1)茎蘖动态。选择连续 15 穴植株,标记位置,自返青后,每隔 7 d 调查分蘖状况,直至分蘖稳定。

2)叶面积指数(LAI)。单位面积土地上植株叶片的总面积。

3)叶片 SPAD 值。早、晚稻齐穗期开始,每 7 d 测 1 次剑叶 SPAD 值,每个叶片测上中下 3 个部位。

4)养分吸收。每季作物在开花期、成熟期取样,测定地上部植株干物质质量、植株氮等养分含量。同时,长期保存部分植株样品(烘干粉碎样)。

5)土壤氮素含量。取空白区和处理区土壤(0~20 cm)土壤,风干,研磨,过筛,采用半微量开式法测定土壤全氮,土壤速效氮采用碱解扩散法测定。

6)产量及产量构成。每个小区选择有代表性的 5 m<sup>2</sup> 区域进行人工收割,人工脱粒,去除杂草及空瘪粒,晾晒;样品收入室内后,间隔 1 d 再称质量并测定含水量,测定籽粒含水量用 PM-8188 型谷物水分测定仪。考种样品取样:按平均分蘖数取植株,考察饱粒、空粒和千粒重。

7)氮肥偏生产力(partial factor productivity of applied fertilizer nitrogen,PFP)。为作物产量与氮

肥施用量的比值。

8)氮肥农学利用率(agronomic nitrogen use efficiency,AE)。作物因施用氮肥所增加的籽粒产量与氮肥施用量的比值。

## 1.4 数据统计与分析

试验数据采用 Statistix 9.0 软件进行统计分析,Microsoft Excel 进行图表绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 分蘖动态

由图 1 可见,早晚稻不同氮肥处理,分蘖动态呈现显著的差异。

对于早稻,N1/N2 分蘖高峰出现在 6 月 8 日,而其余处理则出现在 6 月 15 日,说明增加穗肥的施用推迟了分蘖高峰出现的时间。随着前氮后移,其茎蘖稳定时的数值也提高,即有效穗数增多。前氮后移后,N5/N6 的成穗率达到 95.5%,显著高于其他 2 个处理(图 1A)。

对于晚稻,晚粳季氮肥后移未能增加分蘖数,且受到早稻季施肥的影响呈现不同的分蘖动态。N2、N3 和 N4 在 9 月 2 日分蘖达到峰值,而其余 3 个处理则在 9 月 9 日才达到分蘖高峰。N3 稳定期分蘖数最高,而 N4 最低。N1 和 N2 成穗率较低,分别为 92.6% 和 93.3%,其余处理均在 95% 以上(图 1B)。

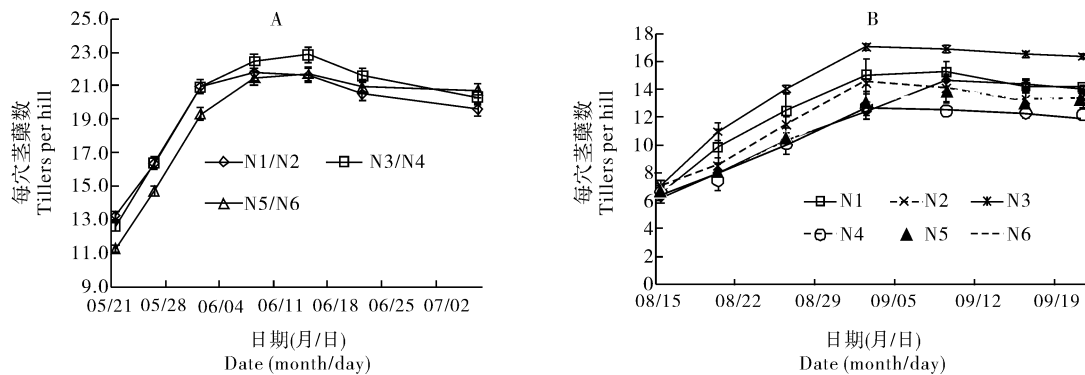


图 1 不同氮肥运筹模式下早稻(A)、晚稻(B)的茎蘖动态

Fig.1 Tiller dynamics of early rice(A) and late rice (B) under different nitrogen fertilizer management modes

2.2 叶面积指数

1)早稻。随前氮后移,齐穗期叶面积指数先增后降,其中 N3/N4 最高,较 N1/N2 提高 42.6% (图 2A)。可见,适当降低分蘖肥而增加穗肥能够提高齐穗期的叶面积指数,但继续减少分蘖肥而增加穗肥的用量,则齐穗期叶面积指数反而降低。灌浆期 N3/N4 和 N5/N6 叶面积指数未见明显差异,但

均显著高于 N1/N2(图 2A),说明前氮后移有利于灌浆期早稻群体维持一定的光合面积,利于水稻后期的灌浆。

2)晚稻。叶面积指数受到两季周年施氮模式的综合影响。齐穗期,N3、N5、N6 叶面积指数较高,灌浆期也呈现这种趋势。而前茬相同施肥模式下,晚稻氮肥后移降低了水稻的叶面积指数(图 2B)。

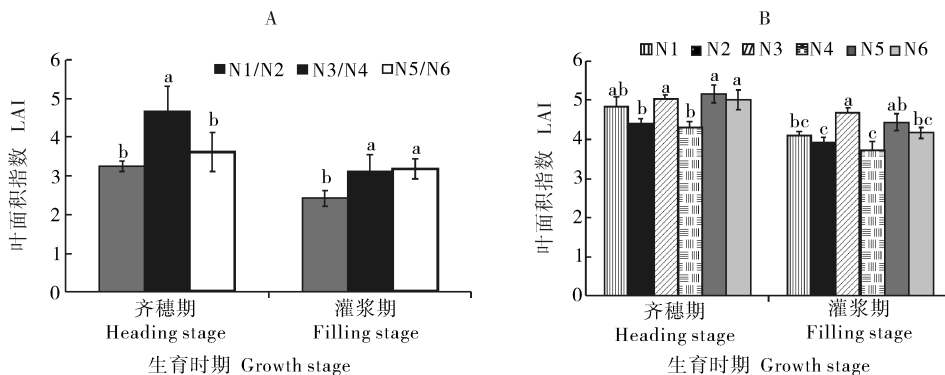


图 2 不同氮肥运筹模式早稻(A)、晚稻(B)的叶面积指数

Fig.2 LAI of early rice (A) and late rice (B) under different nitrogen fertilizer management modes

2.3 齐穗后剑叶 SPAD 值

齐穗后早稻功能叶 SPAD 值随时间推移逐渐降低,齐穗后 0~10 d 下降明显。处理间比较, N1/N2 下降斜率明显较其余处理大,但较 N0 处理小。说明前氮后移后,功能叶叶绿素含量此阶段下降幅度相对变小。齐穗后 20 d, N1/N2 较 N3/N4、N5/N6 功能叶叶绿素 SPAD 值分别低 13.2% 和 14.7%。不施氮处理(N0)下降幅度更大(图 3A)。由此可见,通过前氮后移模式可以提高灌浆期功能叶叶绿素含量。

叶绿素下降速率也减小,后期受低温影响,叶绿素降解速率加大。各氮肥处理叶绿素 SPAD 值差异并不显著,从平均数值上看, N4>N3、N6>N5,说明晚稻氮肥后移齐穗后叶绿素 SPAD 值有提高的趋势。

从图 3B 可知,晚粳功能叶 SPAD 值齐穗后灌浆初期下降速率较快,中期有所缓和,但后期下降速率又增加。粳稻灌浆期较长,前期灌浆速率较大,叶中氮素向籽粒转移较多,中期随灌浆速率减小,叶中

2.4 干物质积累

1)早籼。各处理灌浆期和收获期有显著差异。灌浆期 N3/N4 较 N1/N2 提高 21.5%,且差异达到显著水平(P<0.05),其余处理间未见显著差异。收获期各处理差异与灌浆期相似。N1/N2、N3/N4、N5/N6 齐穗后干物质积累量分别占收获期干物质总量的 36.0%、39.3%、41.1%(图 4A)。可见,随前氮后移,齐穗后早稻干物质积累量增加。

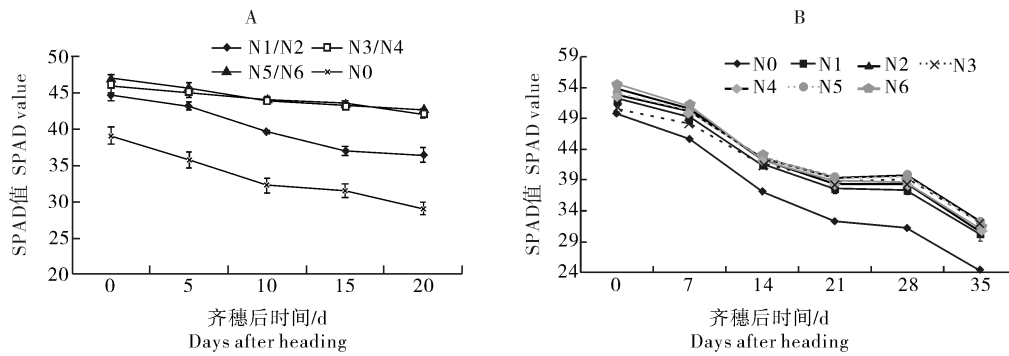
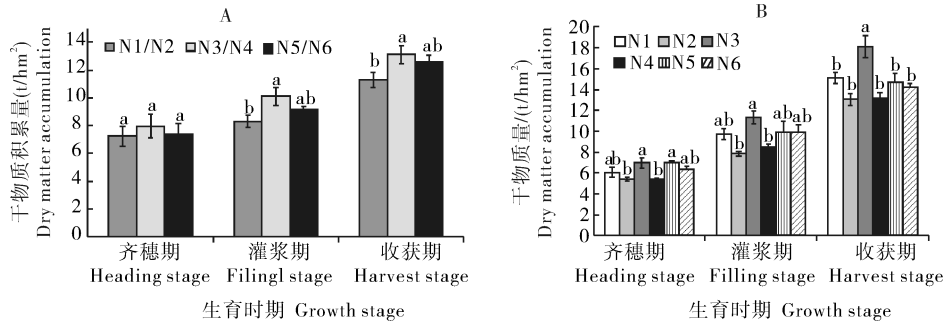


图 3 不同氮肥运筹模式早稻(A)、晚稻(B)稻齐穗后剑叶 SPAD 值

Fig.3 SPAD value of top leaf after heading in early rice (A) and late rice (B) under different nitrogen fertilizer management modes

2)晚粳。不同氮肥处理晚稻干物质积累各个时期呈现显著差异。其中收获期 N3 显著高于其余处理。在相同早稻施氮模式下,晚稻增加分蘖肥中氮肥的施用量明显提高晚粳干物质积累,在几个生育时期均呈现明显趋势。N1、N2、N3、N4、N5 和 N6

齐穗后干物质积累量分别占收获期干物质总量的 32.0%、27.5%、40.0%、27.9%、28.3% 和 28.4% (图 4B)。可见,晚粳稻齐穗后干物质积累没有随前氮后移而增多。但其中 N3 干物质积累量显著提高,表现出氮肥运筹的两季叠加效应明显。



柱子上不同字母表示处理间具有显著差异。下同。Different letters on the column indicate significant differences among treatments. The same as follows.

图 4 不同氮肥运筹模式早稻(A)、晚稻(B)齐穗后干物质积累

Fig.4 Dry matter accumulation after heading in early rice (A) and late rice (B) under different nitrogen fertilizer management modes

### 2.5 产量及其构成

从表 2 看出,对于早稻,N3/N4 和 N5/N6 产量较 N1/N2 显著提高,增产分别达到 17.3%、14.6%。随前氮后移,早稻的有效穗数逐渐增加,但每穗粒数则是先增后降,说明过多的提高穗肥的比例而降低分蘖肥的施氮量,不利于提高每穗粒数,也会降低结实率。

对于晚稻,从产量上看,N1 > N2、N3 > N4、N5 > N6,可见,单就晚稻季而言,氮肥后移产量反

而降低。从产量构成上看,水稻产量主要受有效穗数的影响,晚稻氮肥后移有效穗数呈下降的趋势。受两季施氮叠加效应的影响,N3 有效穗数显著高于 N4 和 N6,但与其他处理差异不显著(表 3)。可见,两季氮肥运筹对晚稻产量的形成具有显著的叠加效应。

不同氮肥处理周年水稻产量差异显著(图 5)。N3 和 N5 周年产量最高,显著高于 N1 和 N2。其中,N5 较 N2 产量提高 23.2%。说明,采用周年氮肥运筹对提高“早籼晚粳”双季稻产量的影响十分显著。

表 2 不同氮肥运筹模式早稻的产量及其构成

Table 2 The yield and yield components in early rice under different nitrogen fertilizer management modes

处理 Treatment	有效穗数 Panicles per m <sup>2</sup>	每穗粒数 Spikeles per panicle	结实率/% Filled grain rate	千粒重/g 1 000-grain weight	实际产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Actual yield
N1/N2	459±12.8b	73.5±1.3b	79.6±1.2a	25.2±0.3a	6 253.5±100.1b
N3/N4	479±10.0a	77.7±1.4a	77.8±0.8ab	24.9±0.2a	7 336.5±106.8a
N5/N6	523±12.1a	73.3±1.3b	76.7±1.1b	25.1±0.1a	7 170.0±141.2a

注: 同列不同字母表示处理间存在显著性差异。下同。Note: Different letters in the same column indicate significant differences among treatments. The same as follows.

表 3 不同氮肥运筹模式晚粳稻的产量及其构成

Table 3 The yield and yield components in late rice under different nitrogen fertilizer management modes

处理 Treatment	有效穗数 Panicles per m <sup>2</sup>	每穗粒数 Spikeles per panicle	结实率/% Filling grain rate	千粒重/g 1 000-grains weight	实际产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Actual yield
N1	397.0±25.1ab	107.9±5.0a	66.6±5.0a	26.5±0.2a	6 954.1±64.8bc
N2	387.1±17.2ab	104.7±6.3a	66.8±3.0a	26.1±0.5a	6 542.7±276.3c
N3	451.6±23.6a	112.88±5.5a	67.9±2.3a	26.6±0.3a	8 327.5±355.4a
N4	348.8±16.8b	122.1±5.9a	69.2±2.8a	26.5±0.5a	7 160.8±327.0bc
N5	404.1±24.2ab	114.2±5.3a	70.8±2.2a	26.5±0.1a	7 839.0±381.4ab
N6	378.6±18.0b	117.3±3.5a	70.4±2.4a	26.9±0.3a	7 544.0±202.2ab

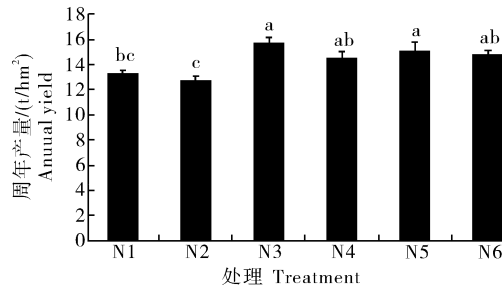


图 5 不同氮肥运筹下的周年水稻产量  
Fig.5 Annual yield under different nitrogen fertilizer management modes

### 2.6 氮肥利用效率

由图 6 可见,不同周年氮肥运筹下,氮肥农学利用率(AE)和氮肥偏生产率(PFP)差异显著。N3 处理下的 AE 和 PFP 均表现最高,表现最低的是 N1 和 N2,说明在早稻氮素后移、晚稻不后移时,氮肥利用效率均以 N3 处理最高,而当晚稻氮素也后移时,氮肥利用率整体呈现下降趋势,以 N4 的下降幅度最大。

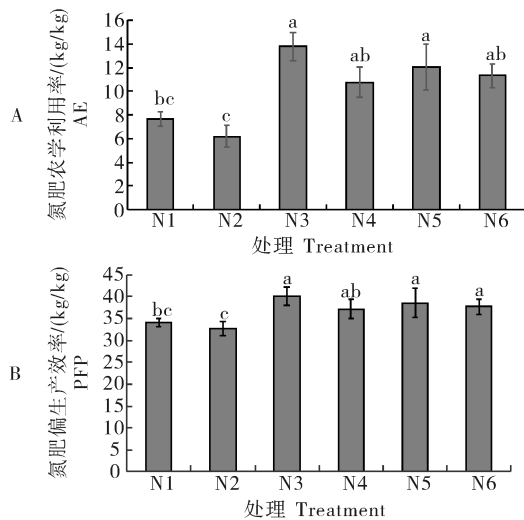


图 6 不同氮肥运筹下水稻氮肥农学利用率(A)和氮肥偏生产效率(B)  
Fig.6 AE(A) and PFP(B) under different nitrogen fertilizer management modes

### 2.7 土壤氮养分变化

从图 7 可见,土壤全氮受不同周年氮肥运筹影响不显著,而速效氮差异显著。其中 N0 速效氮含量最低,显然是两季未施氮肥导致速效氮的消耗。除 N0 外,N4 和 N2 的速效氮含量低;而 N5 和 N6 速效氮含量较高,分别较 N4 高 132.6%和 111.1%。可见,晚稻收获后,N5 和 N6 处理下土壤未被植株吸收的有效氮较多,其余几个氮肥处理,有效氮残余较少,说明当季利用得较为充分且不会有流失的风险。土壤速效氮的变化趋势主要与早稻季施肥模式相关。

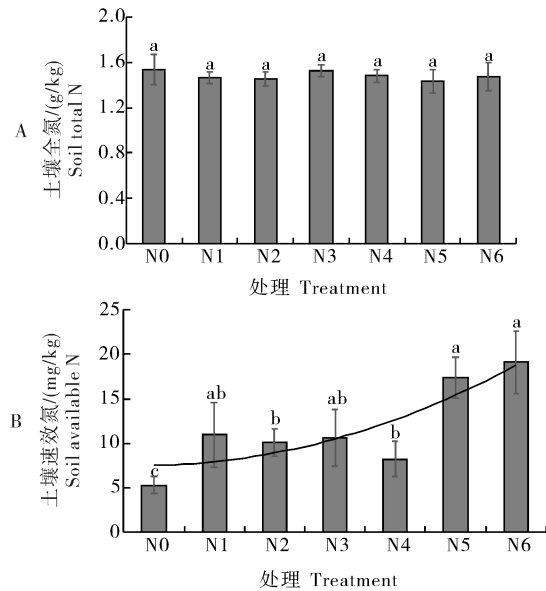


图 7 不同周年氮肥运筹下土壤全氮(A)和速效氮(B)含量  
Fig.7 Soil total nitrogen(A) and available nitrogen(B) under different nitrogen fertilizer management modes

## 3 讨论

### 3.1 氮肥运筹对双季机插“早籼晚粳”周年生长发育影响显著

长江中游处于种植双季稻的边缘地带,温光资



源紧张,合理的种植模式成为缓解问题的首要方法,“早籼晚粳”双季机插模式是延长晚稻灌浆时间的有效措施<sup>[6]</sup>。前人研究证实双季稻氮肥的施用量<sup>[18]</sup>对周年产量影响显著,本研究中 N3(早稻季基肥、分蘖肥、穗肥中纯氮量为 6:3:1,晚稻季基肥、分蘖肥、穗肥中纯氮量为 5:3:2)最佳,其次为 N5(早稻:5:3:2;晚稻:5:3:2),周年产量分别为 15.66 和 15.01 t/hm<sup>2</sup>。而吴文革等<sup>[20]</sup>在双季稻北缘试验,认为早晚稻均以基肥:蘖肥:穗肥=5:2.5:2.5的运筹模式产量最高,说明不同地区因土壤和气候条件差异,产量对氮肥的响应也有很大差异。本研究中早稻季氮肥后移能够显著提高有效穗数(表 2),早稻季减少基肥(N5/N6)使水稻前期分蘖数明显减少,但是氮肥后移后推迟了分蘖高峰出现的时间,提高了成穗率,这与曾勇军等<sup>[21]</sup>追加穗肥的研究结果类似,可显著提高产量。

### 3.2 “早籼晚粳”模式的氮肥利用效率和应用前期

氮肥是水稻获得高产的重要养分,我国水稻生产消耗的氮肥占世界水稻氮肥总消耗量的 37%<sup>[22]</sup>。所以,提高氮肥利用效率是我国当前水稻种植乃至整个农业系统的重要任务<sup>[23]</sup>。双季稻也是消耗氮肥的主要水稻种植模式,许柯等<sup>[15]</sup>认为随基蘖肥占总施氮量比例降低,成熟期氮素积累总量、氮肥表观利用率、氮肥农学利用率及氮肥偏生产力均呈先增加后减少的趋势,本研究中 N3 处理下的氮肥农学利用效率和氮肥偏生产效率均表现最高(图 6),说明早稻氮肥后移不仅有利早稻产量的提高,而且能够提高后茬氮肥水平,提高晚稻对氮素的吸收和利用。所以 N3 处理周年氮肥运筹对提高全年的氮肥利用率有显著的促进作用,对提高“早籼晚粳”模式在长江流域双季稻区的推广应用、降低氮肥流失、保护环境等方面具有重要意义。

### 参考文献 References

[1] 黄晨鸣,朱臻. 雇工劳动对农户粮食生产技术效率的影响研究——基于三省水稻种植户的调查[J]. 农业现代化研究, 2018,39(2):229-238. HUANG C M, ZHU Z. The effects of contract-labors on technical efficiency of grain production: based on a survey data of rice farms in three provinces[J]. Research of agricultural modernization, 2018,39(2):229-238 (in Chinese with English abstract).

[2] 肖玉娥,卢俊玮. 恢复双季稻面积的困境与对策[J]. 粮食科技

与经济,2020,45(4):25-28. XIAO Y E, LU J W. Dilemma and countermeasure of restoring double cropping rice area[J]. Grain science and technology and economy, 2020, 45(4): 25-28 (in Chinese).

- [3] 武茹,王姣梅,夏胜明,等. 长江中下游地区杂交中稻再生稻品种适应性的综合评价与筛选[J]. 华中农业大学学报,2020,39(3):19-27. WU R, WANG J M, XIA S M, et al. Comprehensive evaluation and screening of adaptability of mid-season hybrid rice ratooning varieties in the middle-lower reaches of Yangtze River[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(3):19-27 (in Chinese with English abstract).
- [4] CHEN Q, HE A, WANG W, et al. Comparisons of regeneration rate and yields performance between inbred and hybrid rice cultivars in a direct seeding rice-ratoon rice system in central China[J]. Field crops research, 2018, 223:164-170.
- [5] 徐乐. 双季稻双直播模式的高产生理机制与栽培调控研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2020:115. XU L. Physiological mechanism and crop management for high grain yield in direct-seeded, double-season rice system[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020:115 (in Chinese with English abstract).
- [6] 殷敏,刘少文,褚光,等. 长江下游稻区不同类型双季晚粳稻产量与生育特性差异[J]. 中国农业科学, 2020, 53(5):890-903. YIN M, LIU S W, CHU G, et al. Differences in yield and growth traits of different japonica varieties in the double cropping late season in the lower reaches of the Yangtze River[J]. Scientia agricultura sinica, 2020, 53(5):890-903 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李超,肖小平,唐海明,等. 减氮增密对机插双季稻生物学特性及周年产量的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(12):2451-2459. LI C, XIAO X P, TANG H M, et al. Biological characteristics and annual yield of double machine-transplanted rice under nitrogen-reduction and density-increase measures[J]. Journal of nuclear agricultural sciences, 2019, 33(12):2451-2459 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈佳娜,曹放波,谢小兵,等. 机插条件下低氮密植栽培对“早晚兼用”双季稻产量和氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(8):1176-1187. CHEN J N, CAO F B, XIE X B, et al. Effect of low nitrogen rate combined with high plant density on yield and nitrogen use efficiency of machine-transplanted early-late season double cropping rice[J]. Acta agronomica sinica, 2016, 42(8):1176-1187 (in Chinese with English abstract).
- [9] 徐一兰,刘唐兴,付爱斌. 不同栽插方式对双季稻生理特性和产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(12):20-28. XU Y L, LIU T X, FU A B. Effects of different transplanting methods on physiological characteristics in leaves and yield of rice in double-cropping rice field[J]. Journal of agricultural science and technology, 2020, 22(12):20-28 (in Chinese with English abstract).

- [10] 张浪,徐华勤,李林林,等. 再生稻和双季稻田 CH<sub>4</sub> 排放对比研究[J]. 中国农业科学, 2019, 52(12): 2101-2113. ZHANG L, XU H Q, LI L L, et al. Comparative study on CH<sub>4</sub> emission from ratoon rice and double-cropping rice fields[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2019, 52(12): 2101-2113 (in Chinese with English abstract).
- [11] 唐海明,肖小平,李超,等. 不同土壤耕作模式对双季稻区水稻植株养分积累与转运的影响[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(2): 220-228. TANG H M, XIAO X P, LI C, et al. Effects of different soil tillage systems on nutrition accumulation and translocation of rice plant in double cropping paddy field[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2019, 42(2): 220-228 (in Chinese with English abstract).
- [12] 刷成欣,周著彪,赵步洪,等. 不同氮敏感性粳稻品种的氮代谢与光合特性比较[J]. 作物学报, 2018, 44(3): 405-413. JU C X, ZHOU Z B, ZHAO B H, et al. Comparison in nitrogen metabolism and photosynthetic characteristics between *japonica* rice varieties differing in nitrogen sensitivity[J]. *Acta agronomica sinica*, 2018, 44(3): 405-413 (in Chinese with English abstract).
- [13] 周婵婵,黄元财,贾宝艳,等. 施氮量和灌溉方式的交互作用对东北粳稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(4): 357-367. ZHOU C C, HUANG Y C, JIA B Y, et al. Effect of interaction between nitrogen rate and irrigation regime on grain quality of *japonica* rice in northeast china[J]. *Chinese journal of rice science*, 2019, 33(4): 357-367 (in Chinese with English abstract).
- [14] 韩超,许方甫,卞金龙,等. 淮北地区机械化种植方式对不同生育类型优质食味粳稻产量及品质的影响[J]. 作物学报, 2018, 44(11): 1681-1693. HAN C, XU F P, BIAN J L, et al. Effects of mechanical planting methods on yield and quality of *japonica* rice with good taste and different growth durations in Huabei region[J]. *Acta agronomica sinica*, 2018, 44(11): 1681-1693 (in Chinese with English abstract).
- [15] 许轲,张军,张洪程,等. 双季晚粳稻氮肥精确运筹研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1063-1075. XU K, ZHANG J, ZHANG H C, et al. Nitrogen managements of late *japonica* rice in double-cropping rice area[J]. *Journal of plant nutrition and fertilizer*, 2014, 20(5): 1063-1075 (in Chinese with English abstract).
- [16] 张军,张洪程,霍中洋,等. 不同栽培方式对双季晚粳稻产量及温光利用的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(10): 2130-2141. ZHANG J, ZHANG H C, HUO Z Y, et al. Effects of cultivation methods on yield and utilization of temperature and light of late *japonica* rice in southern double cropping rice areas[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2013, 46(10): 2130-2141 (in Chinese with English abstract).
- [17] 许轲,张军,花劲,等. 双季杂交晚粳稻超高产形成特征[J]. 作物学报, 2014, 40(4): 678-690. XU K, ZHANG J, HUA J, et al. Yield components and population characteristics of super-high-yielding late *japonica* hybrid rice in double-cropping rice area[J]. *Acta agronomica sinica*, 2014, 40(4): 678-690 (in Chinese with English abstract).
- [18] 徐新朋,周卫,梁国庆,等. 氮肥用量和密度对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 763-772. XU X P, ZHOU W, LIANG G Q, et al. Effects of nitrogen and density interactions on grain yield and nitrogen use efficiency of double-rice systems[J]. *Journal of plant nutrition and fertilizer*, 2015, 21(03): 763-772 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张雪凌,姜慧敏,刘晓,等. 优化氮肥用量和基追比例提高红壤性水稻土肥力和双季稻氮素的农学效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 351-359. ZHANG X L, JIANG H M, LIU X, et al. Optimization of nitrogen rate and base and topdressing ratio to improve agronomic soil fertility and use efficiency of nitrogen in rice[J]. *Journal of plant nutrition and fertilizer*, 2017, 23(2): 351-359 (in Chinese with English abstract).
- [20] 吴文革,张四海,赵决建,等. 氮肥运筹模式对双季稻北缘水稻氮素吸收利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 757-764. WU W G, ZHANG S H, ZHAO J J, et al. Nitrogen uptake utilization and rice yield in the north rimland of double-cropping rice region as affected by different nitrogen management strategies[J]. *Plant nutrition and fertilizer science*, 2007, 13(5): 757-764 (in Chinese with English abstract).
- [21] 曾勇军,吕伟生,潘晓华,等. 氮肥追施方法和追用时期对超级早稻株型及物质生产的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(11): 2008-2015. ZENG Y J, LÜ W S, PAN X H, et al. Effects of nitrogen topdressing method and time on plant type and dry mass production of super early-rice[J]. *Acta agronomica sinica*, 2014, 40(11): 2008-2015 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李晓峰,程金秋,梁健,等. 秸秆全量还田与氮肥运筹对机插粳稻产量及氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(6): 912-924. LI X F, CHENG J Q, LIANG J, et al. Effects of total straw returning and nitrogen application on grain yield and nitrogen absorption and utilization of machine transplanted *japonica* rice[J]. *Acta agronomica sinica*, 2017, 43(6): 912-924 (in Chinese with English abstract).
- [23] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095-1103. PENG S B, HUANG J L, ZHONG X H, et al. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. *Scientia agricultura sinica*, 2002, 35(9): 1095-1103 (in Chinese with English abstract).

## Efficient operation of annual nitrogen fertilizer for the double-season mechanical transplanting of “Early *indica* and late *japonica*”

LI Yang<sup>1</sup>, YANG Xiaolong<sup>1</sup>, WANG Benfu<sup>1</sup>, ZHANG Zhisheng<sup>1</sup>, LI Jinlan<sup>2</sup>, CHENG Jianping<sup>1</sup>

1. Institute of Food Crops, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Hubei Province Key Laboratory of Food Crop Germplasm and Genetic Improvement, Wuhan 430064, China;

2. Huanggang Academy of Agricultural Sciences, Hubei Province, Huanggang 438000, China

**Abstract** The “Early *indica* and late *japonica*” pattern is an important cropping pattern for double cropping rice in the middle reaches of the Yangtze River, and is of great significance to improve the efficient operation of annual nitrogen fertilizer for reducing the use of nitrogen and the loss of nitrogen to the environment. The early *indica* rice “Liangyou 287” and late *japonica* rice “Egeng 403” were used to investigate the dynamic changes of tillers, leaf area index (LAI) and SPAD values, dry matter accumulation in key periods, yield and yield components, and nitrogen use efficiency (NUE) in two seasons. Six nitrogen (basal fertilizer; tillering fertilizer; panicle fertilizer) fertilizer combinations including 3 groups of early rice: N1/N2(6 : 4 : 0), N3/N4(6 : 3 : 1), N5/N6(5 : 3 : 2), 2 groups of late rice: N1/N3/N5(5 : 3 : 2), N2/N4/N6(5 : 2 : 3), and treatment of no nitrogen fertilizer (N0, CK) were set. Results showed that late nitrogen application in early rice significantly increased the rate of panicle bearing tiller, and that of N5/N6 treatment reached 95.5%. N3 treatment of late rice had the highest effective panicle. The leaf area index of early rice under N3/N4 treatment was the highest, 42.6% higher than that under N1/N2 treatment. The leaf senescence rate under N3/N4 treatment was lower than that under N1/N2 treatment. The LAI of late rice under N3 treatment was the highest. The yield of N3/N4 and N5/N6 in early rice was significantly higher than that of N1/N2, with the increase of 17.3% and 14.6%, respectively. The yield of N3 in late rice was significantly higher than that of other treatments, and the annual yield of N3 treatment was the highest. The annual agronomic nitrogen use efficiency (AE) of N3 treatment was 43.3% higher than the average of other treatments. The partial production efficiency (PFP) of nitrogen fertilizer of N3 treatment was 11.7% higher than that of other treatments. It is indicated that the ratio of nitrogen fertilizer application for early *indica* rice was basal fertilizer : tiller fertilizer : panicle fertilizer = 6 : 4 : 0, and the combination of 5 : 3 : 2 for late *japonica* rice significantly promoted the increase of annual yield and nitrogen utilization efficiency.

**Keywords** “Early *indica* and late *japonica*”; double cropping rice; mechanical transplanting; N fertilizer use efficiency; yield

(责任编辑:张志钰)