

# 稻麦轮作区保护性耕作条件下氮肥对水稻生长发育和产量的调控效应

李朝苏<sup>1</sup>, 谢瑞芝<sup>2</sup>, 黄钢<sup>1</sup>, 吴春<sup>1</sup>, 李少昆<sup>2</sup>, 汤永禄<sup>1\*</sup>

(1 四川省农业科学院作物研究所, 四川成都 610066; 2 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 2006~2008年在四川省广汉市开展了保护性耕作措施下水稻氮肥调控试验, 设置不同秸秆还田量(0、6000、12000 kg/hm<sup>2</sup>)、施氮量水平(0、150、210 kg/hm<sup>2</sup>)以及氮素分配比例(6:2:2、6:3:1、8:2)。结果表明, 和施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 相比, N 210 kg/hm<sup>2</sup> 处理水稻分蘖力、干物质积累量、开花期的植株个体和群体质量均有升高, 花后茎鞘贮藏物质的输出及光合物质积累量增加, 子粒产量提高 7.3%。在施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 水平和基肥: 蘖肥: 穗肥 = 6:2:2 分配比例下, 与旋耕无麦秸还田处理相比, 免耕秸秆还田与否对水稻茎蘖消长、干物质积累及子粒产量影响较小, 但花后绿叶功能期延长, 光合产物积累在产量形成中所占比例增加。在施 N 210 kg/hm<sup>2</sup> 水平和基肥: 蘖肥: 穗肥 = 6:3:1 分配比例下, 免耕还田麦秸量从 6000 kg/hm<sup>2</sup> 增加至 12000 kg/hm<sup>2</sup>, 水稻分蘖力明显增强, 干物质积累量增大, 开花期个体和群体质量提高, 单位面积穗数和穗实粒数增多, 产量增加 4.1%; 将氮肥分配比例由 6:3:1 变为 8:2, 即增加基肥用量, 减少中后期的氮素供应会导致分蘖高峰后分蘖大量死亡, 有效穗数降低, 穗粒数减少, 产量下降。以上结果说明, 氮素的充分供应是保护性耕作水稻获得高产的重要前提和基础, 适当提高麦秸还田量、增加中后期氮素供应, 能提高氮素利用率及分蘖成穗率和结实率, 利于稳产高产。

**关键词:** 稻麦轮作区; 保护性耕作; 氮肥调控; 水稻; 生长发育

中图分类号: S511.06; S341.1

文献标识码: A

中图分类号: 1008-505X(2010)03-0528-08

## Effects of nitrogen management on rice growth and grain yield under conservation tillage in rice-wheat cropping system

LI Chao-su<sup>1</sup>, XIE Rui-zhi<sup>2</sup>, HUANG Gang<sup>1</sup>, WU Chun<sup>1</sup>, LI Shao-kun<sup>2</sup>, TANG Yong-lu<sup>1\*</sup>

(1 Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;

2 Crop Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In rice-wheat cropping system, conservation tillage technology is widely used in wheat cultivation. Because seedling standing and high yield cultivation technology under the conservation tillage condition is not perfect, rotary tillage with no straw returning is also playing a dominant role in rice cultivation. From 2006 to 2008, the effects of nitrogen management on rice growth and grain yield under the conservation tillages were studied in Guanghan, Sichuan province. The results may be helpful to promote conservation tillage applying in rice cultivation. There were three wheat straw application rates (0, 6000 and 12000 kg/ha), three nitrogen fertilizer rates (N 0, 150 and 210 kg/ha) and different ratios of basic, tillering and spike fertilizer (6:2:2, 6:3:1, 8:2) in the experiment. Wheat straw was returned with mulching treatment and rice seedlings were transplanted with digging-hole method. The results showed that the nitrogen fertilization is an important limiting factor for rice growth and yield improving under the conservation tillage condition. Compared with the 150 kg/ha nitrogen application during rice growth, the tillering ability, amount of dry matter accumulation, individual and population qualities at the flowering stage, and dry matter exported from stem and sheath and photosynthate accumulation after flowering are all increased under the 210 kg/ha nitrogen application and the yield are increased by 7.3%.

收稿日期: 2009-05-25 接受日期: 2009-11-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD15B08; 2006BAD15B03; 2007BAD89B15; 2007BAD89B01)资助。

作者简介: 李朝苏(1980—), 男, 山东菏泽人, 硕士, 助理研究员, 主要从事作物高产栽培技术研究。

Tel: 028-84504601, E-mail: xiaoli1755@163.com. \* 通讯作者 Tel: 028-84504601, E-mail: ttycc88@163.com

Compared with the rotary tillage, the zero tillage has little effects on dynamics of stems and tillers, dry matter accumulation and grain yield whether wheat straw is returned under the 150 kg/ha nitrogen and application ratio of 6:2:2. However, the proportion of photosynthate from flowering to yielding is increased. Under the 210 kg/ha nitrogen and application ratio of 6:3:1, the tillering ability is enhanced, the individual and population qualities at the flowering stage and the panicles and filled grains per panicle are increased, and grain yield is increased by 4.1% when the amounts of wheat straw are applied from 6000 kg/ha to 12000 kg/ha. Increasing nitrogen application before transplanting and decreasing application at the panicle initiation stage can induce panicles, number of filled grains and yield. These results suggest that sufficient application of nitrogen is an important practice for high yielding of rice under the conservation tillage condition, and increasing wheat straw returning and nitrogen supplement at the middle and later growth stages has promoting effect on high-stable yield.

**Key words:** rice-wheat cropping system; conservation tillage; nitrogen management; rice; growth and development; grain yield

合理的耕作措施可以协调土壤中水、肥、气、热关系,克服影响作物生长发育的不利因素,保证作物的高产和稳产。以翻耕播栽为特征的传统耕作模式容易造成土壤结构破坏、侵蚀增加;而且大部分耕地管理较粗放,重用轻养,有机肥用量减少,化肥利用率低,养分再循环利用率不高,农业面源污染严重<sup>[1]</sup>。因此,要使我国农业生产再上一个新台阶,就必须改进耕作措施,改良土壤培肥能力,提高土壤养分利用率,提升农业的可持续生产能力。在这种背景下,以少、免耕和秸秆覆盖还田为特征的保护性耕作应运而生。保护性耕作技术以其改善土壤结构,减少水土流失,降低生产成本,促进物质循环等诸多优点成为国际农业技术发展的趋势<sup>[1-2]</sup>。国内外学者对不同区域保护性耕作技术作了广泛的研究<sup>[3-9]</sup>。在稻麦轮作区,小麦免耕播种稻草覆盖还田技术已得到了推广,取得了良好的经济和社会效益<sup>[10]</sup>;而免耕麦秸还田条件下水稻移栽立苗技术仍不成熟,配套高产栽培技术研究较少,限制了保护

性耕作在稻田大面积推广和应用。本试验针对保护性耕作措施下氮肥对水稻生长发育和产量的调控效应进行研究,旨在为保护性耕作的完善和发展以及水稻的高产高效栽培提供新的理论和技术依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于 2006—2008 年在四川省广汉市连山镇锦花村一社连续进行。试验地土壤为粘壤,耕层(0—30 cm)有机质含量 39.9 g/kg、全氮 2.24 g/kg、全磷 1.06 g/kg、全钾 20.41 g/kg,水解氮 162.48 mg/kg、有效磷 19.67 mg/kg、速效钾为 116.37 mg/kg。试验设 7 个处理,3 次重复,随机排列,详见表 1。小区面积 3 m×4 m,小区间铺设地膜。麦秸以覆盖方式还田,水稻撬窝移栽。供试品种是 II 优 838,每穴 1 棵苗,移栽时平均茎蘖数是 3.6。下茬小麦免耕播种,不施任何肥料。除设计外,各处理的其余管理措施均保持一致。

表 1 试验设计  
Table 1 Experimental design

处理 Treatment	耕作措施 Tillage pattern	还田麦秸量 Amount of wheat residue (kg/hm <sup>2</sup> )	施氮总量 Amount of N application (kg/hm <sup>2</sup> )	基肥 Basic fertilization (%)	分蘖肥 Tillering fertilization (%)	穗肥 Spike fertilization (%)
CK	旋耕 Rotary tillage	0	0	0	0	0
T <sub>1</sub>	旋耕 Rotary tillage	0	150	60	20	20
T <sub>2</sub>	免耕 Zero tillage	0	150	60	20	20
T <sub>3</sub>	免耕 Zero tillage	6000	150	60	20	20
T <sub>4</sub>	免耕 Zero tillage	6000	210	60	30	10
T <sub>5</sub>	免耕 Zero tillage	12000	210	60	30	10
T <sub>6</sub>	免耕 Zero tillage	12000	210	80	20	0

## 1.2 调查测定项目与方法

1.2.1 茎蘖消长动态 2007年自水稻移栽返青至齐穗期, 定点调查茎蘖数。

1.2.2 干物质积累及叶面积指数变化 2007年在水稻返青期、最高分蘖期、开花期、灌浆期中期(花后10 d)和成熟期, 每个小区取接近平均茎数的植株3株, 将茎鞘、叶和穗分开, 烘干称重, 并计算茎鞘输出干物质质量和花后积累的干物质质量; 在最高分蘖期、开花期、灌浆期中期(花后10 d)取样用干重法测量单茎叶面积, 并计算叶面积指数; 开花期用SPAD仪测定上3片绿叶的叶绿素含量。

茎鞘输出的干物质质量 = 开花期茎鞘干物质重 - 成熟期茎鞘干物质重;

花后积累的干物质质量 = 成熟期地上部分干物质重 - 开花期地上部分干物质重。

1.2.3 测产和考种 2006和2007年水稻成熟期每个小区取接近平均茎数的植株3株用于考种, 各小区实收测产, 并计算氮素农学利用率。2007和2008年小麦成熟后各小区实收测产。

氮素农学利用率(NAUE) = (施氮区子粒产量 - 氮空白区子粒产量) / 氮素施用量。

## 2 结果分析

### 2.1 茎蘖消长动态

茎蘖的增加依赖于物质的合成和积累。图1看出, 随着施氮量的增加, 水稻分蘖能力增强, 到达分蘖高峰的时间延后, 高峰苗数量增多。7个处理的高峰苗数可以分成3个水平, 对照处理仅有  $174 \times 10^4$  个/hm<sup>2</sup>, 施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 各处理维持在  $281 \sim 298 \times 10^4$  个/hm<sup>2</sup>, 施 N 210 kg/hm<sup>2</sup> 各处理增至  $357 \sim 382 \times 10^4$  个/hm<sup>2</sup>。在施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 旋耕(T<sub>1</sub>)和免耕无麦秸还田处理(T<sub>2</sub>)的高峰苗数及到达分蘖高峰的时间差异较小, 增加秸秆还田(T<sub>3</sub>)可以缩短分蘖时间。生育后期 T<sub>2</sub> 处理的茎蘖下降速度和最终穗数略低于 T<sub>1</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理。在施 N 210 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 和 T<sub>4</sub> 相比, 增加秸秆还田量(T<sub>5</sub>)对水稻分蘖也有促进作用, 分蘖高峰后 T<sub>5</sub> 处理的茎蘖数仍然维持在一个较高的水平。改变氮肥基、追比例, 增加基肥用量, 减少穗肥的使用量(T<sub>6</sub>)使生育后期分蘖数迅速下降, 成穗率降低。

### 2.2 干物质积累变化

各处理的干物质积累变化趋势(图2)看出, 对照处理由于没有施用氮肥, 干物质积累的速度和强

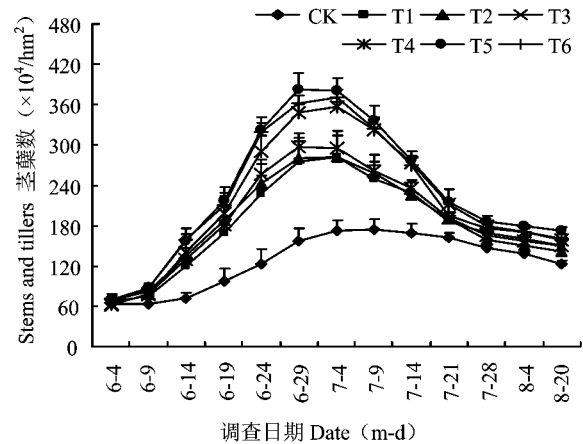


图1 保护性耕作下氮肥调控对水稻茎蘖消长动态的影响(2007)

Fig.1 Effects of nitrogen management on dynamics of rice stems and tillers under the conservation tillages (2007)

度均较低。随着施氮量的增加, 水稻干物质合成和积累速度加快。施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 免耕处理(T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>)的干物质积累量在开花期以前均低于旋耕处理(T<sub>1</sub>); 开花以后, T<sub>3</sub> 处理的干物质合成和积累能力增强, 在灌浆中期和成熟期分别比 T<sub>1</sub> 升高 8.1% 和 4.5%。施 N 210 kg/hm<sup>2</sup>, 增加秸秆还田量对水稻各生育期的干物质积累有积极作用, 和 T<sub>4</sub> 相比, T<sub>5</sub> 处理在最高分蘖期、开花期、灌浆期和成熟期干物质积累量分别升高 2.0%、7.9%、9.9% 和 11.1%; 和 T<sub>5</sub> 相比, 由于中后期氮素的供应不足, T<sub>6</sub> 处理仅在最高分蘖期干物质质量略高, 开花后各时期干物质积累量降低 9.6%~11.8%。

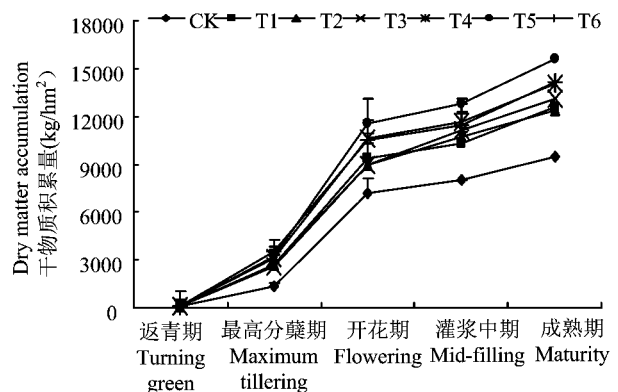


图2 保护性耕作下氮肥调控对水稻干物质积累的影响(2007)

Fig.2 Effects of nitrogen management on dry matter accumulation of rice under the conservation tillages (2007)

### 2.3 叶面积指数变化及开花期单茎叶面积和叶绿素含量

叶面积指数在一定程度上受单位面积茎蘖数的制约,随着施氮量的增加,各生育时期的叶面积指数也呈升高趋势;子粒灌浆后叶片逐渐衰老死亡,叶面积指数迅速下降,各处理间差异减小(图3)。在施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下,免耕无秸秆还田处理(T<sub>2</sub>)各时期叶面积指数均低于旋耕处理(T<sub>1</sub>),增加秸秆还田(T<sub>3</sub>)在开花期和灌浆中期叶面积指数有所升高,和 T<sub>1</sub> 的差距减小。施 N 210 kg/hm<sup>2</sup>,增加秸秆还田量有利于叶面积指数的提高,和 T<sub>4</sub> 相比,T<sub>5</sub> 在分蘖高峰期、开花期和灌浆中期分别增加 6.3%、11.7%和 5.2%,T<sub>6</sub> 处理由于生育中后期的茎蘖死亡率高,叶片衰老快,开花期和灌浆中期叶面积指数迅速下降。

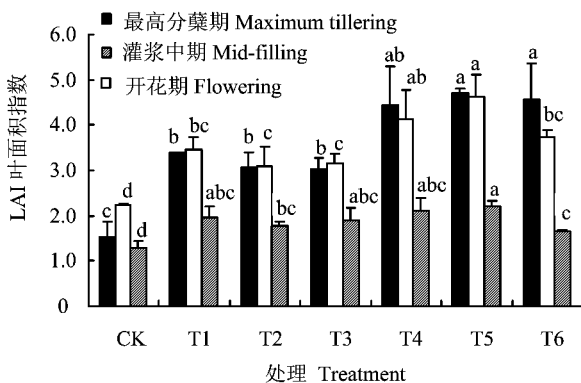


图3 保护性耕作下氮肥调控对水稻叶面积指数变化的影响(2007)

Fig.3 Effects of nitrogen management on leaf area index of rice under the conservation tillages (2007)

[注(Note): 柱上不同小写字母表示处理间的差异达5%的显著水平  
Different small letters above the basrs means significant difference at 5% level.]

开花期绿叶数量和质量是水稻花后物质积累及产量形成的基础。表2结果表明,各个处理开花期单茎叶面积差异明显。和施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 相比,施 N 210 kg/hm<sup>2</sup> 各处理个体生长势强,单茎叶面积和上三叶叶面积普遍较高。在施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 下,免耕处理的单茎叶面积低于旋耕处理,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 比 T<sub>1</sub> 分别下降 5.3%和 8.7%,但上三叶叶面积差距较小,降幅仅有 3.6%和 3.0%。由于上三叶在水稻灌浆期物质积累中起到主导作用,因此 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 仍能维持较强的光合作用。在施 N 210 kg/hm<sup>2</sup> 下,增加秸秆还田量不但有利于叶面积指数的升高,也利于个

体叶面积的增加。和 T<sub>4</sub> 相比,T<sub>5</sub> 处理的单茎叶面积和上三叶叶面积分别增加 3.5%和 2.7%;T<sub>6</sub> 处理由于后期氮肥供应不足,下部叶片衰老较快,单茎叶面积和上三叶叶面积比 T<sub>5</sub> 降低 12.7%和 4.2%。

表2还看出,和 CK 相比,施用氮素后各处理开花期上三叶平均叶绿素含量虽有不同程度升高,但除 T<sub>6</sub> 外,处理间差异均不明显。

表2 保护性耕作下氮肥调控对水稻开花期单茎叶面积和叶绿素含量(SPAD)的影响(2007)

Table 2 Effects of nitrogen management on leaf area per stem and SPAD of rice under the conservation tillages (2007)

处理 Treatment	单茎叶面积 Leaf area per stem (cm <sup>2</sup> /stem)	上三叶叶面积 Top-three leaves area per stem (cm <sup>2</sup> /stem)	上三叶 叶绿素含量 SPAD of top-three leaves
CK	178.3 ± 0.4 d	133.2 ± 3.1 d	35.6 ± 1.4 b
T <sub>1</sub>	230.7 ± 16.3 bc	155.3 ± 8.1 bc	39.8 ± 0.6 a
T <sub>2</sub>	218.4 ± 11.8 c	149.7 ± 15.9 cd	39.9 ± 0.4 a
T <sub>3</sub>	210.6 ± 15.7 c	150.7 ± 9.5 cd	39.2 ± 1.2 a
T <sub>4</sub>	258.6 ± 33.2 ab	176.5 ± 22.5 ab	38.3 ± 0.8 a
T <sub>5</sub>	267.6 ± 20.3 a	181.3 ± 12.6 a	39.7 ± 0.9 a
T <sub>6</sub>	233.6 ± 11.5 bc	173.3 ± 6.5 ab	35.8 ± 0.2 b

注(Note): 同一列的数据后不同小写字母表示处理间的差异达5%的显著水平 Values followed by different small letters in a column means significant difference at 5% level.

### 2.4 花后茎鞘贮藏物质的输出及光合物质积累量

以往研究表明,子粒碳水化合物有 2/3 ~ 3/4 来自于抽穗后叶片的光合作用,另外的 1/3 ~ 1/4 来自于茎鞘贮藏物质的再分配。本试验结果(图4)显示,不同处理下两种物质来源对子粒产量贡献大小有较大差异。CK 处理产量水平较低,两种方式对最终产量的贡献大致相同;施用氮肥后,花后光合产物对子粒形成的贡献增大;增加施氮量有利于水稻花前茎鞘干物质积累,花后转运至子粒的数量随之升高。花后光合产物积累量和开花期叶面积指数大小以及绿叶持续时间的长短有密切关系。在施 N 150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下,T<sub>1</sub> 处理花期叶面积指数虽然高于 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理,但在开花后叶片衰老较快,灌浆中期降幅达 44.0%;而 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理叶功能期长,灌浆中期叶面积指数仅下降 39.3%~40.2%,花后干物质积累量比 T<sub>1</sub> 提高 9.5%和 6.5%。增加氮素施用量和还田秸秆量(T<sub>5</sub>)有利于花后干物质积累强度的进一步增加;T<sub>6</sub> 处理由于后期叶片光合面积小且功能期短,花后光合产物积累量较低。

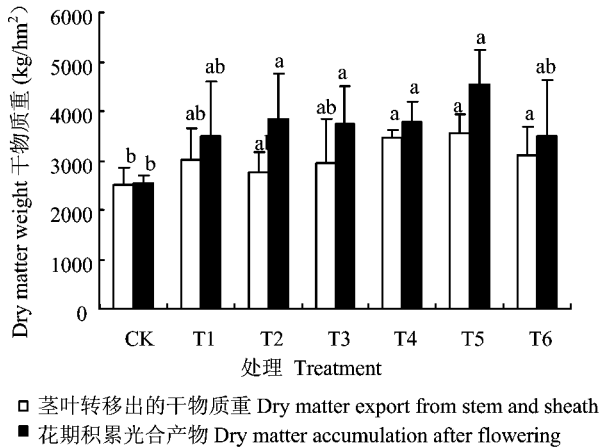


图4 保护性耕作下氮肥调控对水稻花后茎鞘贮藏物质输出及光合物质积累的影响(2007)

Fig.4 Effects of nitrogen management on dry matter exported from stem and sheath and photosynthate accumulation after flowering under the conservation tillages (2007)

[注(Note): 柱上不同小写字母表示处理间的差异达5%的显著水平 Different small letters above the bars means significant difference at 5% level.]

## 2.5 水稻产量结构、产量及氮素农学利用率

2年试验平均结果(表3)显示,产量构成因素,除千粒重外,对照处理的有效穗数和穗粒数均较低,施用氮肥后(T<sub>1</sub>),产量构成因子有明显改善。施N 150 kg/hm<sup>2</sup>下,免耕和旋耕处理的有效穗数和单穗实粒数差异不明显;增加氮肥用量,有效穗数显著增加,以T<sub>5</sub>处理达到最大值;但由于氮肥分配比例不同,处理的有效穗数T<sub>6</sub>较T<sub>5</sub>降低3.0%;T<sub>2</sub>处理

表3 保护性耕作下氮肥调控对水稻产量结构的影响(2006~2007)

Table 3 Effects of nitrogen management on yield components of rice under the conservation tillages (2006-2007)

处理 Treatment	穗数 No. of panicles (×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	单穗实粒数 Filled grains per (No./panicle)	千粒重(g) 1000-grain weight
CK	125.7 ± 4.3 c	128.2 ± 11.6 b	30.1 ± 2.2 a
T <sub>1</sub>	146.9 ± 4.8 b	151.1 ± 6.6 a	30.8 ± 2.6 a
T <sub>2</sub>	141.2 ± 0.7 b	153.9 ± 9.1 a	31.5 ± 3.1 a
T <sub>3</sub>	149.2 ± 1.4 b	150.3 ± 13.4 a	31.8 ± 2.7 a
T <sub>4</sub>	162.2 ± 3.7 a	148.6 ± 20.9 a	30.5 ± 2.7 a
T <sub>5</sub>	162.4 ± 14.1 a	152.7 ± 12.5 a	30.9 ± 3.4 a
T <sub>6</sub>	157.5 ± 4.0 ab	145.1 ± 17.3 a	31.0 ± 3.6 a

注(Note): 同一列的数据后不同小写字母表示处理间的差异达5%的显著水平 Values followed by different small letters in a column means significant difference at 5% level.

的实粒数最多,其次是T<sub>5</sub>处理,T<sub>6</sub>处理较低,其余处理变幅在148.6~151.1粒/穗之间。

合理的分配比例是实现水稻高产的关键,在氮肥充分供应基础上增加麦秸还田量有利于水稻产量的提高。两年平均结果(表4)看出,施用量从N 150增加到N 210 kg/hm<sup>2</sup>,水稻产量提高7.7%。在中等施氮水平(N 150 kg/hm<sup>2</sup>)时,免耕秸秆还田与否都与旋耕处理产量差异不明显;在较高施氮水平(N 210 kg/hm<sup>2</sup>)和合理的分配比例下,增加麦秸还田量水稻产量有大幅提高。增加基肥用量,减少后期氮肥供应造成产量构成变劣,产量下降。

和旋耕相比,在施N 150 kg/hm<sup>2</sup>和相同分配比例下,免耕能提高氮素农学利用效率,T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理分别较T<sub>1</sub>提高4.6%和1.6%。在免耕、还田麦秸量为6000 kg/hm<sup>2</sup>条件下,当氮肥用量从N 150增至N 210 kg/hm<sup>2</sup>时,产量增幅较小,其氮素农学利用率下降9.5%。在较高氮素水平上(N 210 kg/hm<sup>2</sup>),增加麦秸还田量,氮素农学利用率又有显著提高;而T<sub>6</sub>处理由于产量水平较低,氮素农学利用效率明显低于其余处理。

表4 保护性耕作下氮肥调控对水稻产量的影响(2006~2007)

Table 4 Effects of nitrogen management on grain yield of rice under the conservation tillages (2006-2007)

处理 Treat.	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )			NAUE
	2006	2007	Mean	
CK	5178.2 ± 496.5 c	6586.2 ± 325.9 c	5882.2 ± 842.3	15.09
T <sub>1</sub>	7562.5 ± 278.7 b	8728.5 ± 86.9 b	8145.5 ± 664.8	15.49
T <sub>2</sub>	7812.1 ± 228.0 ab	8598.2 ± 596.5 b	8205.2 ± 528.6	15.33
T <sub>3</sub>	7664.9 ± 216.5 b	8699.6 ± 180.8 b	8182.2 ± 594.1	13.87
T <sub>4</sub>	7745.3 ± 93.1 ab	9843.1 ± 331.7 a	8794.2 ± 1173.6	15.59
T <sub>5</sub>	8293.8 ± 458.1 a	10016.8 ± 279.2 a	9155.3 ± 1002.9	12.71
T <sub>6</sub>	7518.6 ± 264.5 b	9582.5 ± 435.0 a	8550.6 ± 1175.4	

注(Note): 同一列的数据后不同小写字母表示处理间的差异达5%的显著水平 Values followed by different small letters in a column means significant difference at 5% level. NAUE—氮素农学利用率 N agronomic utilization efficiency (kg/kg, N)

## 2.6 对下季小麦产量的影响

受水稻对土壤营养吸收效率及秸秆还田后养分释放的影响,在下茬作物不施肥的情况下,各个处理小麦产量也有差异。图5看出,水稻季麦秸是否还田是影响下季小麦产量的关键。无麦秸还田时,水稻季免耕和旋耕处理的小麦产量都在5000 kg/hm<sup>2</sup>以下;免耕条件下增加秸秆还田,小麦产量有明显升高,和T<sub>2</sub>相比增幅都在15.5%以上。

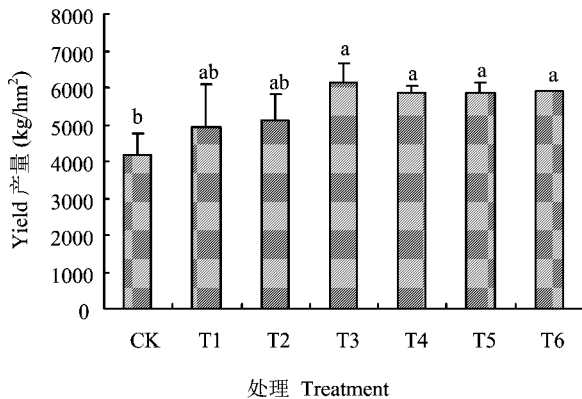


图5 保护性耕作下水稻季氮肥调控对下茬小麦产量的影响(2006~2008)

Fig.5 Effects of nitrogen management in rice season on wheat yield in the following season under the conservation tillages(2006-008)

[注(Note): 柱上不同小写字母表示处理间的差异达5%的显著水平  
Different small letters above the bars means significant difference at 5% level.]

### 3 讨论

保护性耕作具有蓄水培肥、改良土壤结构、改善生态环境等作用,对小麦、玉米、大豆等旱地作物的生长发育和产量提高都有正面作用<sup>[11-13]</sup>。而水田免耕对水稻产量的影响尚无统一的意见<sup>[14-15]</sup>。此外,在稻麦两熟区,小麦收获期和水稻高产移栽期间隔短,麦秸出产量大,处理时间短,大量麦秸直接还田给水稻整田、栽插以及生长发育都带来了负面影响。为扩大保护性耕作在该区域的应用,必须解决水稻的移栽立苗问题,完善其高产栽培技术体系。以往研究表明,免耕麦秸覆盖还田条件下水稻撬窝移栽技术立苗质量高、返青快、分蘖成穗率高、根系分布较深、后期倒伏少、劳动投入和传统水稻栽培技术相当,可降低生产成本;而水稻免耕带式抛秧技术也能有效解决麦秸还田与水稻高效立苗的矛盾<sup>[16]</sup>。在完成水稻移栽立苗后,必须配套高产栽培技术才能充分发挥其产量潜力,其中适宜秸秆还田数量和相应的氮肥管理技术是实现高产的关键。

在四川稻麦两熟区,传统水稻高产栽培的施氮量一般为 N 135 ~ 180 kg/hm<sup>2</sup>。本研究中,在 150 kg/hm<sup>2</sup> 施氮量下,保护性耕作处理花前干物质积累速度、花期叶面积均低于旋耕处理,其原因可能是免耕土壤表层土壤紧实度增加<sup>[14]</sup>,水稻移栽后缓苗时间延长,前期发育受到影响;也有研究表明,秸秆腐解的争氮作用也会影响水稻前期发育,导致抽穗前

营养生长量降低<sup>[17]</sup>。随着秸秆腐解程度的增加,其储存养分逐渐释放,土壤营养物质供应能力增强<sup>[17]</sup>,花后叶片功能期延长,光合产物积累量及在产量形成中占的比例均有增加,最终子粒产量和旋耕没有差异。徐国伟等<sup>[18]</sup>也证实,麦秸还田可以提高水稻灌浆期间的叶片光合速率和根系活力,促进同化物向子粒的运转。因此在氮素供应不充足时保护性耕作对水稻生长发育有“前抑后促”的特点。

在免耕、6000 kg/hm<sup>2</sup> 麦秸还田量下,施氮总量提高至 N 210 kg/hm<sup>2</sup>,水稻生长与秸秆腐解争氮矛盾缓解,水稻分蘖力增强,开花期叶面积和干物质积累增多,产量提高明显。但在增加的产量中,花前贮存物质的转运占主导,花后光合物质积累量增幅较小,产量的增幅小于施氮量的增幅,氮素农学利用率下降,氮素的增产潜力未充分发挥;而麦秸量从 6000 增加到 12000 kg/hm<sup>2</sup> 后,各生育期性状和子粒产量有进一步升高,氮素农学利用率达到最大值。从以上结果分析,氮素和秸秆有着积极互作作用,在较高水平的施氮量下,其增产潜力必须配合一定量的秸秆才能充分发挥。这是麦秸腐解过程中需要固定一部分氮素,在较高施氮量和较低秸秆还田量下,秸秆腐解固定的氮素少,流失增多;增加秸秆还田量,秸秆固定氮素增多,再加上自身的营养物质释放,在生育中后期释放的养分增加,各生育时期均保持较高的营养生长量和较好的群体结构,最终子粒产量增幅明显。有研究认为,秸秆还田量过多会使作物减产,其减产的一个重要原因是秸秆腐解容易引起有害物质的迅速积累<sup>[19-20]</sup>。本研究中采用的是免耕覆盖还田,秸秆腐解相对较慢,有害物质没有大量集中释放。因此在充足氮肥供应条件下,增加覆盖秸秆还田量可以延长氮肥的供应时间,提高氮素利用率,促进水稻产量的进一步提升。

已有研究表明,水稻在生长前期吸收的氮素对中后期的直接作用较小,且水稻对氮素有持续的吸收作用,约占总量的 30%~40% 氮是在水稻拔节以后吸收<sup>[21]</sup>,穗肥的施用与水稻的生理需求相吻合。在 210 kg/hm<sup>2</sup> 施氮量和 6000 kg/hm<sup>2</sup> 还田麦秸量下,将基:穗:穗肥比例由 6:3:1 调整到基:穗为 8:2,增加基肥用量,减少中后期的氮素供应,一方面基肥过多,增大了养分的损失可能性,另一方面在生长中后期养分供应不足营养生长受限,分蘖成穗率下降,花期叶面积和干物质积累降低,产量形成的物质基础减弱。灌浆期氮素供应不足还会降低剑叶光合效率<sup>[22]</sup>。因此,合理的氮素分配比例对于充分发挥保

护性耕作条件下氮肥利用率也有重要的作用。

和旋耕翻埋相比,覆盖方式还田的麦秸腐解速度较缓<sup>[23]</sup>。江永红研究表明,有机肥处理区在单季作物后的氮残留量都在40%以上,明显高于化肥区,有机肥还能提高土壤磷的有效性和交换性钾的含量<sup>[24]</sup>。本研究中在下茬不施肥的情况下,秸秆还田各处理的小麦产量均高于未还田处理,保护性耕作对作物有持续的增产作用。

### 参考文献:

- [1] 王小彬,蔡典雅,华璐,等. 土壤保护性耕作—全球农业可持续发展优先领域[J]. 中国农业科学,2006,39(4): 741-749.  
Wang X B, Cai D Y, Hua L *et al.* Soil conservation tillage—The highest priority for global sustainable agriculture [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2006, 39(4): 741-749.
- [2] 张海林,高旺盛,陈阜,等. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J]. 中国农业大学学报,2005,10(1): 16-20.  
Zhang H L, Gao W S, Chen F *et al.* Prospects and present situation of conservation tillage [J]. *J. China Agric. Univ.*, 2005, 10(1): 16-20.
- [3] Khosla R, Alley M M, Davis P H. Nitrogen management in no-tillage grain sorghum production I. Rate and time of application [J]. *Agron. J.*, 2000, 92: 321-328.
- [4] Cline G R, Silvernail A F. Effect of cover crops, nitrogen, and tillage on sweet corn [J]. *Hort. Tech.*, 2002, 12: 118-125.
- [5] Kwaw-Mensah D, Al-Kaisi M. Tillage and nitrogen source and rate effects on corn response in corn-soybean rotation [J]. *Agron J.*, 2006, 98: 507-513.
- [6] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等. 黄河流域保护性耕作技术的应用现状及特点[J]. 农业环境科学学报,2006,25(S2): 844-847.  
Yan C R, Mei X R, He W Q *et al.* Status and characteristics of conservation tillages in yellow river basin [J]. *J. Agro-Environ. Sci.*, 2006, 25(S2): 844-847.
- [7] 杨青,薛少平,朱瑞祥,等. 中国北方一年两作区保护性耕作技术研究[J]. 农业工程学报,2007,23(1): 40-47.  
Yang Q, Xue S P, Zhu R X *et al.* Conservation tillage techniques for two crops with in one year in North China [J]. *Trans. CSAE*, 2007, 23(1): 40-47.
- [8] 雷金银,吴发启,王健,等. 保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(10): 48-53.  
Lei J Y, Wu F Q, Wang J *et al.* Effects of conservation tillage on soil physical properties and corn yield [J]. *Trans. CSAE*, 2008, 24(10): 48-53.
- [9] 张燕卿,张玉龙. 旱区保护性耕作技术研究进展与应用前景[J]. 干旱地区研究,2009,27(1): 119-121.  
Zhang Y Q, Zhang Y L. Advances an prospect of research on protective tillage techniques in arid areas [J]. *Agric. Res. Arid Areas*. 2009, 27(1): 119-121.
- [10] 汤永禄,黄钢,袁礼勋,等. 稻茬免耕播撒稻草覆盖栽培技术研究 I. 小麦和后作水稻的增产增收效应分析[J]. 西南农业学报,2002, 15(1): 32-37.  
Tang Y L, Huang G, Yuan L X *et al.* Studies on the technology of surface seeding and mulching straw for wheat after rice I. Analysis of yield and benefit effect on wheat and subsequent rice [J]. *Southwest China J. Agric. Sci.*, 2002, 15(1): 32-37.
- [11] 张志国,徐琪,Blevins R L. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响[J]. 土壤学报,1998,35(3): 385-389.  
Zhang Z G, Xu Q, Blevins R L. Influences of long-term mulched no-tillage treatment on some soil physical and chemical properties and corn yields [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1998, 35(3): 385-389.
- [12] 李洪文,高焕文,周兴祥,等. 旱地玉米保护性耕作经济效益分析[J]. 干旱地区农业研究,2002,18(3): 44-49.  
Li H W, Gao H W, Zhou X X *et al.* Economic analysis of maize production in dryland with conservation tillage [J]. *Agric. Res. Arid Areas*, 2002, 18(3): 44-49.
- [13] 刘立晶,高焕文,李洪文. 玉米-小麦一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报,2004,24(5): 70-73.  
Liu L J, Gao H W, Li H W. Conservation tillage for corn-wheat two crops a year region [J]. *Trans. CSAE*, 2004, 24(5): 70-73.
- [14] 李华兴,卢维盛,刘远金,等. 不同耕作方法对水稻生长和土壤生态的影响[J]. 应用生态学报,2001,12(4): 74-77.  
Li H X, Lu W S, Liu J Y *et al.* Effect of different tillage methods on rice growth and soil ecology [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, 12(4): 74-77.
- [15] 吴建富,潘晓华. 水稻免耕栽培研究进展[J]. 中国农学通报,2005,21(11): 88-91.  
Wu J F, Pan X H. Advance on research of rice no-tillage culture [J]. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 2005, 21(11): 88-91.
- [16] 袁亚章,蔡良俊,陈胜. 走道式秸秆还田水稻免耕抛秧栽培技术[J]. 四川农业科技,2007,(7): 24-25.  
Yuan Y Z, Cai L J, Chen S. A simple cultivation technique of rice with cast-transplanting and wheat straw returning to field in the walk-way [J]. *J. Sichuan Agric. Sci. Tech.*, 2007, (7): 24-25.
- [17] 徐国伟,吴长付,刘辉,等. 麦秸还田及氮肥管理技术对水稻产量的影响[J]. 作物学报,2007,33(2): 284-291.  
Xu G W, Wu C F, Liu H *et al.* Effect of wheat residue incorporation and nitrogen management techniques on formation of the grain yield of rice [J]. *Acta Agron. Sin.*, 2007, 33(2): 284-291.
- [18] 徐国伟,吴长付,刘辉,等. 秸秆还田与实地但非管理对水稻产量及品质的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(10): 209-215.  
Xu G W, Wu C F, Liu H *et al.* Effect of straw residue returned and site-specific nitrogen management on yield and quality of rice [J]. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 2006, 22(10): 209-215.
- [19] 王永茂. 秸秆还田对提高土壤肥力和作物产量的影响[J]. 农业系统科学与综合研究,1996,12(3): 200-202.  
Wang Y M. Effect of straw application on soil fertility and grain yield [J]. *Syst. Sci. Comp. Stud. Agric.*, 1996, 12(3): 200-202.
- [20] 叶文培,谢小立,王凯荣,等. 不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响[J]. 中国水稻科学,2008,22(1): 65-70.  
Ye W P, Xie X L, Wang K R *et al.* Effects of rice straw manuring

- in different periods on growth and yield of rice [J]. *Chin. J. Rice Sci.*, 2008, 22(1): 65-70.
- [21] 王绍华,曹卫星,丁艳锋,等. 基本苗数和施氮量对水稻氮吸收与利用的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2003, 26(4): 1-4.  
Wang S H, Cao W X, Ding Y F *et al.* Effects of planting density and nitrogen application rate on absorption and utilization of nitrogen in rice [J]. *J. Nanjing Agric. Univ.*, 2003, 26(4): 1-4.
- [22] 张军,谢兆伟,朱敏敏,等. 不同施氮时期对水稻剑叶光合特性及稻米品质的影响[J]. *江苏农业学报*, 2008, 24(5): 122-127.  
Zhang J, Xie Z W, Zhu M M *et al.* Effects of nitrogen applied at different stages on photosynthetic traits of flag leaf and rice quality [J]. *Jiangsu J. Agric. Sci.*, 2008, 24(5): 122-127.
- [23] 刘世平,陈文林,聂新涛,等. 麦稻两熟地区不同埋深对还田秸秆腐解进程的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1049-1053.  
Liu S P, Chen W L, Nie X T *et al.* Effect of embedding depth on decomposition course of crop residues in rice-wheat system [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2007, 13(6): 1049-1053.
- [24] 江永红,宇振荣,马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. *土壤通报*, 2001, 32(5): 209-213.  
Jiang Y H, Yu Z R, Ma Y L. The effect of stubble return on agro-ecological system and crop growth [J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2001, 32(5): 209-213.