中国水稻科学 (Chinese J Rice Sci), 2007, 21 (2) :167～173
http://www.ricesci.cn ; http://www.ricescience.org

实地氮肥管理下的水稻生长发育和养分吸收特性

刘立军　徐　伟　吴长付　杨建昌*
(扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009 ; E-mail :ljliu@yzu.edu.cn ;* 通讯联系人, E-mail :jcyang@yzu.edu.cn)

Characteristics of Growth, Development and Nutrient Uptake in Rice under Site Specific Nitrogen Management

LIU Li-jun, XU Wei, WU Chang-fu, YANG Jian-chang*
(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China ; E-mail : ljliu@yzu.edu.cn ; * Corresponding author, E-mail : jcyang@yzu.edu.cn)

Abstract : With typical rice cultivars as materials, the growth and development characteristics and nutrient uptake in rice under site specific nitrogen management (SSNM) were studied. SSNM could decrease N rate to a greater extent without any sacrifice in grain yield, when compared with farmers' fertilizer practice (FFP). Number of productive panicles under SSNM was a little lower than that under FFP, but productive tiller rate was much higher under SSNM. Leaf area index (LAI) and root weight were lower under SSNM than those under FFP before panicle initiation, but the results were reversed after heading stage. SSNM increased efficient and high efficient LAI rates at the heading stage, dry matter accumulation from heading to maturity stage, ratio of root to shoot, photosynthetic rate in flag leaves after heading stage and light transmission rate in rice population at the full heading stage. The uptake peaks of N, P, K under SSNM were all from panicle initiation to heading. During this period, the uptakes of N, P, K were about 45.6%－46.2%, 39.6%－43.6%, and 44.2%－45.2% of total at maturity, which were all much higher than those under FFP. Reasons for yield increase and nutrient uptake laws in rice under SSNM were discussed.

Key words : rice ; site specific nitrogen management ; yield ; growth and development ; nutrient uptake

摘　要：以代表性水稻品种为材料,研究了实地氮肥管理模式下水稻的生长发育和养分吸收规律。与农民习惯施肥方法相比,实地氮肥管理在产量不降低甚至有所提高的前提下可以较大幅度地降低施氮量。实地氮肥管理水稻有效穗数有所下降,但其分蘖成穗率明显提高。穗分化前实地氮肥管理水稻叶面积指数和根质量低于农民习惯施肥法,抽穗后结果则相反。实地氮肥管理提高了抽穗期水稻的有效叶面积和高效叶面积的比率、抽穗至成熟的干物质积累、抽穗后根冠比和剑叶的光合速率以及齐穗期群体透光率。实地氮肥管理水稻对氮、磷、钾的吸收高峰均出现在穗分化至抽穗期,此阶段氮、磷、钾的吸收量约占最终总吸收量的45.6%～46.2%、39.6%～43.6%和44.2%～45.2%,均明显高于农民习惯施肥方法。对实地氮肥管理产量提高原因及养分吸收规律进行了讨论。

关键词：水稻；实地氮肥管理；产量；生长发育；养分吸收
中图分类号：S143.1；S147.2；S511.06　　文献标识码：A　　文章编号：1001-7216(2007)02-0167-07

水稻实地氮肥管理技术 (Site specific nitrogen management, SSNM) 是以氮肥管理为中心,多元素配合的水稻优质高产高效的施肥模式。该技术的要点是:依据土壤养分的有效供给量,结合当地土壤和气候特征以及品种特性确定水稻的目标产量,采用施肥决策支持系统确定水稻对氮的需要量和主要生育阶段施氮比例,在水稻主要生育期用快速叶绿素测定仪 (SPAD) 或叶色卡 (LCC) 观测叶片氮素状况并依此指导施肥,从而最大限度地提高肥料利用效率。在东南亚稻区运用这种氮肥管理模式可以使水稻产量提高11%,并可较大幅度地提高氮肥吸收利用率[1-2]。近年来这项技术在我国江苏、浙江、广东和湖南等省进行了试验示范,也取得了类似的研究结果。这为稳定我国的水稻生产以及提高氮肥利用效率起了积极作用[3-5],但是以往关于实地氮肥管理的研究大多集中于该项技术对水稻产量和氮肥利用效率的影响,很少涉及对水稻生长发育和养分吸收特性的作用方面。本研究以代表性水稻品种 (组合) 为材料,较为系统地研究了在实地氮肥管理模式下水稻的生长发育和养分吸收特性,以期为水稻合理氮肥管理和养分资源的高效利用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试验设计

试验于2004－2005年在扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室农场和江苏省里下河地区农业科学研究所试验基地进行。2004年供试材料为常

收稿日期：2006-08-15；修改稿收到日期：2006-11-22。
基金项目：国家自然科学基金资助项目(30370828)；The Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Germany (BMZ) through a Project with the International Rice Research Institute (IRRI)；江苏省农业综合开发科技推广项目(5110614)。
第一作者简介：刘立军(1973－)，男，博士。

规粳稻武育粳 3 号和杂交籼稻汕优 63,2005 年为常规粳稻扬粳 9538 和杂交籼稻汕优 63。5 月 10～12 日播种,6 月 10～14 日移栽,汕优 63 单本栽,武育粳 3 号和扬粳 9538 双本栽。试验设置 2 种氮肥处理,即实地氮肥管理 (SSNM) 和当地农民习惯施肥法 (FFP) 。SSNM 和 FFP 处理的施氮方法及磷、钾肥的施用参见前文[5] 。

试验采用随机区组设计,小区面积 30 m^2,行株距为 20 cm × 20 cm,重复 4 次。小区间筑埂并用地膜包埂隔离。两年结果趋势基本一致,文中重点报告 2004 年的研究结果。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 茎蘖数与株高

每小区定点 10 穴,自移栽后 1 周起每周观察记录茎蘖数,同时测定株高。

1.2.2 干物质量和根系干质量

分别于分蘖中期、幼穗分化期、孕穗期 (以剑叶全展为准) 、抽穗期和成熟期每小区以每穴根茬为中心,按长、宽、深分别为 20 cm、10 cm、20 cm 挖取 12 穴,从分蘖节处剪开分为地上部和地下部。地上部植株用于测定叶面积和干物质量,保留样本用于植株氮、磷、钾含量的测定。地下部装入尼龙袋中,用流水冲净,烘干测定根系干质量。

1.2.3 叶面积

用 LICOR-3000A 型叶面积仪测定叶面积。抽穗期按凌启鸿等方法[6] 测定有效叶面积和高效叶面积,计算有效叶面积和高效叶面积比率。

1.2.4 叶片光合速率

于抽穗期、抽穗后 10 d 和抽穗后 30 d 用 LI-COR-6400 光合仪测定剑叶的光合速率,每小区测定 5 张叶片,以平均值表示。

1.2.5 群体透光率

在齐穗期用 LICOR-250 光度计测定距地面 30 cm、60 cm 和高于冠层 20 cm 处的光照强度,以前两者与后者的比值分别表示 30 cm 和 60 cm 处的群体透光率,每小区测定 3 个点,以平均值表示。

1.2.6 氮、磷、钾含量的测定

分别采用凯氏定氮法[7] 、钒钼黄比色法和火焰分光光度计法[8] 测定植株氮、磷、钾含量。

1.2.7 产量及其构成

成熟期每小区取样 12 穴考种,实收 5 m^2 计产。

2 结果与分析

2.1 实地氮肥管理水稻的施氮量和产量

汕优 63 两年 (2004 年和 2005 年) 实地氮肥管理 (SSNM) 的施氮量均为 110 kg/hm^2,而两常规粳稻品种为 100～140 kg/hm^2,分别较农民习惯施肥法 (FFP) 少了 130 kg/hm^2 和 130～170 kg/hm^2,减幅分别达 54.2% 和 48.1%～63.0%。SSNM 的施肥次数也比 FFP 少了 1 次 (表 1) 。

表 1 实地氮肥管理水稻施氮量

Table 1. N rate of site specific nitrogen management in rice.

年份 Year	品种和处理 Cultivar and treatment	第 1 次施氮 1st N application		第 2 次施氮 2nd N application		第 3 次施氮 3rd N application		第 4 次施氮 4th N application		合计 Total N rate
		时间 DAT/d	施氮量 N rate /(kg · hm^{-2})	时间 DAT/d	施氮量 N rate /(kg · hm^{-2})	时间 DAT/d	施氮量 N rate /(kg · hm^{-2})	时间 DAT/d	施氮量 N rate /(kg · hm^{-2})	/(kg · hm^{-2})
2004	汕优 63 Shanyou 63									
	SSNM	0	50	12	30	35	30			110
	FFP	0	144	9	24	51	36	60	36	240
	武育粳 3 号 Wuyujing 3									
	SSNM	0	50	12	20	43	30			100
	FFP	0	160	9	30	43	60	56	20	270
2005	汕优 63 Shanyou 63									
	SSNM	0	50	12	30	35	30			110
	FFP	0	144	8	24	50	36	60	36	240
	扬粳 9538 Yangjing 9538									
	SSNM	0	50	12	40	42	50			140
	FFP	0	160	8	30	42	60	57	20	270

DAT—移栽后天数,移栽当天 DAT 为 0。SSNM—实地氮肥管理;FFP—农民习惯施肥法。下同。

DAT, Days after transplanting, DAT of transplanting was 0. SSNM, Site specific nitrogen management; FFP, Farmers' fertilizer practice. The same as in the tables below.

表 2 实地氮肥管理水稻产量及其构成因素

Table 2. Grain yield and its components of site-specific nitrogen management in rice.

年份 Year	品种和处理 Cultivar and treatment	单位面积穗数 No. of panicles per square meter	每穗粒数 No. of spikelets per panicle	结实率 Seed setting rate/%	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Grain yield /(kg·hm^{-2})
2004	汕优 63 Shanyou 63					
	SSNM	238.6	173.4	76.4	30.2	9558.3*
	FFP	251.1	152.4	73.4	31.1	8742.0
	武育粳 3 号 Wuyujing 3					
	SSNM	318.3	93.1	88.6	28.1	7384.5
	FFP	388.8	78.5	86.7	27.9	7373.0
2005	汕优 63 Shanyou 63					
	SSNM	255.4	166.0	70.2	29.4	8750.1*
	FFP	261.7	157.2	67.9	29.6	8268.3
	扬粳 9538 Yangjing 9538					
	SSNM	285.8	158.0	77.0	23.7	8240.6*
	FFP	292.4	155.2	72.4	23.4	7688.2

* 表示在 0.05 水平上差异显著(同一品种同一年度内比较)。下同。

* Significant difference at 0.05 level, compared within the same cultivar and the same year. The same as in the tables below.

两年的产量结果表明(表 2),除 2004 年武育粳 3 号 SSNM 处理与 FFP 相比增产未达显著水平外,其余 SSNM 均较 FFP 显著增产。从产量构成因素分析,SSNM 处理的单位面积穗数有所降低,但每穗粒数和结实率均较 FFP 处理有不同程度提高,且每穗粒数和结实率增加之得超过了单位面积穗数减少之失,这是其增产的主要原因。

2.2 实地氮肥管理水稻生长发育动态

2.2.1 茎蘖消长动态

自移栽后 7 d 起,汕优 63 两个处理的茎蘖数快速增加,并在移栽后 30 d 左右达到最大值,然后开始逐步下降。FFP 处理的最高茎蘖数明显大于 SSNM处理,且其下降速度快于 SSNM 处理,最终 FFP 处理成穗数略高于 SSNM 处理,但两者差异不显著。武育粳 3 号的变化趋势与汕优 63 基本一致,但其 FFP 处理最终成穗数明显高于 SSNM 处理(图 1)。两品种 SSNM 处理的茎蘖成穗率为 72.8%～80.0%,显著高于 FFP 处理的 65.8%～68.0%。

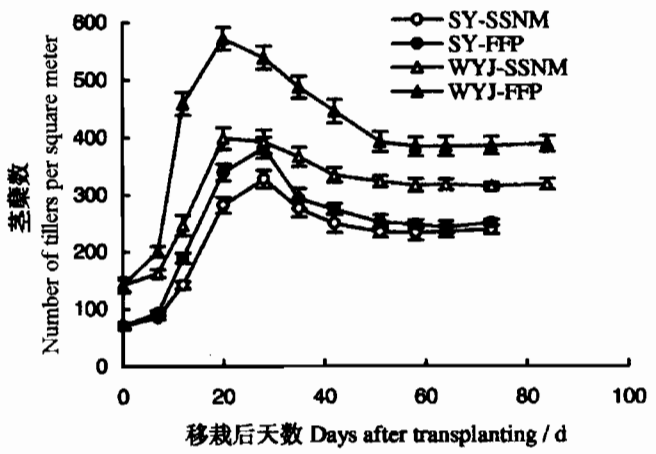


图 1 水稻茎蘖动态

Fig. 1. Dynamics of tillers in rice.

SY 和 WYJ 分别表示汕优 63 和武育粳 3 号。下同。

SY and WYJ represent Shanyou 63 and Wuyujing 3, respectively. The same as in the figures below.

2.2.2 株高变化

自移栽至齐穗,水稻的株高不断增加,FFP 处理的株高均略高于 SSNM 处理。汕优 63 和武育粳 3 号两个品种的变化趋势一致(图 2)。

2.2.3 叶面积指数

图 3 为水稻各生育期叶面积指数(LAI)的变化状况。由图 3 可以看出,两品种的 LAI 均在孕穗至抽穗达最大值。与 FFP 处理比较,SSNM 处理生育前期(穗分化以前)群体的 LAI 低于 FFP 处理,但自孕穗至抽穗,SSNM处理的LAI明显高于FFP

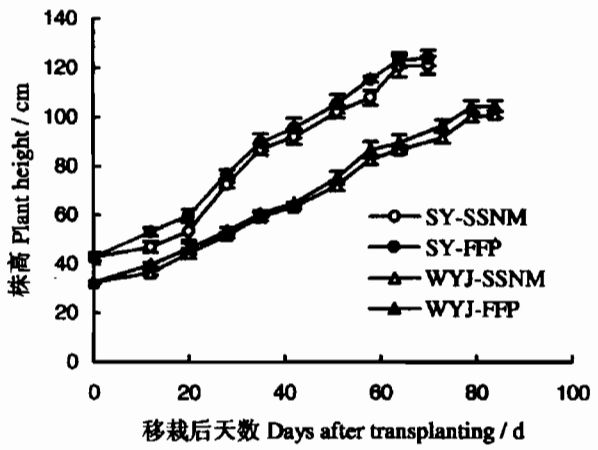


图 2 水稻株高变化

Fig. 2. Changes of plant height in rice.

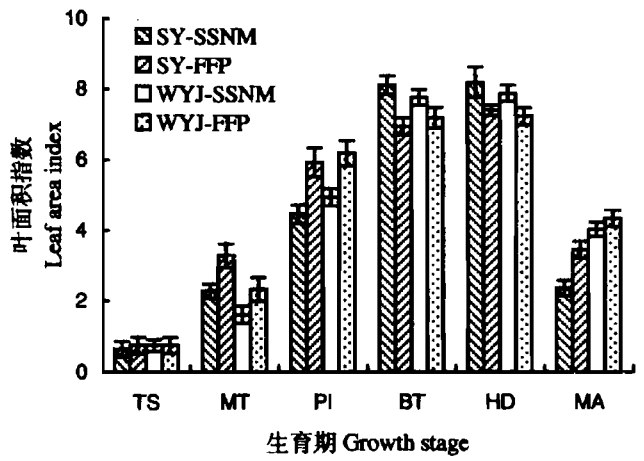


图 3 水稻群体 LAI 变化动态

Fig. 3. Dynamics of leaf area index in rice.

TS－移栽；MT－分蘖中期；PI－幼穗分化期；BT－孕穗期；HD－抽穗期；MA－成熟期。下同。

TS, Transplanting; MT, Mid-tillering; PI, Panicle initiation; BT, Booting; HD－Heading; MA－Maturity. The same as in the figures below.

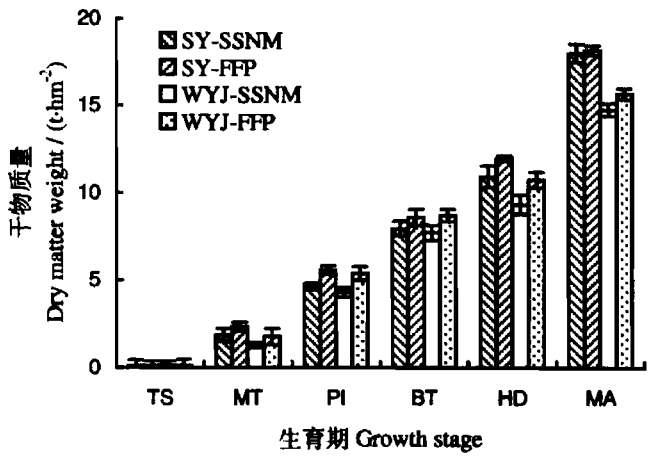


图 4 水稻群体干物质积累动态

Fig. 4. Dynamics of dry matter accumulation in rice.

处理。此外，SSNM 处理水稻抽穗期有效 LAI、高效 LAI 及其占 LAI 的比率均高于 FFP 处理(表 3)。

2.2.4 干物质积累

SSNM 和 FFP 两处理自移栽到成熟，群体的干物质积累呈逐步增加趋势，特别是在分蘖期至孕穗期和抽穗期至成熟期两个阶段，群体干物质量快速增长。两处理间相比，FFP 各个时期的干物质量均高于 SSNM 或与 SSNM 相近(图 4)。

表 4 为不同氮肥处理水稻抽穗至成熟干物质积累状况。从表 4 中可以看出，两个品种抽穗至成熟期干物质积累量和抽穗至成熟期积累量占成熟期总干物质量的比例均表现为 SSNM 处理高于 FFP 处理，说明 SSNM 处理提高了抽穗至成熟期群体干物质增长量。

2.2.5 根质量和根冠比

图 5 为汕优 63 和武育粳 3 号整个生育期根质量的变化动态。两个品种的根质量在抽穗前随着生育进程直线上升，在抽穗期达到最大值，然后开始下降。SSNM 与 FFP 处理变化趋势一致。抽穗前 FFP 处理的根质量大于 SSNM 处理，抽穗后则相反。整个生育过程中水稻根冠比呈下降趋势(图 6)。根冠比的大小表现为 SSNM 处理高于 FFP 处理，且处理间差异显著。

2.2.6 剑叶光合速率

自抽穗期开始，剑叶的光合速率逐步下降(图 7)。汕优 63 抽穗期 SSNM 处理剑叶的光合速率高于 FFP 处理，而武育粳 3 号抽穗期 SSNM 和 FFP 两个处理的剑叶光合速率无显著差异。两个品种叶片的光合速率在抽穗后 30 d 均表现为 SSNM 处理显著高于 FFP 处理，表明 SSNM 有利于提高结实中后期水稻的光合生产能力。

2.2.7 群体透光率

在齐穗期，SSNM 处理汕优 63 和扬粳 9538 距地面 30 cm 处的群体透光率较 FFP 高出 86.7%～165.7%，60 cm 处则高出 32.4%～50.6%，差异均达显著水平(图 8)。在同一时期对纹枯病发生情况的调查表明，FFP 和 SSNM 处理纹枯病的发病株数分别为 93.5%～94.3%和 36.4%～84.0%，前者的病情指数也均显著高于后者(表略)。

2.3 实地氮肥管理水稻养分吸收动态

水稻各生育期的氮素吸收变化见图 9。不同品

表 3 实地氮肥管理水稻的有效叶面积和高效叶面积

Table 3. Efficient and high efficient leaf area index of rice under site-specific nitrogen management.

品种 Cultivar	处理 Treatment	叶面积指数 LAI	有效 LAI Efficient LAI	高效 LAI High efficient LAI	有效叶面积比率 Efficient LAI rate/%	高效叶面积比率 High efficient LAI rate/%
汕优 63 Shanyou 63	SSNM	8.17*	7.81*	5.89*	95.54*	72.10*
	FFP	7.38	6.21	4.82	84.11	65.33
武育粳 3 号 Wuyujing 3	SSNM	7.86*	7.33*	5.51*	93.25*	70.15*
	FFP	7.21	5.92	4.50	82.10	62.44

表 4　实地氮肥管理水稻抽穗至成熟的干物质积累

Table 4. Dry matter accumulation from heading to maturity in rice under site-specific nitrogen management.

品种 Cultivar	处理 Treatment	干物质量 Dry matter weight /(t·hm^{-2})			抽穗至成熟期干物质积累量/总干物质量 Percentage of dry matter accumulation from heading to maturity to total dry matter accumulation /%
		抽穗期 Heading	成熟期 Maturity	抽穗至成熟期 From heading to maturity	
汕优 63 Shanyou 63	SSNM	10.93	18.03	7.10*	39.38*
	FFP	11.99*	18.21	6.22	34.16
武育粳 3 号 Wuyujing 3	SSNM	9.35	14.77	5.42*	36.70*
	FFP	10.76*	15.69*	4.93	31.42

种及不同产量水平水稻的吸氮趋势基本相同。自移栽至幼穗分化，水稻的氮素吸收量较低，自幼穗分化至抽穗，水稻的吸氮量增加较快，抽穗后的吸氮量增幅有所下降。不同处理间成熟期吸氮量的大小表现为 FFP 处理高于 SSNM 处理。

从图 10 可以更加清晰地看出，水稻的吸氮高峰均集中在幼穗分化至抽穗期。SSNM 处理两水稻品种全生育期吸氮量为 152.7～181.7 kg/hm^2，其中移栽至分蘖中期吸氮量为 26.5～34.9 kg/hm^2、分蘖中期至幼穗分化期为 31.2～38.3 kg/hm^2、幼穗分化至抽穗期为 69.7～83.9 kg/hm^2、抽穗至成熟期为 22.4～22.9 kg/hm^2，分别占总吸氮量的 17.3%～19.2%、20.4%～21.1%、45.6%～46.2% 和 12.3%～15.0%。FFP 处理两品种整个生育期总吸氮量为 204.3～218.8 kg/hm^2，其中移栽至分蘖中期、分蘖中期至幼穗分化期、幼穗分化至抽穗期以及抽穗至成熟期 4 个阶段吸氮量占总吸氮量的比例分别为 21.5%～23.1%、25.6%～30.6%、

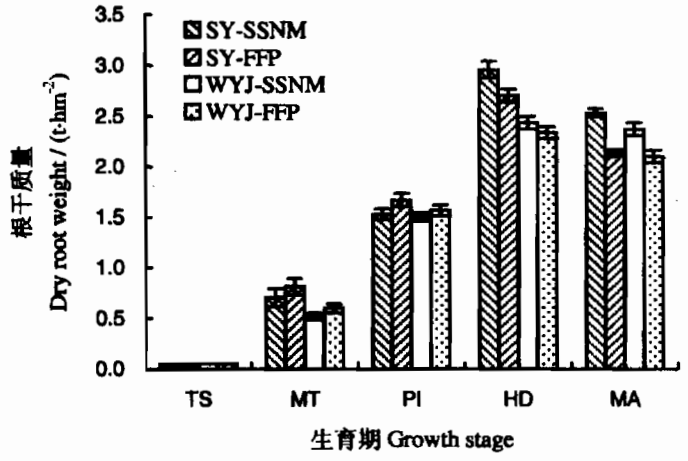


图 5　水稻根系干质量动态

Fig. 5. Dynamics of dry root weight in rice.

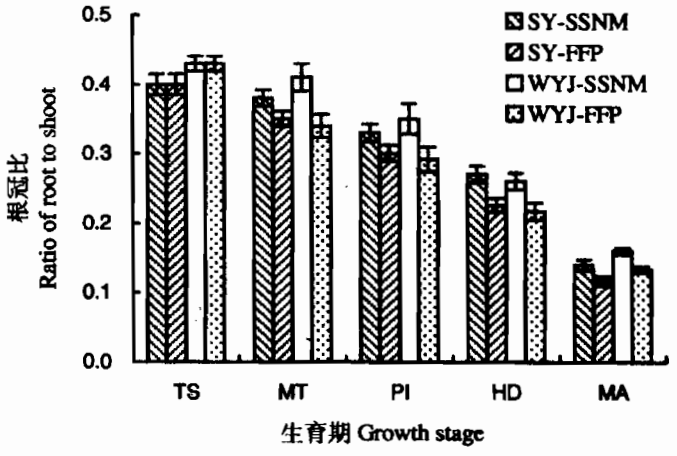


图 6　水稻根冠比变化动态

Fig. 6. Dynamics of ratio of root to shoot in rice.

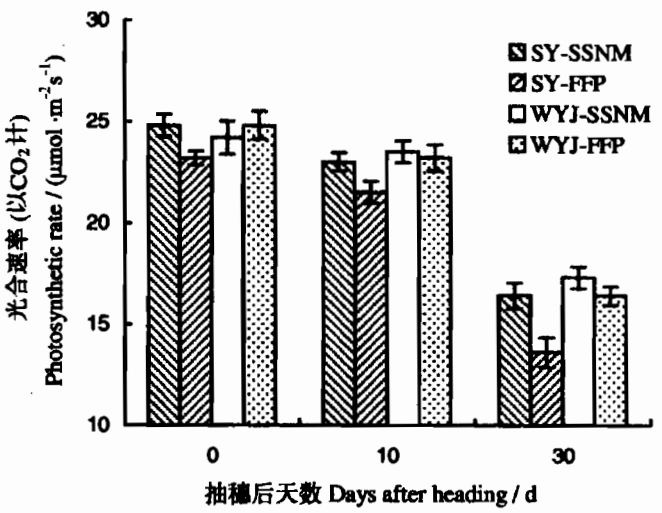


图 7　剑叶光合速率的变化

Fig. 7. Changes of photosynthetic rate in flag leaves.

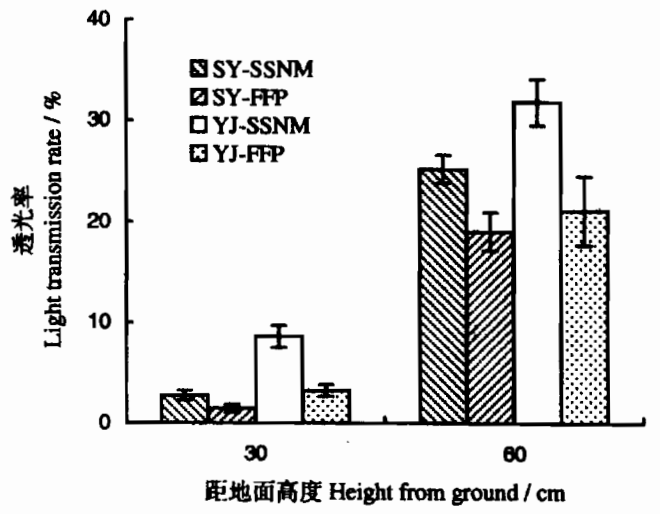


图 8　齐穗期水稻群体透光率（2005 年）

Fig. 8. Light transmission rate of rice population at the full heading stage(2005).

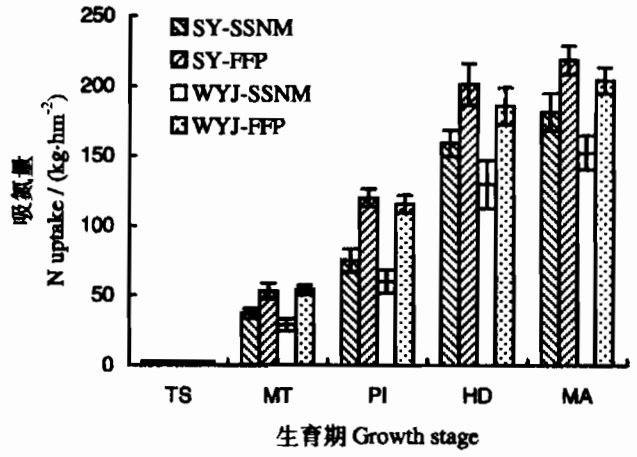


图 9 水稻吸氮量的变化

Fig. 9. Changes of N uptake in rice.

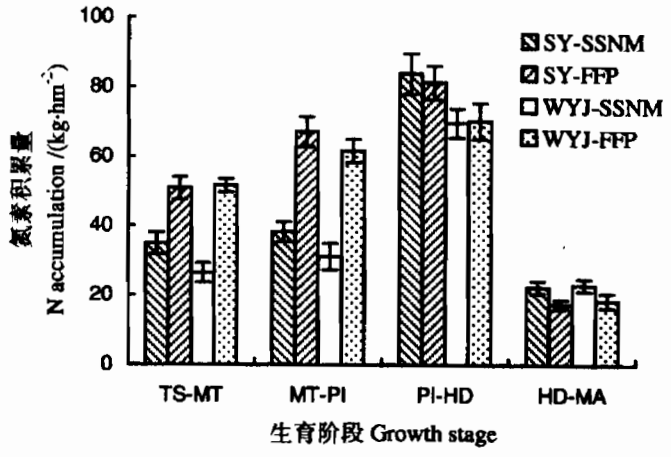


图 10 不同生育阶段水稻氮素积累的变化

Fig. 10. Changes of N accumulation during different periods.

29.2%～37.2%和 7.7%～8.0%。与 FFP 处理相比,SSNM 处理生育前期(幼穗分化以前)的吸氮比例较低,而生育中后期(尤其是幼穗分化至抽穗期)吸氮所占比例较高。

水稻磷、钾素的吸收特征和吸氮特征基本相似,吸收高峰也均出现在幼穗分化至抽穗期。在此阶段,SSNM 处理两个品种磷的吸收量约占最终总吸收量的 39.6%～43.6%,钾为 44.2%～45.2%,而 FFP 处理磷、钾的吸收量分别约占最终总吸收量的 35.4%～38.1%和 32.3%～35.5%,均明显低于 SSNM 处理(资料略)。

3 讨论

本研究表明,实地氮肥管理模式在水稻产量不降低甚至有所增加的前提下较大幅度降低氮肥用量是可能的,这与以往研究结果一致[4-5,9]。从水稻产量构成因素来看,实地氮肥管理每穗粒数和结实率均较农民习惯施肥方法有了不同程度的提高,这是它保持较高产量的重要原因,但由于其基肥用量较农民习惯施肥法大幅度降低,其最终成穗数有所下降,导致部分穗形较小的水稻品种(如武育粳 3 号)的总颖花量下降,这可能也是限制其产量水平进一步提高的重要原因。根据品种分蘖能力不同,适当增加分蘖能力较弱的水稻品种的基肥用氮量,有可能进一步提高实地氮肥管理水稻的产量。

我们观察到,实地氮肥管理模式提高了水稻群体抽穗至成熟期的干物质积累量。前人研究指出,抽穗至成熟期群体光合生产量是衡量水稻群体质量的核心指标,不同水稻品种的产量与成熟期干物质量和抽穗至成熟期群体干物质积累量呈显著的线性相关[10-14]。我们对 2 个品种 8 种氮肥处理的研究结果也证明了这一点[15]。从本研究结果分析,实地氮肥管理抽穗至成熟期干物质量的提高,其原因主要有以下三个方面:一是由于抽穗及以后,实地氮肥管理水稻根质量和根冠比较高,地上部与地下部发展较为协调;二是抽穗后实地氮肥管理水稻叶片的光合速率较高,这可能是其干物质积累量较高的重要生理原因;三是实地氮肥管理抽穗期叶面积指数较为适宜。以往的研究指出,高产水稻群体必须有一个适宜的最大叶面积指数,它是协调源库关系和各器官平衡发展的基础[6]。在本试验实地氮肥管理模式条件下,籼稻和粳稻的最大叶面积指数分别为 8.2 和 7.9,这与刘立军[15]提出的超高产水稻群体叶面积指数最大值的指标相一致。除了适宜的叶面积指数外,较高的有效叶面积和高效叶面积比率也是实地氮肥管理水稻抽穗至成熟干物质积累较高的重要原因。

本研究也观察到,实地氮肥管理水稻群体透光率明显优于农民习惯施肥方法,这一方面改善了水稻生长状况,有利于延缓衰老,另一方面由于改善了透光条件,也直接或间接降低了纹枯病等病害的发生,这可能也是其增产的另一个重要原因。

凌启鸿等研究指出[6],水稻有效分蘖临界期以前的吸氮量、拔节至抽穗期的吸氮量和抽穗至成熟期的吸氮量 3 个因素对抽穗后的物质生产量有极显著作用,而其中以拔节至抽穗期的吸氮量的作用最大。本试验结果表明,实地氮肥管理模式水稻氮、磷、钾的吸收高峰均在幼穗分化至抽穗期,在这一阶段上述 3 种养分的吸收量占总吸收量的比例分别为 45.6%～46.2%、39.6%～43.6%、44.2%～45.2%,均明显高于农民习惯施肥处理。本试验在江苏省无锡市 2 年共计 20 个农户田块的试验也证

明了这一点[15]。这一方面有利于提高水稻产量，另一方面对提高水稻养分资源的利用效率也起了积极作用。

参考文献：

[1] Dobermann A, Witt C, Dawe D, et al. Site specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Res*, 2002, 74：37-66.

[2] Dobermann A, Witt C. The evolution of site specific nutrient management in irrigated rice systems of Asia//Dobermann A, Witt C. Increasing Productivity of Intensive Rice Systems Through Site Specific Nutrient Management. Los Banos, Philippines：International Rice Research Institute, 2004：75-100.

[3] 王光火，张奇春，黄昌勇. 提高水稻氮肥利用率、控制氮肥污染的新途径——SSNM. 浙江大学学报：农业与生命科学版，2003，29(1)：67-70.

[4] Liu L J, Sang D Z, Liu C L, et al. Effects of real-time and site specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency. *Agric Sci China*, 2004, 3(4)：262-268.

[5] 刘立军，徐 伟，桑大志，等. 实地氮肥管理提高水稻氮肥利用效率. 作物学报，2006，32(7)：987-994.

[6] 凌启鸿. 作物群体质量. 上海：上海科学技术出版社，2000：77-85.

[7] Bremner J M, Mulvaney C S. Nitrogen total//Page A L. Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monograph 9. 2nd ed. Madison, WI：ASA and SSSA, 1982：595-624.

[8] 南京农业大学. 土壤农化分析. 北京：农业出版社，1990.

[9] 刘立军，徐 伟，徐国伟，等. 水稻实地氮肥管理技术节氮效果及其机理. 江苏农业学报，2005，21(3)：155-161.

[10] 凌启鸿，张洪程，苏祖芳，等. 稻作新理论——水稻叶龄模式. 北京：科学出版社，1994.

[11] 凌启鸿，苏祖芳，张海泉. 水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究. 作物学报，1995，21(4)：464-469.

[12] 夏有龙，周立达，蔡建中. 水稻高产群体质量优化调控技术及示范作用. 江苏农业科学，1995(1)：1-5.

[13] 郭万胜，王曙光. 氮肥施用对水稻产量及群体质量的影响. 耕作与栽培，2005(2)：40-41.

[14] 苏祖芳，王辉斌，杜永林，等. 水稻生育中期群体质量与产量形成的研究. 中国农业科学，1998，31(6)：19-25.

[15] 刘立军. 水稻氮肥利用效率及其调控途径[博士学位论文]. 扬州：扬州大学，2005.