

# 养分管理方式对江苏常规粳稻产量和氮素利用率的影响<sup>①</sup>

侯朋福<sup>1</sup>, 李刚华<sup>1</sup>, 张国发<sup>1,2</sup>, 张俊<sup>1</sup>, 刘正辉<sup>1</sup>, 王绍华<sup>1</sup>, 丁艳锋<sup>1\*</sup>

(1 南京农业大学, 农业部南方作物生理生态重点开放实验室, 南京 210095;

2 大庆师范学院, 黑龙江大庆 163712)

**摘要:** 以常规粳稻徐稻 3 号为供试材料, 设置不同养分管理试验, 研究了养分管理措施对水稻产量、叶面积指数、齐穗期株型以及氮素利用效率的影响。结果表明, 通过养分优化管理, 能有效提高江苏常规粳稻产量和氮素利用率。与当地高产模式相比, 高产高效模式(合理投入获得高产)增收效益最为明显, 较其增收 4366.5 元/hm<sup>2</sup>, 氮素利用率从 17.7% 提高到了 36.1%。

**关键词:** 产量; 株型; 群体质量; 氮素利用率

**中图分类号:** S143.1; S147.2

近 50 年来, 我国农业生产取得了举世瞩目的成就, 以世界 7% 的耕地养活了占世界 22% 的人口, 粮食单产和总产均大幅度提高, 其中化肥养分投入发挥了巨大的作用; 但近年来我国水稻生产产量增长迟缓, 肥料、水分投入大、利用率低等问题逐渐显现<sup>[1-4]</sup>。研究显示我国水稻的平均氮肥农学效率为 10.4 kg/kg, 最低仅为 6.4 kg/kg, 氮肥回收效率仅为 28.3%, 在水稻主产国中几乎最低<sup>[5-8]</sup>。而江苏省水稻的氮肥吸收利用率显著低于全国平均水平<sup>[9]</sup>。大量化肥的投入, 也对环境产生严重影响, 引起了世界的关注。同时, 大量有机养分资源再循环利用效率低下, N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 的养分再循环率分别为 29.2%、43.5% 和 66.1%<sup>[10-11]</sup>。因此, 对养分进行优化管理、保持养分的合理流动和循环是农业可持续发展的基础。植物养分综合管理 (IPNM) 是由联合国粮农组织 (FAO) 和一些西方国家于 20 世纪 90 年代首先提出的<sup>[12]</sup>。目前已有研究者提出了不同的养分管理模式<sup>[13-18]</sup>, 本课题从以往的研究中总结出几种代表性养分管理方式, 在江苏粳稻典型种植区苏北稻区进行试验, 比较不同方式对江苏粳稻的实际效应, 并分析原因, 揭示不同养分管理方式水稻的吸肥规律, 以期为江苏水稻高产高效提出最佳养分管理方式, 并希望以此减少对环境的污染, 增加产值, 提高秸秆还田效益和肥料利用率。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点及方法

试验于 2008—2009 年在江苏省东海县试验农场

(东经 120°43', 北纬 32°00') 进行。试验田前茬为小麦, 土壤主要理化特性如下: 有机质 37.68 g/kg、全氮 1.8 g/kg、全磷 0.31 g/kg、全钾 2.2 g/kg、速效磷 21.23 mg/kg、速效钾 167.99 mg/kg。

试验采用大田育苗移栽, 随机区组排列, 4 次重复, 小区面积 64 m<sup>2</sup>, 小区间作埂用塑料薄膜压至犁底层隔离防渗。每个小区单设进、排水口。水稻栽插规格为 30 cm × 13.3 cm, 每穴定植 2 株。2009 年播种期为 5 月 24 日, 秧龄 25 天。除当地高产模式按当地水分管理模式外, 其他处理移栽后活棵期间, 灌 2~3 cm 浅水层。达到预定穗数的 80% 时开始, 进行分次搁田。按照高产栽培要求控制病虫害。试验设置以下 6 个养分管理方案:

氮空白区 (N<sub>0</sub>P<sub>75</sub>K<sub>75</sub>) (I): 氮、磷、钾肥用量分别为 0、75、75 kg/hm<sup>2</sup>, 磷、钾肥一次性基施。

当地高产模式 (N<sub>315</sub>P<sub>75</sub>K<sub>75</sub>) (II, 对照): 氮、磷、钾肥用量分别为 315、75、75 kg/hm<sup>2</sup>; 氮肥分基肥、分蘖肥、穗肥 3 次施用, 施用比例为 4:2:4, 磷、钾肥一次性基施。

高效模式 (N<sub>180</sub>P<sub>75</sub>K<sub>75</sub>) (III, 低量化肥投入、优化前后期施用比例的栽培模式): 氮、磷、钾肥用量分别为 180、75、75 kg/hm<sup>2</sup>; 氮肥分基肥、分蘖肥、促花肥、保花肥 4 次施用, 施用比例为 5:3:5:5, 磷肥一次性基施, 钾肥于拔节期施用。

超高产模式 (N<sub>300</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub>) (IV, 高量化肥投入获得高产): 氮、磷、钾肥用量分别为 300、90、120 kg/hm<sup>2</sup>, 有机肥用量为 1800 kg/hm<sup>2</sup>; 氮肥分基肥、分蘖肥、促

①基金项目: 农业部公益性行业科研专项项目 (200803030) 资助。

\* 通讯作者 (dingyf@njau.edu.cn)

作者简介: 侯朋福 (1986—), 男, 山东高密人, 硕士研究生, 主要从事作物生理生态研究。E-mail: 2009101050@njau.edu.cn

花肥、保花肥 4 次施用，施用比例为 4:2:2:2，磷肥、有机肥一次性基施，钾肥分基肥和拔节肥两次施用。

再高产高效模式 (N<sub>240</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub>) (V, 合理投入获得高产，是超高产模式的改进栽培方式，目的是在超高产基础上降低化肥投入在超高产基础上获得高效)：氮、磷、钾肥用量分别为 240、90、120 kg/hm<sup>2</sup>，有机肥用量为 1 800 kg/hm<sup>2</sup>；氮肥分基肥、分蘖肥、促花肥、保花肥 4 次施用，施用比例为 4:2:2:2，磷肥、有机肥一次性基施，钾肥分基肥和拔节肥两次施用。

高产高效模式 (N<sub>210</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub>) (VI, 合理投入获得高产，是高效模式的改进栽培方式，目的是在高效基础上增加化肥投入获得高产)：小麦秸秆全量还田，氮、磷、钾肥用量分别为 210、90、120 kg/hm<sup>2</sup>；氮肥分基肥、分蘖肥、促花肥、保花肥 4 次施用，施用比例为 5:4:7:5，磷肥一次性基施，钾肥分基肥和拔节肥两次施用，麦秆于水稻移栽后人工踩入小区内。

试验所用氮肥为尿素，磷肥为过磷酸钙，钾肥为氯化钾。

### 1.2 采样与测定方法

(1) 植株干物质质量。分别在拔节期、倒 2 叶期、抽穗期、穗后 20 天、成熟期各小区普查取样测定地上部植株干物质质量。

(2) 产量和产量结构。收获前各小区取代表性样品考察穗粒结构。

(3) 叶面积指数。用叶长宽法 (小叶样法) 测定样品叶面积，折算叶面积指数 (LAI)。

(4) 齐穗期株型。齐穗期在田间每小区用直尺量 10 个单茎的株高及剑叶至倒 3 叶的叶长和叶宽，用量角

器量叶基角。用 Sunscan 测定光合有效辐射 (PAR)，测定方法为午后 12:00—14:00，行间纵向每隔 25 cm 测定。

### 1.3 统计分析方法

收获指数 (HI) = 成熟期籽粒干重/成熟期植株总干重

氮肥农学利用率 (AE<sub>N</sub>) (kg/kg) = (施氮区产量 (kg/hm<sup>2</sup>) - 不施氮区产量 (kg/hm<sup>2</sup>)) / 施氮量 (kg/hm<sup>2</sup>)

氮肥偏生产率 (PFP<sub>N</sub>) (kg/kg) = 施氮区产量 (kg/hm<sup>2</sup>) / 施氮量 (kg/hm<sup>2</sup>)

氮素吸收利用率 (RE<sub>N</sub>) (%) = (施氮区氮吸收量 (kg/hm<sup>2</sup>) - 不施氮区氮吸收量 (kg/hm<sup>2</sup>)) / 施氮量 (kg/hm<sup>2</sup>) × 100

氮素收获指数 (NHI) = 成熟期单位面积植株穗部氮积累量 / 植株氮积累量

透光率 = 齐穗期下部 PAR/上部 PAR

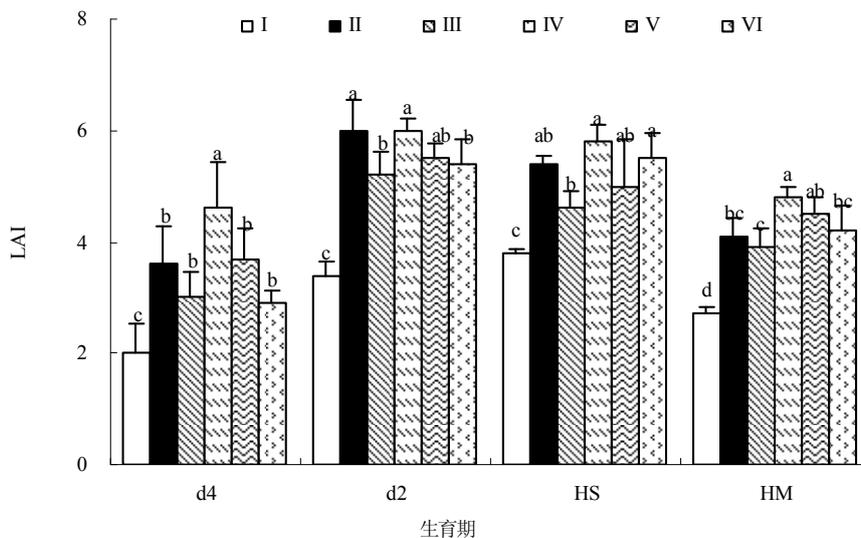
比叶重 (SLW) = 叶干物质质量 (g) / 叶单面面积 (cm<sup>2</sup>)

常规数据处理和作图在 Excel2003 中进行，方差分析在 SPSS13.0 中进行。2008、2009 年各试验处理相同，趋势相同，故本文只分析 2009 年的研究结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 养分管理方式对江苏水稻叶面积指数的影响

从徐稻 3 号对不同养分管理模式的表现上来看，拔节期、倒 2 叶期、抽穗期养分投入较大的当地高产模式 (对照)、超高产模式处理的 LAI 较大，并与其他处理间差异显著，基本趋势为 IV > II > V > VI > III > I。穗后 20 天当地高产栽培模式 LAI 下降明显，仅高于高效模式 (图 1)。



(d4: 倒 4 叶期, d2: 倒 2 叶期, HS: 抽穗期, HM: 穗后 20 天; 柱形图上方不同小写字母表示同一时期不同处理间在 P < 0.05 水平差异显著 (LSD)。下同)

图 1 养分管理方式对江苏水稻叶面积指数的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on dynamic of LAI for japonica rice

## 2.2 养管理方式对江苏水稻抽穗期株型的影响

养管理方式对徐稻 3 号的齐穗期株型特征影响明显 (表 1)。倒 1 叶叶角  $15.8^{\circ} \sim 21.3^{\circ}$ , 倒 2 叶叶角  $18.6^{\circ} \sim 25.6^{\circ}$ , 倒 3 叶叶角  $22.9^{\circ} \sim 32.1^{\circ}$ 。此外, 表 1 数据还表明, 当地高产模式 (II) 顶部 3 片叶叶长、叶宽、叶角均较小。透光率分析表明, 随着养分投入增加, 透光率有降低趋势, 但处理间差异不显著。比叶重 (SLW) 差异以当地高产模式 (II) 和超高产模式 (IV) 较低, 而高效模式 (III) 最高。

## 2.3 养管理方式对江苏水稻干物质积累动态的影响

结果表明, 不同养管理方式下的干物质积累动态差异明显 (图 2)。倒 4 叶期, 不同管理方式干物质积累量差异显著, 其中超高产模式最高, 达  $4.1 \text{ t/hm}^2$ 。倒 2 叶期至抽穗期, 不同处理间差异不显著。抽穗后,

当地高产模式 (II) 抽穗后干物质积累量较少, 仅为  $15.1 \text{ t/hm}^2$ , 显著低于其他养分处理, 再高产高效模式 (V) 与高产高效模式 (VI) 管理方式增量较大, 抽穗至成熟期增量分别为  $8.8$ 、 $7.1 \text{ t/hm}^2$ 。

## 2.4 养管理方式对江苏水稻产量及产量构成因子的影响

由表 2 可知, 徐稻 3 号基础产量为  $7.9 \text{ t/hm}^2$ , 当地高产模式 (II) 产量显著低于其他几种处理, 其他处理间产量差异未达显著水平, 但增产趋势明显, 增产幅度达  $24.91\% \sim 32.7\%$ 。超高产模式处理 (IV) 颖花量最高, 为  $48900 \text{ 朵/m}^2$ , 但结实率 ( $77.6\%$ )、千粒重 ( $26.2 \text{ g}$ ) 较低, 产量较低 ( $9.93 \text{ t/hm}^2$ )。再高产高效模式 (V) 颖花量较高 ( $48300 \text{ /m}^2$ ), 结实率、千粒重亦较高, 产量最高, 为  $10.6 \text{ t/hm}^2$ , 高产高效模式 (VI) 产量居次, 为  $10.2 \text{ t/hm}^2$ 。

表 1 不同养管理方式下的株型

Table 1 The plant type traits under different fertilization treatments

处理	株高 (cm)	倒 1 叶			倒 2 叶			倒 3 叶			透光率	SLW ( $\text{g/m}^2$ )
		叶长	叶宽	叶角	叶长	叶宽	叶角	叶长	叶宽	叶角		
		(cm)	(cm)	( $^{\circ}$ )	(cm)	(cm)	( $^{\circ}$ )	(cm)	(cm)	( $^{\circ}$ )		
I	88.6 c	20.9 b	1.5 ab	17.8 ab	30.1 b	1.2 c	19.7 bc	32.5 c	1.1 c	22.9 b	48.66 a	53.91
II	102.4 a	24.4 ab	1.6 ab	15.8 b	38.7 a	1.4 b	18.6 c	36.8 a	1.3 ab	23.1 b	14.94 b	49.26
III	98.1 b	27.9 a	1.5 b	19.5 ab	40.7 a	1.5 a	22.6 abc	38.8 a	1.3 ab	27.3 ab	20.07 b	56.01
IV	102.0 ab	25.0 ab	1.7 a	18.7 ab	37.1 a	1.5 a	21.8 abc	37.7 a	1.4 a	27.0 ab	15.97 b	49.23
V	99.6 ab	27.1 a	1.7 a	21.3 a	38.9 a	1.4 ab	22.9 ab	36.4 ab	1.3 ab	29.1 a	11.12 b	53.50
VI	100.9 ab	26.0 a	1.7 a	19.8 ab	37.3 a	1.4 b	25.6 a	33.9 bc	1.2 bc	32.1 a	20.27 b	51.67

注: 表中同列数据后不同小写字母表示处理间在  $P < 0.05$  水平差异显著 (LSD), 下同。

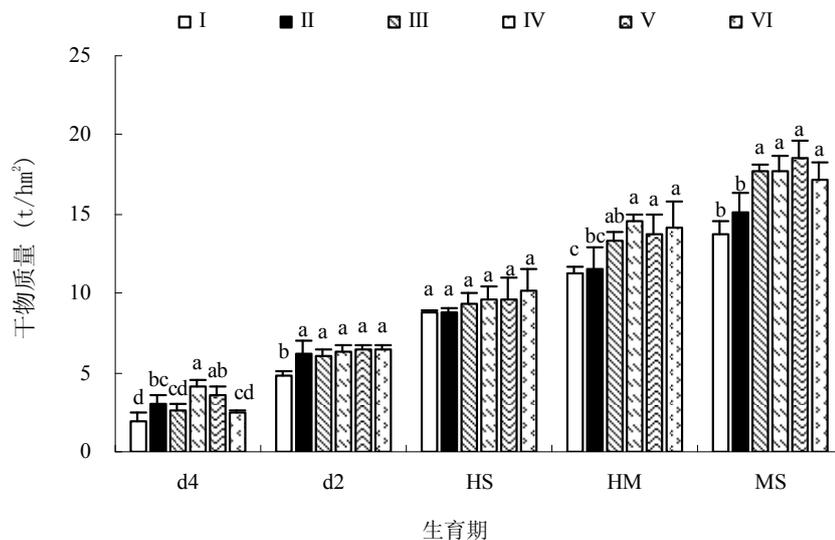


图 2 养管理方式对江苏粳稻干物质重动态的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on dry weight for japonica rice

表 2 不同养分管理方式下的产量及穗粒结构

Table 2 The yields and its components under different fertilization treatments

处理	有效穗数 (穗/m <sup>2</sup> )	每穗粒数	颖花量 (朵 10 <sup>4</sup> /m <sup>2</sup> )	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (t/hm <sup>2</sup> )
I	221.1 d	139.0 c	3.07 c	90.6 a	28.3 a	7.9 b
II	257.9 c	166.0 ab	4.28 b	75.0 c	24.8 c	8.0 b
III	271.3 bc	168.0 ab	4.57 ab	82.6 b	26.4 b	10.0 a
IV	284.1 ab	172.3 a	4.89 a	77.6 bc	26.2 b	10.0 a
V	286.9 a	168.3 ab	4.83 a	82.5 b	26.4 b	10.6 a
VI	287.3 a	157.8 b	4.53 ab	83.7 b	26.9 b	10.2 a

## 2.5 养分管理方式对江苏粳稻氮素利用率的影响

徐稻 3 号的氮肥农学利用率 (AE<sub>N</sub>)、氮肥偏生产率 (PFP<sub>N</sub>) 和氮素吸收利用率 (RE<sub>N</sub>) 受养分管理方式影响 (表 3)。当地高产模式 (II) 的 AE<sub>N</sub>、PFP<sub>N</sub> 和 RE<sub>N</sub> 均为最低水平, 分别为 5.3 kg/kg、29.2 kg/kg 和 17.7%; 高效模式 (III) 的 AE<sub>N</sub>、PFP<sub>N</sub> 和 RE<sub>N</sub> 均为最高水平, 分别为 11.6 kg/kg、52.7 kg/kg 和 46.1%; 再高产高效模式 (V) 和高产高效模式 (VI) 均处于较高的水平, 而超高产模式 (IV) 相对较低。除氮空白区 (I) 外, 不同养分管理方式的氮素收获指数 (NHI) 差异不显著。

## 2.6 养分管理方式对江苏粳稻经济效益的影响

对不同养分管理方式下徐稻 3 号的经济效益分析可知 (表 4), 几种栽培方式均较当地高产模式 (II)

表 3 不同养分管理方式下的氮素利用效率

Table 3 The nitrogen use efficiencies under different fertilization treatments

处理	AE <sub>N</sub> (kg/kg)	PFP <sub>N</sub> (kg/kg)	RE <sub>N</sub> (%)	NHI
I	-	-	-	0.75 a
II	5.3 b	29.2 b	17.7 b	0.62 b
III	11.6 a	52.7 a	46.1 a	0.68 b
IV	6.9 a	27.0 b	36.6 a	0.65 b
V	11.2 a	30.8 b	43.0 a	0.65 b
VI	10.9 a	47.6 a	36.1 a	0.66 b

经济效益高, 每公顷经济效益增加最少为 2 785.5 元; 高产高效模式 (VI) 经济效益增加最为显著, 平均每公顷增收 4 366.5 元。经济效益增加的大小趋势为: VI > III > V > IV。

表 4 不同养分管理方式下的经济效益 (元/hm<sup>2</sup>)

Table 4 The economic incomes under different fertilization treatments

处理	投入							产值	净产值	增收
	人工+机械	用水	农药	氮肥	磷肥	钾肥	有机肥			
I	2 250	300	750	0	315	187.5	0	15 699	11 896.5	-
II	2 250	300	750	555	315	187.5	0	15 903	11 545.5	-
III	2 250	300	750	390	315	187.5	0	19 905	15 712.5	4 167
IV	2 250	300	750	645	375	300	900	19 851	14 331	2 785.5
V	2 250	300	750	525	375	300	900	21 099	15 699	4 153.5
VI	2 250	300	750	450	375	300	0	20 337	15 912	4 366.5

## 3 讨论

### 3.1 养分管理方式对产量形成和经济效益的影响

水稻栽培中养分投入量的确定, 大多取决于对产量的影响及氮肥肥效的研究<sup>[5,8]</sup>, 而针对生产成本与种植效益的研究较少。特别是有机肥的施用, 加大了水稻的生产成本, 综合水稻产值及其成本投入, 考虑种植过程中经济效益, 应是确定水稻肥料运筹方案的重

要因素之一。本研究结果显示高产高效模式 (VI) 较当地高产模式 (II) 增产 27.9%、增收 4 366.5 元/hm<sup>2</sup>, 再高产高效模式 (V) 较当地高产模式 (II) 增产 32.7%、增收 4 153.5 元/hm<sup>2</sup>, 高效模式 (III) 较当地高产模式 (II) 增产 25.2%、增收 4 167 元/hm<sup>2</sup>, 但养分投入最多的超高产模式 (IV) 在几种优化的养分管理模式中产量并未表现出优势, 且其经济效益也不高。这说明

一味的大量投入养分并一定能够提高产量和经济效益,即使产量有所提高但由于养分投入过大成本过大也不能获得较高的收益。

在江苏常规粳稻种植区不同的优化栽培方案之间增产趋势差异较大,造成它们之间差异的最直接表现是群体干物质积累的不同<sup>[15]</sup>。前期肥料投入过大容易造成群体前期的干物质积累过大、无效分蘖过多,后期如果肥料投入过小则会造成干物质下降明显,群体过小,而后期投入过大则会造成无效分蘖过多,穗型较小,均会造成产量较低;应该合理设计前期的肥料投入量构建一个高效的群体,这是高产的前提。因此,对于江苏常规粳稻种植而言,抽穗期群体数量的不足或群体过大,都不利于促进抽穗期的光合生产,难以提高产量,只有群体干物质质量适宜,才能实现高产<sup>[20-21]</sup>,在养分运筹上也不能仅仅依赖于过量的养分投入而应该依靠改变养分管理方式来实现。

干物质的积累主要通过叶面积来表现,当地高产模式(II)前期 LAI 增长快,但后期衰减较快,而且比叶重(SLW)较低,因而影响后期干物质积累,产量较低。这与当地高产模式氮肥施用量较高,且主要集中在前期,导致前期群体过大有关。大量的研究指出,增施氮肥有利于提高 LAI<sup>[23]</sup>。本研究表明增加肥料投入确实能够提高水稻群体的 LAI,但是如果肥料运筹不当,则会导致群体 LAI 过大,使群体郁闭严重(当地高产模式透光率仅为 14.94%),下部几乎不能进行光合作用,不能很好地维持群体下部的有机营养,导致抽穗至成熟期干物质积累不足,影响水稻籽粒的结实率和千粒重,最终产量较低,因此从叶面积指数以及光合的角度来考虑,养分投入过多也是无益的。

上三叶是水稻灌浆期重要的有机物质来源<sup>[21-23]</sup>,也是后期干物质增加的主要途径。本研究表明随着养分投入的增加水稻叶片的上三叶叶长、叶宽有增加的趋势,但随着养分投入的增加,如果投入过多则在形态上并不能表现出优势,反而对群体的光合作用起相反效果,影响群体后期的干物质积累,进而影响产量的进一步增加。

### 3.2 养分管理方式对江苏水稻氮素利用率的影响

朱兆良<sup>[24]</sup>报道,在中国稻田碳铵的氮肥吸收利用率低于 30%,尿素为 30%~40%。李庆逵<sup>[25]</sup>报道,中国稻田氮肥吸收利用率介于 30%~35%。关于氮素利用效率的研究相对较复杂,主要是氮效率是氮素吸收、同化、运转、再利用等多个生理过程综合作用的结果<sup>[26]</sup>。为更能全面地比较不同养分管理方式下江苏常规

粳稻的氮素吸收利用效率的差异,笔者同时采用 3 种氮素利用效率的有关指标,即氮素吸收利用效率、氮素农学利用效率和氮素偏生产力,分别从不同的角度对氮效率进行研究。产量的提高需要以增加一定生物量为基础,生物量的增加常常引起植株养分吸收量增加,但养分的增加幅度不同于产量和生物量的增加幅度。有研究认为,随着产量水平提高,生产单位籽粒产量的养分吸收量和磷、钾比例也随之升高<sup>[27-28]</sup>。现今主要种植品种均是以高产为主要育种目标的条件下选育出来的,其品种存在对养分的奢侈吸收现象,从而造成养分利用率偏低。本研究利用江苏常规粳稻品种在同一地区间所产生的产量差异,分析不同养分管理措施下徐稻 3 号对养分吸收利用特点,消除了品种间差异,结果发现徐稻 3 号随着产量升高,对养分需求量的增加幅度小于产量增加幅度。当地高产管理模式(IV)下在 8 t/hm<sup>2</sup> 的产量下其氮素农学利用率、氮素偏生产力和氮素吸收利用率分别只有 5.3 kg/kg、29.2 kg/kg 和 17.7%,而低量化肥投入的高效模式如果管理措施得当,不仅能够提高产量而且大幅提高了氮素利用率,而产量最高的优化大量化肥投入的再高产高效模式(V)其氮素农学利用率、氮素偏生产力、氮素吸收利用率也有了较大增加,与当地高产模式(II)相比其分别提高到了 11.2 kg/kg、30.8 kg/kg 和 43.0%;相反地如果化肥投入过量即使采取肥料后移和干湿交替的养分管理措施也并不一定能够获得最高产量,并且也降低了氮素利用率,这也说明生产单位稻谷所需氮、磷、钾量并不随着产量的增加而升高<sup>[29-30]</sup>。要想实现江苏水稻氮素利用率的进一步提高以及产量和经济效益的增加并不能一味地依赖于增加养分投入,而应主要依赖于改变养分的管理模式来实现。

## 4 结论

江苏常规粳稻种植的常规养分管理方式低产低效,在适当减少肥料投入基础上合理调整肥料的前后运筹比例能够实现江苏常规粳稻的高产高效。在江苏常规粳稻种植地区采用 210、90、120 kg/hm<sup>2</sup> 的氮、磷、钾肥用量并采用全量秸秆还田处理时的经济效益最高,此时每公顷净产值达 15 912 元/hm<sup>2</sup>,氮素吸收利用率、农学利用率分别为 36%、10.9 kg/kg,并且低量的肥料投入和秸秆还田也有利于环境保护。

### 参考文献:

- [1] 张福锁,王激清,张卫峰,崔振岭,马文奇,陈新平,江荣风. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报,

- 2008, 45(5): 915-924
- [2] Peng SB, Buresh RJ, Huang JL, Yang JC, Zou YB, Zhong XH, Wang GH, Zhang FS. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. *Field Crops Research*, 2006, 96: 37-47
- [3] 李保国, 黄峰. 1998—2007年中国农业用水分析. *水科学进展*, 2010, 21(4): 575-583
- [4] 马文奇, 张福锁, 陈新平. 中国养分资源综合管理研究的意义与重点. *科技导报*, 2006, 24(10): 64-67
- [5] 庞桂斌, 彭世彰. 中国稻田施氮技术研究进展. *土壤*, 2010, 42(3): 329-335
- [6] Wang GH, Dobermann A, Witt C, Sun QZ, Fu RX. Performance of site-specific nutrient management for irrigated rice in southeast China. *Agronomy Journal*, 2001, 93: 869-878
- [7] Peng S, Huang J, Zhong X, Yang J, Wang G, Zou Y, Zhang F, Zhu Q, Buresh R, Witt C. Challenge and opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. *Agriculture Science in China*, 2002, 1(7): 776-785
- [8] 薛利红, 覃夏, 李刚华, 杨林章. 基肥氮不同比例对直播早稻群体动态、氮素吸收利用及产量形成的影响. *土壤*, 2010, 42(5): 815-821
- [9] 李荣刚. 高产农田氮素肥效与调控途径——以江苏太湖地区稻麦两熟农区为例推及全省 (博士学位论文). 北京: 中国农业大学, 2000
- [10] Liu JG, Jared D. China's environment in a globalizing world: How China and the rest of the world affect each other. *Nature*, 2005, 435: 1179-1186
- [11] 包雪梅, 张福锁. 中国有机肥资源利用现状分析. *中国农业科技导报*, 2003(增刊): 3-8
- [12] Dudal R, Roy RN. Integrated plant nutrition systems. Rome: FAO Fertilizer and Nutrition Bulletin, 1995
- [13] Xu YZ, Nie LX, Buresh RJ, Huang JL, Cui KH, Xu B, Gong WH, Peng SB. Agronomic performance of late-season rice under different tillage, straw, and nitrogen management. *Field Crops Research*, 2010, 115: 79-84
- [14] 薛亚光, 陈婷婷, 杨成, 王志琴, 刘立军, 杨建昌. 中粳稻不同栽培模式对产量及其生理特性的影响. *作物学报*, 2010, 36(3): 466-476
- [15] 陈丽楠, 彭显龙, 刘元英, 李宗云, 张明聪, 李佳. 养分管理对寒地水稻干物质累积及运转的影响. *东北农业大学学报*, 2010, 41(5): 52-55
- [16] 杨长明, 杨林章, 颜廷梅, 欧阳竹. 不同养分和水分管理模式对水稻土质量的影响及其综合评价. *生态学报*, 2004, 24(1): 63-70
- [17] 彭建伟, 丁哲利, 刘强, 荣湘民, 田昌, 张玉平. 施氮模式对早稻农艺性状及氮肥利用率的影响. *湖南农业大学学报*, 2010, 36(2): 224-228
- [18] 张明聪, 刘元英, 罗盛国, 彭显龙, 陈丽楠, 李宗云, 李佳. 养分综合管理对寒地水稻抗倒伏性能的影响. *中国农业科学*, 2010, 43(21): 4536-4542
- [19] 丁哲利, 彭建伟, 刘强, 荣湘民, 田昌, 张玉平. 不同地力水平下不同养分管理模式对早稻氮素利用效率及产量的影响. *中国稻米*, 2010, 16(2): 30-33
- [20] 凌启鸿. 水稻精确定量栽培理论与技术. 北京: 中国农业出版社, 2007
- [21] 凌启鸿, 张洪程, 苏祖芳, 凌励. 稻作新理论. 北京: 科学技术出版社, 1994
- [22] 李刚华, 张国发, 陈功磊, 王绍华, 凌启鸿, 丁艳锋. 超高产常规粳稻宁粳1号和宁粳3号群体特征及对氮的响应. *作物学报*, 2009, 35(6): 1106-1114
- [23] 李刚华, 王惠芝, 王绍华, 王强盛, 郑永美, 丁艳锋. 穗肥对水稻穗分化期碳氮代谢及颖花数的影响. *南京农业大学学报*, 2010, 33(1): 1-5
- [24] 朱兆良. 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展. *土壤*, 1985, 17(1): 2-9
- [25] 李庆逵. 中国农业持续发展中的肥料问题. 江西: 江西科学技术出版社, 1997
- [26] 凌启鸿. 水稻群体质量理论与实践. 北京: 中国农业出版社, 1995: 118-134
- [27] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146-165, 308-311
- [28] Witt C, Dobermann A, Abdulrachman S, Gines HC, Wang GH, Nagarajan R, Satawatananont S, Son TT, Tan PS, Tiem LV, Simbahan GC, Olk DC. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field Crops Research*, 1999, 63(2): 113-118
- [29] 陈进红, 郭恒德, 毛国娟, 陶稚彪, 张国平, 赵伟明. 杂交粳稻超高产群体干物质生产及养分吸收利用特点. *中国水稻科学*, 2001, 15(4): 271-275
- [30] 杜永, 刘辉, 杨成, 王志琴, 杨建昌. 超高产栽培迟熟中粳稻养分吸收特点的研究. *作物学报*, 2007, 33(2): 208-215

## Effects of Nutrient Management Manner on Yield and Nitrogen Use Efficiency for Jiangsu Conventional Japonica Rice

HOU Peng-fu<sup>1</sup>, LI Gang-hua<sup>1</sup>, ZHANG Guo-fa<sup>1,2</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, LIU Zheng-hui<sup>1</sup>, WANG Shao-hua<sup>1</sup>, DING Yan-feng<sup>1</sup>

(1 *Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology in Southern China, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;*

2 *Daqing Normal University, Daqing, Heilongjiang 163712, China*)

**Abstract:** The effects of nutrient management, leaf area index (LAI), the shape of heading stage and the nitrogen use efficiency were studied under different nutrient treatments (4+X) by taking Xudao3 as the material. The results showed that optimizing nutrient management could increase the yield and the nitrogen use efficiency. Compared with the local high-yield mode, the high-yielding and high-N-use-efficiency cultivation mode increased the economic income by 32.7% (4 366.5 Yuan/hm<sup>2</sup>) and increased the nitrogen use efficiency from 17.0% to 36.1%.

**Key words:** Yield, Plant type trait, Colony characteristics, Nitrogen use efficiency