

# 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<sup>①</sup>

薛利红<sup>1</sup>, 覃夏<sup>2</sup>, 李刚华<sup>2</sup>, 杨林章<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 南京农业大学, 南京 210095)

**摘要:** 以常规籼稻为供试材料, 通过不同的基肥用量处理研究了前中期氮(N)肥分配对直播早稻群体特征、N素吸收利用、产量形成以及经济效益的影响。结果表明: 相同落谷量、总N量和穗肥N量下, 基肥用量增加降低了出苗率和前期分蘖速度, 最高分蘖数和有效穗数在N肥用量不足或过高时表现为随基肥用量的增加而降低, 适宜施N量下则表现为先升后降的趋势; 基肥用量增加降低了水稻生育后期功能叶的叶片含N量和叶面积指数, 从而降低了水稻成熟期的植株N积累量以及穗部的N分配系数, N农学效率和N回收效率明显降低, N素转运率与基肥用量则存在着二次曲线关系; 增加基肥用量使产量降低, 净收益下降。本实验条件下, 施N量为 180 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥-穗肥-穗肥的比例为 35-40-25 时, 直播早稻的产量和经济收益最佳。

**关键词:** 直播早稻; 基肥用量; 产量及其构成; 氮素吸收利用; 经济效益

**中图分类号:** S143.1; S147.2

合理施用氮(N)肥是提高粮食产量和品质、维持农田N素平衡、保障土壤可持续利用的有效途径。水稻作为我国主要的粮食作物, 为了获取高产, N肥投入量往往过多, 不仅造成水稻N肥利用率低, 而且还带来了严重的环境风险。近年来我国水稻的平均N肥农学效率为 10.4 kg/kg, 最低可达 6.4 kg/kg, N肥回收效率仅为 28.3%, 在水稻主产国中几乎最低<sup>[1-3]</sup>。因此, 如何有效提高我国水稻的N肥利用率、确保高产的同时减少投入并降低环境风险是目前水稻N肥管理研究的热点<sup>[4-5]</sup>。水稻直播作为一项省工、省力的轻型栽培技术, 在劳动力日益紧张的今天, 已被广大稻农所采用并迅速推广, 2008年江西省早稻直播面积占总面积的 10% 左右<sup>[6]</sup>。由于直播稻与移栽稻生长规律不同, 如直播稻没有落黄、返青等过程<sup>[6-7]</sup>, 因此, 适于移栽稻的N肥管理方法并不能完全适用于直播稻, 尤其是双季早稻直播。江西双季直播稻区农民仍旧采用传统的“一炮轰”施N方法, 不仅N肥利用效率低、成本高, 还容易出现早稻早衰现象。以往关于直播早稻的研究多集中在适宜N肥用量和前后期比例上, 直播早稻穗肥比例在 20% ~ 30% 时产量最高已达成共识<sup>[8-13]</sup>, 但对基肥肥的适宜比例确定却各不相同。如张祥明等<sup>[8]</sup>对安徽直播早稻的研究以及周兵<sup>[9]</sup>对移栽早稻的研究

认为基肥以 60%、穗肥以 20% 为宜; 吴文革等<sup>[10]</sup>认为常规稻和杂交稻的基肥和穗肥比例均以 50% 和 25% 时较好; 石普芳<sup>[11]</sup>发现直播早稻的基肥各占总施肥量的 40% 时产量最高; 王国强等<sup>[13]</sup>则认为江西红壤地区早稻N肥运筹方式以基肥 50%、分蘖肥 30% 和拔节肥 20% 比较合理。因此, 在适宜穗肥用量的基础上, 系统地研究基肥N不同比例对直播早稻群体动态、N素吸收利用及产量形成的影响机制十分必要。本文旨在进一步探明双季稻区适宜的基肥施用量对直播水稻群体建成、N素利用特征以及产量形成的作用机理, 并比较不同N肥运筹下的经济效益, 为南方双季稻区直播早稻精确施N技术提供参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2008 年在江西鹰潭余江市邓家埠进行。供试土壤为第四纪红色黏土发育的水稻土, 耕层土壤有机质含量 31.50 g/kg, 全 N、全 P 和全 K 养分含量分别为 1.66、0.35 和 30.32 g/kg, 速效 N、速效 P 和速效 K 养分含量分别为 144.9、9.77 和 108.1 mg/kg。试验采用两因素裂区设计, 基肥处理为主区, 设 3 个水平, 用量(纯 N)分别为 30、60 和 90 kg/hm<sup>2</sup>, 穗肥

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-08)和国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-005)资助。

作者简介: 薛利红(1977—), 女, 河南修武人, 博士, 副研究员, 主要从事生态遥感监测和面源污染控制方面的研究工作。E-mail: lhxue@issas.ac.cn

处理为裂区, 设 5 个水平, 用量 (纯 N) 分别为 0、15、45、75 和 105 kg/hm<sup>2</sup>, 穗肥统一施用纯 N 45 kg/hm<sup>2</sup>, 外加无 N 对照共 16 个处理, 3 次重复, 小区面积 21 m<sup>2</sup>。P、K 肥用量各小区相同, P 肥用钙镁磷肥, 用量为纯 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>; K 肥用氯化钾, 用量为纯 K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup>。P 肥全部基施, K 肥分 3 次施用 (基肥 30%, 穗肥 40%, 穗肥 30%)。供试品种为常规早籼稻中选 181, 采用直播方式, 4 月 6 日播种, 播种量为 5.5 kg (干谷)/667m<sup>2</sup>, 基本苗 15.7 万/667m<sup>2</sup> 左右 (出苗率按 80% 计)。各小区间做埂覆膜, 单排单灌, 防止串肥。

### 1.2 采样与测定方法

在水稻生长的关键生育时期 (苗期、分蘖盛期、拔节期、齐穗期、灌浆期以及成熟期), 每小区选择代表性植株 5 穴, 带回实验室内测定不同器官 (叶片、茎鞘和穗) 的干重、叶片的绿叶面积以及各器官的含 N 量。为保证样品具有足够的代表性, 取样前先普查各小区的茎蘖数和株高, 并计算出各区的平均值, 然后以此为依据指导取样, 样品的茎蘖数控制在平均值 ± 2 的范围之内。成熟时每小区收获 4 m<sup>2</sup>, 测产, 并调查亩穗数、穗粒数、千粒重等产量构成因素。叶面积指数的计算采用比叶面积法 (称重法)。植株全 N 采用半微量凯氏法测定。

### 1.3 氮素利用效率以及氮素转运率的计算

N 素回收效率 (recovery efficiency of applied N, NRE) = (施 N 处理植株 N 素积累量 - 不施 N 处理植株 N 素积累量) / 施 N 量 × 100<sup>[14]</sup>。

N 素生理效率 (physiological efficiency of applied N, NPE) = (施 N 处理稻谷产量 - 不施 N 处理稻谷产量) / (施 N 处理植株 N 素积累量 - 不施 N 处理植株 N 素积累量) × 100<sup>[14]</sup>。

N 素农学效率 (agronomic efficiency of applied N, NAE) = (施 N 处理稻谷产量 - 不施 N 肥处理稻谷产量) / 总施 N 量 × 100<sup>[14]</sup>。

N 肥偏生产力 (partial factor productivity from applied N, PFP) = 施 N 处理稻谷产量 / N 肥用量<sup>[14]</sup>。

N 素转运率 (N translocation efficiency, NTE) = (单位面积地上部植株抽穗期营养器官 N 素积累量 - 成熟期营养器官 N 素积累量) / 单位面积地上部植株抽穗期营养器官 N 素积累量 × 100%<sup>[15]</sup>。

### 1.4 数据分析

为了能更清楚地说明基肥用量对水稻群体动态、N 素吸收转运和产量形成等的影响, 本文重点分析了 120、150、180 和 210 kg/hm<sup>2</sup> 总用 N 量下不同基肥处理的数据, 具体处理见表 1。利用 SPSS13.0 分别对同一用肥量下不同基肥处理的效应进行方差分析, 多重比较采用 Duncan 法。

表 1 N 肥处理的具体用量

Table 1 N rates of different N treatments

N 用量 (kg/hm <sup>2</sup> )	处理编号	基肥 (kg/hm <sup>2</sup> )	穗肥 (kg/hm <sup>2</sup> )	穗肥 (kg/hm <sup>2</sup> )	基肥比例 (%)
0	0N	0	0	0	-
120	B1T3	30	45	45	25
	B2T2	60	15	45	50
150	B1T4	30	75	45	20
	B2T3	60	45	45	40
	B3T2	90	15	45	60
180	B1T5	30	105	45	17
	B2T4	60	75	45	33
	B3T3	90	45	45	50
210	B2T5	60	105	45	29
	B3T4	90	75	45	43

## 2 结果与分析

### 2.1 基肥用量对群体茎蘖动态的影响

N 肥用量增加能促进分蘖的发生, 分蘖期分蘖数和最高分蘖数均随施肥量的增加而加大。最终成穗数则随总 N 量的增加而呈先升后降趋势, 180 kg/hm<sup>2</sup> 用肥量

下穗数最多。在相同落谷量下, 随着基肥用量增加, 出苗率逐渐降低, 由不施基肥的 87.0% 逐渐降低到 B3 处理的 74.6% (图 1)。在总施 N 量、穗 N 量和落谷量相同的情况下, 随基肥用量增加, 分蘖期分蘖数逐渐降低, 前期分蘖速度减慢, 最高分蘖数和最终穗数整体上也呈下降趋势, 但在 180 kg/hm<sup>2</sup> 用肥量下,

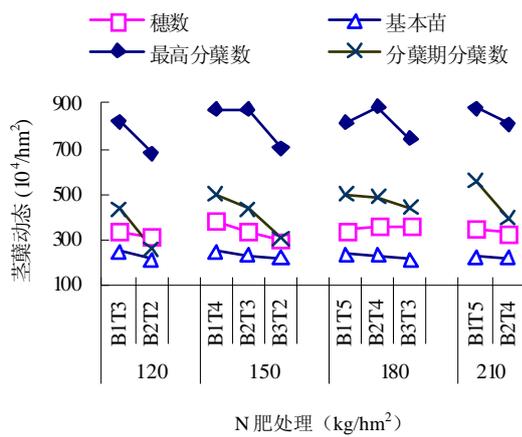


图 1 基肥氮处理对群体茎蘖动态的影响

Fig. 1 Effects of different basal and tiller nitrogen rates on population dynamics

表 2 不同基肥比例对水稻功能叶叶面积、含 N 量的影响

Table 2 Effects of basal nitrogen rates on leaf N concentration, leaf area index of top three leaves

N 肥用量 (kg/hm <sup>2</sup> )	基肥比例 (%)	处理代号	顶 3 叶含 N 量 (g/kg)		顶 3 叶 LAI	
			齐穗期	灌浆期	齐穗期	灌浆期
120	25	B1T3	22.4 a	13.9 a	3.35 a	2.79 a
	50	B2T2	20.2 b	13.7 a	3.28 a	2.35 a
150	20	B1T4	22.1 a	15.8 a	3.65 a	3.02 a
	40	B2T3	21.9 a	14.4 b	3.45 a	2.97 a
	60	B3T2	20.1 b	13.5 c	2.97 b	2.79 a
180	17	B1T5	22.4 a	16.6 a	3.91 ab	3.03 a
	33	B2T4	21.9 a	15.8 b	4.09 a	3.17 a
	50	B3T3	21.3 a	15.7 b	3.63 b	2.66 b
210	29	B2T5	22.0 a	17.1 a	3.89 a	3.56 a
	43	B3T4	22.0 a	16.5 a	3.78 a	3.06 b

注: 同一 N 肥用量下的不同字母代表在 p<0.05 水平上差异显著。

### 2.3 不同基肥处理对水稻产量及其构成因素的影响

施N显著提高产量, 产量-N肥报酬曲线为明显的二次抛物线, 最高产量出现在施N量 180 kg/hm<sup>2</sup>。N肥处理对千粒重几乎没影响, 千粒重稳定在 28.5 ~ 28.9 g 左右, 对穗粒数和结实率的影响相对较小, 两者的变异系数分别为 6.6% 和 3.7%; 对有效穗数的影响最大, 变异系数为 11.5%。有效穗数随着施N量的增加而表现为先增后降的趋势, 结实率则随施N量的增加而下降 (表 3)。

产量与有效穗数和穗粒数呈显著的正相关关系, 与千粒重、结实率的关系不明显。总N量小于等于 180 kg/hm<sup>2</sup>时, 产量随基肥比例增加而下降。减产的原因主要是因为有效穗数显著下降, 如 150 kg/hm<sup>2</sup>时有效

B2 处理最大, 呈先升后降趋势 (图 1)。表明基肥用量过多或过少都不利于水稻高效群体的建成。

### 2.2 不同基肥处理对水稻抽穗后功能叶含氮量和叶面积指数的影响

从表 2 可以清楚地看出, 相同施N量下, 基肥用量比例增加, 齐穗期和灌浆期功能叶 (顶 3 叶) 的叶片含N量逐渐降低, 顶 3 叶的叶面积指数 (LAI) 整体也呈减少的趋势。180 kg/hm<sup>2</sup>用肥量下顶 3 叶的LAI以基施 60 kg/hm<sup>2</sup>处理最大。结果表明, 适度减少基肥用量, 增加中期基肥用量, 不仅能弥补前期用肥不足造成的苗弱问题, 而且能在一定程度上保证水稻后期功能叶的含N量和LAI, 有利于干物质的生产和转运, 从而保证高产。但是基肥比例也不能过低, 否则不能保证稻苗快发稳长。

穗数由基肥比例 20% 处理的 380.6 × 10<sup>4</sup>/hm<sup>2</sup>下降至基肥比例 60% 处理的 295.4 × 10<sup>4</sup>/hm<sup>2</sup>, 降幅高达 22.3%; 而在施N量 180 kg/hm<sup>2</sup>下减产的原因主要是因为穗粒数的下降。总N量为 210 kg/hm<sup>2</sup>时, 基肥比例由 29% 增加到 43% 时没有造成产量的下降。

### 2.4 不同基肥处理对水稻氮素吸收、转运和分配以及利用的影响

成熟期营养器官和生殖器官中N素积累量均随施N量的提高而提高。在总施N量和穗肥一致的情况下, 增加基肥比例明显减少了植株的N积累量。如在施N量分别为 150 和 180 kg/hm<sup>2</sup>时, 基肥比例分别由 20% 和 16% 增加到 60% 和 50% 时, 植株N积累量则分别由 103.7 和 117.8 kg/hm<sup>2</sup>降低到 88.2 和 98.9 kg/hm<sup>2</sup>,

表 3 不同基肥处理下直播早稻的产量及其构成因素

Table 3 Yield and yield components of direct-seeding early rice under different basal and tiller nitrogen treatments

N 肥用量 (kg/hm <sup>2</sup> )	基肥比例 (%)	处理代号	有效穗数 (×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> )	千粒重 (g)	穗粒数	结实率 (%)	实际产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
120	25	B1T3	336.2 a	28.9 a	90 a	85 a	6 288.8 a
	50	B2T2	308.9 a	28.5 a	83 b	85 a	5 715.3 b
150	20	B1T4	380.6 a	28.5 a	82 a	83 b	6 693.6 a
	40	B2T3	333.3 a	28.5 a	84 a	81 b	6 321.6 b
	60	B3T2	295.4 b	28.6 a	81a	88 a	5 872.4 c
180	17	B1T5	340.8 a	28.5 a	85 a	84 a	6 826.8 a
	33	B2T4	361.2 a	28.9 a	88 a	81 a	6 852.2 a
	50	B3T3	359.3 a	28.7 a	81 b	84 a	6 413.3 b
210	29	B2T5	347.3 a	28.8 a	83 a	83 a	6 403.2 a
	43	B3T4	326.9 a	28.9 a	88 a	81 a	6 561.4 a

降幅高达 14% 和 20% (表 4)。营养器官中 N 的分配比例随施 N 量的增加而逐渐增加,生殖器官的 N 分配比例则有所下降。在同样施 N 量下,随着基肥用量增加,营养器官的分配比例加大,而穗部的分配比例有所下降(表 4)。表明基肥过多,不利于植株吸收的 N 向籽粒的转运。

N 素转运率反映了营养器官中贮存的 N 素养分向籽粒转运的情况。结果发现 N 素转运率与 N 肥用量呈显著的负相关关系,从不施 N 的 69.1% 降至最高 N 肥处理(240 kg/hm<sup>2</sup>) 的 51.5%。在相同施 N 量下, N 素转运率随着基肥比例增加而提高,基肥用量为 60 kg/hm<sup>2</sup> 时 N 素转运率最高,当基肥比例增加到 90 kg/hm<sup>2</sup> 时, N 素转运率又有所下降。

百公斤稻谷吸 N 量不仅与产量水平密切相关,而且还受 N 肥的强烈影响。百公斤稻谷吸 N 量在 1.11 ~ 1.95 kg 之间变化,与施 N 量呈显著的正相关关系( $r =$

0.90),与产量则呈开口朝下的二次抛物线关系(表 4)。相同施 N 量下,百公斤稻谷吸 N 量随基肥比例增加而降低。产量最高时的百公斤稻谷吸 N 量为 1.70 kg 左右。

N 农学效率是指单位施 N 量所增加的作物籽粒产量, N 回收效率体现的是植株获取 N 的能力, N 生理效率体现了植株将多吸收的 N 转化为籽粒产量的能力, N 肥偏生产力则反映了投入的单位肥料 N 所能生产稻谷的能力。从图 2 可以看出,随着 N 肥用量增加, N 农学效率、N 生理效率和 N 肥偏生产力逐渐下降,分别由 120 kg/hm<sup>2</sup> N 用量的 21.5、57.0 和 50.0 kg/kg 下降到 N 用量 210 kg/hm<sup>2</sup> 处理的 14.5、36.4 和 30.9 kg/kg, 降幅分别为 32.2%、36.2% 和 38.3%。在同一施 N 量以及穗 N 用量下,基肥用量增加,基肥用量下降, N 农学效率、N 回收效率和 N 肥偏生产力均呈下降的趋势,而 N 生理效率则有所升高。产量最佳时的 N 农学效率、N 回收效率分别为 19 kg/kg 和 43.7% 左右。

表 4 不同基肥处理下水稻的 N 素积累量、N 分配系数、N 转运率及百公斤稻谷吸 N 量

Table 4 Nitrogen uptake, N distribution in different organs, N translocation percentage (NTP) and N uptake per 100 kg grain at maturity under different basal and tiller N treatments

N 用量 (kg/hm <sup>2</sup> )	基肥比例 (%)	处理代号	N 积累量 (kg/hm <sup>2</sup> )			分配比例 (%)		N 转运率 (%)	百公斤稻谷 吸 N 量 (kg)
			茎叶	穗	植株	茎叶	穗		
120	25	B1T3	29.04	63.44	92.48	0.31	0.69	57.6	1.47
	50	B2T2	23.76	51.60	75.36	0.32	0.68	59.0	1.32
150	20	B1T4	31.12	72.58	103.69	0.30	0.70	58.0	1.55
	40	B2T3	29.23	64.87	94.10	0.31	0.69	59.8	1.49
	60	B3T2	32.25	55.95	88.19	0.37	0.63	56.6	1.50
180	17	B1T5	38.85	78.81	117.66	0.33	0.67	54.5	1.81
	33	B2T4	38.55	76.50	115.05	0.34	0.66	56.1	1.70
	50	B3T3	37.99	60.91	98.90	0.38	0.62	51.7	1.54
210	29	B2T5	43.28	81.76	125.04	0.35	0.65	56.0	1.95
	43	B3T4	52.13	67.36	119.49	0.44	0.56	52.4	1.82

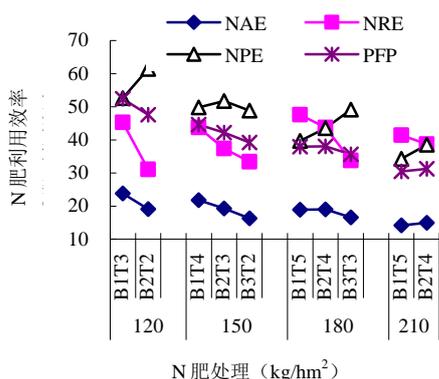


图 2 不同 N 肥处理下的 N 农学效率、N 回收效率、N 生理效率以及 N 肥偏生产力

Fig. 2 Agronomic efficiency, recovery efficiency, physiological efficiency and partial factor productivity of applied nitrogen under different N treatments

### 2.5 不同基肥处理对水稻经济效益的影响

种子、用工、农药、水电以及P、K肥的投入成本总计为每公顷 5 610 元，稻谷收益按当地当年价格计算。净收益为稻谷收益与肥料成本以及其他种田成本的差额，不包括政府下发的种田补助。从图 3 可以看出，净收益随肥料用量的增加而增加，但当施肥量达到一定量时，净收益不再增加，而呈降低趋势。施N量为 180 kg/hm<sup>2</sup>，且基肥-蘖肥-穗肥比例为 33-42-25 时 (B2T4) 每公顷净收益最大，为 5 216 元 (图 3)。在施肥量偏低的情况下，每公顷净收益随基肥用量比例的增加而逐渐降低，如施N量为 120 kg/hm<sup>2</sup>时，基施 25% 时 (B1T3) 净收益为 4 472 元，基施 50% 时 (B2T2) 净收益下降为 3 382 元。在施肥量较适宜时 (180 kg/hm<sup>2</sup>)，基施 1/3 时 (B2T4) 的每公顷净收益最大为 5 220 元，基肥用量比例增加到 50% 时 (B3T3) 净收益下降了 840 元，而减少基肥用量对净收益影响不大，如基施 17% 时 (B1T5) 收益为 5 175 元，与最大收益仅差 45 元。

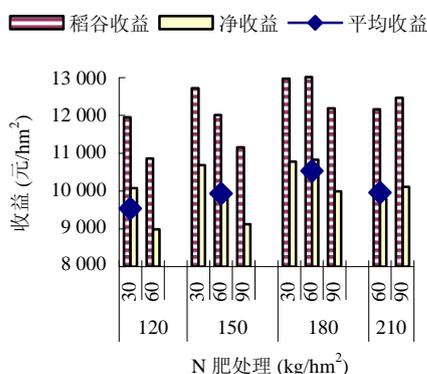


图 3 不同 N 肥处理的成本效益分析

Fig. 3 Cost-benefit analysis under different nitrogen treatments

## 3 讨论

### 3.1 基肥氮比例对水稻群体建成的影响

“一炮轰”的施N方法 (前期施N多，中后期施N少) 是华南地区尤其江西水稻生产中既传统又普遍的方法，也是江西产量不高的一个主要原因<sup>[16]</sup>。在基本苗、基本丛不足的情况下，采用这种N肥运筹方法对增加有效穗能起到一些作用。自从江西省实施“多播一斤种，增收百斤粮”等示范工程后，传统的施肥方式便不能满足生产的需要。尤其是早稻直播这一轻型栽培技术的采用，使得直播早稻适宜N肥运筹的研究显得十分必要。采用移栽方式时，秧苗此期已具备一定的N吸收能力，为了缩短缓苗期，促进分蘖早发，往往需要一定比例的基肥用量。而采用牙谷直播方式时，稻种从播种到出苗需要约 5~7 天时间，此期稻种仅靠胚中的养分含量就能完成出苗过程。而 4 月份华南地区雨水充沛，如果仍按传统的施肥方式施入大量的基肥，容易引起N素损失从而带来较强的环境污染风险，而且会影响出苗。本研究结果就表明，基肥用量增加，出苗率降低，与张翔明等<sup>[4]</sup>的研究结果一致。因此，直播稻的基肥比例应小于常规移栽水稻。

张祥明等<sup>[8]</sup>发现同一施N水平下，茎蘖增长速度与最高分蘖数随基肥比例增加而提高，但基肥用量过大易造成水稻群体过大而使成穗率降低。本研究结果却表明，初期分蘖速度随基肥比例增加而下降，最高分蘖数在适宜N水平下则随基肥比例增加呈先升后降趋势。在相同施N量下和穗肥N用量下，基肥比例增加，蘖肥用量势必减少，因此造成基肥比例大的分蘖速度和分蘖数量反而低于基肥比例低处理。根据江西以往多年降雨规律，4 月份为江西雨季的始期，因此，为了防止大量的基肥随降雨流失，直播早稻的基肥比例还应当适当降低，保持在 30%~40% 左右为宜，不宜超过 50%。

### 3.2 基肥比例对水稻氮素吸收、利用的影响

施N量增加，齐穗期以前N素积累量增加，分配到茎和叶中N素的量及比例增加，干物质生产效率和稻谷生产效率下降，这与曾勇军<sup>[17]</sup>的研究结果一致。在相同施N量下，基肥比例增加，植株后期功能叶的N含量及叶面积指数降低，植株N积累量降低，茎叶中的N素分配比例增加，而穗中的N分配比例降低。表明基肥比例增加不利于后期水稻N素的吸收和转运，从而使产量降低，N肥偏生产力和N农学效率、N回收效率下降。Dobermann<sup>[18]</sup>曾就粮食作物的养分利用效率做过详尽的综述，认为粮食作物的N肥农学效率为 10~30

kg/kg, N肥利用率为 30% ~ 50% 之间比较适宜。本研究也表明,江西双季稻区直播早稻高产适宜的N肥用量为 180 kg/hm<sup>2</sup>, 基蘖穗的比例为 35-40-25 为宜, 此时的N肥农学效率为 19 kg/kg, N肥利用率为 44%。

### 3.3 基肥比例对水稻产量以及经济效益的影响

每穗粒数和有效穗数是影响双季早稻产量的最主要因素, 相同施N量下, 基肥比例增加, 有效穗数和穗粒数有所下降, 从而造成产量下降。石普芳<sup>[7]</sup>对浙江直播早稻的研究也发现, 在适宜施N量下 (150 kg/hm<sup>2</sup>), 基肥比例由 25% 增加到 40% 时, 产量有所提高, 基肥比例进一步提高到 55% 时, 产量明显下降, 表明基肥用量不宜过多。本研究结果表明, 总施N量在 180 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥比例不超过 40% 时, 产量构成因素比较协调, 产量最佳。

高产高效一直是粮食生产追求的目标, 然而前人对经济效益的分析相对比较缺乏。本研究发现净收益随肥料用量的增加而呈先增后降趋势, 在相同施N量下, 基肥比例过多, 净收益也会下降。施N量为 180 kg/hm<sup>2</sup>, 且前后期用肥比例为 7.5 : 2.5 时收益最大。

## 4 结论

在江西双季稻区, 直播早稻应适当降低基肥用量, 在保证后期用肥的基础上, 适宜增加蘖肥用量, 早施蘖肥, 既能促进稻谷早发快发, 又能避免遭遇降雨等引起的肥料大量流失, 还能防止后期脱肥早衰, 从而实现高产高效环保的目的。在中等土壤肥力水平下, 180 kg/hm<sup>2</sup> 的施N量以及基: 蘖: 穗 = 35 : 40 : 25 的运筹模式是江西双季稻区直播早稻高产高效生态的施肥方式。此时的百公斤吸N量为 1.77 kg (常规籼稻), 适宜的最大叶面积指数为 6.5 左右, N肥利用效率为 44% 左右, N肥农学效率为 19 kg/kg。

### 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] 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
- [3] 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
- [4] Xue L, Yang L. Recommendations for nitrogen fertiliser topdressing rates in rice using canopy reflectance spectra. *Biosystems Engineering*, 2008, 100(4): 524-534
- [5] Peng S, Garcia FV, Laza RC, Sanico AL, Visperas RM, Cassman KG. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high yielding irrigated rice. *Field Crops Research*, 1996, 47: 243-252
- [6] 李木英, 石庆华, 潘晓华. 江西省直播稻发展趋势及存在的问题及对策. 现代农业科技, 2008(21): 236-238
- [7] Peng S, Garcia F V, Gines H C, Laza RC, Samson MI, Sanico AL, Visperas RM, Cassman KG. Nitrogen use efficiency of irrigated tropical rice established by broadcast wet-seeding and transplanting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1995, 45(2): 123-134
- [8] 张祥明, 郭熙盛, 李泽福, 夏家发, 胡润, 刘春盛, 叶北朝. 氮肥运筹技术对直播早稻生长和产量的影响. 中国稻米, 2008(5): 70-73
- [9] 周兵. 氮肥运筹方式对早稻干物质积累和产量的影响. 河北农业科学, 2007, 11(3): 14, 20
- [10] 吴文革, 张四海, 赵决建, 吴桂成, 李泽福, 夏加. 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. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 757-764
- [11] 石普芳. 直播早稻优化施肥简报. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 319-320
- [12] 李土明, 郭宏文, 侯乐锋, 李刚. 双季稻作的氮肥定量运筹技术研究. 江西农业学报, 2007, 19(5): 78-80
- [13] 王国强, 周静, 崔键, 刘方平, 梁举, 李辉信. 不同水肥组合对红壤地区早稻产量及氮肥利用率的影响. 土壤, 2008, 40(3): 392-398
- [14] Novoa R, Loomis RS. Nitrogen and plant production. *Plant Soil*, 1981, 58: 177-204
- [15] Ntanos DA, Koutroubas SD. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 2002, 74: 93-101
- [16] 潘晓华, 石庆华. 江西省双季水稻单产不高的原因及对策. 中国稻米, 2008(4): 1-2
- [17] 曾勇军, 石庆华, 潘晓华, 韩涛. 施氮量对高产早稻氮素利用特征及产量形成的影响. 作物学报, 2008, 34(8): 1409-1414
- [18] Dobermann A. Nitrogen use efficiency — State of the art. In IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt, Germany, 28-30 June, 2005. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris

## Effect of Basal and Tiller Nitrogen Rates on Population Dynamics, Nitrogen Uptake and Utilization, and Yield Formation of Direct-seeding Early Rice

XUE Li-hong<sup>1</sup>, QIN Xia<sup>2</sup>, LI Gang-hua<sup>2</sup>, YANG Lin-zhang<sup>1</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

**Abstract:** A field experiment was carried out to study the effects of different basal and tiller nitrogen rates on the population dynamics, nitrogen uptake and utilization, yield formation and economic benefit of direct seeding early rice (Zhongxuan 181) in 2008 at Yujiang City, Jiangxi Province. Under the same seeding rate, total N rate and panicle N rate, the increase of basal nitrogen rate decreased the seedling emergence ratio and the tiller emergence rate at 38 days after seeding (DAS=38). The highest tillers (DAS=54) and effect panicles decreased under the lower and higher N rate, while first increased then decreased with the increasing basal N rate under the optimum N rate. Leaf N concentration and LAI of top three leaves at and after heading reduced by the increase of basal N rate, thus the plant N accumulation and the ratio of N allocation to panicle at maturity decreased, and N agronomic use efficiency and recovery use efficiency decreased significantly. The increase of basal N rate decreased the rice yield and net economic benefit. The optimum yield and economic benefit was achieved at the N rate of 180 kg/hm<sup>2</sup> and the ratio of basal, tiller and panicle N of 35:40:25.

**Key words:** Direct-seeding early rice, Basal and tiller nitrogen, Yield, Nitrogen utilization, Economic benefit