

## 依叶龄运筹氮肥对优质水稻产量与品质的影响

杨海生<sup>1\*</sup> 张洪程<sup>1</sup> 杨连群<sup>2</sup> 张士永<sup>2</sup> 戴其根<sup>1</sup> 霍中洋<sup>1</sup>

(1 扬州大学农学院, 扬州 225009)

(2 山东省水稻研究所, 272077)

**摘要** 为研究依叶龄运筹氮肥对圣稻 301 产量与品质的影响及施用氮肥效果, 以优质中粳稻圣稻 301 为材料, 按照基肥与秆穗肥施氮比例和秆穗肥施氮叶龄期, 设计了 15 种施氮运筹模式。结果表明: 在大苗栽培体制和  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  施氮水平下, 适当减少基肥施氮比例与相应增加秆穗肥施氮量(即穗重法), 并在倒 4 和倒 1 叶期 2 次追施秆穗肥, 比常规施氮模式更有利于强化圣稻 301 高产群体的产量形成, 且较好地保持了该品种的 1 级优质米的品质性状, 同时施用氮肥对抽穗后干物质积累量和经济产量的增产效果也得到明显的改善。

**关键词** 水稻; 叶龄; 氮肥运筹; 产量; 品质; 施氮效果

**中图分类号** S511

## Effects of Nitrogen Operations According to Leaf-Age on Yield and Quality in Good-Quality Rice

Yang Haisheng<sup>1</sup> Zhang Hongcheng<sup>1</sup> Yang Lianqun<sup>2</sup>

Zhang Shiyong<sup>2</sup> Dai Qigen<sup>1</sup> Huo Zhongyang<sup>1</sup>

(1 Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

(2 Rice Research Institute of Shandong, 272077, China)

**Abstract** In accordance with N-applying proportion between basic-tillering and stem-panicle fertilizers and N-applying leaf age of stem-panicle N-fertilizers, the effects of 15 patterns of nitrogen operation on yield and quality of good-quality rice were studied in Shengdao 301 as materials, also the efficiencies of different N-applying patterns were evaluated. Under big-seedling transplanting and N-applying amount of  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , reducing properly basic-tillering N-applying proportion, at the same time applying stem-panicle N-fertilizer of equal amount in 4th and 1st leaf age from top at 2 times, was more propitious to put up the high-yield population of Shengdao 301 than routine N-applying patterns, and maintained, all the same, good grain qualities of grain. Besides, the increase productivity of N-applying in dry matter accumulation after heading and yield also was improved remarkably.

**Key words** rice; leaf age; nitrogen operation; yield; quality; N-applying efficiency

施用氮肥不仅对作物生长发育、产量形成、品质优劣、抗逆性等有着显著的影响, 而且也影响到生态环境, 因而在学术界和水稻生产中对合理运筹施用氮肥一直十分重视, 并有大量研究,

收稿日期: 2001-11-14

农业部农业科技“跨越计划”资助项目

\* 杨海生, 博士生, 研究方向为水稻优质高产高效理论与技术。江苏省扬州市

提出了多种施肥理论与施肥法<sup>[1-4]</sup>。在日本有“V”形中期限氮施肥、少基肥用氮且分多次施穗粒肥以及基肥无氮高产施肥几种理论。在我国,常有重施基肥、早施穗肥的传统氮肥运筹方式,注重以增穗提高产量;近年来也有不少研究<sup>[2,3]</sup>指出适当增加中后期穗肥施氮量更利于增产。已有的施氮理论与技术主要是围绕高产施肥问题展开的<sup>[3-7]</sup>,而对精确、经济地施用氮肥使优质高产二者统一的研究则较少,不能适应水稻生产由追求产量型向产量、质量、效益型的转变。针对上述状况,我们对黄淮稻区优质米栽培的氮肥施用问题开展了相关研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试品种与地点

供试品种圣稻 301,为山东水稻所培育的 16 叶、5 个伸长节间优质中粳稻。试验于 2000 年在山东水稻所试验基地(济宁市嘉祥县金屯镇,N 35° 4′)进行。前茬为小麦( $6\ 750\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),粘壤土,基础地力为:0~20 cm 土层全氮含量为 0.15%、速效磷含量( $\text{P}_2\text{O}_5$ )为  $20.0\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾含量( $\text{K}_2\text{O}$ )为  $193.3\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 试验处理

试验主体处理在基肥不施氮和本田总施氮  $225\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  下,依照不同时期施氮比例先设计 3 种施肥法:穗重法(A)即分穗肥比秆穗肥为 7:3;穗穗平衡法(B,简称平衡法),即穗肥比秆穗肥为 5:5;穗重法(C)即穗肥比秆穗肥为 3:7。同时每种施肥法内分别依叶龄期设置 4 种秆穗肥处理,组合形成 12 种施氮模式:

1) 分穗肥的施用: A 法前期施分穗肥折纯氮  $157.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ; B 法分穗肥施氮  $112.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ; C 法分穗肥施氮  $67.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。分穗肥均分 2 次面施,第 1 次在移栽后第 5 天面施穗肥用氮的 40%、第 2 次于栽后第 15 天面施穗肥用氮的 60%。

2) 上述每种施肥法中,按总施纯氮扣除分穗肥用氮量后,分别设置 4 种追施秆穗肥处理:不施秆穗肥(秆穗肥的对照);倒 5~倒 1 叶各叶龄期分 5 次等量面施;倒 5、倒 2 叶期分 2 次等量面施;倒 4、倒 1 叶期分 2 次等量面施。

3) 设立对照:不施氮  $\text{CK}_1$ (空白);常规施氮模式  $\text{CK}_2$ ,总施氮  $225\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基穗肥与秆穗肥质量比=6:4,基肥施氮  $81\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,分穗肥施氮  $54\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (栽后 5 d 1 次面施),秆穗肥于倒 3、倒 1 叶期分 2 次面施。常规施氮量  $\text{CK}_3$ ,总施氮  $300\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,基穗肥与秆穗肥质量比=6:4,基肥施氮  $108\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,分穗肥施氮  $72\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (栽后 5 d 1 次面施),秆穗肥于倒 3、倒 1 叶期分 2 次面施。

### 1.3 田间设计与管理

试验 15 个处理重复 3 次,共 45 个小区,小区面积  $20\ \text{m}^2$  ( $5\ \text{m}\times 4\ \text{m}$ ),按随机区组排列。小区间筑埂并用薄膜包埋,独立灌排,严防肥水漏窜。移栽叶龄为 8.5 叶,本田基本苗数按叶龄模式基本苗公式计算,均为  $150\ \text{万}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,每穴 4 苗,栽插穴数为  $37.5\ \text{万}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,行株距为  $25.0\ \text{cm}\times 10.7\ \text{cm}$ 。各处理磷肥折  $\text{P}_2\text{O}_5$   $150\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,钾肥折  $\text{K}_2\text{O}$   $150\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,均作基肥 1 次性施;水浆管理、病虫杂草防除等均同高产田。

### 1.4 调查与测定内容

定点系统跟踪调查小区群体叶龄增长和茎秆消长动态变化,并据生育进程测定叶长配置、 $\text{LAI}$  干物质积累等;成熟期进行理论测产与考种,并实收核产;对小区稻米的加工(出糙率、精米率、整精米率)、外观(垩白率、垩白度、透明度、青米率)、蒸煮(直链淀粉含量、胶稠度)等品质

和蛋白质含量进行测定; 还分析测定了主要生育期植株的含氮量、吸氮量等。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量与产量构成

本田总施氮从 0 增加至  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 产量依次呈显著性增加(表 1), 而施氮  $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的  $\text{CK}_3$  产量不再增加, 表明  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  总施氮量一般可满足圣稻 301 的  $7\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上高产群体的氮素需求, 再多施氮肥并不能增产。在  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  氮肥水平下, 以穗重法(C)平均产量最高, 为  $8\ 345.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 其次为平衡法(B)的  $8\ 260.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 再次为穗重法(A), 且与  $\text{CK}_2$ 、 $\text{CK}_3$  接近, 为  $8\ 031.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 表明前期氮肥适当后期移有利于增产。秆穗肥处理在 A、B、C 3 种比例中均以倒 4、倒 1 叶 2 次施氮(A<sub>4</sub>、B<sub>4</sub>、C<sub>4</sub>)产量较高, 以 C<sub>4</sub> 和 B<sub>4</sub> 为最高; 其次为倒 5~倒 1 叶 5 次均施(A<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>)和倒 5、倒 2 叶 2 次施(A<sub>3</sub>、B<sub>3</sub>、C<sub>3</sub>), 这可能预示着圣稻 301 的倒 4、倒 1 叶期是追施秆穗肥的高效叶龄期, 与  $\text{CK}_2$  相比产量有所增加, 说明倒 4 叶期施氮对增产更有利。不施秆穗肥(A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>)产量显著降低, 且总施氮量越少者减产越明显。

表 1 不同氮肥处理群体的产量结构及其差异显著性分析

处理	穗数/ ( $10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	穗粒数	结实率/%	千粒重/g	产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	产量显著性分析 <i>LSD</i> <sub>0.05</sub> = 203.73
A <sub>1</sub>	393.30 f	79.30 g	91.31 ef	26.497 d	7 423.95	G
A <sub>2</sub>	422.70 ab	81.52 fg	89.00 h	26.118 fg	7 816.80	DEF
A <sub>3</sub>	426.00 a	82.03 ef	87.37 j	26.040 gh	7 717.65	F
A <sub>4</sub>	424.20 a	84.66 bcde	87.07 j	26.019 ghi	7 999.20	CDEF
B <sub>1</sub>	376.20 g	76.08 h	93.08 c	27.299 b	7 069.35	H
B <sub>2</sub>	411.45 cd	84.42 bcde	90.42 g	26.098 g	8 048.25	BCD
B <sub>3</sub>	414.45 bc	86.09 bc	88.24 i	25.922 i	8 015.40	BCDE
B <sub>4</sub>	411.15 cd	87.40 ab	89.21 h	26.187 f	8 194.80	A
C <sub>1</sub>	352.95 h	74.09 hi	93.99 b	27.361 b	6 595.35	I
C <sub>2</sub>	401.25 ef	86.02 bc	91.68 de	26.383 e	8 142.90	AB
C <sub>3</sub>	394.50 f	88.93 a	91.31 ef	25.821 j	8 012.55	ABC
C <sub>4</sub>	409.05 cde	85.68 bcd	92.10 d	26.075 g	8 265.45	A
$\text{CK}_1$	315.45 i	72.04 i	94.94 a	27.596 a	5 802.60	J
$\text{CK}_2$	404.10 de	81.38 fg	90.95 fg	26.682 c	7 810.50	EF
$\text{CK}_3$	422.55 ab	83.05 def	89.04 h	25.941 hi	7 901.70	CDEF

在产量构成上也呈现了显著的特点。穗数随总施氮增加有显著的增加, 尤其以穗重法和  $\text{CK}_3$  较多, 穗重法穗数相对较少; 而 4 种秆穗肥处理中, 除不施氮明显减少外, 3 种比例下处理间差异均不显著且无明显趋势, 表明前期施氮对穗数影响极大, 而后期秆穗氮肥影响较小。

对每穗粒数而言, 总施氮量由 0 到  $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  每穗粒数增多, 但  $\text{CK}_3$  因群体穗数较多反而较穗重法、平衡法少而与穗重法相当, 穗重法处理每穗粒数最多表明增加秆穗肥施氮比例利于攻大穗, 但穗数较  $\text{CK}_2$ 、 $\text{CK}_3$  减少, 穗重法则相反; 倒 4、倒 1 叶 2 次追施秆穗肥和倒 5、倒 2 叶 2 次施每穗粒数较  $\text{CK}_2$  多, 表明倒 3 叶期前施氮有利于攻大穗。

结实率随总施氮减少而提高, 穗重法较  $\text{CK}_2$  略高, 平衡法、穗重法较低, 而且秆穗肥处理

间除不施氮有显著提高外均无显著差异。千粒重亦是除CK<sub>1</sub>和不施秆穗氮肥者因群体穗数、库容量等较小且个体受光等条件相对较好而表现较高外,其他均与CK<sub>2</sub>、CK<sub>3</sub>无明显差别,其CV(变异系数)仅为0.93%。

此外,群体颖花量也随总施氮增加而增加,但到300 kg·hm<sup>-2</sup>时增加很少,大体保持在3.53×10<sup>8</sup>~3.6×10<sup>8</sup>朵·hm<sup>-2</sup>左右,且3种施氮比例均可形成3.50×10<sup>8</sup>朵·hm<sup>-2</sup>以上的颖花量,但穗重法主要通过保穗增粒途径,穗重法依靠保粒增穗,平衡法则是穗粒兼顾;追施秆穗肥处理除不施氮者减少外,其他较CK<sub>2</sub>、CK<sub>3</sub>无显著差异,表明圣稻301群体库容具有较强的自调能力。

## 2.2 稻米的品质

氮肥运筹对米质有不同的影响(表2)。处理间加工品质在等级上无显著差异,均达到1级优质米标准,表明加工品质比较稳定,但225 kg·hm<sup>-2</sup>氮肥较不施或少施氮处理的出糙率、精米率、整精米率均提高1%~2%,225 kg·hm<sup>-2</sup>氮肥水平下穗重法、平衡法较穗重法略有增加而与CK<sub>2</sub>相差不大,秆穗肥运筹上也以倒4、倒1叶施处理略好,300 kg·hm<sup>-2</sup>氮肥的整精米率则呈下降趋势。外观品质除透明度不显著外,垩白率、垩白度、青米率亦有穗重法较平衡法、穗重法略低的趋势,且倒4、倒1叶施秆穗肥可有效降低青米率,表明圣稻301的基肥施氮适量后移是改善稻米外观品质的一个重要方面。

表2 不同氮肥处理群体的稻米品质性状比较

处 理	加工品质			外观品质				蒸煮品质		蛋白质含量/%
	出糙率/%	精米率/%	整精米率/%	垩白率/%	垩白度/%	透明度	青米率/%	直链淀粉含量/%	胶稠度/mm	
A1	83.54	76.70	69.46	12.2	1.52	0.85	6.1	17.09	77.5	11.42
A2	84.07	77.54	69.36	11.8	1.50	0.80	6.9	16.34	77.3	12.68
A3	84.14	77.25	69.02	11.9	1.55	0.78	8.4	16.68	78.3	12.31
A4	84.01	77.39	69.79	12.8	1.56	0.81	7.5	16.24	79.2	12.80
B1	83.23	76.51	69.72	12.0	1.64	0.84	3.2	16.85	83.3	11.46
B2	84.44	77.56	69.52	11.8	1.31	0.75	8.0	16.34	82.3	11.88
B3	84.15	77.26	69.69	12.8	1.53	0.79	9.1	16.84	83.3	12.07
B4	84.29	77.59	70.66	12.4	1.46	0.78	11.0	16.02	84.0	11.75
C1	83.12	76.35	69.79	10.9	1.66	0.86	2.8	17.09	84.3	10.09
C2	84.35	77.50	69.84	10.7	1.24	0.80	6.4	16.88	85.8	11.77
C3	84.35	77.56	69.85	11.3	1.40	0.78	8.2	16.43	87.0	11.64
C4	84.28	77.89	71.00	11.0	1.39	0.79	5.6	15.90	85.0	12.04
CK <sub>1</sub>	82.65	75.73	68.83	11.8	1.77	0.83	1.5	17.27	80.0	8.79
CK <sub>2</sub>	84.26	77.48	70.14	11.7	1.49	0.81	6.7	15.95	84.2	12.01
CK <sub>3</sub>	84.14	77.35	69.27	12.2	1.70	0.79	8.8	15.90	86.5	11.43

圣稻301的稻米直链淀粉含量受氮肥运筹的影响较小,处理间变化仅在1%以内,且不施或少施氮者直链淀粉含量略高。胶稠度受氮肥运筹影响较大,施氮愈多者胶稠度愈高,穗重法和平衡法施氮处理均达1级优质米指标,且以穗重法最高,而穗重法有明显的下降趋势,仅在

2 级米指标以内, 并低于 CK<sub>1</sub>, 可能与前期穗肥比例较大有关, 秆穗肥运筹间胶稠度变化不大。此外氮肥运筹对稻米蛋白质含量也有一定影响, 施氮较多者一般较高, 但 CK<sub>3</sub> 的蛋白质含量反而降低, 可能是由于氮素在茎鞘叶中有更多的积累; 氮肥运筹上蛋白质含量有穗重法 < 平衡法 < 穗重法的趋势, 而秆穗肥处理间的差异不明显。由上述可看出, 试验 3 种施氮比例对圣稻 301 除稻米的透明度和直链淀粉含量以外的品质性状有较大的影响, 以穗重法处理较优, 而秆穗肥运筹仅对整精米率和青米率有影响, 其他品质受影响不大, 且以倒 4、倒 1 叶施氮略好。

### 2.3 群体干物质积累

干物质积累量随总施氮增加而增加(图 1), 尤其抽穗前更明显。穗重法(C)生物产量略低于 CK<sub>2</sub>, 为 15 307. 5 kg·hm<sup>-2</sup>, 穗重法(A)、平衡法(B)相对较高; 倒 4、倒 1 叶 2 次施氮高于 CK<sub>2</sub> 和其他追施秆穗肥处理, 表明倒 4、倒 1 叶 2 次施氮有利于群体干物质的积累。

不同生育阶段干物质积累也表现明显差异。拔节之前由于穗肥施氮不同, 干物质积累的差异为 A > B > CK<sub>2</sub> > C, 穗重法较 CK<sub>2</sub>、平衡法、穗重法高 1. 4%、3. 0% 和 8. 0%, 直至抽穗期差异进一步增大。将抽穗期干物质积累量与产量进行相关及趋势分析 ( $r = 0. 885 4^{**}$ ), 进而得到圣稻 301 抽穗期干物质积累量以 9 600 kg·hm<sup>-2</sup> 左右较适宜。抽穗后干物

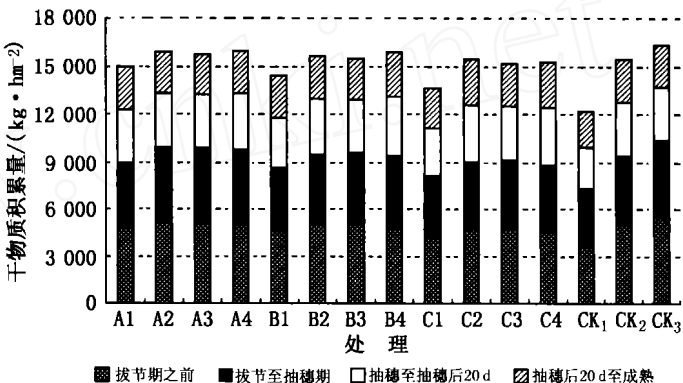


图 1 不同施氮处理的群体干物质积累量

质积累则有别于抽穗期之前, 穗重法反而较平衡法、CK<sub>2</sub>、穗重法高 1. 8%、4. 3% 和 5. 2%, 同时倒 4、倒 1 叶 2 次追施秆穗肥也较 CK<sub>2</sub>、倒 5~ 倒 1 叶 5 次均施、倒 5、倒 2 叶两次均施处理高 2. 5%、3. 5% 和 6. 8%, 表明穗重法和倒 4、倒 1 叶 2 次追施秆穗肥更利于产量形成期的干物质积累。同样, 抽穗后干物质积累量与产量的相关分析(图 3)表明, 在不同的施氮模式下抽穗后干物质积累与产量呈极显著的线性相关 ( $r = 0. 922 9^{**}$ ), 也验证了穗重法及倒 4、倒 1 叶 2 次追施秆穗肥有利于获得高产。

### 2.4 施氮效果

**2.4.1 氮肥效率** 施氮的生物产量效率(即平均每施入 1 个单位氮肥所能获取的生物产量)随着总施氮量增加而减小是氮肥施用报酬递减的客观反映, 而且在经济产量、颖花量、抽穗后干物质的施氮效率也是如此(表 3), 其中以抽穗后干物质积累和生物产量的施氮效率更敏感, 其 CV 分别达到 55. 84%, 53. 57%, 经济产量和颖花量分别为 51. 83%, 47. 42%。穗重法处理平均的单位施氮生物产量效率具有明显优势, 依次高于平衡法、CK<sub>2</sub> 和穗重法, 但经济产量、颖花量及抽穗后干物质的施氮效率却相反, 以穗重法为最高, 其次为平衡法, 而 CK<sub>2</sub> 和穗重法的相应施氮效率相对较低。同时又以倒 4、倒 1 叶 2 次施氮的生物产量、经济产量、抽穗后干物质的施氮效率为最高, 其次为倒 5~ 倒 1 叶 5 次均施、倒 5 和倒 2 叶 2 次施与 CK<sub>2</sub> 较低, 表明倒 4、倒 1 叶 2 次施氮有利于干物质尤其抽穗后干物质生产而增源, 经济产量施氮生产力也会相应地提高。而颖花施氮生产力则依倒 4、倒 1 叶施 < 倒 5、倒 2 叶施 < CK<sub>2</sub> < 倒 5~ 倒 1 叶 5 次均施的顺序增加, 但从群体扩库角度, 仍旧以倒 4、倒 1 叶 2 次施处理的扩库优势更为明显。这

一点从群体的源库特性上也可以得到证明,即穗重法处理在抽穗之前的单位干物质所能形成颖花的生产力,以及抽穗后单位颖花积累干物质的生产力均明显较平衡法、穗重法和CK<sub>2</sub>要高,因而突显了库大源强且较为协调的特点,群体质量得到有效的提高;不同秆穗肥处理中,倒4、倒1叶2次施氮处理的源库特性较其他处理也有类似的优势。

表3 不同施氮处理的施氮效率与源库特性

处 理	施氮效率*			抽穗后干物质 积累量/kg	抽穗前干物质的	抽穗后单位颖花的
	生物产 量/kg	经济产 量/kg	颖花 量/朵		颖花生 产力 10 <sup>4</sup> 朵·kg <sup>-1</sup>	干物质生 产力 kg·(10 <sup>4</sup> 朵) <sup>-1</sup>
穗重法A	70.43	35.69	156.01	26.65	3.54	0.175
平衡法B	69.66	36.67	157.53	27.52	3.64	0.182
穗重法C	68.03	37.09	155.02	28.02	3.71	0.188
不施秆穗肥	141.48	70.72	279.92	56.70	3.34	0.200
倒5~1叶施	69.60	36.37	153.63	27.55	3.66	0.179
倒5、2叶施	68.71	36.12	156.60	26.31	3.70	0.168
倒4、1叶施	69.82	36.96	158.34	28.33	3.82	0.179
CK <sub>1</sub>	—	—	—	—	3.10	0.215
CK <sub>2</sub>	68.69	35.47	146.17	26.88	3.50	0.184
CK <sub>3</sub>	54.33	27.01	116.96	19.56	3.36	0.167

\*注:施氮效率是指水稻本田期平均每施入1kg纯氮条件下所获取的生产力。

2.4.2 施氮增产率 在试验中,穗肥和秆穗肥的单位施氮增产率(每施入单位氮素平均获取的生产量较相应对照的增产率)也发生了相应的变化(表4)。在不施秆穗肥处理中,穗肥在生物产量、经济产量、抽穗后干物质质量上单位施氮增产率随施氮量的增加而降低,而颖花增产率则呈上升趋势。秆穗肥在生物产量上的单位施氮增产率因3种施氮方法而异,穗重法和平衡法

表4 不同施氮模式下穗肥和秆穗肥的施氮增产率

施氮模式		相应的 对照	单位施氮的增产率/%				
穗肥施氮量	秆穗肥施氮量		生物产量	经济产量	颖花量	抽穗后干物质质量	
穗肥	10.5 kg	0	CK <sub>1</sub>	2.07	2.54	3.54	1.97
	7.5 kg	0	CK <sub>1</sub>	2.37	2.95	3.45	2.46
	4.5 kg	0	CK <sub>1</sub>	2.58	2.87	3.34	2.66
秆穗肥 10.5 kg(穗重法)	倒5~1叶施 4.5 kg	A1	0.64	0.59	1.00	0.14	
		A1	0.54	0.51	1.15	0.17	
		A1	0.69	0.74	1.44	0.47	
	7.5 kg(平衡法)	倒5~1叶施 7.5 kg	B1	0.84	1.21	2.03	0.64
			B1	0.72	1.16	2.35	0.18
			B1	0.98	1.48	2.44	1.15
	4.5 kg(穗重法)	倒5~1叶施 10.5 kg	C1	1.26	2.30	3.05	1.65
			C1	1.08	2.19	3.25	1.01
			C1	1.16	2.39	3.24	1.67

均以倒 4、倒 1 叶 2 次施为最高, 倒 5~ 倒 1 叶 5 次施居次, 而倒 5、倒 2 叶 2 次施最低; 穗重法中, 单位施氮生物产量增产率则表现为倒 5~ 倒 1 叶 5 次施 > 倒 4、倒 1 叶 2 次施 > 倒 5、倒 2 叶 2 次施。经济产量、颖花量、抽穗后干物质生产的单位施氮增产率在 3 种施肥法中较为一致, 均是以倒 4、倒 1 叶 2 次施为最高, 倒 5、倒 2 叶 2 次施为最低, 而倒 5~ 倒 1 叶 5 次施介于二者之间, 表明在不同叶龄追施秆穗肥处理中, 倒 4、倒 1 叶 2 次施氮更具增产节氮的功效, 且运筹上适当配合前氮后移优势会更明显。因此, 对整个本田期的施氮运筹上, 不同施氮模式相对于 CK<sub>2</sub> 或 CK<sub>3</sub> 处理亦有不同的施氮效果(表 5), 其中以穗重法下的倒 4、倒 1 叶 2 次追施秆穗氮肥的增产效果最为明显, 其次为平衡法下的倒 4、倒 1 叶追施秆穗肥处理。总之, 从施氮对 CK<sub>2</sub>、CK<sub>3</sub> 的增产效果来看, 以采用穗重法和倒 4、倒 1 叶 2 次施氮的施氮增产效果最为显著, 其次为平衡法和倒 5~ 倒 1 叶 5 次施氮, 再次为穗重法及倒 5、倒 2 叶 2 次施氮, 与 CK<sub>2</sub> 处理较为接近。而与 CK<sub>3</sub> 相比较, 又具有明显节氮增效的特点。

表 5 不同施氮模式的施氮增产率的比较

15 kg 施氮模式	较 CK <sub>2</sub> 增产率/%				较 CK <sub>3</sub> 增产率/%			
	生物产量	经济产量	颖花量	抽穗后干物质质量	生物产量	经济产量	颖花量	抽穗后干物质质量
穗重法 倒 5~ 1 叶施 4.5 kg	2.77	0.35	4.76	-0.94	-2.55	-1.18	-1.80	2.09
	1.65	-0.38	6.26	-4.06	-3.61	-1.90	-0.40	-1.13
	3.18	1.94	9.18	2.48	-2.16	0.38	2.34	5.62
平衡法 倒 5~ 1 叶施 7.5 kg	1.34	2.68	5.60	2.24	-3.91	1.11	-1.02	5.37
	0.16	2.25	8.47	-2.36	-5.02	0.69	1.67	0.63
	2.73	5.24	9.26	7.35	-2.59	3.63	2.41	10.64
穗重法 倒 5~ 1 叶施 10.5 kg	-0.11	4.61	4.95	6.23	-5.28	3.01	-1.63	9.48
	-1.78	3.65	6.68	0.15	-6.87	2.06	-0.01	3.21
	-1.00	5.44	6.55	6.45	-6.12	3.83	-0.13	9.71

### 3 小结与讨论

试验结果表明: 在水稻本田期氮素运筹上, 依不同叶龄期的施氮模式对圣稻 301 产量形成及其施氮效果有明显的影响, 可认为在本试验条件下, 适当地对圣稻 301 实施前氮后移, 并在倒 4、倒 1 叶期 2 次追施秆穗肥, 有利于强化该品种高产群体生长和产量形成而高产, 且在一定程度上提高或保持了圣稻 301 的优良的米质性状, 同时氮肥的施用效果也得到明显的改善。或者说在获得相同产量的同时也有利于节约施氮量, 减少氮肥的浪费, 一定程度上达到高产节氮增效的协调统一, 为水稻的优质高产节氮增效栽培提供了较好的思路, 但仍需要从不同施氮处理的吸氮特性, 及其氮肥的利用率上得到进一步的验证, 此外究明依叶龄施氮模式及吸氮特性的关系也是研究的关键内容之一, 还需深入研究。此外, 上述所得出的试验结果只是针对黄淮稻区的优质中粳稻品种在常规大苗的栽培方式下得出, 能否在其他地区或栽培条件下有很好的普适性和重演性, 仍有待于今后进一步更全面和系统的研究。

近年来, 大量耐肥、长生育期水稻品种(组合)被广为应用, 水稻生产也由以往只注重产量转变为“高产、优质、高效”并举, 栽培策略从群体数量栽培向群体质量栽培转变。在改革传统的

氮肥运筹方面, 已有了大量的试验和研究, 也得出了并非一致的结论。例如近年不少研究指出<sup>[8-11]</sup>适当减少基肥用氮, 提高后期氮肥比例, 可使干物质积累、穗数及产量得到明显提高, <sup>15</sup>N 标记研究也表明还可明显提高氮肥利用率。由此看来, 水稻氮肥合理运筹的内容正随着品种的更新、生产条件的改善得到不断的充实和丰富, 也还需要进行更为系统而深入的研究。此外, 水稻叶龄模式诊断已被广为接受, 依照水稻叶龄期运筹氮肥(尤其是中后期穗肥施氮), 无疑将会在水稻的优质精确施肥中发挥重要作用。

### 参 考 文 献

- 1 浙江农业大学主编 实用水稻栽培学 上海: 上海科技出版社, 1981. 202~ 230
- 2 凌启鸿, 张洪程, 苏祖芳, 等 稻作新理论 北京: 科学出版社, 1992. 287~ 307
- 3 凌启鸿, 张洪程, 苏祖芳, 等 作物群体质量 上海: 上海科技出版社, 2000. 154~ 197
- 4 潘国璋, 徐家宽, 王伯良, 等 水稻不同氮肥运筹对群体质量和产量的影响 凌启鸿主编 水稻群体质量理论与实践 北京: 中国农业出版社, 1995. 162~ 166
- 5 罗永潘, 苏祖芳, 凌启鸿, 等 水稻叶龄模式的应用与发展 南京: 江苏科技出版社, 1992. 287~ 307
- 6 冯惟珠, 徐茂, 季春梅, 等 施氮肥时期对土壤供氮、稻株吸氮及产量的影响 江苏农业研究, 2000, 21(3): 16~ 21
- 7 苏祖芳, 张亚洁, 张娟, 等 基肥与穗肥配比对水稻产量形成和群体质量的影响 江苏农学院学报, 1995, 16(3): 21~ 30
- 8 王广元 水稻新施肥技术研究 山西农业科学, 1997, 25(11): 15~ 19
- 9 陈苇, 陈荣业 氮肥用量和用期对不同水稻品种的效应 浙江农业科学, 1989(3): 14~ 17
- 10 王维金, 徐竹生 重施穗肥对杂交水稻的产量和氮素营养的影响 华中农业大学学报, 1993, 12(3): 209~ 214
- 11 史春余, 金留福 应用<sup>15</sup>N 示踪技术研究水稻产量形成及其对氮肥的吸收利用 山东农业大学学报, 1992, 23(增): 145~ 150
- 12 Soliman M. Effect of method of N-application and modified urea on N-15 recovery by rice. Developments in Plant & Soil Sciences: Fertilizers & Environment, 1996, 66: 211~ 216
- 13 Jakhrom A. A. Nitrogen use efficiency for three fertilizers in irrigated rice. International Rice Research Notes, 1996, 21(1): 47