

任海,李旭,吕小红,等.氮肥运筹对滨海盐碱地水稻产量及氮肥利用率的影响[J].江苏农业科学,2016,44(9):86-89.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.024

氮肥运筹对滨海盐碱地水稻产量及氮肥利用率的影响

任海,李旭,吕小红,隋鑫,王宇,付立东

(辽宁省盐碱地利用研究所,辽宁盘锦 124010)

摘要:以超级稻盐丰 47 为材料,采用小区对比试验方法,研究氮肥运筹对滨海稻区水稻生育性状、产量及氮素利用率的影响。结果表明,不同处理分蘖高峰期随着基肥所占比例的增大而提早,有效分蘖临界期、拔节期茎蘖数随着基肥所占比例的增大而增加。有效分蘖临界期、拔节期、齐穗期群体叶面积指数随着基肥所占比例的增加而增大。在有效分蘖临界期、拔节期、齐穗期,A、B、C、D 不同处理的干物质积累量与基肥所占比例呈正相关;在成熟期,与穗肥所占比例呈多元相关。有效分蘖临界期、拔节期不同处理水稻植株吸氮量与基肥所占比例呈正相关;在齐穗期、成熟期不同处理阶段吸氮量与穗肥所占比例呈多元相关。基肥、蘖肥与穗肥比例 2:5:3 的 B 处理的产量为 10.40 t/hm²,比 A 处理(2:4:4)、C 处理(2:6:2)、D 处理(2:8:0)分别增产 3.5%、3.9%、7.7%;其单位面积有效穗数及颖花数、生物产量及抽穗至成熟期干物质积累量占产量的比例、氮肥利用率均高于 A 处理、C 处理、D 处理。依据水稻不同生育时期需氮特点,适当降低基肥比例,增加穗肥比例,改变“大头肥”的施肥方式,在保证获得适宜茎蘖数的基础上,提高成穗率,确保在孕穗期之初封行(叶面积指数达到最大值),促进大穗的形成和单位面积颖花数的增加,在提高生物产量的同时注重提高齐穗至成熟期的干物质产量和千粒质量是获得水稻超高产的有效途径。

关键词:氮肥运筹;叶面积指数;干物质积累量;产量;氮素利用率;100 kg 籽粒吸氮量

中图分类号: S511.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0086-03

水稻是中国种植面积最大、产量最高的粮食作物,全国有近 2/3 的人口以稻米为主食^[1]。氮素是限制水稻生长发育和产量形成的重要因子^[2-4],不仅氮素施入量对水稻产量有直接影响,而且其基肥、穗肥的施入比例对水稻产量也有一定的影响^[5-8]。田智慧等研究表明,相同施氮水平(240 kg/hm²)下,产量随中后期施氮比例的增加而增加^[9]。凌启鸿等通过对水稻精确定量栽培技术研究得出,5 个伸长节间以上的单季稻中苗移栽,基肥与穗肥比例以 5.5:4.5 产量最高,并且氮肥利用率可提高到 42% 以上^[10]。近年来,水稻生产上大量施入氮肥造成氮肥利用率的下降^[11],既浪费了农业资源,增加了生产成本,又污染了水稻和土壤环境。针对滨海稻区超级稻示范推广项目实施过程中所存在的氮肥施入量偏大、基肥所占比例过大、氮素利用率较低等问题^[12],辽宁省盐碱地利用研究所开展了氮肥运筹对超级稻生育及产量的影响试验,旨在明确超级稻对氮肥的吸收特点,研究分析超级稻适宜其高产栽培的基肥、穗肥施入比例,形成可量化的氮肥高效运筹技术。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤为滨海盐渍型水稻土,耕层土壤(0~15 cm)有机质含量为 19.96 mg/kg、全氮含量 1.01 mg/kg、碱解氮含量

85.32 mg/kg、速效磷含量 25.36 mg/kg、速效钾含量 199.12 mg/kg、全盐含量 1.72 mg/kg,pH 值 7.52。供试水稻品种盐丰 47,全生育期 156~160 d,15.5~16.0 张叶片。供试肥料包括尿素(含 N 46%),由盘锦中润化工有限公司生产;磷酸二铵(含 N 18%、P₂O₅ 46%),由云南云天化国际化工股份有限公司生产;硫酸钾(含 K₂O 50%),由盘锦恒兴化工有限责任公司生产。

1.2 方法

试验于 2012—2014 年在辽宁省大洼县的辽宁省盐碱地利用研究所试验地进行,数据取于 3 年试验结果的平均值。试验共设 7 个处理,分别为 A(氮素基肥、蘖肥、穗肥的比例为 2:4:4,下同)、B(2:5:3)、C(2:6:2)、D(2:8:0)、E(2:0:0)、F(2:5:0)、CK(空白对照)。随机区组排列,3 次重复,小区面积 24.0 m²。A、B、C、D 等 4 个处理的氮素施入量为 240 kg/hm² 相同,E、F 等 2 个处理氮素的基肥施入量同于 B 处理。不同处理的磷肥 P₂O₅ 为 105 kg/hm²,钾肥 K₂O 施入量为 90 kg/hm²,不同处理施入量相同。磷肥分为底肥 50%、蘖肥 50%,钾肥分为蘖肥 67%、穗肥 33%。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶龄 B、D 等 2 个处理的每个小区分别栽插带标记秧龄的秧苗 15 株,秧苗返青后 5~10 d 观察 1 次。

1.3.2 茎蘖 每小区定植 10 穴,分蘖始期后 6~7 d 调查 1 次茎蘖数。有效分蘖临界期(*N* 代表主茎总叶片数,*n* 代表伸长节间数,简称临界期)、拔节期、齐穗期、成熟期进行普查。

1.3.3 叶面积指数 有效分蘖临界期、拔节期、齐穗期,每小区取 3 穴有代表性植株,调查叶面积,齐穗期分株测定有效叶面积、无效叶面积、高效叶面积、低效叶面积。叶面积值等于叶片长宽之积乘以系数 0.75。

收稿日期:2015-07-23

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAD05B07);辽宁省农业攻关与成果产业化项目(编号:20141740)。

作者简介:任海(1984—),男,辽宁盘锦人,助理研究员,主要从事水稻栽培及盐碱地改良研究。E-mail:61657137@qq.com。

1.3.4 干物质量 利用调查叶面积的植物样测定植株干物质量,成熟期测定籽粒和茎叶干物质量。首先将茎叶、穗分开,分别装入样品袋,用 105 ℃ 杀青 30 min,然后在 85 ℃ 下烘干至恒质量。

1.3.5 收获指数 利用调查干物质量的植物样测定收获指数。收获指数为成熟期的籽粒干质量除以籽粒与茎秆干质量(包括植株地上的穗轴、茎、叶及叶鞘)之和。

1.3.6 氮含量 采用凯氏半微量定氮法测定氮含量,利用调查干物重的植物样测定植株、籽粒(成熟期)移栽期、有效分蘖临界期、拔节期、齐穗期、成熟期氮含量。

1.3.7 产量构成与实产 成熟期每小区取具有代表性植株 5 穴,进行室内考种,调查每穴平均穗数、株高、穗长,调查每穗粒数、结实率、千粒质量(饱粒质量)。收获,脱谷,记实产。

1.4 氮素吸收与利用方法计算

吸氮量 = 植株干物质积累量 × 植株含氮量 + 籽粒(成熟期)干物质产量 × 籽粒含氮量;100 kg 籽粒吸氮量 = 生产 100 kg 水稻的植株、籽粒吸氮量;氮肥利用率 = 施氮肥区与不施氮肥区植株、籽粒氮素积累量之差占施氮量的比例;氮肥生产效率 = 施氮区与不施氮区籽粒产量之差与施氮量之比。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel、DPS 软件进行数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥运筹对水稻茎蘖的影响

表 2 氮肥运筹对水稻叶面积指数(LAI)的影响

处理	叶面积指数			齐穗期					
	移栽期	有效分蘖临界期	拔节期	高效 LAI	低效 LAI	无效 LAI	叶面积指数	有效叶面积比例(%)	高效叶面积比例(%)
A	0.15	2.67	4.05	3.90	1.29	0.19	5.38	96.5	72.5
B	0.15	3.12	4.38	4.06	1.42	0.21	5.69	96.3	71.4
C	0.15	2.89	4.65	3.95	1.52	0.22	5.69	96.1	69.4
D	0.15	3.31	5.18	3.82	1.63	0.26	5.71	95.4	66.9

2.2 氮肥运筹对水稻干物质积累量的影响

从表 3 可以看出,有效分蘖临界期、拔节期、齐穗期 A、B、C、D 等 4 个处理的干物质积累量与基蘖肥所占比例呈正相关,成熟期与穗肥所占比例呈多元相关。B 处理整个生育期干物质积累量为 17.62 t/hm²,比 C、D、A 处理分别增加

表 3 氮肥运筹对水稻干物质产量的影响

处理	干物质产量(t/hm ²)					齐穗至成熟期干物质产量占籽粒产量比例(%)	收获指数
	移栽期	有效分蘖临界期	拔节期	齐穗期	成熟期		
A	0.07	0.81	3.31	8.79	16.76	79.3	0.59
B	0.07	0.84	3.50	9.58	17.62	77.3	0.58
C	0.07	0.96	3.71	9.78	17.26	74.8	0.57
D	0.07	1.06	3.98	10.03	16.95	71.6	0.55

2.3 氮肥运筹对水稻植株吸氮量和氮素利用率的影响

从表 4 可以看出,临界期、拔节期不同处理水稻植株吸氮量与基蘖肥所占的比例呈正相关;齐穗期、成熟期不同处理阶段吸氮量与穗肥所占的比例呈多元相关。成熟期 B 处理累计吸氮量最高,为 174.2 kg/hm²,A 处理为 170.4 kg/hm²、C 处理为 169.2 kg/hm²、D 处理为 162.9 kg/hm²。

B 处理氮肥利用率最高,为 40.08%,其次是 A、C、D 处理,分别为 38.52%、38.06%、35.41%。A、B、C、D 等 4 个处

从表 1 可以看出,不同处理分蘖高峰期随着基蘖肥所占比例的增大而提前,有效分蘖临界期、拔节期茎蘖数随着基蘖肥所占比例的增大而增加。成熟期单位面积收获穗数以 B 处理最多,为 358.5 万株/hm²,其次是 C 处理(348.9 万株/hm²)、A 处理(346.2 万株/hm²)、D 处理(345.2 万株/hm²);A、B、C、D 等 4 个处理的成穗率以 A 处理最高,B 处理次之,C、D 处理位居第 3、第 4 位。

表 1 氮肥运筹对水稻茎蘖的影响

处理	水稻茎蘖数(万株/hm ²)					成穗率(%)
	移栽期	有效分蘖临界期	拔节期	齐穗期	成熟期	
A	79.1	340.2	460.4	382.4	346.2	75.2
B	78.2	348.2	508.4	391.2	358.5	70.5
C	77.9	358.2	526.7	374.0	348.9	66.2
D	78.5	368.3	579.6	369.7	345.2	59.5

2.2 氮肥运筹对水稻叶面积指数的影响

从表 2 可以看出,有效分蘖临界期、拔节期、齐穗期群体叶面积指数随着基蘖肥所占比例的增加而增大。A 处理与 B、C、D 处理相比,临界期叶面积指数降低的幅度较小,拔节期降幅随各处理叶面积指数的增加而增大,齐穗期降幅又有所减小。齐穗期 A 处理叶面积指数为 5.38,比 B、C、D 处理分别降低 0.31、0.31、0.33;A 处理的有效叶面积率和高效叶面积率分别为 96.5%、72.5%,均居首位,B、C 处理居中,D 处理最小。

2.1%、4.0%、5.1%。A 处理的收获指数为 0.59、B、C、D 处理分别为 0.58、0.57、0.54。齐穗至成熟期,A 处理干物质积累量占其籽粒产量最高,为 79.3%,B 处理为 77.3%、C 处理为 74.8%、D 处理为 71.6%。

理 100 kg 籽粒吸氮量为 1.67~1.69 kg,CK 为 1.27 kg。B 处理氮肥生产效率最高,为 17.8,A、C、D 处理分别为 16.4、16.2、14.7。产量较高的 B 处理从有效分蘖临界期至拔节期、拔节至齐穗期、齐穗至成熟期的吸氮量占其总吸氮量的比例分别为 26.7%、40.2%、17.9%。

2.5 氮肥运筹对水稻产量的影响

从表 5 可以看出,B 处理单位面积的颖花量为 45 070 万朵/hm²,A 处理为 44 396 万朵/hm²、C 处理为 43 421 万朵/hm²,

表 4 氮肥运筹对水稻植株吸氮量和氮肥利用率的影响

处理	累计吸氮量 (kg/hm ²)				氮肥利用率 (%)	100 kg 籽粒吸氮量 (kg)	氮肥生产效率 (kg/kg)
	有效分蘖临界期	拔节期	齐穗期	成熟期			
A	24.2	62.7	133.4	170.4	38.52	1.69	16.4
B	26.7	73.1	143.1	174.2	40.08	1.67	17.8
C	27.0	75.8	144.5	169.2	38.06	1.69	16.2
D	27.5	79.2	146.4	162.9	35.41	1.69	14.7
E	20.4	55.2	93.3	105.8	58.14	1.46	23.6
F	27.3	73.5	127.5	141.0	37.58	1.63	14.9
CK	16.2	41.4	69.5	77.9		1.27	

均高于 D 处理 42 102 万朵/hm²。D 处理结实率最高,为 91.9%,其次是 C、B、A 处理;A、B、C、D 等 4 个处理间千粒质量无明显变化规律。B 处理产量 10.40 t/hm²,分别比 A、C、D 处理增产 3.5%、3.9%、7.7%。B 处理与 D 处理间产量差异达到显著水平,但 A、B、C 处理间,B、C、D 处理间差异不显著。

表 5 氮肥运筹对水稻产量构成因素及产量的影响

处理	收获穗数 (万穗/hm ²)	颖花量 (万朵/hm ²)	成粒数 (个/穗)	结实率 (%)	千粒质量 (g)	实产 (t/hm ²)
A	346.2	44 396	115.8	90.3	26.1	10.05ab
B	358.5	45 070	113.9	90.6	26.2	10.40a
C	348.9	43 421	113.5	91.2	26.1	10.01ab
D	345.2	42 102	112.1	91.9	25.9	9.66b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

本试验结果表明,基蘖肥与穗肥比例为 2 : 5 : 3 的 B 处理产量最高,其产量为 10.40 t/hm²,比 A、C、D 处理分别增产 3.5%、3.9%、7.7%。B 处理在有效分蘖临界期之初够苗,高峰苗得到了较好的控制,成穗率较高,其单位面积收获穗数及颖花数、成熟期生物产量及齐穗至成熟期干物质积累量占籽粒产量的比例、氮肥利用率均高于 A、C、D 处理。

滨海稻区高产水稻群体在有效分蘖临界期至拔节期、拔节至齐穗期、齐穗至成熟期的阶段吸氮量占其总吸氮量的比例分别为 26.7%、40.2%、17.9%。依据水稻不同生育时期需氮特点,适当降低基蘖肥比例,增加穗肥比例,改变“大头肥”的施肥方式,在保证获得适宜茎蘖数的基础上,提高成穗率,确保在孕穗期之初封行(叶面积指数达到最大值),促进大穗的形成和单位面积颖花数的增加,在提高生物产量的同时注重提高齐穗至成熟期的干物质产量和千粒质量是获得水稻超高产的有效途径。

水稻分蘖期重施氮肥的传统施肥方式,使水稻提早封行,虽然增加了齐穗期干物质产量,但未增加籽粒产量,并且降低了群体质量和植株抗性,浪费了有限的农业资源,降低了肥料利用率,增加了生产成本,污染了水稻和土壤环境^[7,11,13-14]。适当降低基蘖肥施入比例,增加穗肥施入比例,在实施定量施氮的基础上实现水稻精确定量栽培,还应与水稻定量播种早育壮秧、定量本株稀植移栽、定量灌溉相结合。一是确保水稻在有效分蘖临界期之初够苗;二是降低拔节期植株含氮率,提高碳/氮,中和较多的氮素穗肥,在保证获得高产的同时,提高植株抗性,实现稳产。

本试验以基蘖穗肥比例 2 : 5 : 3 的处理增产效果最佳,其比例略高于凌启鸿等的研究结果^[15-17]。这是由于滨海稻

区的土壤黏重、春季耕层土壤含盐量较高,以及早春气温回升较慢等原因降低了氮素的活性,阻碍水稻生育前期对氮素的吸收与利用;适当增加蘖肥比例可提高分蘖期土壤速效氮浓度,一是可促进水稻营养生长期对氮素的吸收,保证在有效分蘖临界期之初达到预期有效穗数,二是雨季到来后,由于降水的增加,气温的升高,可增强土壤中氮素的活性,促进水稻生殖生长期对氮素的吸收,提高单位面积颖花数和结实率^[18]。

水稻 100 kg 籽粒需氮量取决于水稻产量、施氮量、氮肥利用率及土壤供氮量。滨海稻区水稻 100 kg 籽粒需氮量为 1.67 ~ 1.69 kg,低于常规一季粳稻 100 kg 籽粒需氮量^[15],主要是与盐丰 47 的品种特性有关。一是该品种丰产性好,在常规施氮量条件下,平均产量可达到 9 750 ~ 10 500 kg/hm²;二是该品种的收获指数为 0.57 ~ 0.59,明显高于其他品种^[8,12],在相同生物产量的前提下,相对增加了籽粒产量,即在相同吸氮总量的前提下降低了 100 kg 籽粒需氮量。

参考文献:

[1] 凌启鸿,张洪程,戴其根,等. 水稻精确定量施氮研究[J]. 中国农业科学,2005,38(12):2457-2467.
[2] Bockman O C, Olf H W. Fertilizers, agronomy and N₂O [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,1998,52(2/3):165-170.
[3] 吴吉人,陈光华. 北方农垦稻作新技术[M]. 沈阳:东北大学出版社,2000:46-58.
[4] 付立东,王宇,展广军,等. 盐粳 68 高产优化栽培技术研究[J]. 辽宁农业科学,2006(2):35-37.
[5] 凌励,王绍华,戴其根,等. 机插水稻高产精确定量栽培技术的研究[C]. 水稻精确栽培理论与技术研讨会论文集,2006:129-140.
[6] 李菊梅,徐明岗,秦道珠,等. 有机无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(1):51-56.
[7] 宋勇生,范晓晖. 稻田氨挥发研究进展[J]. 生态环境,2003,12(2):240-244.
[8] 周薇,徐志江,付立东,等. 水稻新品种盐粳 188 氮肥运筹技术研究[J]. 北方水稻,2007(3):74-76.
[9] 田智慧,潘晓华. 氮肥运筹及密度对超高产水稻中优 752 的产量及产量构成因素的影响[J]. 江西农业大学学报,2007,29(6):894-898.
[10] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等. 水稻高产技术的新发展——精确定量栽培[J]. 中国稻米,2005(1):3-7.
[11] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境,2000,9(1):1-6.
[12] 潘月卓,付立东,詹贵升,等. 水稻精确定量施氮技术研究[J]. 北方水稻,2008,38(3):53-55.
[13] Wang G H, Dobermann A, Witt C, et al. Performance of site specific

沈 伟,姚海涛,王文清,等. 江苏宿迁地区水稻暴雨洪涝灾害灾损分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):89-93.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.025

江苏宿迁地区水稻暴雨洪涝灾害灾损分析

沈 伟^{1,2},姚海涛²,王文清²,张 莹²,吴新胜²

(1. 南京大学大气科学学院,江苏南京 210093; 2. 江苏省宿迁市气象局,江苏宿迁 223800)

摘要:在根据宿迁地区水稻种植品种和地形特征对水稻种植区进行划分的基础上,利用宿迁地区 2003—2013 年水稻产量资料和 2008—2013 年水稻遭受暴雨洪涝灾害保险理赔资料,计算出水稻遭受暴雨洪涝灾害造成的损失率。结果发现,孕灾环境对水稻受暴雨洪涝灾害影响最大,灾损最重的是Ⅲ区,其次是Ⅰ区,Ⅱ区和Ⅳ区比其他 6 个区重;水稻的易损性(水稻品种)次之,粳稻重于籼稻;暴雨洪涝灾害对水稻种植的主要影响阶段是水稻的孕穗扬花期和灌浆成熟期。

关键词:水稻;种植区划分;暴雨洪涝灾害;灾损率

中图分类号:S422 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)09-0089-05

水稻是江苏省宿迁市重要粮食作物之一,全市播种面积超过 20 万 hm^2 ,总产量达到 16.5 亿 kg ;其中优质粳稻播种面积接近 11.3 万 hm^2 ,平均产量 8 250 kg/hm^2 ,总产量达 9.07 亿 kg 。水稻生长季节跨整个汛期,特别是 8 月以后的台风多发季节,台风引发的暴雨、大暴雨及其伴随的大风对水稻最终产量的形成影响巨大,暴雨洪涝灾害是危害水稻生产最主要的自然灾害之一,它与农业经济效益紧密相联^[1]。准确、定量地评估暴雨洪涝灾害风险对宿迁水稻生产的影响,对发展宿迁地区水稻种植业具有重大意义。根据目前比较公认的自然灾害风险形成机制理论,水稻暴雨洪涝灾害主要是由暴雨洪涝的危险性(暴雨强度)、水稻的暴露度(种植面积)、水稻的易损性(水稻品种)、孕灾环境的敏感性(地形特征)和抗灾能力等因素相互综合作用形成的^[2-9]。

1 资料来源

1.1 水稻产量数据

各乡镇(不含街道办)水稻产量(kg/hm^2)数据源于宿迁市各县(市、区)统计局统计年鉴,时间为 2003—2013 年。

1.2 水稻灾损理赔数据

水稻灾损理赔数据源于承担宿迁市农业保险业务的中国人民财产保险股份有限公司宿迁分公司提供的 2008—2013 年(2008 年宿迁市开始试行农业保险理赔业务,其中 2011 年

全市无保险理赔资料,实际资料使用年限为 5 年)的理赔资料。在统计乡镇水稻灾损个例时规定:当某乡镇出现暴雨洪涝灾害,有 1 个或 1 个以上自然村出现水稻灾损赔付案例时,视该乡镇发生 1 次水稻暴雨洪涝灾害案例。

1.3 地理信息数据

利用 ArcGIS 技术,从美国地理信息中心网站提取宿迁边界、高程等数据,制作宿迁乡镇行政区划图和地理分布图。

1.4 现行的《江苏省政策性农业保险水稻种植保险条款》主要内容

经过政府部门审定的合格品种,符合当地普遍采用的种植规范标准和技术管理要求,并且种植场所在当地洪水水位线以上的非蓄洪、行洪区的生长正常的水稻可以参加水稻保险;在保险期内,由于暴雨、洪水、内涝、风灾、雹灾、冻灾以及旱灾、病虫害直接造成水稻损失,损失率达到 10% 以上时,保险人可以按照保险合同约定取得赔偿。

2 研究方法

某一地区的作物产量是时间序列,受不同历史时期各种因素的影响,如生产力水平、栽培技术、气候条件等^[10-12]。然而,同一历史时期由于农作物位于不同地域,导致地理条件不同,从而影响农作物产量的灾害损失。研究灾害损失以产量绝对值为对象,这些损失值会因为受历史时期生产力水平、地域不同等因素的影响而没有时间和空间上的可比性;用灾害导致的农产品产量或者收入的损失额的比率(它是研究灾害损失规律的基本随机变量)作为研究对象,由于不同历史时期生产力水平不同,农作物的产量、抗灾性能等都不同,这样的“损失率”序列不具有时间上的可比性。因此,笔者引入了不

收稿日期:2015-06-30

基金项目:江苏省气象科研开放基金(编号:K201010)。

作者简介:沈 伟(1985—),男,江苏泗洪人,工程师,主要从事天气
预报与农业气象应用和研究工作。Tel:(0527)84359242;E-mail:
sq4359246@163.com。

nutrient management for irrigated rice in Southeast China [J].
Agronomy Journal, 2001, 93: 869-879.

[14] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2000:
44-106.

[15] 凌启鸿, 张洪程, 丁艳锋, 等. 水稻精确定量栽培理论与技术
[M]. 北京:中国农业出版社, 2007: 92-138.

[16] 丁艳锋, 刘胜环, 王绍华, 等. 氮素基、磷肥用量对水稻氮素吸收
与利用的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(8): 762-767.

[17] 刘立军, 王志琴, 桑大志, 等. 氮肥运筹对水稻产量及稻米品质
的影响[J]. 扬州大学学报, 2002, 23(3): 46-50.

[18] 王 宇, 苏 平, 付立东. 氮肥运筹对超级稻盐丰 47 产量及氮
素利用率的影响[J]. 北方水稻, 2007(5): 40-43.