

水稻优质高产精确施氮参数研究^①

谢金学, 谭和芳, 薛冬娥, 郑网宇

(江苏省丹阳市农林局土肥站, 江苏丹阳 212300)

Parameters of Precision Nitrogen Fertilization on Rice

XIE Jin-xue, TAN He-fang, XUE Dong-e, ZHENG Wang-yu

(Danyang County Soil and Fertilizer Management Station, Danyang, Jiangsu 212300, China)

摘要: 3 年的试验研究表明, 丹阳市水稻精确施 N 的参数为: 100 kg 籽粒吸 N 量在施 N 区为 2.1 kg、无 N 区为 1.56 kg; 无 N 区基础地力产量平均 6305 kg/hm², 其中黏土 6730.6 kg/hm²、壤土 5700.6 kg/hm²; 化学 N 肥当季利用率 39%。

关键词: 水稻; 精确施肥; 施氮参数

中图分类号: S143.1; S511

氮素是作物生长发育所需的重要营养元素, 而多数土壤的含 N 量低, 施用 N 肥为作物补充 N 素是保证作物高产的重要措施。但 N 肥的过量施用会造成利用率降低, 经济效益下降, 并引起地下水、地表水和大气污染^[1]。全世界每年的气态 N 化合物总排放量可高达 N 120 Tg, 人类活动产生的贡献率为 67%。其中农田生态系统施肥而产生的这种排放占有相当比例^[2]。因此, 如何合理施用化肥尤其是 N 肥, 减少农业面源污染, 提高水稻单产和品质, 是摆在农业科技工作者面前的一个十分重要的研究课题。2002—2004 年我们承担了江苏省农业三项工程项目“江苏省主要农作物优质高产精确施肥技术”的试验研究与示范推广, 在丹阳市主要土壤类型上布置了水稻精确施 N、土壤基础供 N 等小区试验和大面积示范推广, 累计试验小区 600 余个, 涉及 16 个镇。通过试验研究旨在摸索水稻作物精确施肥技术参数, 形成苏南稻区水稻优质高产精确施肥技术体系。

1 材料与方法

1.1 土壤基础供 N 试验

试验选择在黄泥土、白土心黄泥土、油泥土、

油沙土、灰沙土、粉沙土等 6 个土属土壤上进行, 面积占丹阳市水稻土面积的近 70%, 代表了洮埭平原、低山丘陵、沿江圩区、孟河平原四大农业区, 3 年累计试验田块 121 块。在每块田进水口划出 66.7 m² 作为无 N 处理区, 无 N 区一律不用化学 N 肥和有机肥, 统一施用 P₂O₅ 67.5 kg/hm², K₂O 135 kg/hm², 且作基肥一次施用, 其余栽培管理措施同大面积生产。供试肥料品种为过磷酸钙 (含 P₂O₅ 125 g/kg)、进口氯化钾 (含 K₂O 600 g/kg)。供试水稻品种为武香粳 14。

1.2 精确施 N 试验

试验落实在里庄镇里庄村黄坤生责任田内, 水稻品种武香粳 14。供试土壤为黄泥土, 土壤有机质 25 g/kg、全 N 1.72 g/kg、碱解 N 133 mg/kg、速效 P 15.4 mg/kg、速效 K 114 mg/kg。试验设 6 个处理, 3 次重复, 小区面积 20 m²。小区之间支埂包膜隔离, 小区四周设保护行。试验处理分别为: ①标准施 N: 297 kg/hm²; ②-15% N: 252 kg/hm²; ③-30% N: 207 kg/hm²; ④+15% N: 342 kg/hm²; ⑤+30% N: 387 kg/hm²; ⑥不施 N。各处理统一施用 P₂O₅ 67.5 kg/hm², K₂O 180 kg/hm²。供试肥料品种为复合肥 (15-15-15)、尿素 (含 N 460 g/kg)、过磷酸钙 (含

①基金项目: 江苏省农业三项工程项目 (SX2004) 资助。

作者简介: 谢金学 (1963—), 男, 江苏丹阳人, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料技术推广工作。E-mail: dynlxiejx@163.com

P_2O_5 125 g/kg)、氯化钾(含 K_2O 600 g/kg)。N 肥 60% 作基肥、40% 作穗肥；P 肥一次性作基肥施用；K 肥 40% 作基肥、60% 作长粗肥。

1.3 精确施肥大田对比试验

试验分别在里庄镇里庄村黄泥土、横塘镇留雁村粉沙土、种子农场粉沙土上进行。分别设精确施肥区、习惯施肥区、无 N 区 3 个处理区。精确施肥区：根据目标产量及主要施肥参数计算 N 肥用量，P、K 肥采用临界值法确定。具体肥料用量(折纯量)里庄 N 297 kg/hm²、 P_2O_5 67.5 kg/hm²、 K_2O 135 kg/hm²，N 肥运筹为基肥 60%、穗肥 40%，P 肥一次性作基肥施用，K 肥基肥 40%、长粗肥 60%；横塘 N 309 kg/hm²、 P_2O_5 67.5 kg/hm²、 K_2O 180 kg/hm²，N 肥运筹基肥 50%、穗肥 50%，P、K 肥运筹同里庄点；种子农场点肥料用量及运筹同横塘点。习惯施肥区：按当地农民习惯施肥，里庄 N 252 kg/hm²、 P_2O_5 54 kg/hm²、 K_2O 54 kg/hm²；横塘 N 327 kg/hm²、 P_2O_5 45 kg/hm²、 K_2O 20 kg/hm²；种子农场施肥量同横塘镇。N 肥运筹 3 个点统一为基肥 70%、穗肥 30%，P、K 肥一次性作基肥施用。无 N 区：不施 N 肥， P_2O_5 、 K_2O 用量同精确施肥区。供试肥料品种同试验 1、2。供试水稻品种里庄镇为武香粳 14，横塘镇、种子农场为常农粳 3 号。

1.4 验证性示范试验

分别选择延陵 8 hm²、珥陵 20 hm²、麦溪 7.3 hm²、导墅 14.7 hm²、蒋墅 6.7 hm²、行宫 8.7 hm²、司徒 7.3 hm²、吕城 7 hm²、皇塘 8 hm²、全州 6.7 hm² 水田进行验证性示范试验。试验根据目标产量和施肥参数确定 N 肥施肥量，N 270 ~ 300 kg/hm²， P_2O_5 67.5 ~ 90 kg/hm²， K_2O 90 ~ 135 kg/hm²。化学 N 肥运筹基肥 50% ~ 60%、穗肥 40% ~ 50%，P

肥全部作基肥，K 肥 50% 作基肥、50% 作长追肥。同时，选用良种(武香粳 14、武粳 15、常农粳 3 号)、培育壮秧、合理群体(株距 15 ~ 16.5 cm，行距 26.5 ~ 28 cm，基本苗 90 万/hm² 左右)、及时烤田。

1.5 测定项目及方法

试验测定植株全 N、全 P、全 K，土壤有机质、全 N、速效 P、速效 K，产量结构有效穗数、总粒数、结实粒、千粒重，N 肥当季利用率，100 kg 籽粒吸 N 量。

植株测定^[3]：采用硫酸-双氧水消煮，全 N 用蒸馏法测定、全 P 用钼锑抗比色法测定、全 K 用火焰光度法测定。

土壤测定^[4]：有机质含量采用重铬酸钾容量法测定，全 N 采用半微量凯氏法测定，速效 P 采用碳酸氢钠法测定，速效 K 采用醋酸铵浸提火焰光度计法测定，碱解 N 采用扩散吸收法测定。

土壤基础供 N 量 = 无 N 区籽粒产量 × 无 N 区籽粒含 N 量 + 无 N 区茎秆产量 × 无 N 区茎秆含 N 量。

氮肥当季利用率(%) = (施 N 区植株吸 N 量 - 无 N 区植株吸 N 量) / 施 N 量

2 结果与分析

2.1 土壤供 N 能力

2.1.1 土壤基础地力产量(无 N 区产量) 2002—2004 年土壤基础地力产量结果列于表 1。综合 3 年 121 块大田试验结果：丹阳市土壤基础地力产量平均 6305 kg/hm²，其中黏土 6730.6 kg/hm²、壤土 5700.6 kg/hm²。不同土壤质地基础地力产量差异较大，黏土明显高于壤土。同一质地之间地力产量差异也较大。

表 1 2002—2004 年土壤基础地力产量(kg/hm²)

年度	黏土			壤土			平均		
	n	均值	变幅	n	均值	变幅	n	均值	变幅
2002	4	6859.5	6450 ~ 7360.5	2	6364.5	6064.5 ~ 6666	6	6694.5	3600 ~ 8775
2003	17	6736.5	5251.5 ~ 7872	9	5874	5403 ~ 6643.5	26	6437.9	5251.5 ~ 7872
2004	50	6718.5	3600 ~ 8775	39	5626.5	4156.5 ~ 7396.5	89	6240.6	3600 ~ 8775
平均		6730.6			5700.6			6305	

2.1.2 土壤基础供 N 量 2002 年无 N 区土壤基础供 N 量平均 93.9 kg/hm²、变幅 82.2 ~ 100.4 kg/hm²；2003 年平均 131.6 kg/hm²、变幅 84.6 ~ 178.8

kg/hm²；2004 年平均 89.4 kg/hm²、变幅 51.6 ~ 178.5 kg/hm²。2003 年明显偏高，原因可能是 2003 年 7 月 5 日的暴雨造成部分串肥。

综上试验结果,丹阳市土壤基础供 N 量平均 98.7 kg/hm²,无 N 区 100 kg 籽粒吸 N 量 1.56 kg。

2.1.3 土壤基础养分与土壤基础地力产量的关系

一些研究认为可以将全 N 和有机质作为土壤供 N 能力指标^[5]。但也有不少研究者持反对观点^[6]。本试验结果表明土壤碱解 N (x) 与基础地力产量 (y) 相关性最好, $y = 42.6915x + 706.395 \quad R^2 = 0.5273$; 其次是土壤有机质, $y = 154.905x + 2701.8 \quad R^2 = 0.3981$; 土壤速效 P、速效 K 与基础地力产量相关性较差。试验结果还表明有机质 (x₁)、全 N (x₂) 含量和碱解 N (y) 含量有较好的相关性 $y = 3.677x_1 + 46.2715 \quad R^2 = 0.6999$, $y = 47.986x_2 + 57.0582 \quad R^2 = 0.6321$ 。据此认为土壤碱解 N 和土壤有机质能较好地反映土壤基础供 N 能力。

2.2 施 N 量对作物产量和养分吸收的影响

2.2.1 对产量的影响 将精确施 N 试验各处理考种核产结果列于表 2。从表 2 可知:有效穗数有随施 N 水平提高而增加的趋势,千粒重有下降的趋势,而结实率在施 N 水平超过极限施 N 量后则明显下降。经方差分析 $F = 7.44 > F_{0.01} = 7.01$,处

理间产量差异达极显著水平。对水稻实际产量 (y) 和不同施 N (x) 水平进行统计分析,用二次方程拟合得: $y = 6625.39 + 24.012x - 0.0347x^2 \quad R^2 = 0.9995^{**}$ 。由方程计算:最高产量施肥量为 345.99 kg/hm²。

2.2.2 对养分吸收的影响 由表 2、3 数据可知,产量水平 (y) 和植株吸 N 量 (x) 呈明显的正相关, $y = 4019.18 + 30.255x \quad R^2 = 0.9603^{**}$ 。施 N 量增加,籽粒中含 N 率、植株吸 N 量有增加的趋势,N 肥利用率呈下降趋势。施 N 207、252、297、342、387 kg/hm²,N 肥利用率分别为 43.9%、43.8%、43.7%、40.9%、34.6%。过量使用 N 肥,N 肥利用率明显下降。施 N 量 (x) 增加,生产 100 kg 籽粒吸 N 量 (y) 增加, $y = 1.489 + 0.0018x \quad R^2 = 0.8426^*$ 。

2.3 精确施肥对作物产量和 N 素吸收的影响

2.3.1 对产量的影响 综合 3 年的试验,精确施肥比习惯施肥增产 8.9%~12.8%。精确施肥之所以增产,主要是提高成穗率,增加总颖花量。如 2002 年精确施肥区平均成穗率 81.5%、总颖花量 41520 万朵/hm²,比习惯区分别增加 5.6%、7.5%。

表 2 精确施 N 试验产量

处理	穗数 (万穗/hm ²)	总粒 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (克)	理产 (kg/hm ²)	实际产量 (kg/hm ²)	
						籽粒	秸秆
标准施 N	284.7	148.1	89.2	28	10537.5	10659 ab A	9529.5
-15%N	287.5	140.3	89.8	28	10144.5	10438.5 bc AB	9618
-30%N	280.2	144.9	88.4	28.2	10122	10137 c B	9127.5
+15%N	296.4	143.9	89.7	27.9	10657.5	10834.5 a A	11322
+30%N	303.2	140.8	80.3	27.9	10263	10695 ab A	10921.5

表 3 精确施 N 试验养分吸收

处理	标准施 N	-15%N	-30%N	+15%N	+30%N	无 N
籽粒含 N (g/kg)	12.390	11.896	11.542	11.964	12.365	9.768
秸秆含 N (g/kg)	9.586	8.268	7.385	9.166	8.711	4.715
吸 N 量 (kg/hm ²)	223.41	203.70	184.41	233.4	227.38	93.56
100 kg 籽粒吸 N 量	2.10	1.95	1.82	2.15	2.13	1.41

2.3.2 对 N 素吸收的影响 2002 年精确施肥大田对比试验结果列于表 4。由表 4 可知,精确施肥能够明显提高肥料利用率,精确施肥区 N 肥利用率平均 38.9%,比习惯区高 4.7 个百分点。2003 年由于发大水精确施肥区 N 肥利用率平均 25%,传统习

惯区只有 16.7%,精确区比习惯区高 8.3 个百分点。

2.4 示范结果

共使用 10 个示范方进行了示范验证试验。

(1) 提高了水稻单产。10 个示范方 125 块精确施肥田块抽样测产平均穗数 317.25 万/hm²,每穗总

表 4 精确施肥大田对比试验结果

处理	里庄			横塘			种子农场		
	精确区	习惯区	无 N 区	精确区	习惯区	无 N 区	精确区	习惯区	无 N 区
施 N 量 (kg/hm ²)	297	252	0	309	327	0	309	309	0
籽粒产量 (kg/hm ²)	10210.5	9378	7095	9871.5	9064.5	6064.5	10335	9165	6666
秸秆产量 (kg/hm ²)	9178.5	8863.5	6416	8976	8421	6426	11447	11006	6571.5
籽粒含 N (g/kg)	13.213	12.091	9.758	11.720	12.573	9.200	11.986	12.454	9.838
秸秆含 N (g/kg)	8.281	8.132	4.705	10.466	9.095	4.106	8.211	9.268	5.286
吸 N 量 (kg/hm ²)	210.92	185.47	99.42	209.64	190.56	82.18	217.9	216.4	100.32
N 肥当季利用率(%)	37.5	34.1		41.2	33.1		38.05	35.5	
100 kg 籽粒吸 N 量(kg)	2.06	1.98	1.4	2.12	2.1	1.36	2.11	2.36	1.51

粒 125.56 粒，每穗实粒 115.2 粒，千粒重 28 g，理论单产 10233.2 kg /hm²；96 块习惯施肥区平均穗数 313.05 万/hm²，每穗总粒 118.59 粒，每穗实粒 109.5 粒，千粒重 27.5 g，理论单产 9426.7 kg/hm²，精确施肥比习惯施肥增产 8.6%。

(2) 节省了化学 N 肥用量。10 个示范方统计精确施肥田块平均 N 肥用量 312 kg/hm²，P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 126 kg/hm²，习惯施肥田块平均 N 肥用量 358.5 kg/hm²、P₂O₅ 57 kg/hm²、K₂O 57 kg/hm²，精确施肥节省 N 肥用量 46.5 kg/hm²。

(3) 增加了经济效益。按稻谷 1.70 元/kg 计算，精确施肥每公顷产值 17396.4 元，习惯区 16025.4 元，精确施肥比习惯施肥增收 1371 元。

3 小结和讨论

(1) 丹阳市水稻优质高产精确施 N 几个主要参数为：生产 100 kg 籽粒吸 N 量 2.1 kg，N 肥利用率 39%，无 N 区产量 6305kg /hm²，无 N 区 100 kg 籽粒吸 N 量 1.56 kg。

(2) 水稻精确施肥可以明显提高成穗率，提高总颖花量，提高肥料利用率，提高单位 N 素肥料的

产出力。成穗率提高 5%，总颖花量提高 7% 以上，肥料利用率提高 5%，1 kg N 素产出率提高 8% 左右。

(3) 不同土壤类型，不同水稻品种，不同气候条件下的施肥参数尚需作进一步研究，有机无机、N、P、K 的配合施用也需要作深入研究。

参考文献：

[1] 闫德智, 王德建.土壤供氮能力研究方法进展. 土壤, 2005, 37 (1): 20-24

[2] 曹志洪. 施肥与大气环境质量—论施肥对环境的影响 (1). 土壤, 2003, 35 (4): 265-270

[3] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 62-136, 357-378

[4] 周鸣铮编著. 土壤肥力测定与测土施肥. 北京: 农业出版社, 1988: 96-106

[5] 李生秀, 付会芳, 袁虎林, 肖俊璋. 几种测氮方法在反映土壤供氮能力方面的效果. 土壤, 1990, 22 (4): 194-197

[6] 李菊梅, 王朝辉, 李生秀. 有机质、全氮、和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义. 土壤学报, 2003, 40 (2): 232-238