

石灰性水稻土的施肥模式及应用*

韦洁诚 朱泽亮 陶胜 李晖

(广西柳江县农业局)

摘要

本文应用3因子5水平的回归最优设计,研究了柳江县水稻施肥方案并建立了相应的方程。利用方程预测了最佳施肥量和产量。经统计,实际产量与预报产量的符合度为1.05。2年推广37万亩,增产稻谷1936万公斤。

柳江县地处广西中部。土壤主要是由石火岩风化物发育而成的水稻土,其养分较匮乏,是我国主要的低产土壤之一。80年代,我们与南京土壤研究所合作,在粮食和经济作物上进行了氮、磷、钾、镁、硫等营养元素的平衡施肥研究,并大面积推广钾肥,取得了极其显著的增产效果与经济效益。但从全县范围来看,施肥仍处于经验阶段,肥料利用率低,经济效益和产量不高,影响了农民种粮及大力发展蔬菜生产的积极性,粮、菜矛盾长期得不到解决。

水稻是柳江县主要的粮食作物,因此,研究其高产施肥,对全县经济的发展和农民收入的提高具有重要意义。为此,我们进行了多年的试验研究,本文为1989—1991年的主要结果。

一、材料和方法

一)供试土壤 选择肥力水平、基础产量和养分含量各不相同的3块田(表1),按设计方案连续种植早稻和晚稻。

表1 供试土壤的基本状况

| 肥力水平 | 基础产量 (千克/亩) | 有机质 | 碱解氮(N) | 速效磷(P_2O_5) | 速效钾(K_2O) |
|------|----------------|------|--------|-----------------|---------------|
| | | | (克/千克) | | |
| 高肥 | 248.5 | 35.0 | 98.5 | 22.1 | 87.4 |
| 中肥 | 219.2 | 31.0 | 78.0 | 15.0 | 79.5 |
| 低肥 | 194.2 | 21.0 | 47.8 | 6.0 | 41.5 |

(二)试验设计 采用回归最优设计。设3因素(N 、 P_2O_5 、 K_2O)5水平(施肥量5级)共11个处理。小区面积20米²,重复2次,分析统计由计算机完成,同时进行了大面积的示范推广。

(三)施肥 各处理亩施农家肥500千克作基肥。氮肥用尿素、磷肥用过磷酸钙、钾肥用氯化钾。其施肥方法为35%的氮肥、60%的钾肥和全部磷肥作基肥;45%的氮肥、钾肥作分蘖肥;剩余的氮肥(25%)在幼穗分化和孕穗期追施。

* 本文得到中国科学院南京土壤研究所杜承林副研究员的指导与帮助,特此致谢。

二、结果与讨论

(一)施肥对产量的影响

表2结果表明，在亩施2.0千克P₂O₅，2.25千克K₂O的情况下，亩施15千克N比不施者增产稻谷100—229.4千克，每千克N增产6.7—15.3千克。每千克N获得的稻谷增产量以中肥田最高(表3)，提高磷、钾用量氮肥效果有下降的趋势(结果略)。同样，在亩施7.5千克N、2.0千克P₂O₅的基础上，施用9千克K₂O，亩增稻谷-2.5—76.3千克。与氮肥不同的是高肥田

表2 肥料配施对水稻产量(千克/亩)的影响

| 肥力水平 | 品种 | 处理代号 | | | | | | | | | | |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 高肥田 | 早稻 | 479.3 | 403.0 | 361.4 | 507 | 403.0 | 483.9 | 445.9 | 288.9 | 448.5 | 419.2 | 450.2 |
| | 晚稻 | 446.4 | 402.0 | 375.0 | 514.4 | 401.5 | 490.6 | 459.4 | 338.1 | 417.8 | 426.0 | 444.0 |
| 中肥田 | 早稻 | 397.1 | 385.0 | 300.3 | 496.8 | 308.7 | 451.6 | 450.3 | 226.3 | 396.8 | 382.5 | 386.7 |
| | 晚稻 | 391.6 | 364.9 | 286.8 | 446.5 | 384.4 | 435.6 | 458.2 | 228.5 | 388.3 | 376.9 | 381.5 |
| 低肥田 | 早稻 | 363.7 | 346.3 | 308.5 | 433.6 | 331.3 | 407.5 | 381.3 | 281.3 | 345.0 | 362.6 | 358.8 |
| | 晚稻 | 355.0 | 357.5 | 310.3 | 440.2 | 329.9 | 405.0 | 380.5 | 280.0 | 347.0 | 347.0 | 347.5 |

表3 在较低磷钾水平下氮肥的效果

| 施肥量(千克/亩) | 肥力 | 品种 | 施N增产 (千克/亩) | 效应 (千克稻/ 千克N) | 施肥量(千克/亩) | | | 肥力 | 品种 | 施N增产 (千克/亩) | 效应 (千克稻谷/ 千克K ₂ O) |
|--------------|----|----|----------------|---------------------|-------------|-------------------------------|------------------|----|----|----------------|-------------------------------------|
| | | | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | | | |
| 1.5 2.0 2.25 | 高肥 | 早稻 | 157.0 | 10.5 | 7.5 2.0 9.0 | 2.0 | 9.0 | 高肥 | 早稻 | 76.3 | 8.5 |
| | | 晚稻 | 121.3 | 8.1 | | | | | 晚稻 | 44.4 | 4.9 |
| | 中肥 | 早稻 | 224.3 | 14.9 | | | | 中肥 | 早稻 | 12.1 | 1.3 |
| | | 晚稻 | 229.2 | 15.3 | | | | | 晚稻 | 26.7 | 3.0 |
| | 低肥 | 早稻 | 100.0 | 6.7 | | | | 低肥 | 早稻 | 17.4 | 1.9 |
| | | 晚稻 | 100.5 | 6.7 | | | | | 晚稻 | -2.5 | -0.3 |

表4 在低氮磷水平下钾肥的效果

| 施肥量(千克/亩) | 肥力 | 品种 | 施钾增产 (千克/亩) | 钾肥效应 (千克稻谷/ 千克K ₂ O) | 施肥量(千克/亩) | | | 肥力 | 品种 | 施钾增产 (千克/亩) | 钾肥效应 (千克稻谷/ 千克K ₂ O) |
|-----------|----|------|----------------|---------------------------------------|-----------|-------------------------------|------------------|----|----|----------------|---------------------------------------|
| | | | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | | | |
| 7.5 | 高肥 | 早稻 | 76.3 | 8.5 | | | | | | | |
| 2.0 | 晚稻 | 44.4 | 4.9 | | | | | | | | |

施钾肥的效果最好(表4)。这一结果低于以往的一些试验，可能与氮磷用量偏低有关，这从最佳施肥量的计算结果也可以得到证明(表6)。至于磷肥的效果本研究未显示出来，这可能与长期大量施用磷肥，土壤的磷素有效性较高有关。

(二)肥料效应方程的建立

在获得不同地力的水稻产量以后，可用下列函数式表达氮、磷、钾肥料与产量之间的回归方程：

$$Y = b_0 + b_1 N + b_2 P + b_3 K + b_4 NP + b_5 NK + b_6 PK + b_7 N^2 + b_8 P^2 + b_9 K^2$$

式中：Y表示稻谷产量；N、P、K分别代表N、P₂O₅、K₂O的用量。

应用电子计算机，将早晚稻试验的施肥量与产量进行回归分析，可获得相应的肥料效应方程(表5)。经测试，各方程的R、F值均达到极显著水平，说明肥料效应方程所表达的施肥量与产量之间密切相关。据此可以预测不同氮、磷、钾用量下的产量水平，同时也可以预测某一产量下的最佳施肥量。

(三)最佳产量及最佳施肥量的预测

水稻生产不仅要求获得最高产量，而且更重要的是要获得最佳经济效益产量。因此，建立不同肥力水平的最佳施肥量是十分重要的一环。

表5

不同肥力水平下水稻肥料效应方程

| 肥力水平 | 品种 | 方程 |
|------|----|--|
| 高肥田 | 早稻 | $Y = 225.93 + 21.37N + 7.35P + 7.20K - 0.46NP + 0.30NK - 1.29PK - 0.86N^2 + 0.79P^2 - 0.28K^2$ |
| | 晚稻 | $Y = 252.75 + 23.78N + 17.84P + 15.95K - 2.66NP + 0.33NK - 0.64PK - 0.36N^2 - 0.42P^2 - 1.32K^2$ |
| 中肥田 | 早稻 | $Y = 216.32 + 27.74N + 0.05P + 3.73K - 0.37NP - 0.6NK - 0.64PK - 0.7N^2 - 1.68P^2 + 0.47K^2$ |
| | 晚稻 | $Y = 220.09 + 25.72N + 1.06P + 3.98K - 0.09NP - 0.15NK - 0.97PK - 0.7N^2 + 1.35P^2 - 0.88K^2$ |
| 低肥田 | 早稻 | $Y = 197.49 + 20.35N + 22.15P + 11.67K - 2.71NP + 0.21NK - 0.29PK + 0.42N^2 - 0.27P^2 - 0.95K^2$ |
| | 晚稻 | $Y = 194.72 + 19.66N + 24.91P + 7.97K - 3.21NP + 0.19NK - 1.09PK - 0.29N^2 + 0.97P^2 - 0.36K^2$ |

根据获得最佳产量时，边际产量($2Y/2x$)等于肥料价格与产品价格比的原则，同时根据回归模型式，求Y对N、P、K的偏导数，即可求得最佳施肥量：

$$\frac{2Y}{2N} = b_1 + b_4P + b_5K + 2b_7N = \frac{PN}{PC} \quad (1)$$

$$\frac{2Y}{2P} = b_2 + b_4N + b_6K + 2b_8P = \frac{PP}{PC} \quad (2)$$

$$\frac{2Y}{2K} = b_3 + b_5N + b_6P + 2b_9K = \frac{PK}{PC} \quad (3)$$

式中 PC、PN、PP、PK 分别表示稻谷、N、 P_2O_5 、KO 的单价(目前市场价每千克相应为 0.70、2.60、2.66、1.50 元)； b_1, b_2, \dots, b_9 为肥料效应方程的回归系数。将表 5 中各种方程的回归系数和单价分别代入(1)、(2)、(3)式，即可求得各效应方程的最佳施肥量，将最佳施肥量代入相应的肥料效应方程，即得最佳产量。计算结果见表 6。

表6 不同肥力水平下水稻最佳施肥

量及最佳产量(千克/亩)

| 肥力水平 | 品种 | 地力产量 | 最佳施肥量 | | | 最佳产量 |
|------|----|-------|-------|----------|--------|-------|
| | | | N | P_2O_5 | K_2O | |
| 高肥田 | 早稻 | 255.9 | 12.4 | 5.1 | 7.5 | 479.4 |
| | 晚稻 | 252.8 | 11.4 | 4.5 | 8.5 | 460.1 |
| 中肥田 | 早稻 | 216.3 | 12.8 | 4.2 | 8.5 | 444.1 |
| | 晚稻 | 220.0 | 13.5 | 2.5 | 9.0 | 436.0 |
| 低肥田 | 早稻 | 197.5 | 12.5 | 3.5 | 8.4 | 387.4 |
| | 晚稻 | 194.7 | 11.3 | 3.7 | 8.2 | 376.5 |
| 总平均 | | | 222.9 | 12.3 | 3.9 | 430.5 |

表 6 结果说明，不同肥力水平水稻的最佳施肥量差异不大，平均数为每亩施 N12.3 千克、 P_2O_5 3.9 千克、 K_2O 8.4 千克，我们即以这个用量和配比作为指导柳江县水稻生产最佳施肥量方案，这时相应的水稻最佳产量(亩产)为：高产田 460—480 千克，中产田 430—450 千克，低产田 370—390 千克，平均最佳产量为 430.5 千克。

(四) 肥料效应方程在生产中的应用

为了将研究成果尽快在广大农民中普及，使其转化为生产力，我们将试验研究所得出的最佳施肥方案及其配套技术编制成“配方施肥卡”，发放到农户手中，在乡镇农技站的具体指导下进行示范推广。同时设置示范试验，以校验配方施肥的效果及肥料效应方程预报的准确性。根据对 13 个示范试验结果的统计，配方施肥平均亩产 462.0 千克，比习惯施肥亩增 58.7 千克，增产 14.6%，配方施肥的实际产量与预报产量的符合度为 1.05。(下转封 3)

| | | |
|----------------------|--|----------|
| 过渡性土壤的矿物风化与演变 | 罗家贤 马毅杰 杨德勇 蒋梅茵 包梅芬 | (241) |
| 内蒙古区土壤中有机碳全氮和固定态铵的贮量 | 程励励 文启孝 林心雄 | (248) |
| 淮北砂姜黑土区夏播玉米高产高效施肥技术 | 王克孟 陈凤英 马玉军 姜井军 | (253) |
| 淮阴市中低产土壤的特点及其培肥 | 杨阜亚 毛达如 曹一平 | (259) |
| 综合推荐施肥系统(IFRS)的构建 | Langmuli, Temkin和Freundlich方程应用于土壤吸附锌的比较 | 林玉锁(269) |
| 设施土壤的肥力特征及酶活性 | 刘志民 李家金 薛继澄 毕德义 | (273) |
| 关于土壤退化图的编制 | 刘良梧 | (276) |
| 用电位滴定法测定蔬菜中维生素C的含量 | 曾璧容 蒋佩弦 孙秀廷 | (278) |

第 6 期

| | | |
|--|---------------------|-------|
| 粘土科学的研究意义及现状 | 马毅杰 | (281) |
| 小麦耐肥性本质的探讨 | 陈永德 邹 埼 程炳嵩 梁作勤 | (284) |
| 褐土区冬小麦及夏玉米的最佳灌溉模式 | 聂俊华 骆洪义 施岗陵 贾继文 | (289) |
| 辽东北地区典型年份田间水量平衡分析 | 谭清美 张佳宝 王明珠 赵春生 | (295) |
| 抑制后土壤对铵钾离子的固定竞争 | 鲍士旦 于 军 | (301) |
| 下蜀黄土镁素状况及小麦对镁肥反应 | 钱晓晴 陈清硕 杨翠萍 居春霞 蒋建华 | (305) |
| 低丘红壤区生态环境变化与对策 | 邵希澄 王明珠 | (310) |
| 江苏土地资源现状与土肥工作 | 戴志新 | (314) |
| Cl^- 、 SO_4^{2-} 在酸性土壤中对铅电极电位的影响及其差异 | 王开军 | (319) |
| 余江县白塔渠水的养分含量 | 马茂桐 | (322) |
| 氮肥在水稻根际的硝化—反硝化损失的评价 | 李新慧 朱兆良 蔡贵信 周克瑜 曹亚澄 | (325) |
| 石灰性水稻土的施肥模式及应用 | 韦洁诚 朱泽亮 陶 胜 李 晖 | (326) |
| 用受亚铁及腐殖质污染的水造纸对纸质的影响 | 廖海秋 陆长青 | (328) |
| 水体系中硫酸态氮的富集和 $\delta^{18}\text{N}$ 值的测定 | 杜丽娟 旋书莲 | (332) |

(上接第328页)

1990年在全县推广18.8万亩，平均亩产408.9千克，比习惯施肥亩增稻谷41.8千克，增产11.4%，增收稻谷784.4万千克，1991年推广到当年水稻面积的55.1%(28.1万亩)，平均亩产417.0千克，比习惯施肥增产11.2%，增收1187.4万千克。表明此项研究成果完全符合我县水稻生产的实际情况，具有显著的经济效益。

几年来，虽然配方施肥已在全县逐步推广与普及，但是，由于市场上所供应的肥料在品种和数量上难以完全满足生产上的需要。因此，配方施肥的推广受到一定限制。为了解决这个问题，我们建立了年产数万吨专用复混肥的工厂，生产适合于不同作物的系列专用肥，供广大农民选择使用。