

中国水稻生产及平衡施肥效果和技术简介

陈防^{1,3} 张过师^{1,3} 涂仕华^{2,4}

(1. 国际植物营养研究所武汉办事处, 武汉 430074; 2. 国际植物营养研究所成都办事处, 成都 610066; 3. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074; 4. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066)

一 水稻生产的基本状况

人类栽培水稻的历史大约有一万年, 主要起源于泰国、缅甸和中国。世界上水稻品种成千上万, 但栽培稻 (*Oryza L.*) 均起源于野生稻, 包括籼稻、粳稻、黏稻、糯稻、深水稻、陆稻。从水稻种质资源类型来看, 普通栽培的水稻又可分为印度稻 (*Indica*), 日本稻 (*Japonica* 或 *Sinica*), 爪哇稻 (*Javanica*), 我国相应称之为籼稻、粳稻、爪哇稻。以上三个亚种中, 爪哇稻实际属于中间类型。从主要稻作类型与分布来看, 世界上灌溉稻有 7900 万公顷, 占 52%; 雨养稻约 5400 万公顷, 占 34%; 旱稻约 1500 万公顷, 占 10%; 深水稻、浮稻约 500 万公顷, 占 3-4%^[1]。

目前全世界水稻常年种植面积基本稳定在 1.5 亿公顷, 各大洲均有水稻栽培, 其中亚洲水稻面积约占世界的 90%, 美洲约占 4%, 非洲约占 3%。栽培大国主要是中国 (约占世界水稻面积的 20%, 产量的 32%) 和印度 (约占世界水稻面积的 29%, 产量的 22%), 此外还有孟加拉、印尼和泰国, 这些国家的水稻面积达本国作物栽培面积的 70%。亚洲的印度、中国、印尼、泰国和菲律宾 5 个国家的水稻栽培面积占了全世界总面积的 65%。虽然全世界水稻栽培的总面积变化不大, 但近几十年来随着良种和改良栽培技术的推广, 水稻单产已大幅提高, 平均产量从 1975 年的 113 公斤/亩增加到 2008 年的 275 公斤/亩。目前各主要水稻生产国的水稻主要用于本国消费, 仅有 6-7% 的稻谷用于出口^[2-3]。

中国是世界上的水稻消费大国, 水稻种植面积占粮食种植面积的 1/3, 产量占粮食总量的一半, 人均年消费稻米 150 公斤以上。中国稻作分布广泛, 从南到北跨越热带、亚热带、暖温带、中温带和寒温带 5 个温度带。除青海外, 从南到北 (海南-黑龙江漠河), 从东到西 (台湾-新疆), 不同海拔高度 (沿海平原-云南宁蒗县山区, 海拔 2965 米) 均有水稻种植。目前中国水稻种植主要在

秦岭-淮河以南并以籼稻为主, 而北方主要在东北地区并以粳稻为主。

按世界品种类型划分, 中国目前籼稻约占 70%, 粳稻约占 30%; 杂交水稻和常规水稻约各占 50% (其中: 杂交粳稻约占粳稻的 30%, 杂交籼稻约占籼稻的 70%)。按世界稻作类型划分, 中国灌溉稻约占 93%, 雨养稻约占 4%, 旱稻约占 3%。按栽培季节划分, 中国早稻占 22.0%, 中稻 (单季稻) 占 55.5%, 晚稻占 22.5%。水稻的一生中从种子萌芽到新种子形成, 整个生育期需要 90-180 天, 经历发芽、出苗、分蘖、拔节、长穗、抽穗、结实等阶段。从生育进程来看, 要经历营养生长期 (包括秧苗期、分蘖期和拔节期) 和生殖生长期 (包括成穗期和结实期)^[1]。

二 水稻的营养特性

水稻对土壤肥力和养分平衡状况较敏感, 任何一种必需营养元素的失调都会对其正常发育、产量形成和抗胁迫能力造成影响。土壤贫瘠时施肥往往增产提质, 但高量施肥常增产降质, 而单一高量施肥常减产且低质。适量施氮和分次施氮可提高水稻精米率、米粒透明度和蛋白质含量, 减少米粒的白垩和直链淀粉含量。水稻孕穗期追施氮肥通常可增加千粒重和蛋白质含量, 但过量施氮, 特别是在灌浆期过量施氮, 会由于蛋白质增加而导致稻米口味变差。不同土壤类型对稻米品质如蛋白质含量和垩白大小有明显影响, 种植在花岗岩母质发育的水稻土上的稻谷口感往往好于火山母质发育的水稻土, 湿地好于旱稻, 平原好于山区, 深耕及容重小的土壤好于浅耕和紧实的土壤。

在不同的营养元素中, 水稻产量、品质和抗性受 N、K 营养失调的影响最大, 其他养分如 P、Zn、S、Si、Mg、Ca 等也有影响, 但不如 N 和 K 的影响大。到目前为止发现水稻必需的营养元素有 18 种 (C, H, O, N, P, K, Si, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Cl,

Se)。通常每生产 100 公斤稻谷需要吸收 N 1.6–2.5 公斤, P_2O_5 0.6–1.3 公斤, K_2O 1.4–3.1 公斤, Si 17.5–20 公斤, 平均比例为 1 : 0.5 : 1.3 : 10.9。而且随着产量的提高, 每生产 100 公斤稻谷的养分需要量也随之升高。土壤氮、磷和硫的含量与水稻蛋白质、精米率和直链淀粉含量呈正相关, 锰含量高则垩白大, 香稻一般生长在含锌量较高的土壤上。钾素可以促进水稻氮的代谢和光合产物向子粒的输送, 研究表明, 施用钾肥可提高水稻的风选率 1.3–1.7%, 增加糙米蛋白质含量 2.8–6.8%^[3]。另外, 施钾还可以减轻真菌病害, 且早稻和晚稻的趋势相同。

三 IPNI 中国项目水稻平衡施肥的效果

自 1982 年开始至今, 国际植物营养研究所 (IPNI) 及其前身国际钾磷研究所 / 加拿大钾磷研究所 (PPI / PPIC) 中国项目部在全国范围的研究与技术示范合作项目中开展了 1500 余个水稻平衡施肥田间试验, 较全面地研究了平衡施肥对主产区水稻生产的影响和效果, 建立了全国水稻试验数据库, 并通过田间示范田、技术培训和新闻媒体等不同形式进行了大面积的技术示范和推广。水稻土壤养分的化验分析和平衡施肥研究结果表明, 全国约有 80% 的水田土壤缺氮且有机质低于 1.5%, 40% 缺磷, 45% 缺钾, 65% 缺锌。根据多年多点的试验结果, 已初步提出水田土壤分析的有效养分含量临界值并用于区域性水稻推荐施肥。这些前期的研究结果为目前进一步实施 IPNI 的 4R 养分管理策略和应用开发水稻养分管理专家系统 (Nutrient Expert[®]) 打下了良好基础^[4]。

根据 2001–2011 年 IPNI 中国项目在我国南方地区 8 个省的 46 个早稻氮肥试验, 55 个磷肥试验和 55 个钾肥试验的统计结果表明: 早稻施氮平均增产 22.6%, 氮肥农学效率 (AE) 为 11.9 公斤 / 公斤 N; 施磷平均增产 10.6%, 磷肥农学效率为 11.2 公斤 / 公斤 P_2O_5 ; 施钾平均增产 11.2%, 钾肥农学效率为 5.5 公斤 / 公斤 K_2O 。晚稻施氮平均增产 26.2%, 氮肥农学效率为 11.5 公斤 / 公斤 N; 施磷平均增产 7.4%, 磷肥农学效率为 10.6 公斤 / 公斤 P_2O_5 ; 施钾平均增产 12.3%, 钾肥农学效率为 7.2 公斤 / 公斤 K_2O 。中稻或一季晚稻施氮平均增产 24.8%, 氮肥农学效率为 9.2 公斤 / 公斤 N; 施磷平均增产 8.9%, 磷肥农学效率为 9.0 公斤 / 公斤 P_2O_5 ; 施钾平均增产 8%, 钾肥农学效率为 4.6 公斤 / 公斤 K_2O 。总的来看氮肥的效果

好于钾肥, 钾肥的效果好于磷肥, 平衡施肥处理产量比习惯施肥明显提高^[5-7]。

IPNI 中国项目近 10 年来的田间试验、示范、调查和中国农业年鉴的统计数据显示, 目前在我国南方地区早稻产量一般可以达到 433 公斤 / 亩, 晚稻产量一般可以达到 467 公斤 / 亩, 中稻 (一季晚稻) 产量一般可以达到 600 公斤 / 亩。我们的试验结果表明, 平衡施肥在早稻上产量可达到 562 公斤 / 亩, 平均增产 29.6%; 在晚稻上可达 580 公斤 / 亩, 平均增产 24.3%; 在中稻或一季晚稻上可达 647 公斤 / 亩, 平均增产 7.8%^[8-10]。我国东北地区水稻平衡施肥试验结果也表明, 平衡施肥或推荐施肥处理通常比农民习惯施肥增产 7–16%。

从水稻施肥的经济效益来看, 2001–2010 年的十年期间肥料市场上商品化肥的平均价格上涨明显, 以纯养分计算, 其中 N 平均价格上升了 48.1%, P_2O_5 平均价格上升了 75%, K_2O 平均价格上升了 236.8%。总的来看, 这十年中肥料价格的上涨幅度大于水稻价格的上涨幅度, 更是显著大于水稻产量的增加幅度。但由于产品价格对种植业纯收益的影响比较大, 因此, 产品价格的上升, 是在抵消了肥料价格上涨带来的效益下降之后, 还使同期水稻种植的纯收益上升了 42–249%^[11]。

四 水稻平衡施肥的策略与技术

与其他作物一样, 为了获得水稻高产优质和生态环境安全, 在水稻养分管理上我们提倡把正确的肥料品种, 以正确的用量在正确的时间施在正确位置 (4R 养分管理)。土壤是作物生长和农业生产的基础。因此, 当我们进行水稻施肥时首先应对土壤肥力状况有所了解, 必要时应取土化验或进行养分空白田间试验, 根据研究结果和种植的作物来选择合适的肥料并进行施肥量和施肥方法的推荐, 在条件允许的情况下尽可能采用增施有机肥、秸秆还田、稻草覆盖等农艺措施对土壤进行培肥。水稻生长过程中的养分管理特别是氮素的调控目前可以采用的几种主要方法包括: 叶龄法、植株营养诊断法、目标产量法、定时 (实时) 监控法。

根据前期的研究结果, 水稻的相应的大量元素施肥量一般为, 早稻: N 10–12 公斤 / 亩, P_2O_5 4–6 公斤 / 亩, K_2O 4–6.7 公斤 / 亩; 晚稻: N 12–14 公斤 / 亩, P_2O_5 4–6 公斤 / 亩, K_2O 5–7 公斤 / 亩; 中稻: N 15–18.7

公斤/亩, P_2O_5 5–6.3 公斤/亩, K_2O 5–8 公斤/亩。在长江中下游地区, 一般中等肥力的水田每亩施用 N 10–12 公斤/亩, P_2O_5 4–7 公斤/亩, K_2O 4–8 公斤/亩。从施肥方式来看, 有机肥、磷、钾肥通常可作为基肥在插秧前一次施入, 钾肥亦可分为基肥和追肥分次施入; 氮肥(普通尿素)的 50–70% 作基肥, 其余可作分蘖肥、穗肥和粒肥分次施入; 亦可选用适合当地土壤条件的水稻专用肥及其配套施肥技术^[8]。在水稻施用缓控释尿素的情况下, 一般可将氮肥的用量减少 20% 左右。施肥时可将全部缓控释尿素作基肥, 或与普通尿素按缓控释尿素 70–80%, 普通尿素 20–30% 的比例配合施用。

目前国际植物营养研究所中国项目正在全国范围内开发推广水稻养分管理专家系统(Nutrient Expert[®]), 该系统是在遵循 4R 养分管理策略的前提下, 以经过实际验证的数学模型和计算机程序为手段, 以大量的自然环境背景资料和当地作物种植的关键数据为基础, 充分考虑和利用土壤本身的肥力条件和养分资源、作物类型、轮作制度及肥料的种类, 在作物需要时给予施肥推荐的一种作物养分管理专家系统, 具有与作物反应的相关性好、操作简便、及时, 价格低廉、可利用网络进行推荐施肥等优点, 已在世界的许多国家和我国许多地区进行推广。

参考文献

- [1] 中国农业百科全书编辑委员会编, 中国农业百科全书—农作物卷 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- [2] 中国农业年鉴编辑委员会编. 中国农业年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002–2011.
- [3] Fang Chen, Kaiyuan Wan, Yong Tao, et al. Progress and strategy for rice nutrition management in China [J]. Proceedings of Plant nutrition Management in Sustainable Agriculture, Jiangxi People's Publish House, 2008, 19–25.
- [4] 陈防, 郑圣先. 我国南方作物高效施钾技术的研究进展 [J]. 土壤肥料, 2004, (6):28–32.
- [5] 陈防, 刘冬碧, 熊桂云, 等. 中亚热带两种水稻土壤养分空间变异的对比研究 [J]. 土壤学报, 2006, 43(4):688–692.
- [6] 刘冬碧, 熊桂云, 张继铭, 等. 湖北省粮食主产区土壤养分的空间变异性研究 [J]. 湖北农业科学, 2007, 46(6):904–907.
- [7] Xiaokun Li, Jianwei Lu, Lishu Wu, et al. The difference of potassium dynamics between yellowish red soil and yellow cinnamon soil under rapeseed (*Brassica napus* L.)–rice (*Oryza sativa* L.) rotation [J]. Plant & Soil, 2009, 320:141–151. DOI 10.1007/s 11104–008–9879–7.
- [8] 刘冬碧, 范先鹏, 杨利, 等. 江汉平原水稻肥水管理现状与技术对策 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49(8):1831–1835.
- [9] 王伟妮, 鲁剑巍, 陈防, 等. 湖北省水稻施肥效果及肥料利用率现状研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2):289–295.
- [10] 汤雷雷, 万开元, 李祖章, 等. 施肥模式对双季稻产量、养分吸收及经济效益的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2):259–268.
- [11] 陈防, 张过师. 中国东南地区水稻和油菜化肥施用的产量和效益分析 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(21):141–144.