

日本水稻化肥减量施用的经验与启示

怀燕 陈叶平 毛国娟 许剑锋

(浙江省农业技术推广中心, 杭州 310020; 第一作者: 592778787@qq.com)

摘要:在我国的水稻生产中, 化肥投入过量、肥料使用效率低是突出的问题。日本在 20 世纪 90 年代以前, 水稻生产也采用高肥料投入的栽培方法, 之后肥料施用量显著下降, 肥料施用效率明显提高, 而水稻产量在保持稳定的基础上略有增长。本文梳理了日本水稻生产化肥减量背后的社会经济环境的变化、政策的驱动和技术的推进情况, 并针对我国水稻生产现状, 分析了推动我国化肥减量的主要因素及可能实现的途径。

关键词:水稻; 化肥减量; 日本; 中国

中图分类号: S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2018)01-0006-05

我国是世界最大的水稻生产国, 总产位居世界第一, 有近 26% 的耕地用于种植水稻^[1]。水稻生产对我国的粮食安全起着至关重要的作用。自 20 世纪 60 年代以来, 我国的水稻生产取得了非凡的成绩, 矮秆、耐肥水的高产水稻以及杂交水稻育种的成功使得粮食单产水平大幅提高, 随之而来, 我国稻田的施肥量也急剧增加, 出现了氮肥投入过量、利用效率低等问题。目前我国水稻平均氮肥施用量为 180 kg/hm², 比世界水稻氮肥平均施用量高出 75%, 而氮肥平均农学利用率 (NAE, 单位施氮量增加的产量) 不足 12 kg/kg, 不到发达国家的一半^[2]。发达国家自 20 世纪 80 年代末以来, 开始重视化肥施用行为及其引发的农业面源污染问题的研究和治理, 对农业生产中过量施用化肥作了相应的调整。发达国家化肥施用量呈现出先快速增长、达到峰值后保持稳中有降或持续下降的趋势, 逐步走上了减肥增效的可持续发展之路^[3]。日本是全球十大稻米生产国之一, 在 20 世纪 90 年代之前, 水稻生产也是通过高化肥投入获取高产, 之后氮肥投入量一直在下降, 而水稻产量略有增长, 氮肥利用率明显提高^[4]。这表明水稻产量与化肥使用效率协同提高是可能的。本文梳理了日本水稻生产化肥减量背后的社会经济环境的变化、政策的驱动和技术的推进, 并针对我国水稻生产现状, 分析了推动化肥减量的主要因素及可能实现的途径, 为实现农业部提出的“力争到 2020 年, 主要农作物化肥使用量实现零增长”的目标提供借鉴。

1 日本水稻生产中化肥的应用情况

在 20 世纪 90 年代以前, 日本水稻的施肥以高产为目标。20 世纪 70 年代和 80 年代, 平均施氮量约

100 kg/hm²。从 1988 年开始, 施肥时更加关注环境的友好和米质的提高, 氮肥施用量开始减少, 每 2~3 年减少 10 kg/hm², 至 2007 年施氮量已下降至 62.7 kg/hm², 仅是 1989 年施氮量的 62.8%。相对应的氮肥农学利用率 (NAE) 不断提高, 20 世纪 70 年代和 80 年代, NAE 在 40~49 kg/kg 之间, 2007 年达到 80 kg/kg, 氮肥农学利用率几乎翻了一番^[4]。而随着施氮量的下降, 其水稻产量并未下降, 而是在保持稳定的基础上略有增长。可见, 在一定的技术条件下, 化肥减量后水稻产量依然能实现稳步增产, 这也正是水稻生产技术创新的一个标志。

2 日本水稻化肥减量推动因素与实施措施

2.1 社会环境的推动

在上世纪 60 年代早期, 随着肉类和乳制品等消费品的增加, 日本的大米消费量达到了高峰, 70 年代稻米生产出现了过剩, 人们对大米数量的需求转向了对质量的需求, 市场上, 口感好、有机栽培的大米出现了高溢价, 同时日本政府减少了稻米统购统销的数量, 形成“政府米”和“自主米”双轨制的稻米流通渠道^[5], 农民在自身利益的驱动下, 开始选用优质品种, 并以减肥减药绿色高效的手段来进行稻米生产。另外, 肥料、农药等大量投入造成的水体富营养化、野生鸟类减少等状况^[6], 也引起了政府和广大民众的重视。再加上日本由于经济的发展, 大量劳动力转向工业生产, 劳动力的短缺和老龄化也要求日本水稻生产转向更省工节本的方式, 以减少化肥施用次数和用量为目标的新技术不断

收稿日期: 2017-09-16

被研究和开发。

2.2 政策的制定与推动

日本于20世纪90年代初提出发展“环境保全型农业”,之后农林水产省及日本农协为首的官方和非官方环保组织相继成立,首项措施就是在1992建立了环保农产品标签指引;1999年,《持续农业法》、《家畜排泄物法》和《肥料管理法(修订)》三项环境农业法生效。同时提出了“生态农民”计划,把提高土壤肥力和减少化学肥料和农药应用的农户登记注册为“生态农民”,2009年注册的农民约占全国农户的40%(MAFF统计数据)。2006年《有机农业促进法》颁布,提供了特殊种植的农产品和有机农业标准认证。特别种植认证要求农民的稻田必须比标准施肥减少50%以上;有机认证要求农民的稻田必须2年以上不使用任何农药^[1]。2007年开始,对符合标准的“生态农民”,实行硬件补贴、无息贷款支持和税收减免等优惠政策^[7]。从2011年开始,“生态农民”可以享受政府的直接补贴^[8]。

2.3 技术的改进与推动

2.3.1 品种的改良

水稻的施肥和品种有密切的关系。日本在20世纪50-60年代,选育和推荐的品种还是高产和耐肥性强的品种;60年代末,矮秆、多穗、高产、抗倒伏、适宜机械种植的日本晴成了主导品种;1979年越光因食用品质好、耐低温能力强、适应性广,取代日本晴成为大多数农户种植的水稻品种;80年代后,一些新的优质米品种陆续应用,如秋田小町、阳之光、一见钟情等,这些品种都以越光为亲本育成。近几年,日本的水稻生产还是以这些品种为主。尤其是越光,近10年来其种植面积仍维持在日本水稻种植总面积的37%左右^[5]。虽然越光的品种特性是品质好,但是施肥量还是会影响其口感,施氮过多会导致稻米蛋白质含量增加,从而降低适口性^[9]。因此,为了产出高品质的大米,农民主动减少氮肥的使用量。除了越光系列品种,日本科研机构也开展了一些高产、对肥料需求低的品种的选育与研究^[10]。

2.3.2 施肥技术的改进

2.3.2.1 施肥诊断技术 土壤中的养分含量是决定水稻施肥量的一项重要参考指标,测土施肥是化肥减量的重要方法和手段。日本成立了全国农业协会联合会,其中从事施肥诊断技术者约9 000名。2006年,日本水稻土壤每33 hm²有1个诊断点(MAFF数据)。2013年,日本青森县土壤诊断施肥后水稻施肥量减少了13%,福井县则减少了33%。日本农林水产省要求各地

根据土壤诊断结果(土壤中的肥料成分)、标准施肥量,制定减少施肥量的标准。2015年35个道府县制定了水稻田减肥标准。土壤诊断技术也被应用于农机方面,2009年日本农机生产商推出了车速连动的高精度的变量施肥机,该机器安装了施肥地图(根据土壤诊断和测产等数据),操作员可根据施肥装置地图自动指示的目标施肥量进行施肥,试验证明能节约施肥量10%左右。

植物营养诊断是水稻追肥的重要手段。早年日本在水稻上穗肥施用的诊断方法是“碘-碘化钾”液染色法,根据叶片染色情况决定穗肥的施用;之后,日本美能达公司开发了便携式叶绿素计,该仪器采用的光谱特征参数为SPAD(soil and plant analysis development)值,通过测定叶片中叶绿素含量进行氮素营养快速无损诊断,取得良好的应用效果^[11]。近年来,日本植物营养实时诊断的研究取得了长足的进步,诊断方法和技术在不断改进^[12]。

2.3.2.2 施肥方法 20世纪50、60年代日本比较成功的水稻施肥方法有盐田松三郎的“水稻氮肥全层施肥法”和田中稔的“水稻深层追肥法”,上述施肥法是以深施氮肥为主要内容的水稻高产施肥法^[13]。而松岛省三的“V”字施肥法则减少了基肥数量,增加了追肥比例,在70年代日本农户小西种植的日本晴,利用该施肥法获得了801.5 kg/667 m²的高产^[14]。80年代初,水稻侧条状施肥法开始应用,该施肥法是在水稻插秧机上安装施肥机械,移栽时把底肥定位集中施于秧苗侧位一定深度。这种施肥法省工省力,又提高了肥料利用率,与传统施肥法相比,机插侧深施肥可减少10%~30%的氮肥投入^[15]。2010年日本插秧机上安装施肥装置的比例超过40%,其中,8行机约为70%,5行和6行插秧机也达到55%以上,4行插秧机占近30%^[16]。90年代,育苗箱全量施肥法开始在日本试验与示范。育苗箱全量施肥是利用控释氮肥在育苗时一次性施入,在大田期间不再施肥的一项技术,是一种肥料与种子或植物根系接触的创新施肥技术。该技术进一步提高了肥料利用率,减轻了劳动力的投入。Kanetu等^[17]试验证明,在免耕条件下,应用育苗箱全量施肥技术,氮肥利用率达到83%,远远高于常规栽培的33%。据Ryoichi Kaneki试验,用育苗箱一次性施肥的方法,氮肥农学利用率达到了63 kg/kg,而常规施肥仅为46 kg/kg^[18]。同时,在灌溉期间,稻田氮和磷的排出量大大降低,磷的排出量仅为0.84 kg/hm²,大约是常规施肥的三分之一,而氮则从

外界(排灌水和雨水中)吸收了 1.4 kg/hm²。

2.3.2.3 新型肥料的开发和应用 日本缓效性肥料研究居世界领先地位。早在 20 世纪 60 年代初就开始研制缓效性肥料^[14],80 年代开始研制以包膜尿素为代表的新型缓效性肥料,其氮素利用率可达 80%以上,用在水稻上的肥效期可以从 1 个月至 3 年任意调节^[12]。这些肥料被应用于机插侧深施肥、育苗箱全量施肥等技术。至 2012 年,利用肥效调节型肥料进行一次性全量基施栽培的水稻,约占全国水稻总面积的 40%。至今,日本肥料研究机构和企业等还在根据各道府县的施肥标准和地域品种来进行个性化肥效调节型肥料的设计和产业化,并着力于解决高温年份一次性施肥后期肥料不足的追肥诊断和省力化追肥技术(如研制液态肥料用机器进行灌施等)。

3 对我国水稻化肥减量施用的启示

当前我国水稻生产的社会背景,与 20 世纪 70-90 年代的日本相似^[5]。在稻米供应方面,由于农产品日益丰富,我国人均大米年消费量逐年下降,而国内粮食生产“12 连增”,同时粮食进口量也创历史新高,使得粮食库存达到新高^[15],稻米的生产目标正从解决温饱向追求优质高效的方向转变。环境资源方面,过去为了解决粮食短缺问题,大量使用化肥、农药、农膜等化学投入品,导致资源环境亮起了“红灯”,靠拼资源消耗、拼要素投入的粗放发展方式已经难以为继。在劳动力方面,随着经济的发展,农业结构逐渐发生变化,农村劳动力向其他产业转移,农业人口老龄化现象严重,我国水稻生产由家庭小规模人工种植逐渐向合作社、家庭农场大规模机械化生产转变,水稻产业发展正在转型。当年的日本正是在相似的社会背景下,通过化肥减量和相应配套的农艺措施,较好的解决了水稻种植效益低下、环境资源破坏、劳动力短缺的困境。因此,日本在实施化肥减量施用过程中采取的政策、推行的技术,都能给我国水稻化肥减量施用工作的开展提供很好的经验和启示。

3.1 政策的启示

3.1.1 加强无公害农产品执行力度和有机农产品认证制度

农民决定采用一项新的农艺措施来取代传统的技术,很大程度上取决于这项技术是否能提高他的收入。日本的有机大米价格较高,使得农民愿意使用优质品种,并用控制肥料投入的栽培方法来保证品质,提高种

植净利润。日本的特别种植认证严格执行比常规施肥化肥减量 50%以上等标准;有机认证严格执行 2 年以上不使用任何农药等标准,政策的严格性和执行力使得有机大米的品质得以保障,高价的有机大米在市场上打开了空间。目前国内也制定了《无公害产品认证管理办法》、《无公害产品认证实施规则》及《无公害产品》国家标准,应加强标准执行力度及有机农产品认证制度,加强市场监管和监管,建立消费者信心,确立市场诚信度,打开优质高价大米市场。

3.1.2 引导公众参与政策制定,提高全民环保意识

公众参与是日本在制定化肥减量政策上的一大特色。以日本农协为首的民间组织和有机农业团体积极发动和引导公众广泛参与到化肥减量工作中,通过改变农户传统的生产观念进而改变其化肥施用行为,或者通过社会的压力促使其减少化肥施用。我国目前民间农业团体力量较弱,应发挥联合社、农民专业合作社、家庭农场等新型农业经营主体的积极性,通过宣传培训,引导他们参与到环境保护政策、有机大米认证等各项政策中来,通过公众参与政策手段提高农户化肥减量的意识和组织化程度,也能在一定程度上为农户进一步减少化肥施用量提供动力^[3]。

3.1.3 建立绿色高效的财政补贴制度

日本把提高土壤肥力、减少化学肥料和农药应用的农户登记在册,称为“生态农民”,享受政府的直接补贴^[6]。这类政策不仅能支持绿色高效技术的推广,还能把财政的“黄箱政策”转变为“绿箱政策”。2016 年,我国财政部、农业部联合印发了《建立以绿色生态为导向的农业补贴制度改革方案》,要求有关部门和地方政府围绕保障粮食等主要农产品供给安全、农民稳定增收和农业生态环境保护等目标,推进农业供给侧结构性改革,完善农业补贴政策。可操作性强的绿色生态导向型政策的出台必将大力推进水稻的化肥减量。

3.2 技术的借鉴

日本在水稻化肥减量方面的技术研究得较早,当前在推广的主要几项技术措施是:机插侧深施肥、育苗箱全量施肥、肥效调节型肥料的应用等。日本在上世纪 80 年代提出的水稻机插侧深施肥是较好的一种省工节本技术,我国于 90 年代开始在黑龙江垦区等寒地水稻产区推广应用,1994 年黑龙江省应用侧深施肥技术达 33.3 万 hm²,增产稻谷 6 000 万 kg,节肥 6 000 多 t。目前,黑龙江农垦总局已把侧深施肥技术作为水稻生产的重点推广项目。但其他地区应用还不多,应加强试

验、示范与推广的力度。育苗箱全量施肥在日本被证明是一种高效的减肥技术,在我国水稻化肥减量中能否发挥作用还需要进一步试验证明。日本在肥效调节型肥料的发展上要求较高,根据不同的地域、不同的品种设计不同释放型肥料,使肥力释放与作物的需肥规律吻合。我国也应加大新型肥料的研究和开发力度。

4 结语

在日本水稻化肥减量的过程中,技术起到了非常重要的作用,然而技术的推广是一个漫长的过程,日本缓控释肥料技术在20世纪70年代已经相当成熟,一直到90年代农户才表现出兴趣并开始应用,技术的应用受到使用成本、使用技术、农民接受新事物程度等的制约;政策是推动水稻化肥减量很好的工具,日本的化肥减量政策是公众参与型的,也是激励型的,通过改变农民的观念来实现,因此政策的见效期比较长;社会的变化则是推动日本实施水稻化肥减量的动力,在劳动力极端缺乏和老龄化的情况下,使用省工的新技术成了必然选择,而化肥减量技术正是省工的新技术。日本的水稻化肥减量是由社会因素推动、由技术支撑、由政策驱动的一次水稻生产方式的变革。

当前,我国的社会环境出现了日本20世纪70-90年代相似的情况,水稻生产效益低、劳动力紧缺并且老龄化、资源环境破坏等,推动水稻产业生产方式转变的社会因素正在逐渐形成,而我们的技术储备还缺乏,从品种选育、施肥技术、新型肥料的发展等方面来看,都还不足以化肥减量做好技术支撑;从政策方面看,由于我国地域广阔,各地自然和社会因子千差万别,这也加大了政策制定的难度。在当前的社会背景下,怎样制订有效的政策、开展技术的研究与推广,是对我们政府部门、科研单位和推广机构的考验。Rogers^[20]的调查表明,由生产行为变化带来的净收入增加,是农户采纳和接受新的生产方式的主要决定因素之一。因此,无论是政策的制定还是技术的推广,都应该与增加农民收入挂钩,才能让农民自愿采取水稻化肥减量的各项具体措施。政策、技术和社会环境三因素必须协同作用,才能有效推动我国水稻化肥减量施用的实施,促进我国水稻产业提升。

参考文献

- [1] Peng S B, Buresh R J, Huang J L, et al. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management: a review [J]. *Agron Sustain Dev*, 2010, 30(3): 649-656.
- [2] 李俊峰,杨建昌.水分与氮素及其互作对水稻产量和水肥利用效率的影响研究进展[J]. *中国水稻科学*, 2017, 31(3): 327-334.
- [3] 李芳,冯淑怡,曲福田.发达国家化肥减量政策的适用性分析及启示[J]. *农业资源与环境学报*, 2017, 34(1): 15-23.
- [4] Atsuko Tanaka. Moving towards low-input rice cropping practices: past experiences and future challenges for Japan[M]. *WS4.4-Transitions towards sustainable agriculture: From farmers to agro-food systems*: 1 844-1 854.
- [5] 王亚梁,朱德锋,张玉屏,等.日本水稻生产发展变化及对我国的启示[J]. *中国稻米*, 2016, 22(4): 1-7.
- [6] Megumi Katada, Hiroto Tanaka. Valuing the low fertilizer and agricultural chemical rice produced in creating a habitat for returning Japanese Ibis[J]. *Agric Inf Res*, 2008, 17(1): 6-12.
- [7] 李筱琳,李闯.日本现代农业环境政策实施路径研究[J]. *世界农业*, 2014(4): 83-86.
- [8] Colledani M, Gershwin S B. Review of sustainable agriculture: promotion its challenges and opportunities in Japan [J]. *J Resour Ecol*, 2013, 4(3): 6.
- [9] Matsushima S, Matsuzaki A. Safe and high quality rice cropping based on second Matsushima theory (4)[J]. *Agriculture and Horticulture*, 1972, 47(9): 1 271-1 276.
- [10] Kossonou Guillaume Anzoua, Kashiwagi Junichi, Hasegawa Toshihiro. Genetic improvements for high yield and low soil nitrogen tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) under a cold environment [J]. *Field Crop Res*, 2010, 116(1-2): 38-45.
- [11] 贺冬仙,胡娟秀.基于叶片光谱透过特性的植物氮素测定[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 214-218.
- [12] Kazuyuki Yagi, Katsuyuki Minami. Challenges of reducing excess nitrogen in Japanese agroecosystems [J]. *Sci China Ser C*, 2005, 48: 928-936.
- [13] 任军,闰晓艳.日本施肥现状及发展趋势[J]. *土壤肥料*, 1996(3): 20-22.
- [14] 蒋彭艳.日本水稻高产农户的栽培技术(述评)[J]. *浙江农业科学*, 1979(2): 48-52.
- [15] Fertilizer almanac 1989[M]. Tokyo: Fertilizer Association Newspaper Department.
- [16] 黄凰,曹卫华.水稻多功能插秧机侧向深施肥试验效果分析[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(4): 150-154.
- [17] Kanetu Y, Awasaki H, Mural Y. The no-tilling rice culture by single application of fertilizer in a nursery boxes [J]. *Jpn J Soil Sci Plant Nutr*, 1994, 65: 385-391.
- [18] Ryoichi Kaneki. Reduction of effluent nitrogen and phosphorus from paddy fields[J]. *Paddy Water Environ*, 2003, 1: 133-138.
- [19] 庞乾林,王志刚,林海.以新理念发展稻米粮食产业 确保供求平衡生态美丽[J]. *中国稻米*, 2016, 22(2): 57-60.
- [20] Rogers E M. Elements of diffusion [M]. New York: Free Press, 2003: 1-38.

