

养分专家系统对湖北中稻产量和养分利用率的影响

刘东海 陈云峰 李双来 乔艳 张智 李武 胡诚*

(湖北省农业科学院植保土肥研究所, 农业部废弃物肥料化利用重点实验室, 农业部武汉黄棕壤生态环境重点野外科学观测试验站湖北武汉, 430064)

摘要: 为评价中稻养分专家系统 (Nutrient Expert, NE) 推荐施肥对中稻产量的效应、养分利用率的影响, 于 2013–2017 年期间在湖北省中稻上开展了 42 个试验, 并对结果进行了分析。广水市 NE 比习惯施肥 FP 施氮量减少 18.0%、磷肥量增加 23.9% 和钾肥量增加 8.9% 情况下, 中稻增产 1.4%, 差异不显著。赤壁市 NE 比习惯施肥 FP 施氮、磷和钾肥分别减少 8.8%、32.9% 和 44.1% 的情况下, 中稻增产 6.9%, 差异不显著。中稻氮、磷和钾肥平均农学效率分别为 12.5、9.5 和 1.3kg/kg, 中稻氮、磷和钾肥平均当季利用率分别为 39.8%、6.5% 和 27.9%。水稻养分专家系统推荐施肥促进了水稻对氮磷钾养分的吸收和利用, 达到增产增收效应, 氮肥利用效率也高于全国平均水平, 可在中稻种植区推广应用。

关键词: 养分专家系统 (NE), 中稻, 农学效率、养分利用率

水稻是我国种植面积最大、产量最高、氮肥用量最多的粮食作物之一, 而湖北省是我国水稻大省之一, 水稻播种面积占粮食作物总播种面积的 50% 左右, 稻谷产量占粮食总产 70% 左右 (游艾青等, 2008)。在水稻生产上由于施氮量过高, 养分管理不当, 农民施肥方式粗放, 造成了肥料的利用效率低, 肥料的流失和浪费以及农业的面源污染问题, 给环境带来危害 (张福锁等, 2000; 韩宝吉, 2011)。目前测土配方施肥是常用的施肥方法 (陈桂英, 2010; 卜容燕, 2010), 但是需要分析各种土壤养分指标, 费时费力。近年来, 一种基于作物产量反应和农学效率的农田养分专家系统 (Nutrient Expert, 以下简称 NE), 结合目标产量、土壤性质、气候条件及养分管理措施等作物生产相关信息, 在没有土壤测试值情况下, 利用 QUEFTS (quantitative evaluation of the fertility

of tropicals soils) 模型针对特定地块快速生成个性化的施肥方案 (何萍等, 2012), 已经在小麦 (贾良良等, 2017; 苏瑞光等, 2014)、玉米 (王宜伦等, 2014; 何萍等, 2014; 魏建林, 2018) 等多种作物上开展了农田养分推荐。本研究从 2013 年开始在湖北进行了多年多点的田间试验对水稻养分专家系统进行验证和改进, 旨在土壤测试不及时或条件不具备情况下建立一种简便、适用于我国小农户为经营主体的中稻推荐施肥和养分管理方法。

1 材料与方 法

1.1 试验区域概况

试验自 2013 年 5 月水稻种植季始, 连续 5 年在中稻上试验。试验地点位于湖北省广水市和赤壁市。广水市

表 1 试验区域土壤农化性质 (样本数 n=42)

试验区	特征值	有机质 (g/kg)	pH	全氮 (%)	全磷 (%)	全钾 (%)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
广水	最小值	4.02	5.49	0.38	0.04	1.41	3.59	62.93
	最大值	24.49	7.27	1.55	0.44	3.16	25.18	213.10
	平均值	14.94	6.48	1.00	0.25	1.96	13.06	138.74
	变异系数	34.40	7.85	37.37	48.79	27.12	47.62	36.07
赤壁	最小值	15.67	5.16	0.82	0.07	1.44	4.6	61.56
	最大值	40.93	8.28	2.77	0.65	1.93	21.36	249.31
	平均值	28.63	6.1	1.63	0.3	1.70	10.72	153.44
	变异系数	35.14	13.54	44.81	51.14	7.13	36.21	28.53

供试土壤类型为黄棕壤，赤壁市供试土壤类型为红壤，均是一季中稻，秸秆不还田。

表 2 两个试验点不同年份试验数量

地点 \ 时间	2013	2014	2015	2016	2017
广水	4	5	5	5	
赤壁	4	4	5	5	5

1.2 试验区土壤基本理化性状

中稻试验前取 0 ~ 20cm 耕层土壤，常规法进行理化性状分析，结果见表 1。

1.3 试验设计与方法

每季作物试验以农户为单元，每户设置 6 个处理，每个处理 30m²。处理包括：1) NE：水稻养分专家系统推荐施肥；2) NE-N：不施氮肥，磷钾肥用量同 NE 处理；3) NE-P：不施磷肥，氮钾肥用量同 NE 处理；4) NE-K：不施钾肥，氮磷肥用量同 NE 处理；5) OPTS：当地农技推广部门推荐施肥处理；6) FP：农民习惯施肥；2013 年到 2017 年共 42 户农田进行田间试验。试验前进行农户施肥情况调查，运用养分专家施肥推荐系统将各个农户的施肥情况、产量信息及相关生产条件进行分析，提出当地中稻推荐施肥用量。试验用氮肥为尿素 (N 46.0%)，磷肥为过磷酸钙 (P₂O₅ 16%)，钾肥为氯化钾 (K₂O 60%)。所有处理的耕作、除草、病虫害防治等均按常规管理方式进行。施肥量见表 3。2013 年 5 月至 2017 年 9 月，广水供试水稻杂交品种两优 766、Y 两优 1998、II 优 1128、II 优 188、II 优 476、岗优 188 和笨两优 9 号。广水种植密度 23.1 万穴 / 公顷。磷、钾肥在播种前作基肥一次性撒施。氮肥基蘖穗肥比例：40-30-30。赤壁供试水稻杂

交品种岗优 1577、明优 98、笨两优 9 号和晶两优 534。赤壁种植密度 28.0 万穴 / 公顷。磷、钾肥在播种前作基肥一次性撒施。氮肥基蘖穗肥比例：40-30-30。水稻均在 5 月 25 号左右插秧，9 月 24 号左右收获，小区全部收获进行测产。

1.4 有关指标计算

养分积累量 (kg/ha) = [非收获物干重 (kg/ha) × 非收获物养分含量 (g/kg) + 籽粒干重 (kg/ha) × 籽粒养分含量 (g/kg)] / 1000

肥料利用率 (%) = (施肥区养分积累量 - 减素处理区养分积累量) / 施肥量 × 100

肥料农学效率 (kg/kg) = (施肥区籽粒产量 - 减素处理区籽粒产量) / 施肥量

施肥收益 (元 / ha) = 籽粒产量 × 作物籽粒价格 - 化肥成本

施肥产投比 = 施肥收益 / 化肥投入

养分表观平衡 = 施肥量 - 水稻地上部养分移走量

试验数据采用 SPSS20 和 Excel 2007 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 推荐施肥对中稻产量的影响

从表 4 看出，在广水市和赤壁市 NE 处理中稻产量最高，分别是 8100 kg/ha 和 7425 kg/ha，比 FP 和 OPTS 处理均增产，但差别不显著；其中 NE-N 处理中稻产量最低，只有 6019 kg/ha 和 5754 kg/ha。施氮分别增产 34.6% 和 29.0%，施磷肥分别增产 15.4% 和 2.8%，施钾肥分别增产 1.7% 和 0.7%。

表 3 不同处理施肥量 (kg/ha)

处理号	广水			赤壁		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NE	153.9±1.7	68.9±2.5	85.5±8.6	147.6±3.9	63.3±2.4	60.4±4.1
FP	187.6±4.0	55.6±2.56	78.5±8.9	161.9±4.3	94.3±6.9	108.0±3.0
OPTS	165.8±2.6	60.0±1.1	97.4±3.9	173.3±4.0	60.4±1.0	88.7±0.9

表 4 不同处理对中稻产量的影响

处理号	广水			赤壁		
	产量 (kg/ha)	与 FP 比 (%)	与 OPTS 比 (%)	产量 (kg/ha)	与 FP 比 (%)	与 OPTS 比 (%)
NE	8100±330a	1.4	4.3	7425±225a	6.9	1.6
NE-N	6019±422c	-24.6	-22.5	5754±220b	-17.1	-21.3
NE-P	7017±434b	-12.1	-9.6	7224±205a	4.1	-1.2
NE-K	7963±364ab	-0.3	2.5	7373±171a	6.2	0.9
FP	7985±263ab		2.8	6943±200a		-5.0
OPTS	7766±321ab	-2.7		7309±155a	5.3	

注：同一列数字后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。下同。

2.2 推荐施肥对中稻经济效益的影响

从表 5 看出，NE-K 施肥收益最高，其次是 NE，NE-N 施肥收益最差。在广水市和赤壁市 NE 较 FP 分别增收 343 元/ha 和 1884 元/ha，NE 较 OPTS 分别增收 947 元/ha 和 585 元/ha。在广水市 OPTS 比 FP 欠收 604 元/ha，而在赤壁市则增收 1299 元/ha。基于养分专家系统推荐施肥，在广水市和赤壁市施用氮肥纯收益分别是 4546 元/ha 和 3482 元/ha，施用磷肥纯收益分别是 2241 元/ha 和 -29 元/ha，施用钾肥纯收益分别是 -221 元/ha 和 -292 元/ha，适量减少钾肥投入，更有利于增收。NE 产投比比 FP 和 OPTS 高。因此养分专家系统推荐施肥 (NE) 有利于增产增收。

2.3 推荐施肥对中稻氮磷钾养分积累量的影响

在广水市和赤壁市 NE 较 FP 植株氮积累量分别增

加了 6.6% 和 14.1%，植株磷积累量分别增加了 5.2% 和 17.9%，植株钾积累量分别增加了 7.8% 和 0.9%；OPTS 较 FP 植株氮积累量分别增加了 3.3% 和 17.9%，植株磷积累量分别增加了 8.2% 和 14.2%，植株钾积累量分别增加了 2.1% 和 9.2%。NE 与 OPTS 促进了中稻对氮、磷和钾素养分的吸收利用 (表 6)。

2.4 基于养分专家系统推荐施肥的肥料利用效率

广水市中稻氮、磷和钾肥平均农学效率分别为 13.6、15.7 和 1.6 kg/kg，赤壁市中稻氮、磷和钾肥平均农学效率分别为 11.3、3.2 和 0.9 kg/kg。广水市中稻氮、磷和钾肥平均当季利用率分别为 36.7%、4.9% 和 38.7%，赤壁市中稻氮、磷和钾肥平均当季利用率分别为 42.8%、8.0% 和 17.0% (表 7)。

表 5 中稻施肥的经济效益 (元/ha)

处理号	广水			赤壁		
	施肥收益	肥料投入	产投比	施肥收益	肥料投入	产投比
NE	19054	2006	9.5	17517	1788	9.8
NE-N	14508	1141	12.7	14035	925	15.2
NE-P	16813	1431	11.8	17546	1236	14.2
NE-K	19265	1439	13.4	17809	1361	13.1
FP	18711	2050	9.1	15633	2419	6.5
OPTS	18107	2085	8.7	16932	2071	8.2

注：水稻价格 2.6 元/kg；N、P₂O₅ 和 K₂O 价格分别为 5.65、8.33 和 6.67 元/kg

表6 施肥对中稻养分积累量的影响 (kg/ha)

处理号	广水			赤壁		
	N	P	K	N	P	K
NE	160.4±12.4a	34.3±1.9a	224.0±23.0a	179.8±10.1a	36.6±2.1a	288.0±14.9a
NE-N	102.7±10.2b	25.2±2.1b	143.8±14.9b	116.5±8.1c	28.4±1.8b	229.4±13.2b
NE-P	134.2±13.9ab	31.0±3.1ab	176.3±19.0ab	175.6±10.6a	31.5±1.9ab	283.2±13.6a
NE-K	147.6±11.9a	33.0±2.3a	191.1±18.3ab	192.7±10.9a	36.1±2.2ab	277.8±14.3a
FP	150.4±11.0a	32.7±2.3a	207.8±21.5a	157.6±10.0b	31.0±1.7b	285.6±13.2a
OPTS	155.4±13.9a	35.3±3.0a	212.2±22.0a	185.8±10.2a	35.4±1.7ab	311.9±15.0a

表7 肥料的农学效率和当季利用率

处理号	广水		赤壁	
	农学效率 kg/kg	当季利用率 %	农学效率 kg/kg	当季利用率 %
N	13.6	36.7	11.3	42.8
P ₂ O ₅	15.7	4.9	3.2	8.0
K ₂ O	1.6	38.7	0.9	17.0

2.5 推荐施肥对中稻氮、磷、钾素平衡的影响

基于中稻秸秆未还田情况下,计算肥料投入与植株携出养分平衡状况(表8)。广水市和赤壁市NE植株氮素平均携出量分别为160.4和179.8 kg/ha,平均亏缺7.4和31.8kg/ha,而FP平均携出量分别为150.4和157.6 kg/ha,平均盈余为36.6和4.4 kg/ha,而OPTS平均携出量分别为155.4和185.8 kg/ha,平均盈余为10.6和-12.8 kg/ha。广水市和赤壁市NE、FP和OPTS植株磷素平均携出量在31.0~36.5 kg/ha,盈余为23.3~63.0 kg/ha,广水市和赤壁市NE、FP和OPTS植株钾素平均携出量在207.9~311.9 kg/ha,平均亏缺115.2~222.9 kg/ha。

3 小结与讨论

当前,高量化肥投入导致了较高土壤基础养分供应(Cui Z L et al, 2008),并对环境安全构成了潜在威胁,作物养分专家系统(NE)是基于作物产量反应和农学效

率,能够针对农田快速生成个性化的施肥方案。本试验表明,广水市中稻养分专家系统推荐施肥NE比习惯施肥FP施氮低18.0%、磷肥高23.9%和钾肥高8.9%情况下,中稻增产1.4%,差异不显著。赤壁市中稻养分专家系统推荐施肥NE比习惯施肥FP施氮、磷和钾肥分别低8.8%、32.9%和44.1%的情况下,中稻增产6.9%,差异不显著。NE虽然降低了氮肥用量,由于相应增加了磷钾肥的施用量,使农田养分供应更加均衡,促进了作物产量的提高,实现了节肥增效。在广水市和赤壁市NE较FP分别增收343元/ha和1884元/ha,无显著差异。施用氮肥纯收益分别是4546元/ha和3482元/ha,施用磷肥纯收益分别是2241元/ha和-29元/ha,施用钾肥纯收益分别是-221和-292元/ha。在广水市和赤壁市NE较FP植株氮积累量分别增加了6.6%和14.1%,植株磷积累量分别增加了5.2%和17.9%,植株钾积累量分别增加了7.8%和0.9%;基于养分专家系统推荐施肥的中稻的氮肥利用效率高高于全国平均水平(张福锁等,2000),

表 8 中稻体系的养分表观平衡 (kg/ha)

处理号	施肥量			养分移走量			养分表观盈余			
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	
广水	NE	153.9	68.9	85.5	160.4	34.4	224.0	-7.4	34.7	-139.0
	NE-N	0	68.9	85.5	102.7	25.2	143.8	-102.7	43.8	-58.8
	NE-P	153.9	0	85.5	134.2	31.0	176.3	18.8	-31.0	-91.3
	NE-K	153.9	68.9	0	147.6	33.0	191.1	5.4	36.0	-191.1
	FP	187.6	55.6	78.5	150.4	32.7	207.9	36.6	23.3	-128.9
	OPTS	165.8	60.0	97.4	155.4	35.4	212.2	10.6	24.7	-115.2
赤壁	NE	147.6	63.3	60.4	179.8	36.6	288.0	-31.8	26.5	-228.0
	NE-N	0	63.3	60.4	116.5	28.4	229.4	-116.5	34.6	-169.4
	NE-P	147.6	0	60.4	175.6	31.5	283.2	-27.6	-31.5	-223.2
	NE-K	147.6	63.3	0	192.7	36.1	277.8	-44.7	26.9	-277.8
	FP	161.9	94.3	108.0	157.6	31.0	285.6	4.4	63.0	-177.6
	OPTS	173.3	60.4	88.7	185.8	35.4	311.9	-12.8	24.6	-222.9

磷肥和钾肥利用效率低于全国平均水平,可能与试验地磷钾含量高有关。广水市和赤壁市 NE 植株氮素呈现亏缺,而 FP 植株氮素呈现盈余。广水市和赤壁市 NE、FP 和 OPTS 植株磷素呈现盈余,广水市和赤壁市 NE、FP 和 OPTS 植株钾素呈现亏缺,因此秸秆还田对培肥地力有重要意义。

参考文献:

[1] Cui Z L, Zhang F S, Chen X P, et al. On farm estimation of an in season nitrogen management strategy based on soil Nmin test [J]. Field Crops Research, 2008, 105: 48-55.

[2] 陈桂英. 建阳市水稻测土配方施肥研究与应用 [D]. 中国农业科学院, 2010.

[3] 何萍, 金继运, Mirasol F P, 等. 基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (2): 499-505.

[4] 何萍, 徐新朋, 仇少君, 等. 我国北方玉米施肥产量效应和经济效益分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6):1387-

1394.

[5] 贾良良, 杨军芳, 孙彦铭, 等. 小麦养分专家系统推荐施肥对河北省冬小麦产量、养分效率和环境效应的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017 (5):51-55.

[6] 何召阳, 姜雪, 臧磊, 等. 基于产量反应和农学效率的水稻和玉米推荐施肥方法探究 [J]. 科学种养, 2016 (8).

[7] 韩宝吉. 湖北省中稻最佳养分管理技术研究 [D]. 华中农业大学, 2011.

[8] 卜容燕, 李小坤, 鲁剑巍等. 中稻氮磷钾肥的施肥效果及推荐用量 [J]. 中国农学通报, 2010 (14).

[9] 苏瑞光, 王宜伦, 刘举, 等. 养分专家系统推荐施肥对潮土冬小麦产量及养分吸收利用的影响 [J]. 麦类作物学报, 2014, 34(1):120-125.

[10] 王宜伦, 苏瑞光, 刘举, 等. 养分专家系统推荐施肥对超高产夏玉米产量及养分吸收利用的影响 [J]. 河南农业科学, 2014 43(6): 44-48.

[11] 魏建林, 谭德水, 郑福丽, 等. 养分专家系统推荐施肥对小麦玉米产量、效益及养分平衡的影响 [J]. 山东农业科学, 2018(2): 87-92.

[12] 徐新朋. 基于产量反应和农学效率的水稻和玉米推荐施肥方法研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.

[13] 游艾青, 陈亿毅. 湖北省水稻生产发展战略思考 [J]. 湖北

农业科学, 2008, 47(11): 1361-1364.

[14] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.

