

养分专家系统推荐施肥对河北省小麦玉米产量及养分利用率的影响

贾良良¹ 刘孟朝¹ 赵姗姗² 李春杰³

(1. 河北省农林科学院农业资源环境研究所, 石家庄 050051; 2. 正定县农业局, 正定 050800; 3. 河北省农业厅种子站, 石家庄 050021)

摘要: 利用养分专家系统 Nutrient Expert (NE) 对河北省小麦、玉米的产量、经济效益和养分利用率的影响进行了探讨, 结果发现基于养分专家系统的推荐施肥能够在减少氮肥投入量的情况下获得比农民习惯施肥更高的作物产量, 增产幅度在 1.1%-5.2% 之间; 基于 NE 养分专家系统的推荐施肥体系显著提高了农田养分利用率, NE 推荐施肥的氮肥偏生产力在 35.3-57.5 公斤/公斤, 显著高于农民习惯施肥处理的 20.6-33.5 公斤/公斤; 此外, 基于 NE 养分专家系统的推荐施肥技术体系能够提高农田经济效益, 提高的幅度在 31-58 元/亩。

关键词: 小麦; 玉米; Nutrient Expert; 作物产量; 养分利用率

河北省平原区是我国重要的冬小麦产区, 常年播种面积 3750 万亩左右, 小麦总产量 1220 万吨左右, 播种面积和总产量在全国仅次于河南和山东两省。河北省小麦生产中普遍存在过量施肥的问题^[1-2], 其中氮肥的过量施用最普遍, 过量施氮导致肥料利用率明显降低, 经济效益下降^[3]。目前在生产实践中逐渐应用优化施肥措施进行肥料推荐, 但大多数推荐施肥手段都需要土壤取样和实验室分析后再根据目标产量等进行推荐^[4-5], 需要大量的人力物力投入耗时费力。养分专家系统软件 Nutrient Expert (以下简称 NE, 由国际植物营养研究所北京办事处引进并完善) 能够根据常年作物产量、常年养分管理资料数据, 快速推荐氮、磷、钾优化施用量。这种方法比较适应我国目前的小农户、小田块的分散经营模式, 可以在生产中做到逐田块的推荐。目前基于 NE 养分专家系统的推荐施肥技术的报道还不多, 本研究拟通过多年多点的小麦玉米试验, 基于 NE 系统的养分管理模式对小麦玉米产量、经济效益和养分效率的影响, 以期为 NE 系统进行小麦、玉米推荐施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

自 2010 年夏玉米季节开始, 分别在河北辛集马庄农场、正定新城铺村、正定北贾村等地安排养分专家系统 Nutrient Expert 推荐施肥试验 118 个, 2010 年-2012 年小麦、玉米试验田块数量及分布情况如表 1 所示。所选试验地均为当地典型农田, 常年种植模式为小麦-玉米轮作, 其中小麦于每年 10 月 10 日左右播种, 于第二年 6 月 10

表 1 2010-2012 年养分专家系统推荐施肥试验分布情况

年份	作物	试验点名称	试验数量
2010	夏玉米	辛集	32
2012	夏玉米	辛集	11
2011	夏玉米	正定	17
2012	夏玉米	正定	9
2010-2011	冬小麦	辛集	32
2011-2012	冬小麦	辛集	12
2011-2012	冬小麦	正定	5

表 2 2010-2012 年各试验土壤基础理化性状

年份	作物	地点	pH	OM (%)	NH ₄ -N (毫克/升)	NO ₃ -N (毫克/升)	P (毫克/升)	K (毫克/升)
2010	玉米	辛集	8.22	0.63	6.93	9.30	56.4	79.8
2011	玉米	正定	7.87	0.76	7.75	19.5	63.0	52.8
2010-2011	小麦	辛集	8.22	0.61	9.23	11.2	61.2	81.2
2011-2012*	小麦	辛集	7.92	14.4	--	--	16.3	113
2011-2012*	小麦	正定	7.71	18.4	--	--	21.5	96
2012*	玉米	辛集	8.06	13.1	--	--	16.3	107
2012*	玉米	正定	7.70	14.3	--	--	17.2	64

*注: 2011-2012 小麦和 2012 年夏玉米的基础土壤样品测试采用的是常规测试方法, 其中 OM% 为土壤有机质含量(克/千克)、P 为 Olsen-P 含量(毫克/千克)、K 为 NH₄OA_c-K (毫克/千克)。其余年份土壤理化性状测试采用 ASI 法。

左右收获，玉米在小麦收获后播种，于10月初收获。各试验田土壤基础理化性状如表2所示。

1.2 试验设计

试验统一设6个处理，分别是：CK（不施任何肥料）、OPT（氮磷钾肥及微量元素推荐给予NE推荐）、OPT-N（在OPT基础上不施氮肥）、OPT-P（在OPT基础上不施磷肥）、OPT-K（在OPT基础上不施钾肥）和FP（农民习惯施肥处理）等6个处理。其中农民习惯施肥处理按照农户调查数据进行推荐，OPT处理的氮磷钾肥施用量根据前茬作物施肥情况、秸秆还田与否、土壤肥力状况等以及其他年份试验数据的总结，通过养分专家系统Nutrient Expert计算得出。其中OPT处理的小麦施肥模式为基肥+拔节期追肥，其中磷钾肥和1/3氮肥作为基肥在整地时施入，在小麦拔节期另追施2/3氮肥。OPT玉米施肥分为基肥+6叶期追肥，磷钾肥和氮肥的1/3作为基肥在播种时开沟施入，在夏玉米6叶期开沟施入剩余的2/3氮肥作为追肥，并根据土壤墒情决定是否灌溉，本试验2010-2012年的夏玉米生育期间降雨量与常年类似，所有处理均没有灌溉。FP处理则根据农民习惯进行施肥，其中小麦磷钾肥全做基肥，氮肥分基肥+追肥，比例为1:1，夏玉米按照农民习惯氮磷钾肥全部做基肥一次性施入，生育期不追肥。为使FP处理能够切实反映当地农民习惯施肥的效果，采用当地农民习惯的施肥品种，如复合肥、二铵等。OPT处理采用的氮、磷、钾肥品种分别为尿素（含N46%）、过磷酸钙（含P₂O₅，12%）和氯化钾（含K₂O，60%）。

所有处理的中耕、除草、病虫害防治等均按照常规管理方式进行。

1.3 样品采集与处理

在小麦、玉米收获期分小区测试各小区的籽粒产量和生物量。实验室分别测定各处理的秸秆与籽粒的氮、磷、钾养分含量，其中全氮采用半微量凯氏法、全磷采用钒钼黄比色法、全钾采用火焰光度法。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel软件对数据进行统计分析。试验养分效率分析用养分回收率RE、农学效率AE和偏生产力PPF^[4-6]等进行了比较。相关参数计算方法如下：

养分利用率RE(%) = (施肥区植物吸收养分量 - 无肥区植物吸收养分量) / 养分施入量 × 100

农学效率AE(公斤/公斤) = (施肥区作物产量 - 无肥区作物产量) / 养分施入量

偏生产力PPF(公斤/公斤) = 施肥区作物产量 / 养分施入量。

2 结果分析

2.1 养分专家系统NE推荐施肥量与农民习惯施肥量对比

基于养分专家系统NE的夏玉米推荐施肥量在不同地区、年度间有明显差异，3季玉米在4个试验区的平均推荐施氮量在9-12.1公斤/亩之间，而相应调查的农户平均施氮量则在15.7-23.1公斤/亩之间，农民习惯施氮量显著高于当年当季作物的NE推荐施氮量，约为NE推荐施氮量的135%-195%，说明存在严重的过量施氮问题。在磷钾肥施用量上，农民习惯施肥量差异较大，甚至有部分农户从不施用磷钾肥，也有的农户施用量明显偏高，如2010年辛集夏玉米农民习惯施磷量平均为0.4公斤/亩，所有32个参试农户中只有2个农户施用了磷肥9.2公斤/亩和

表3 2010-2012年养分专家系统推荐优化施肥量与农户习惯施肥量（公斤/亩）

年份	作物	试验地点	养分专家系统NE 养分推荐量			农民习惯施肥量		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2010	玉米	辛集	9(8.7-10)	3.5(3.3-3.7)	4(3.2-4.7)	9(8.7-10)	3.5(3.3-3.7)	4(3.2-4.7)
2011	玉米	正定	10(9.8-10)	2.7(2.7-3.3)	3.3(3.2-4.2)	10(9.8-10)	2.7(2.7-3.3)	3.3(3.2-4.2)
2012	玉米	辛集	12.1(12-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.1(5.3-7)	12.1(12-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.1(5.3-7)
2012	玉米	正定	12.1(12-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.7(4.3-7)	12.1(12-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.7(4.3-7)
2010-2011	小麦	辛集	9(8.7-10)	3.5(3.3-3.7)	4(3.2-4.7)	9(8.7-10)	3.5(3.3-3.7)	4(3.2-4.7)
2011-2012	小麦	正定	12.1(12.1-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.1(4.3-7)	12.1(12.1-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.1(4.3-7)
2011-2012	小麦	辛集	12.1(12.1-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.7(5.3-7)	12.1(12.1-12.1)	5.1(4.5-5.3)	5.7(5.3-7)

* 注：农户平均施肥量及农户施肥量分布范围。

表 4 2010-2012 年不同养分管理下作物产量 (公斤/亩)

年份	作物	地点	作物产量					
			CK	OPT	FP	OPT-N	OPT-P	OPT-K
2010	玉米	辛集	436b	526a	520a	451b	510ab	508ab
2012	玉米	辛集	387b	448a	439a	402b	417ab	425ab
2011	玉米	正定	492b	541a	533a	492b	518ab	492b
2012	玉米	正定	523c	661a	645a	583ab	594ab	576b
2010-2011	小麦	辛集	398b	509a	491a	430b	434b	465ab
2011-2012	小麦	辛集	376c	474a	456ab	406bc	427b	430b
2011-2012	小麦	正定	359c	451a	429ab	399bc	408b	424ab

*LSD=0.05

3.6 公斤/亩, 其余农户均未施磷肥, 钾肥方面也有类似的情况。

在小麦推荐施肥量上, 养分专家系统 NE 的推荐施氮量在 3 年的试验中均显著低于农民习惯施氮量, NE 系统推荐的 3 季小麦施氮量在 9-12.1 公斤/亩, 而农民习惯施氮量则在 16.5-23.1 公斤/亩, 农民习惯施氮量约为 NE 推荐量的 135%-200%。农民习惯施磷钾肥量明显低于 NE 系统推荐的小麦磷钾肥用量, 且非常不均衡, 也存在部分农民不施磷钾肥的现象。

2.2 养分专家系统推荐施肥对小麦、玉米产量的影响

夏玉米产量明显受区域土壤基础肥力和气候年型影响, 辛集的夏玉米空白 CK 产量显著低于正定 (表 4)。不同年份和试验区夏玉米产量均以基于 NE 推荐施肥的 OPT 处理为最高, 其次是农民习惯施肥处理 FP, OPT 处理较农民习惯处理增产 1.1%-2.5%。基于 NE 推荐施肥的 OPT 减素处理 OPT-N、OPT-P 和 OPT-K 的作物产量均低于 OPT 处理和 FP 处理, 但受到各试验区土壤基础肥力的影响, 减产规律不完全一致。如辛集在 2010 和 2012 年两年试验中均以 OPT-N 处理的减产幅度最大, 说明氮肥在辛集夏玉米增产中作用最大。而正定在 2012 年中则以 OPT-K 处理的减产幅度最大, 说明在高产条件下除了重视氮肥的投入, 更需要重视钾肥的平衡施用。

小麦产量变化与玉米相类似, 各处理中均以基于 NE 推荐施肥的 OPT 处理为最高, 其次为农民习惯施肥处理 FP, OPT 处理较农民习惯处理 FP 增产 3.7%-5.2%。在基于 NE 推荐施肥的 OPT 减素处理中 OPT-N 处理在 2 个试验年度的 3 个试验区中的减产幅度最大, 其次为 OPT-P 处理, OPT-K 处理的减产最少, 这充分说明重视养分的均衡供

应是保证作物高产的重要前提。

2.3 养分专家系统推荐施肥对小麦、玉米养分利用率的影响

农民习惯施肥处理的夏玉米氮肥偏生产力 PFP-N 为 27.2-33.5 公斤/公斤, 显著低于基于 NE 推荐施肥处理的 PFP-N 36.2-57.5 公斤/公斤。农民习惯施肥处理的冬小麦氮肥偏生产力 PFP-N 为 20.6-27.5 公斤/公斤, 显著低于 NE 推荐施肥处理的 35.3-54.5 公斤/公斤 (表 5)。

从 NE 养分专家系统推荐 OPT 处理的农学效率来看, 不同作物和不同试验地区和年型之间差异明显。夏玉米的氮肥的农学效率在 3.69-7.66 公斤/公斤之间, 冬小麦则在 2.47-6.76 公斤/公斤之间; 夏玉米磷肥的农学效率在 2.7-10.2 公斤/公斤之间, 明显受到土壤基础肥力的影响, 即辛集地区的土壤磷含量相对较高, 2010 和 2012 两年的农学效率分别为 2.7 公斤/公斤和 5.3 公斤/公斤, 而正定的土壤磷含量相对较低, 2011 和 2012 两年的农学效率为 8.9 公斤/公斤和 10.2 公斤/公斤; 夏玉米钾肥的农学效率在 2.9-13.6 公斤/公斤之间, 而小麦则在 0.9-6.4 公斤/公斤之间。钾肥的农学效率较高说明在华北平原小麦玉米轮作体系中适当增加钾肥的投入对提高和稳定作物产量有重要的意义。

表 5 2010-2012 年不同养分管理模式下作物养分利用率 (公斤/公斤)

年份	作物	地点	农民习惯处理 FP	基于 NE 推荐处理 OPT				
			PFP-N	PFP-N	AE-N	AE-P	AE-K	
2010	玉米	辛集	33.5	57.5	7.66	2.7	2.9	
2012	玉米	辛集	27.2	36.2	4.03	5.3	12.3	
2011	玉米	正定	27.3	53.3	3.69	8.9	5.0	
2012	玉米	正定	28.7	53.2	5.13	10.2	13.6	
2010-2011	小麦	辛集	27.5	54.5	6.76	16.5	6.4	
2011-2012	小麦	辛集	20.6	37.6	2.47	4.1	0.9	
2011-2012	小麦	正定	27.4	35.3	4.14	6.1	4.7	

表 6 2010-2012 年不同养分管理模式下的经济效益分析 (元/亩)

年份	作物	地点	经济效益	
			FP	OPT
2010	玉米	辛集	862	863
2011	玉米	正定	897	950
2012	玉米	辛集	766	784
2012	玉米	正定	1156	1209
2010-2011	小麦	辛集	921	986
2011-2012	小麦	正定	831	879
2011-2012	小麦	辛集	870	929

2.4 养分专家系统 NE 推荐施肥对小麦、玉米经济效益的影响

根据调查得到的 2010-2012 年氮磷钾肥和小麦、玉米价格, 对不同养分管理措施的经济效益进行了分析, 其中小麦价格 2.1 元/公斤, 玉米价格 2.0 元/公斤, 氮磷钾肥价格分别按照纯养分氮 (N) 4.5 元/公斤、磷 (P_2O_5) 6.5 元/公斤和钾肥 (K_2O) 5 元/公斤 (表 6)。结果发现, 虽然不同年份不同作物下的经济效益略有不同, 但基于 NE 推荐的 OPT 处理的经济效益均高于农民习惯施肥处理, 玉米平均高 31 元/亩, 而小麦平均高 58 元/亩。这一方面归功于优化施肥提高了作物产量, 另一方面也与优化施肥大幅度减少氮肥投入有关。

3 结论

根据以上研究结果, 得出以下结论:

参考文献

- [1] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略 [J]. 植物学通报, 2007, 24 (6): 68-69.
- [2] Ju X T, Kou C L, Christie P, et al. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain [J]. Environmental Pollution, 2007, 145: 497-506.
- [3] 同延安, 赵营, 赵护兵, 等. 施氮量对冬小麦氮素吸收、转运及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 64-69.
- [4] 张树兰, 同延安, 赵护兵, 等. 冬小麦-夏玉米轮作氮肥施用量与氮营养诊断 [J]. 西北农业学报, 2000, 9 (2): 104-197.
- [5] 李俊华, 董志新, 朱继正. 氮素营养诊断方法的应用现状及展望 [J]. 石河子大学学报, 2003, 7 (1): 80-83.
- [6] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production [J]. Plant and Soil, 1981, 58: 177-204.
- [7] Cassman K G, Peng S, Olk D C, et al. Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems [J]. Field Crop s Research, 1998, (56): 7-38.
- [8] Fageria N K, Baligar V C. Methodology for evaluation of lowland rice genotypes for nitrogen use efficiency [J]. Journal of Plant Nutrition, 2003, (26): 1315-1333.

(1) NE 养分专家系统较农民习惯施肥大幅度降低了氮肥投入量, 并相应增加了磷钾肥的施用量, 使农田养分供应更加均衡, 从而促进了作物产量的提高。从 3 年共 118 个试验的小麦玉米产量结果统计来看, NE 养分专家系统都提高了作物产量, 与农民习惯施肥相比增产幅度在 1.1%-5.2% 之间。说明在大幅度降低了氮肥投入的情况下, 基于 NE 养分专家系统的推荐施肥体系不会造成减产。

(2) 基于 NE 养分专家系统的推荐施肥体系显著提高了农田养分利用率。NE 推荐体系的氮肥偏生产力在 35.3-57.5 公斤/公斤, 显著高于农民习惯施肥处理的 20.6-33.5 公斤/公斤。表明 NE 专家系统能够有效减少养分损失, 提高农田资源利用效率。

(3) 基于 NE 养分专家系统的推荐施肥技术体系能够提高农田经济效益。在本试验条件下, NE 养分专家系统推荐施肥在玉米上能够增加 31 元/亩收入, 在小麦上则能够增收 58 元/亩。这一方面是由于肥料施用量的减少, 另一方面也归功于作物产量的稳定提高。

(4) 基于 NE 养分专家系统的推荐施肥技术能够综合考虑农田各种养分资源投入, 通过农户施肥情况调查和常年产量数据总结, 在不进行农田土壤测试的情况下进行农田养分推荐, 大幅度减少了田间取样和实验室分析所需要的时间, 在实践中也证明了其简便实用性, 作为新型的农田养分管理方法, 有很好的应用前景。