

养分专家系统推荐施肥对河南小麦玉米产量、养分吸收和利用的影响

王宜伦 苏瑞光 刘举 韩燕来 谭金芳

(河南农业大学资源环境学院 / 中原经济区小麦玉米两熟高产高效协同创新中心, 郑州 450002)

摘要: 为推动冬小麦、夏玉米科学施肥, 在河南冬小麦、夏玉米主产区通过 2 年的田间试验研究了冬小麦、夏玉米养分专家系统推荐施肥的产量和经济效益及基于养分专家系统推荐施肥的氮、磷、钾肥利用效率。结果表明, 养分专家系统推荐施肥对冬小麦、夏玉米有明显的增产效应, 冬小麦平均增产 3.65%, 增收 5.35%; 夏玉米平均增产 4.53%, 增收 4.00%。冬小麦养分专家系统推荐施氮平均增产 22.31%, 施磷平均增产 8.30%, 施钾平均增产 7.71%; N、P₂O₅、K₂O 农学效率分别为 7.99、7.05 和 6.72 公斤/公斤; N、P₂O₅、K₂O 当季回收率分别为 31.77%、14.44% 和 40.91%。夏玉米养分专家系统推荐施氮平均增产 15.75%, 施磷平均增产 8.12%, 施钾平均增产 8.86%; N、P₂O₅、K₂O 平均农学效率分别为 9.09、14.06 和 12.31 公斤/公斤; N、P₂O₅、K₂O 当季回收率分别为 29.39%、19.87% 和 40.31%。养分专家系统推荐施肥较好地实现养分平衡, 比习惯施肥有增产增收效果, 与 ASI 推荐施肥效果基本一致, 可作为简便科学的推荐施肥方法推广应用。

关键词: 冬小麦; 夏玉米; 养分专家系统; 推荐施肥; 产量; 肥料效率

小麦、玉米是中国重要的粮食作物, 提高小麦、玉米产量对保障国家粮食安全具有重要意义^[1-3]。河南省地处华北平原, 温度适宜、日照充足, 降雨量中等, 能满足冬小麦、夏玉米一年两熟制的生产需要, 是我国冬小麦、夏玉米的主产区。2011 年河南省冬小麦播种面积 7985.0 万亩, 总产量 3123.0 万吨, 分别占全国小麦播种总面积和总产量的 21.9% 和 26.6%; 夏玉米播种面积 4537.5 万亩, 总产量 1696.5 万吨, 分别占全国玉米播种总面积和总产量的 9.0% 和 8.8%^[4-5]。河南省冬小麦、夏玉米生产在保障国家粮食安全和河南经济发展中占有重要地位。

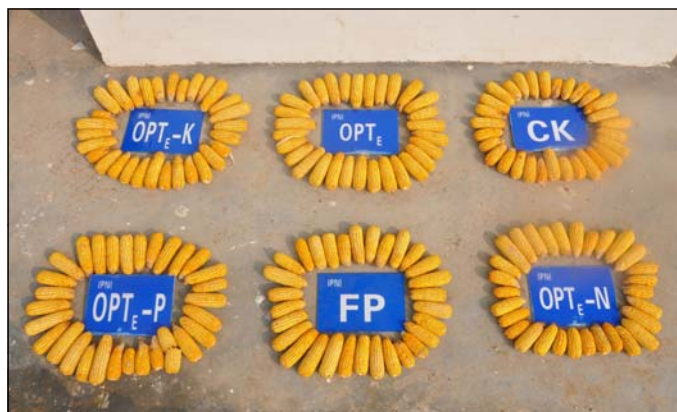
当前, 冬小麦、夏玉米生产中普遍存在过量施肥、氮磷钾肥不平衡等施肥问题, 造成肥料利用率低、施肥成本高、经济效益下降, 科学平衡施肥是增加冬小麦、夏玉米产量和提高肥料利用率的重要措施。近年来, 针对不同土壤进行测土配方施肥可促进冬小麦、夏玉米对养分的吸收利用, 提高了冬小麦、夏玉米的产量和经济效益^[6-8], ASI 法推荐施肥(通过土壤养分测试, 基于土壤养分状况、作物养分吸收量和产量目标等推荐氮磷钾肥用量)已在全国 20 多个省市广泛应用, 可以提高小麦、玉米产量、增加农民收入, 取得了显著的经济效益和社会效益^[9-10]。

传统的测土配方施肥及 ASI 法推荐施肥均需采集土壤样品, 实验室分析测试后再根据目标产量等因素进行施肥推荐, 投入较大且费时费力, 养分专家系统(由国际植

本研究由中国 - 国际植物营养研究所 (IPNI) 北京办事处资助。

作者简介: 王宜伦 (1976-), 男, 博士, 副教授, 硕导, 从事植物营养与施肥研究, E-mail: wangyilunrl@163.com

通讯作者: 谭金芳 (1958-), 男, 博士, 教授, 博导, 从事植物营养与施肥及新型肥料研制, tanjf@henau.edu.cn



物营养研究所北京办事处引进并完善, 根据土壤质地性状、作物产量水平、养分管理措施及气候条件等参数通过专家系统对玉米推荐氮磷钾施用量)可以快速制定推荐施肥方案。本研究在河南省冬小麦和夏玉米主产区进行施肥调查, 由养分专家系统对冬小麦、夏玉米进行推荐施肥, 研究了养分专家系统推荐施肥对冬小麦、夏玉米产量、经济效益和肥料利用率的影响, 明确养分专家系统推荐施肥的产量效应、氮磷钾肥增产效应及肥料利用率, 以期对冬小麦、夏玉米科学施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验安排

冬小麦试验于 2010 年 10 月 -2011 年 6 月在河南省新



郑、兰考、项城、宁陵、鹤壁等冬小麦主产区布置 20 个试验点；2011 年 10 月 -2012 年 6 月在河南省冬小麦主产区项城和郑州市航空港区布置 20 个试验点。供试土壤性状见表 1。

夏玉米试验于 2011 年 6 月 -2011 年 10 月，在河南省夏玉米主产区鹤壁和郑州航空港区布置 20 个试验点；2012 年 6 月 -2012 年 10 月，在夏玉米主产区鹤壁市钜桥镇、郑州市航空港区和郟城县唐庙乡，共 17 个农户试验点。

供试土壤性状见表 2。

1.2 试验设计

冬小麦和夏玉米四季试验均设 7 个处理，1) OPT：基于 Nutrient Expert 推荐量；2) OPT-N：不施氮肥；3) OPT-P：不施磷肥；4) OPT-K：不施钾肥；5) CK：不施任何肥料；6) OPTs：优化施肥；7) FP：农民习惯施肥。

试验前采集基础土样和进行农户施肥情况调查，土样

表 1 冬小麦试验土壤养分状况

年份	特征值	pH	OM (%)	(毫克 / 升)											
				NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
2010-2011	最大值	8.4	1.2	42.4	25.0	80.6	201.4	4068.8	695.0	18.6	131.8	4.9	69.3	5.2	1.2
	最小值	5.6	0.4	0.0	7.1	10.1	50.0	1495.6	123.2	15.1	10.2	1.1	3.7	0.5	0.4
	平均值	7.4	0.7	10.8	15.1	32.0	103.5	2444.9	276.1	16.1	38.5	2.4	14.2	1.7	0.8
2011-2012	最大值	8.5	1.2	8.3	106.3	94.5	146.0	231.1	21.6	22.1	4.1	7.1	4.2	2.2	2.2
	最小值	7.7	0.5	0.0	4.4	12.3	36.7	94.6	9.1	9.3	1.2	1.7	1.3	0.1	0.1
	平均值	8.3	0.7	2.4	20.1	46.0	67.3	149.3	15.0	14.9	2.4	4.0	2.6	0.6	0.6

注：本表数据为 ASI 法测定。

表 2 夏玉米试验土壤养分状况 (毫克 / 升)

年份	特征值	pH	OM (%)	(毫克 / 升)											
				NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
2011	最大值	8.4	1.3	11.5	62.8	170.0	114.5	2861.6	353.1	15.4	4.9	33.6	31.2	3.3	12.3
	最小值	8.0	0.5	4.0	3.6	26.8	34.9	1263.1	92.5	7.8	1.4	9.5	6.7	1.5	5.4
	平均值	8.3	0.8	7.1	9.8	65.9	75.1	2060.8	215.3	10.6	2.8	19.7	13.7	2.4	9.2
2012	最大值	8.4	1.2	10.8	53.8	75.5	126.4	2922.1	322.0	56.3	16.9	2.6	8.1	3.0	1.8
	最小值	7.7	0.3	0.0	1.6	20.7	35.2	1244.8	98.3	7.2	9.0	1.0	3.0	1.0	0.3
	平均值	8.1	0.6	3.0	14.4	52.3	68.2	1960.6	211.4	22.2	12.7	1.7	6.0	2.0	0.9

注：本表数据为 ASI 法测定。

表 3 冬小麦不同处理施肥量 (公斤 / 亩)

处理号	特征值	2010.10-2011.6			2011.10-2012.6		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
OPT	最大值	10.3	4.5	5.3	13.9	7.1	6.9
	最小值	9.3	4.5	4.0	11.1	4.8	5.0
	平均值	9.6	4.5	4.7	12.2	6.5	6.0
OPTs	平均值	14.0	4.0	6.0	14.2	4.1	6.0
FP	最大值	19.3	15.0	15.0	23.0	15.7	9.0
	最小值	7.5	4.8	0.0	7.5	0.0	0.0
	平均值	12.5	8.3	8.0	13.2	7.9	5.9

表 4 夏玉米不同处理施肥量 (公斤 / 亩)

处理号	特征值	2011			2012		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
OPT	最大值	12.1	3.7	5.1	13.9	5.3	6.0
	最小值	10.0	3.5	4.1	10.0	4.1	4.0
	平均值	10.9	3.7	4.8	11.9	4.7	5.3
OPTs	最大值	18.0	4.0	8.0	18.0	5.0	8.0
	最小值	13.0	2.0	4.0	13.0	3.0	4.0
	平均值	17.1	3.0	6.1	16.7	3.3	6.1
FP	最大值	23.0	16.8	8.0	12.7	6.9	6.9
	最小值	7.5	0.0	0.0	10.7	6.0	6.0
	平均值	14.9	6.9	2.3	11.7	6.3	6.3

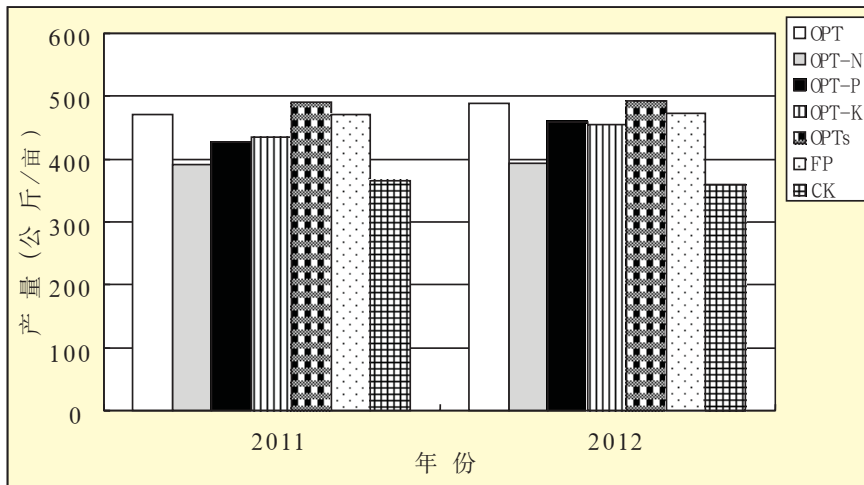


图 1 不同处理对冬小麦产量的影响

表 5 推荐施肥及氮磷钾肥增产效应 (%)

年份	特征值	OPT 比 FP	OPTs 比 FP	施氮增产率	施磷增产率	施钾增产率
2011	最大值	11.41	30.00	39.16	21.72	19.25
	最小值	-7.46	-3.10	9.45	2.90	2.43
	平均值	0.31	5.05	20.69	9.94	8.52
2012	最大值	10.86	9.18	40.18	13.44	14.89
	最小值	-3.06	-3.20	10.66	2.07	3.34
	平均值	3.65	4.23	24.72	7.00	7.42

送北京 IPNI 中加合作土壤测试实验室测定并推荐施肥 (OPTs), 根据农户调查结果, 依据养分专家系统进行施肥推荐 (OPT)。试验用氮肥为尿素 (N46.1%), 磷肥为过磷酸钙 (P₂O₅16%), 钾肥为氯化钾 (K₂O 60%)。磷、钾肥全部在播前施用, 氮肥 50% 基肥, 50% 做拔节期追肥。小区面积为 60 平方米。施肥量见表 3 和表 4。

1.3 样品采集与分析

冬小麦、夏玉米播种前采集 0-20 厘米混合土壤样品, 送中国农业科学院中国 - 加拿大合作实验室, 用 ASI 法测定土壤养分。

在冬小麦、夏玉米成熟期采集各小区代表性的小麦植株样品, 分为籽粒和秸秆两部分, 在 105℃ 下杀青 15 分钟, 再于 65℃ 下烘干至恒定质量, 称重、粉碎后分析植株氮磷钾含量。采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮制备待测液, 并采用蒸馏定氮法、钒钼黄比色法和火焰光度计法分别测定植株全氮、全磷和全钾^[11]。

1.4 计产方法

冬小麦成熟期收获每小区 3 平方米样段计算小区产量。玉米收获时, 任取 2 处测量 3 行玉米株距长度和 3 米行长的玉米株数, 取平均值计算种植密度, 随机收获 30 穗夏玉米晒干称质量, 含水量以 14% 计算。

1.5 有关指标计算与统计方法

肥料养分回收率 (%) = (施肥区养分积累量 - 无肥区养分积累量) / 施肥量 × 100%

肥料农学效率 (公斤 / 公斤) = (施肥区籽粒产量 - 无肥区籽粒产量) / 施肥量

试验数据采用 DPS7.55 和 Excel 2003 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 冬小麦养分专家系统推荐施肥效应

2.1.1 不同处理对冬小麦产量的影响

将不同农户各处理产量平均值列为图

1, 2011年各施肥处理较CK增产6.88%-34.40%, OPT与FP产量基本相同;基于养分专家系统推荐施氮平均增产20.29%,施磷平均增产9.87%,施钾平均增产8.12%。2012年各施肥处理较CK增产9.26%-36.69%,OPT较FP增产3.60%;基于养分专家系统推荐施氮平均增产24.33%,施磷平均增产6.73%,施钾平均增产7.29%。氮磷钾化肥平衡施用对冬小麦均有明显的增产效应。

表5表明,2011年OPT较FP最大增产11.41%,最大减产7.46%,增产率平均为0.31%。增产的占35%,其中增产>5%的占10%,增产<5%的占25%;减产的占65%,其中减产>5%的占10%,减产<5%的占55%。基于养分专家系统推荐施氮最大增产39.16%,最小增产9.45%,平均为20.69%;施磷最大增产21.72%,最小增产2.90%,平均为9.94%;施钾最大增产19.25%,最小增产2.43%,平均为8.52%。

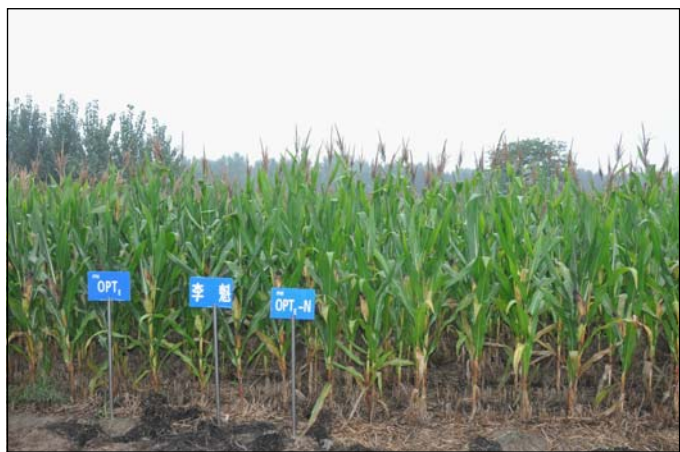
2012年OPT较FP最大增产10.86%,最大减产3.06%,增产率平均为3.65%。增产的占90%,其中增产>5%的占30%,增产<5%的占60%;减产的占15%,减产<5%的占10%。基于养分专家系统推荐施氮最大增产40.18%,最小增产10.66%,平均为24.72%;施磷最大增产13.44%,最小增产2.07%,平均为7.00%;施钾最大增产14.89%,最小增产3.34%,平均为7.42%。

2.1.2 推荐施肥对冬小麦经济效益的影响

从表6可以看出,2011年OPT收益最大,其次是OPTs,OPT平均收益较FP增收43元/亩;统计表明,

年份	试验点	OPT 效益	OPTs 效益	FP 效益	OPT 比 FP 增收	OPTs 比 FP 增收
2011	最大值	1004	974	953	51	21
	最小值	677	696	625	52	71
	平均值	855	854	812	43	42
2012	最大值	1050	1129	1136	77	62
	最小值	633	646	596	-86	-40
	平均值	895	906	888	6	18

处理号	特征值	农学效率(公斤/公斤)			肥料利用率(%)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2010-2011	最大值	12.90	18.46	13.13	49.00	25.44	67.49
	最小值	3.64	3.18	1.75	15.05	6.42	10.22
	平均值	8.14	9.20	7.78	32.62	13.19	44.27
2011-2012	最大值	12.47	13.01	12.80	38.65	21.75	58.92
	最小值	3.55	1.28	1.73	23.70	10.23	22.32
	平均值	7.83	4.89	5.66	30.92	15.68	37.54



OPT较FP增收的有15户,占75%,OPT比FP平均增收5.35%。2012年OPTs收益最大,其次是OPT,OPT平均收益较FP增收6元/亩;统计表明,OPT较FP增收的有12户,占60%,OPT比FP平均增收1.11%。养分专家系统推荐施肥较农户习惯施肥实现了增收。

2.1.3 基于NE推荐施肥的肥料利用效率

表7表明,2011年基于养分专家系统推荐施肥的冬小麦氮、磷和钾肥农学效率平均为8.14、9.20和7.78公斤/公斤,氮、磷和钾肥回收率平均分别为32.62%、13.19%和44.27%。2012年冬小麦氮、磷和钾肥农学效率平均为7.83、4.89和5.66公斤/公斤,氮、磷和钾肥回收率平均分别为30.92%、15.68%和37.54%。

2.2 夏玉米养分专家系统推荐施肥效应

2.2.1 不同处理对夏玉米产量的影响

将不同农户的各处理产量取其平均值(见图2),2011年各施肥处理较CK平均增产6.76%-25.11%,OPT产量最高,较FP增产2.02%;基于养分专家系统推荐施氮平均增产17.18%,施磷平均增产8.87%,施钾平均增产9.72%。2012年各施肥处理较CK平均增产2.00%-18.32%,OPTs平均产量最高,其次是OPT,OPT较FP增产4.53%。基于养分专家系统推荐施氮平均增产14.32%,施磷平均增产7.37%,施钾平均增产7.99%。养分专家系统推荐施肥对夏玉米有明显的增产作用。

表8表明,2011年OPT较FP最大增产20.16%,最大减产10.92%,增产率平均为2.61%。增产的占63%,其中增产>5%

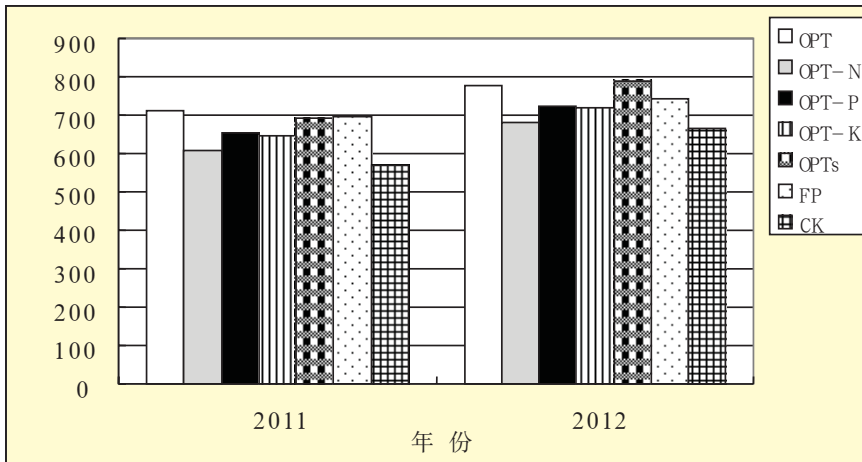


图2 不同处理对夏玉米产量的影响

表8 推荐施肥及氮磷钾肥增产效应 (%)

年份	统计值	OPT 比 FP	OPTs 比 FP	施氮增产率	施磷增产率	施钾增产率
2011	最大值	20.16	26.74	33.22	14.07	15.44
	最小值	-10.92	-9.85	10.87	3.12	3.14
	平均值	2.61	0.26	17.54	8.95	9.92
2012	最大值	23.80	25.79	26.01	15.57	19.17
	最小值	-1.01	-5.19	7.17	2.61	2.02
	平均值	5.75	7.16	15.34	8.04	8.83

表9 推荐施肥对夏玉米经济效益的影响

年份	统计值	OPT 收益 (元/亩)	OPTs 收益 (元/亩)	FP 收益 (元/亩)	OPT 比 FP 增收 (%)	OPTs 比 FP 增收 (%)
2011	最大值	1569	1515	1531	14.82	3.77
	最小值	1151	1118	1154	-11.89	-3.43
	平均值	1391	1323	1334	4.42	-0.86
2012	最大值	1812	1788	1761	10.39	1.66
	最小值	1226	1227	1249	-11.19	-2.86
	平均值	1504	1505	1509	-0.29	-0.31

表10 基于养分专家系统推荐施肥的肥料利用效率

年份	统计值	农学效率 (公斤/公斤)			肥料利用率 (%)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2011	最大值	14.04	27.46	19.74	41.36	39.26	61.76
	最小值	6.34	5.63	4.54	19.36	20.52	22.47
	平均值	9.61	16.02	13.13	32.64	26.38	40.90
2012	最大值	12.84	25.08	25.41	31.53	17.59	56.69
	最小值	4.56	4.10	2.80	20.50	8.11	24.18
	平均值	8.57	12.09	11.49	26.14	13.36	39.71

的占31%，增产 < 5% 的占32%；减产的占37%，其中减产 > 5% 的占11%，减产 < 5% 的占26%；基于养分专家系统推荐施氮平均增产17.54%，施磷平均增产8.95%，施钾平均增产9.92%。2012年OPT较FP最大增产23.80%，最大减产1.01%，增产率平均为5.75%；增产的占88.2%，其中增产 > 5% 的占41.2%；基于养分

专家系统推荐施氮平均增产15.34%；施磷平均增产8.04%；施钾平均增产8.83%。氮磷钾化肥平衡施用对夏玉米均有较好的增产效果。

2.2.2 推荐施肥对夏玉米经济效益的影响

从表9可以看出，2011年OPT收益最大，较FP平均增收57元/亩。统计表明，OPT较FP增收的有14户，占70%，平均增收4.42%，养分专家系统推荐施肥较农户习惯施肥实现了增收。2012年OPT、OPTs和FP的收益基本一致，OPT较FP增收的占35.3%，由于养分专家系统推荐施肥量与农户习惯施肥量基本一致，没有表现出明显的增收效果。

2.2.3 基于NE推荐施肥的夏玉米肥料利用效率

表10表明，2011年基于养分专家系统推荐施肥的氮、磷、钾肥农学效率平均值分别为9.61、16.02和13.13公斤/公斤；氮、磷和钾肥回收率平均值分别为32.64%、26.38%和40.90%。2012年基于养分专家系统推荐施肥的氮、磷、钾肥农学效率平均值分别为8.57、12.09和11.49公斤/公斤；氮、磷和钾肥回收率平均值分别为26.14%、13.36%和39.71%。

3 结论

本试验条件下，冬小麦养分专家系统推荐施肥量少而平衡，与农民习惯施肥的产量基本相当，平均增产3.65%，增收5.35%。冬小麦养分专家系统推荐施氮平均增产22.31%，施磷平均增产8.30%，施钾平均增产7.71%，氮磷钾化肥平衡施用对冬小麦均有明显的增产效应。基于养分专家系统推荐施肥的N、P₂O₅、K₂O平均农学效率分别为7.99、7.05和6.72公斤/公斤；N、P₂O₅、K₂O当季回收率分别为31.77%、14.44%和40.91%。

夏玉米冬小麦养分专家系统推荐施肥较农户习惯施肥平均增产4.53%，增收4.00%。养分专家系统推荐施氮平



均增产 15.75%，施磷平均增产 8.12%，施钾平均增产 8.86%，氮磷钾化肥平衡施用对夏玉米亦有较好的增产效果。基于养分专家系统推荐施肥的 N、P₂O₅、K₂O 平均农学效率分别为 9.09、14.06 和 12.31 公斤/公斤；N、P₂O₅、K₂O 当季回收率分别为 29.39%、19.87% 和 40.31%。

张福锁^[12]等报道了我国玉米氮、磷、钾肥利用率分

别为 26.1%、11.0%、31.9%，农学效率分别为 9.8、7.5 和 5.7 公斤/公斤。本研究表明，养分专家系统推荐施肥的氮、磷、钾肥利用率及农学效率均高于全国平均水平，养分专家系统推荐施肥能够有效提高肥料利用效率。养分专家系统推荐施肥简便、快速、科学，其推广应用对于提高肥料利用效率、节约资源和保护环境具有积极意义。

参考文献

- [1] 钟永玲, 曹慧. 中国小麦产业发展现状、调控政策及建议 [J]. 农学学报, 2011, 1(12): 49-54.
- [2] 王旭, 李贞宇, 马文奇, 等. 中国主要生态区小麦施肥增产效应分析 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2469-2476.
- [3] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳, 等. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37(2): 339-347.
- [4] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 河南统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.9.
- [5] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.9.
- [6] 李丹, 孙志梅, 王艳群, 等. 氮磷钾和微肥对高肥区夏玉米养分积累, 分配及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (6): 32-36.
- [7] 黄国斌, 李家贵. 测土配方施肥对玉米养分吸收、产量及效益的影响 [J]. 贵州农业科学, 2010, 38(1): 23-25.
- [8] 赖丽芳, 吕军峰, 郭天文, 等. 平衡施肥对春玉米产量和养分利用率的影响 [J]. 玉米科学, 2009, 17(2): 130-132.
- [9] 王贺, 自由路, 杨俐苹, 等. 基于 ASI 方法的推荐施肥在东北玉米上的应用 [J]. 中国土壤与肥料, 2010, (5): 31-37.
- [10] 金继运, 自由路, 杨俐苹, 等. 高效土壤养分测试技术与设备 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 74.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 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.