

陕西省农田化肥投入过量与不足的研究

王小英^{1,2}, 陈占飞¹, 胡凡², 同延安²

(1. 榆林市农业科学研究院, 陕西 榆林 719000; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用 2006—2011 年陕西省 69 个测土配方施肥项目县的施肥调查信息, 总结了主要作物小麦、玉米、马铃薯、油菜、水稻和苹果的化肥施用状况。结果表明, 陕西省农田氮肥投入过量较严重, 尤其是种植面积较大的小麦、玉米和苹果, 农户氮肥投入过量比例分别为 68.42%、63.25% 和 72.30%, 全省氮肥投入过量数量达 25.76 万 t, 仅过量投入的氮肥排放 CO₂ 量高达 331.02 万 t。而马铃薯、油菜和水稻作物氮肥投入过量和不足并存, 过量比例分别为 26.88%、15.22% 和 22.60%, 不足比例分别为 33.76%、46.23% 和 29.36%。磷肥投入过量和不足并存, 全省磷肥投入过量数量达 9.32 万 t, 小麦、玉米、马铃薯、油菜、水稻和苹果磷肥投入过量比例分别为 41.00%、30.79%、25.03%、26.24%、11.18% 和 50.02%, 不足比例分别为 38.09%、58.76%、14.87%、46.16%、46.46% 和 29.81%。钾肥投入则表现为严重不足, 全省钾肥投入不足的农户占 60.00% 以上。另外, 如果施肥不足的农户将化肥氮、磷、钾施用增加到合理水平, 主要农作物产量相应增加, 尤其是磷、钾肥增产效果更明显。因此, 为了粮食安全和环境保护的双重目的, 今后陕西省农田施肥的重点是平衡氮肥和磷肥用量, 增加钾肥用量。

关键词: 农田; 化肥; 施肥量; 评价; 陕西省

中图分类号: S143 **文献标志码:** A

Study on the excessive and insufficient of chemical fertilizer inputs on farmland in Shaanxi Province

WANG Xiao-ying^{1,2}, CHEN Zhan-fei¹, HU Fan², TONG Yan-an²

(1. Yulin Academy of Agricultural Sciences, Yulin, Shaanxi 719000, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to understand the current status of chemical fertilization on farmlands, including wheat, maize, potato, rape, rice and apple, the household survey data from 69 counties in the project “soil testing and formulated fertilization in 2006—2011” were analyzed. The results show that in Shaanxi Province nitrogen fertilizer inputs were excessive, especially for the tree major crops of wheat, maize and apple, with the proportion of the households fertilized being as high as 68.42%, 63.25% and 72.30% respectively. The excessive amount of N inputs was 257.6 thousand tons, with the annual emissions of CO₂ up to 3.3102 million tons at the province level. In addition, nitrogen fertilizer inputs phenomenon of excessive and insufficient existed at the same time for potato, rape and rice, and the excessive level were 26.88%, 15.22% and 22.60% respectively and the insufficient level 33.76%, 46.23% and 29.36% respectively for the three crops. The same as nitrogen inputs, phosphate fertilizer inputs phenomenon of excessive and insufficient also existed at the same time, and the excessive amount of P₂O₅ inputs was 93.2 thousand tons for the whole province every year. For wheat, maize, potato, rape, rice and apple, the proportion of the households fertilized with excessive level of P₂O₅ inputs were 41.00%, 30.79%, 25.03%, 26.24%, 11.18% and 50.02% respectively, and the proportion of the households fertilized with insufficient level of P₂O₅ inputs were 38.09%, 58.76%, 14.87%, 46.16%, 46.46% and 29.81% respectively. A potassium fertilizer input was far from sufficient, and there was more than 60.00% households using insufficient K₂O for the whole province. Moreover, the yields of all main crops could be increased when the

收稿日期: 2016-07-22 修回日期: 2016-12-19
基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201103003); 十二五国家科技支撑计划“西部水土流失和瘠薄干旱中低产田改良技术集成示范”支助项目(2012BAD05B03); 高等学校学科创新引智计划(B12007)
作者简介: 王小英(1985—), 女, 陕西榆林人, 博士, 农艺师, 主要从事植物营养与施肥研究。E-mail: xiaoying-shezhang@126.com。
通信作者: 同延安, E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn。

fertilization rate is at a rational level, especially for P_2O_5 and K_2O . In order for food safety and environmental protection, balance fertilization of nitrogen, phosphate, and potassium is indispensable.

Keywords: cropland; chemical fertilization; fertilizing amount; evaluation; Shaanxi Province

随着人口的增加和耕地的减少,我国粮食安全与环境保护的矛盾日益尖锐^[1]。1980 到 2011 年,我国粮食总产量增加了 78.19%,粮食作物播种面积却减少了 5.68%,而化肥消费量增加了 349.36%^[2]。据报道施用化肥可提高粮食单产 40%~50%以上,粮食总产中约 1/3 是施用化肥的贡献^[3-4]。同时,化肥又是农业生产投资中最大的物质投资,其支出约占全部农业生产投资的 50%^[5]。近年来我国很多地区化肥过量施用尤其是氮肥的过量施用已很严重^[6-10],出现了一系列环境问题^[11-13],包括地下水硝酸盐污染、水体富营养化、温室气体排放增加、酸雨、土壤酸化。在过去 20 年里,由于氮肥的过量施用导致全国土壤 pH 值平均下降 0.5 个单位^[14]。由此可见,如何用好化肥,充分发挥化肥的作用,提高作物产量和降低环境风险关系到我国农业可持续发展,是我国迫切需要解决的问题。

农户是农业生产中最基本的活动单元,也是目前农田养分优化管理的重要细胞,其科学化管理程度的高低直接影响着肥料资源的综合利用效率和全国农作物产量^[15]。农田施肥是保持土壤肥力和增加作物产量的重要环节之一^[16-17],因此调查与研究主要农作物施肥状况对农业生产与国家粮食安全有重要意义。近来关于农户施肥调查的报道已有很

多^[18-23],但主要集中在某一作物或某一轮作体系,而全省尺度上主要农作物的化肥施用整体评价鲜有报道。本文利用陕西省测土配方施肥项目县 2006—2011 年的主要农作物施肥调查数据,对全省化肥施用状况进行了分析和评价,寻求农户施肥中存在的问题,提出解决问题的对策,为养分资源综合管理的宏观调控提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕西省位于中国西北地区东部的黄河中游,地处东经 105°29′~111°15′、北纬 31°42′~39°35′之间,全省南北长约 880 km,东西宽约 160~490 km,面积为 20.56 万 km²。以秦岭为界南北河流分属长江水系和黄河水系,全省根据气候条件、种植制度等自北向南分为 4 个农业生态区,即陕北高原、渭北旱塬、关中灌区和陕南秦巴山区,本文分别简称陕北、渭北、关中和陕南。种植农作物主要包括小麦、玉米、马铃薯、油菜、水稻和苹果,其中陕北地区主要种植玉米、马铃薯和苹果,渭北和关中地区主要种植小麦、玉米和苹果,陕南地区主要种植小麦、玉米、马铃薯、油菜和水稻。各区域土壤类型、气候条件和土壤理化性状见表 1。

表 1 不同区域土壤类型、气候条件^[24]和土壤理化性状¹⁾
Table 1 Main soil types, climatic conditions and soil properties (average ± SD) in the different regions

项目 Item	陕北 North	渭北 Weibei	关中 Guanzhong	陕南 South
主要土壤类型 Main soil types	栗钙土、灰钙土、黄绵土 Castanozems, sierozems, loess soils	黑垆土、黄绵土 Black loessial soils, loess soils	褐土 Cinnamon soils	黄褐土、黄棕壤 Yellow-cinnamon soils, yellow-brown soils
气温 Annual mean temperature/℃	8~11	9~13	10~14	11~16
降雨量 Annual precipitation/mm	275~590	530~630	600~720	670~1270
pH	8.3±0.3	7.9±0.4	7.9±0.3	6.8±0.9
有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)	8.2±3.4	12.8±4.4	15.3±7.0	20.6±7.9
碱解氮 Alkali-hydrolysable N/(mg·kg ⁻¹)	33.7±13.5	63.3±22.7	67.6±27.0	115.0±49.3
有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	9.8±6.3	14.8±11.4	25.9±12.5	18.1±16.9
速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)	102.2±41.6	160.3±50.9	165.0±60.7	116.6±46.4

注:1)土壤理化性状数据采用陕西省测土配方施肥项目县土壤测定值。
Note: 1) Soil properties data collected by testing centers in the different regions of Shaanxi Province.

1.2 数据处理与分析

数据来源于 2006—2011 年陕西省 69 个测土配方施肥项目县的施肥调查信息。各项目县每年选取具有代表性的自然村,由农技推广人员随机选取农

户进行调查,调查内容主要包括:作物品种、作物产量、肥料品种、施肥量、施肥时期等。不同区域不同作物调查样本量见表 2。
所有数据均用 EXCEL 和 SAS 统计软件处理分析。

表 2 不同区域不同作物调查样本分布

Table 2 Distribution of household survey at different regions for main crops

地区 Region	小麦 Wheat	玉米 Maize	马铃薯 Potato	油菜 Rape	水稻 Rice	苹果 Apple
陕北 North	—	4560	1715	—	—	2476
渭北 Weibei	7348	5198	—	—	—	3752
关中 Guanzhong	11416	9773	—	—	—	913
陕南 South	2992	3961	175	2576	2854	—
全省 Whole province	21756	23492	1890	2576	2854	7141

注:“—”表示相应作物不属于该区域主要种植作物,下同。

Note: “—”means the crop is not the main crops in the region, the same as below.

2 结果与分析

2.1 不同作物化肥投入状况

在已有试验研究、调查结果以及专家建议基础上制定陕西省不同区域主要种植作物的合理施肥量^[9,25-29](表 3)。由表 3 可知,与合理施氮量比较,全省小麦、玉米、马铃薯和苹果平均施用量较高,分别为 183、230、155 kg·hm⁻²和 558 kg·hm⁻²,而油菜和水稻平均施用量适中,分别为 145 kg·hm⁻²和 159 kg·hm⁻²;与合理施磷量比较,全省小麦、马铃薯和苹果平均施用量较高,分别为 110、78 kg·hm⁻²和 358 kg·hm⁻²,而玉米、油菜和水稻平均施用量适中,分别为 63、62 kg·hm⁻²和 62 kg·hm⁻²;与合理施钾量比较,全省小麦、玉米、马铃薯、油菜和水稻平均施用量极低,分别为 21、20、13、34 kg·hm⁻²和 45 kg·hm⁻²,而苹果平均施用量适中,为 208 kg·hm⁻²。另外由图 1 可知全省主要作物化肥氮磷钾农户合理投入的比例较低,均达不到 50%。氮肥投入过量现象非常严重,尤其是小麦、玉米、苹果等,农户氮肥投入过量比例分别为 68.42%、63.25%和 72.30%,而马铃薯、油菜和水稻作物氮肥投入过量和不足并存,过量比例分别为 26.88%、15.22%和 22.60%,不足比例分别为 33.76%、46.23%和 29.36%。磷肥投入过量和不足并存,小麦、玉米、马铃薯、油菜、水稻和苹果磷肥投入过量比例分别为 41.00%、30.79%、25.03%、26.24%、11.18%和 50.02%,不足比例分别为 38.09%、58.76%、14.87%、46.16%、46.46%和 29.81%。钾肥投入则严重表现为不足,以上六种作物钾肥投入不足比例均较高,分别为 77.52%、82.96%、96.56%、63.78%、92.19%和 56.39%。说明全省农户不合理施肥非常严重,合理引导农户根据不同作物施用化肥是今后全省施肥工作的重要内容之一。

表 3 不同作物化肥投入状况与合理施肥量比较

Table 3 The chemical fertilizer inputs(average ± SD) and reasonable fertilization in the different regions for main crops

区域 Region	氮肥 N/(kg·hm ⁻²)					
	小麦 Wheat	玉米 Maize	马铃薯 Potato	油菜 Rape	水稻 Rice	苹果 Apple
陕北高原 North	—	237 ± 109 180 ~ 225	158 ± 116 120 ~ 150	—	—	490 ± 219 240 ~ 360
渭北旱塬 Weibei	185 ± 83 70 ~ 105	223 ± 91 115 ~ 170	—	—	—	587 ± 301 240 ~ 360
关中灌区 Guanzhong	195 ± 67 120 ~ 180	244 ± 79 150 ~ 200	—	—	—	619 ± 259 240 ~ 360
陕南秦巴山区 South	137 ± 56 90 ~ 120	197 ± 73 105 ~ 150	120 ± 72 90 ~ 120	145 ± 40 135 ~ 180	159 ± 28 150 ~ 180	—
全省 Whole province	183 ± 74	230 ± 89	155 ± 114	145 ± 40	159 ± 28	558 ± 274

区域 Region	磷肥 P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)					
	小麦 Wheat	玉米 Maize	马铃薯 Potato	油菜 Rape	水稻 Rice	苹果 Apple
陕北高原 North	—	96 ± 80 90 ~ 120	78 ± 86 45 ~ 75	—	—	318 ± 198 220 ~ 340
渭北旱塬 Weibei	112 ± 55 60 ~ 90	88 ± 51 65 ~ 90	—	—	—	362 ± 176 220 ~ 340
关中灌区 Guanzhong	115 ± 69 100 ~ 140	48 ± 53 60 ~ 90	—	—	—	447 ± 304 220 ~ 340
陕南秦巴山区 South	84 ± 46 70 ~ 100	31 ± 40 65 ~ 90	79 ± 67 30 ~ 60	62 ± 28 60 ~ 90	62 ± 17 60 ~ 90	—
全省 Whole province	110 ± 63	63 ± 62	78 ± 85	62 ± 28	62 ± 17	358 ± 208

区域 Region	钾肥 K ₂ O/(kg·hm ⁻²)					
	小麦 Wheat	玉米 Maize	马铃薯 Potato	油菜 Rape	水稻 Rice	苹果 Apple
陕北高原 North	—	12 ± 25 60 ~ 90	12 ± 40 150 ~ 180	—	—	73 ± 86 160 ~ 240
渭北旱塬 Weibei	23 ± 34 45 ~ 75	35 ± 39 45 ~ 75	—	—	—	255 ± 207 160 ~ 240
关中灌区 Guanzhong	22 ± 33 40 ~ 60	19 ± 31 50 ~ 75	—	—	—	382 ± 269 160 ~ 240
陕南秦巴山区 South	11 ± 22 45 ~ 75	10 ± 24 45 ~ 75	31 ± 65 120 ~ 150	34 ± 36 50 ~ 75	45 ± 30 75 ~ 105	—
全省 Whole province	21 ± 33	20 ± 32	13 ± 43	34 ± 36	45 ± 30	208 ± 214

2.2 不同作物合理施肥的增产潜力

陕西省主要作物施肥合理的产量较施肥不足的产量有所增加(表 4)。全省小麦、玉米、马铃薯、油菜、水稻和苹果合理增施氮肥单位面积增产率分别为 0.35%~12.06%、0.87%~17.70%、9.99%~24.20%、17.32%、2.88%和 1.06%;合理增施磷肥单位面积增产率分别为 1.43%~2.24%、0.36%~22.04%、11.06%~23.75%、10.67%、4.93%和 10.88%;合理增施钾肥单位面积增产率分别为 0.92%~16.26%、2.51%~23.93%、53.75%~115.08%、11.42%、5.81%和 3.53%。由单位面积增产乘以施肥不足面积即可计算不同区域及全省的总增产量。由表 4 可知,如果氮肥投入不足的农户将其用量增加到合理水平,全省小麦、玉米、马铃薯、油菜、水稻和苹果将分别增产 0.51、10.17、26.95、3.37、0.82 万 t 和 1.92 万 t;如果磷肥投入不足的农户将其用量增加到合理水平,全省这六种作物将分别增产 4.53、36.67、10.50、2.20、2.21 万 t 和 52.53 万 t;如果钾肥投入不足的农户将其用量增加到合理水平,全省这六种作物总产量增加幅度更大,分别为 19.86、55.62、459.35、3.21、5.24 万 t 和 34.08 万 t。因此,引导施肥不足的农户增加施肥量到合理水平对全省粮食增产有重要意义。

2.3 不同作物过量施用的氮、磷肥总量

与陕西省主要作物钾肥投入严重不足不同,化肥氮、磷投入过量现象较严重,尤其是氮肥(图 1)。

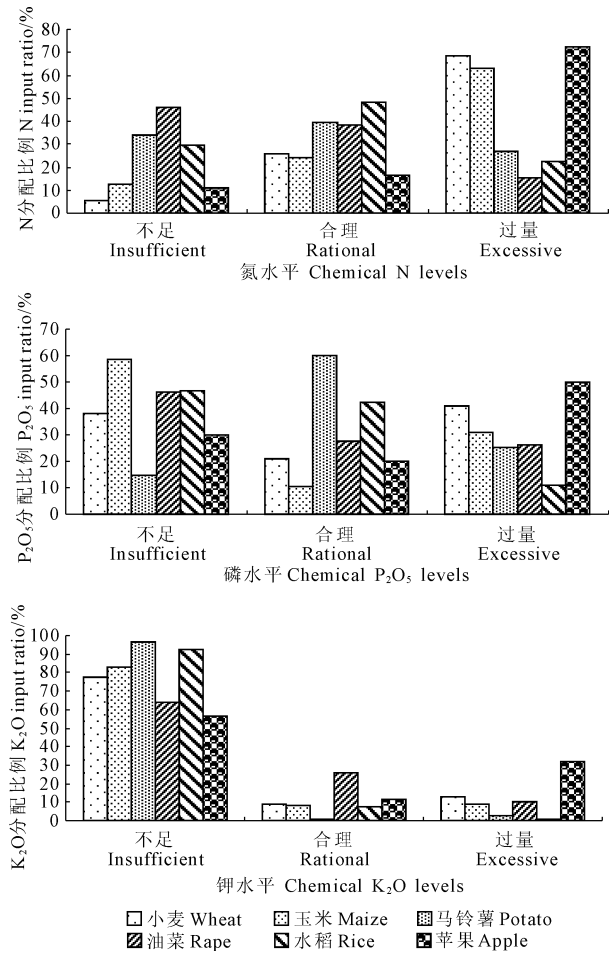


图 1 陕西省不同作物氮、磷、钾肥投入比例分布
Fig.1 Distribution of N, P₂O₅ and K₂O inputs at different levels for main crops in Shaanxi Province

表 4 陕西省不同作物化肥增产潜力分析
Table 4 The yields increase of chemical fertilizer for main crops in Shaanxi Province

作物 Crop	区域 Region	N				P ₂ O ₅				K ₂ O			
		施肥不足 产量 Yield of insufficient fertilization	施肥合理 产量 Yield of rational fertilization	单位面积 增产 Increased yield of unit area	全省增产 Increased yield of whole province	施肥不足 产量 Yield of insufficient fertilization	施肥合理 产量 Yield of rational fertilization	单位面积 增产 Increased yield of unit area	全省增产 Increased yield of whole province	施肥不足 产量 Yield of insufficient fertilization	施肥合理 产量 Yield of rational fertilization	单位面积 增产 Increased yield of unit area	全省增产 Increased yield of whole province
		/(kg· hm ⁻²)	/(kg· hm ⁻²)	/(kg· hm ⁻²)	/(10 ⁴ t)	/(kg· hm ⁻²)	/(kg· hm ⁻²)	/(kg· hm ⁻²)	/(10 ⁴ t)	/(kg· hm ⁻²)	/(kg· hm ⁻²)	/(kg· hm ⁻²)	/(10 ⁴ t)
小麦 Wheat	渭北 Weibei	3734	4184	450		4273	4369	96		4230	4269	39	
	关中 Guanzhong	6194	6226	32	0.51	6348	6456	108	4.53	6371	6560	189	19.86
	陕南 South	3075	3085	11		3700	3752	53		3660	4255	595	
玉米 Maize	陕北 North	6922	8148	1225		8075	8461	386		7332	7847	515	
	渭北 Weibei	5610	5659	49	10.17	5729	6975	1246	36.67	6320	7346	1026	55.62
	关中 Guanzhong	6194	6937	743		6982	7007	25		6799	6969	171	
马铃薯 Potato	陕南 South	3358	3865	507		4686	5718	1033		4714	5842	1128	
	陕北 North	20321	22351	2030	26.95	19775	21963	2188	10.50	22248	47850	25602	459.35
	陕南 South	14229	17672	3443		8394	10388	1994		14886	22888	8001	
油菜 Rape	陕南 South	2156	2530	373	3.37	2287	2531	244	2.20	2255	2513	258	3.21
水稻 Rice	陕南 South	7745	7968	223	0.82	7674	8052	378	2.21	7791	8243	452	5.24
苹果 Apple	全省 Whole province	29109	29418	309	1.92	28662	31781	3119	52.53	30319	31388	1070	34.08

由单位面积过量投入氮、磷量减去合理施肥量的上限,乘以各作物种植面积^[30],然后再乘以过量投入比例,可得到过量投入总量(表 5)。由表 5 可知,全省氮肥投入过量的作物主要是小麦、玉米和苹果,分别为 5.37、6.59 万 t 和 12.83 万 t,小麦、玉米、马铃薯、油菜、水稻和苹果总氮肥投入过量高达 25.76 万 t,面积为 210.2 万 hm²。与氮肥相似,全省磷肥投入过量的作物主要也是小麦、玉米和苹果,分别为 2.17、1.20 万 t 和 5.13 万 t。以上六种主要作物总磷肥投入过量 9.32 万 t,总面积为 123.8 万 hm²。

表 5 陕西省不同作物化肥氮、磷投入过量的面积和总量
Table 5 The excessive and insufficient of chemical fertilizer
N,P inputs for main crops in Shaanxi Province

作物 Crop	N		P ₂ O ₅	
	过量面积 Excessive area /(10 ⁴ hm ²)	过量总量 Excessive amount /(10 ⁴ t)	过量面积 Excessive area /(10 ⁴ hm ²)	过量总量 Excessive amount /(10 ⁴ t)
小麦 Wheat	77.5	5.37	44.3	2.17
玉米 Maize	77.0	6.59	35.4	1.20
马铃薯 Potato	9.1	0.87	9.3	0.78
油菜 Rape	3.0	0.07	5.1	0.02
水稻 Rice	2.8	0.03	1.4	0.003
苹果 Apple	40.8	12.83	28.3	5.13
总量 Total	210.2	25.76	123.8	9.32

3 结论与讨论

陕西省农田氮肥投入过量较严重,尤其是种植面积较大的小麦、玉米和苹果,农户氮肥投入过量比例分别为 68.42%、63.25% 和 72.30%,全省氮肥投入过量数量达 25.76 万 t。氮肥投入过量不仅大量浪费资源,同时对环境造成潜在威胁^[31-32]。首先是造成硝酸盐大量积累,引起地下水的污染。杨学云等^[33]利用 18 a 长期定位试验研究发现冬小麦-夏玉米轮作制度下土壤剖面中硝态氮的总量与氮肥施用量直接相关,而作物对化肥氮的利用率与施肥量呈相反趋势。郭胜利等^[34]研究发现粮食作物年平均施化学氮肥 120 kg·hm⁻² 17 a 时,0~3 m 土壤剖面累积硝态氮达 1 065 kg·hm⁻²。很多对粮田的研究也证明了过量施用氮肥时,深层土壤硝态氮累积量大幅增加,淋失风险大大增强^[35-37]。樊军等^[38]研究表明,与粮田相比,果园硝态氮累积严重,累积层在 80~160 cm,最高含量达 201.9 mg·kg⁻¹。吕殿青等^[39]研究指出,在 0~2 m 和 0~4 m 深层内硝态氮累积量在 8 a 以上苹果园分别达 1 602 kg·hm⁻² 和 3 414 kg·hm⁻²。其次是增加了温室气体排放。联合

国政府间气候变化专门委员会第四次评估报告指出,农业中 70% 的温室气体来自于氮肥^[40]。张福锁等^[41]指出我国每吨氮肥从生产、运输到农田施用共排放 12.85 t 等当量 CO₂,由此计算陕西省每年主要农作物仅过量投入的氮肥排放 CO₂ 量高达 331.02 万 t。Feath and Greenhalgh^[42]指出农业生产中任何氮素施用的减少都会对水质量和气候保护有很大益处。同时,适当降低施肥量不一定意味着减产^[43-44]。例如我国水稻/小麦轮作体系和冬小麦/夏玉米轮作体系的大量试验表明,利用养分资源科学管理方法,在氮肥减少 30%~60% 的情况下作物产量没有减少^[13]。娄庭等^[45]指出,在农户习惯施肥量的基础上减氮 20% 能提高作物产量和品质。

陕西省农田磷肥投入过量与氮肥一致,主要是种植面积较大的小麦、玉米和苹果,农户磷肥投入过量比例分别为 41.00%、30.79% 和 50.02%,全省磷肥投入过量数量达 9.32 万 t。磷肥投入过量不仅大量浪费资源,同时对环境造成潜在威胁^[31-32]。据统计,我国磷肥生产消耗了 80% 以上的磷矿资源^[46],而磷矿资源有限,高品位磷矿资源可利用年度不到 10 年^[47]。另外,我国主要粮食作物的磷肥利用率变幅为 7.3%~20.1%,平均 11.6%^[1],这导致施入土壤的磷素在土壤中大量累积,并通过地表径流造成面源污染^[48]。全国目前水体污染物来源于工业、生活和农业面源的大约各占 1/3,朱兆良等^[49]研究表明,我国农业的面源污染问题日趋严重,特别是富营养化成为一个严重的环境问题,其表现在湖泊富营养化迅速上升、城市湖泊富营养化程度严重、大型淡水湖泊富营养化程度严重。其中太湖、滇池和巢湖面源污染物对全氮的贡献率分别为 59%、33% 和 63%,对全磷的贡献率分别为 30%、41% 和 73%。李维平等^[50]对黄河湿地监测结果表明池塘全磷和全氮分别超出 GB3838-2002 标准的 300% 和 195%,大水面的全磷和全氮分别超出 GB3838-2002 标准的 105.0% 和 125.0%。因此,农业面源污染已经成为我国水体污染中氮、磷的主要来源。

解决粮食安全压力的基础是提高粮食总产,在中国由于耕地面积的限制,粮食总产的增加只能依靠单产的提高^[51]。张福锁等^[52]对全国 20 个省两万多农户施肥状况调查发现,有 1/3 的农户施肥不足。本研究表明如果引导施肥不足的农户将化肥氮、磷、钾施用增加到合理水平,主要农作物产量相应增加,尤其是磷、钾肥效果更明显(表 4)。张卫峰等^[53]指出,全国小麦施肥不足的农户需要增加化肥的数量

平均每公顷地在 75 kg 以内,能增加产量同时能增加经济效益。王西娜等^[54]研究表明,与不施氮相比,适量施氮会促进玉米对土壤水氮的利用,提高生物量和产量。郭志平^[55]研究表明增施钾肥提高了马铃薯产量 18.2% ~ 42.1%、块茎淀粉含量 3.2% ~ 7.9% 和商品率 9.2% ~ 20.9%。李银水等^[56-57]研究指出合理增施磷肥油菜增产 24.2% ~ 43.2%,增施钾肥增产 16.9% ~ 21.6%。王伟妮等^[58-59]研究指出合理增施磷肥水稻增产 9.4% ~ 13.3%,增施钾肥增产 9.6% ~ 12.6%。赵佐平等^[60]研究指出合理增施磷、钾肥能提高苹果产量,且随时间推移效果越来越明显。

参 考 文 献:

[1] 张福锁,王激情,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.

[2] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1981-2012.

[3] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(3):193-205.

[4] 金继运,李家康,李书田. 化肥与粮食安全[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(5):601-609.

[5] Yan X, Jin J Y, He P, et al. Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency[J]. Agricultural Sciences in China, 2008,7(4):469-479.

[6] 马文奇. 山东省作物施肥现状、问题与对策[D]. 北京:中国农业大学,1999.

[7] 张福锁,马文奇. 肥料投入水平与养分资源高效利用的关系[J]. 土壤与环境,2000,9(2):154-157.

[8] Richter J, Roelcke M. The N-cycle as determined by intensive agriculture examples from central Europe and China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000,57(1):33-46.

[9] 王圣瑞. 陕西省和北京市主要作物施肥状况与评价[D]. 北京:中国农业大学,2002.

[10] 同延安, Ove Emteryd, 张树兰, 等. 陕西省氮肥过量施用现状评价[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1239-1244.

[11] Cui Z L, Chen X P, Miao Y X, et al. On-farm evaluation of the improved soil N_(min)-based nitrogen management for summer wheat in North China Plain[J]. Agronomy Journal, 2008, 100: 517-525.

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

[13] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009, 106(9):3041-3046.

[14] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.

[15] 张福锁,马文奇,陈新平,等. 养分资源综合管理理论与技术概论[M]. 北京:中国农业大学出版社,2006.

[16] Smil V. Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production [M]. Cambridge: MIT

Press, 2001.

[17] 龚 伟,颜晓元,王景燕. 长期施肥对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 336-342.

[18] 范茂攀,郑 毅,汤 利,等. 云南滇西玉米施肥现状分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 109-113.

[19] 赵护兵,王朝辉,高亚军,等. 西北典型区域旱地冬小麦农户施肥调查分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 840-848.

[20] 崔振岭. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系优化氮肥管理——从田块到区域尺度[D]. 北京:中国农业大学,2005.

[21] 沈 娟,高 强. 吉林省水稻施肥现状的调查分析[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(2): 40-43, 59.

[22] 徐华丽,鲁剑巍,李小坤,等. 湖北省油菜施肥现状调查[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(3): 418-423.

[23] 蒋孝松,刘彩玲,隋 标,等. 太湖流域稻麦轮作体系施肥现状分析与对策[J]. 中国农学通报, 2012, 28(15): 15-18.

[24] 梅旭荣. 中国农业环境[M]. 北京:科学出版社,2011.

[25] 张福锁,陈新平,崔振岭,等. 主要作物高产高效技术规程[M]. 北京:中国农业大学出版社,2010.

[26] 张福锁,陈新平,陈 清,等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京:中国农业大学出版社,2009.

[27] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.

[28] 同延安, Emteryd Ove, 张树兰, 等. 陕西省氮肥过量施用现状评价[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1239-1244.

[29] 赵佐平,同延安,刘 芬,等. 渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 1003-1009.

[30] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2012.

[31] 高祥照,马文奇,杜 森,等. 我国施肥中存在问题的分析[J]. 土壤通报, 2001, 32(6): 258-261.

[32] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. PNAS, 2009, 106(9): 3041-3046.

[33] 杨学云,张树兰,袁新民,等. 长期施肥对塬土硝态氮分布、累积和移动的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 134-138, 188.

[34] Guo S L, Wu J S, Dang T H, et al. Impacts of fertilizer practices on environmental risk of nitrate in semiarid farmlands in the Loess Plateau of China[J]. Plant Soil, 2010, 330: 1-13.

[35] 商放泽,杨培岭,任树梅,等. 施肥模式对日光温室土壤铵态氮和硝态氮的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(7): 73-78, 49.

[36] 张云贵,刘宏斌,李志宏,等. 长期施肥条件下华北平原农田硝态氮淋失风险的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 711-716.

[37] 张 宏,周建斌,王春阳,等. 不同栽培模式及施氮对玉米-小麦轮作体系土壤肥力及硝态氮累积的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 693-697.

[38] 樊 军,邵明安,郝明德,等. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-12.

[39] 吕殿青,同延安,孙本华. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8-15.

[40] Metz B, Davidson O, Bosch P, et al. Climate change 2007 mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. New York: Cambridge University Press, 2007.

[41] 张福锁. 氮肥提供转换了国人 56% 的蛋白质, 却又产生了全国 8% 的温室气体——低碳农业成败在“氮”[EB/OL]. http://www. stdaily. com/kjrh/content/2012 - 05/12/content _ 466842. htm.

[42] Feath P, Greenhalgh S. Policy synergies between nutrient over-enrichment and climate change[J]. *Estuaries*, 2002, 35(4): 869-877.

[43] 马文奇, Sisák István. 施肥量剧减会造成作物大幅度减产吗?[J]. *生态环境*, 2008, 17(3): 1296-1301.

[44] 廖义善, 卓慕宁, 李定强, 等. 适当化肥配施有机肥减少稻田氮磷损失及提高产量[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(S1): 210-217.

[45] 娄 庭, 龙怀玉, 杨丽娟, 等. 在过量施氮农田中减氮和有机无机配施对土壤质量及作物产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2010(2): 11-15, 17.

[46] 张文学. 我国磷资源开发利用及趋势[J]. *武汉工程大学学报*, 2011, 33(2): 1-5.

[47] 张卫峰, 马文奇, 张福锁, 等. 中国、美国、摩洛哥磷矿资源优势及开发战略比较分析[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(3): 378-386.

[48] van Bochove E, Thériault G, Dechmi F, et al. Indicator of risk of water contamination by phosphorus: Temporal trends for the Province of Quebec from 1981 to 2001[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2007, 87(2): 121-128.

[49] 朱兆良, 孙 波, 杨林章, 等. 我国农业面源污染的控制政策和措施[J]. *科技导报*, 2005, 23(4): 47-51.

[50] 李维平, 管 薇, 侯淑敏, 等. 陕西黄河湿地渔业生态环境监测与保护[J]. *湿地科学与管理*, 2011, 7(3): 19-22.

[51] 王激情, 马文奇, 江荣凤, 等. 养分资源综合管理与中国粮食安全[J]. *资源科学*, 2008, 30(3): 415-422.

[52] 张福锁. 协调作物高产与环境保护的养分资源综合管理技术研究与应用[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.

[53] 张卫峰, 马文奇, 王雁峰, 等. 中国农户小麦施肥水平和效应的评价[J]. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1049-1055.

[54] 王西娜, 王朝辉, 李生秀. 施氮量对夏玉米产量及土壤水氮动态的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(1): 197-204.

[55] 郭志平. 增施钾肥对高淀粉马铃薯产量贡献的研究[J]. *江西农业大学学报*, 2008, 30(2): 211-214.

[56] 李银水, 鲁剑巍, 廖 星, 等. 磷肥用量对油菜产量及磷素利用效率的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2011, 33(1): 52-56.

[57] 李银水, 鲁剑巍, 廖 星, 等. 钾肥用量对油菜产量及钾素利用效率的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2011, 33(2): 152-156.

[58] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 湖北省早、中、晚稻施磷增产效应及磷肥利用率研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(4): 795-802.

[59] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 湖北省早、中、晚稻施磷增产效应及磷肥利用率研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(5): 1058-1065.

[60] 赵佐平, 同延安, 刘 芬, 等. 长期不同施肥处理对苹果产量、品质及土壤肥力的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(11): 3091-3098.

(上接第 158 页)

参 考 文 献:

[1] Poling S M, Hsu W J, Koehn F J. Chemical regulation of carotenoid biosynthesis, Part 10: Chemical induction of β -carotene biosynthesis [J]. *Phytochemistry*, 1977, 16(5): 551-555.

[2] Poling S M, Hsu W J, Yokoyama H. Synthetic bioregulators of poly-cis carotenoid biosynthesis[J]. *Phytochemistry*, 1982, 21(3): 601-604.

[3] 赵黎明, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 植物生长调节剂对大豆叶片光合特性及糖分积累的影响[J]. *大豆科学*, 2008, 27(3): 442-446, 450.

[4] Zhao D L, Oosterhuis D M. Pix plus and mepiquat chloride effects on physiology, growth and yield of field-grown cotton[J]. *Plant Growth Regul*, 2000, 19: 415-422.

[5] 陈晓光, 李洪民, 张爱君, 等. 不同氮水平下多效唑对食用型甘薯光合和淀粉积累的影响[J]. *作物学报*, 2012, 38(9): 1728-1733.

[6] 棚维言, 张 涛, 黄永禄, 等. 喷施多效唑对甜高粱生长及生理特性的影响[J]. *作物杂志*, 2011, (5): 73-76.

[7] 张春娟. 植物生长调节剂对马铃薯生长发育及产品品质的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2009.

[8] 项洪涛. 三种植物生长调节剂对马铃薯碳代谢生理及产量品质的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2013.

[9] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.

[10] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 128-129.

[11] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.

[12] 于亚军, 李 军, 贾志宽, 等. 宁南半干旱区不同施肥量下马铃薯光合特性研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(5): 68-71.

[13] Geigen B P, Kolbe A, Tiessen A. Redox regulation of carbon storage and partitioning in response to light and sugars[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56: 1469-1479.

[14] Hironaka K, Ishibashi K, Hakamada K. Effect of static on sugar contents and activities of invertase, UDP-glucose pyrophosphorylase and sucrose 6-phosphate synthase in potatoes during storage[J]. *Potato Research*, 2001, 44: 33-39.

[15] Jeroen S W, Heleen F, Herman J E, et al. A limited set of starch related genes explain several interrelated traits in potato[J]. *Euphytica*, 2012, 186: 501-516.

[16] 齐红岩, 李天来, 刘海涛, 等. 番茄不同部位中糖含量和相关酶活性的研究[J]. *园艺学报*, 2005, 2: 239-243.

[17] Li L, Eckhard T, Hans - Reinhardt H, et al. Validation of candidate gene markers for marker-assisted selection of potato cultivars with improved tuber quality[J]. *Theor Appl Genet*, 2013, 126: 1039-1052.

[18] 王惠群, 萧浪涛, 李合松, 等. 矮壮素对马铃薯中薯 3 号光合特征和磷素营养的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1143-1147.

[19] 宋春艳, 冯乃杰, 郑殿峰, 等. 植物生长调节剂对大豆叶片碳代谢相关生理指标的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(3): 91-95.

[20] Lemoine R. Sucrose transporters in plants: update on function and structure[J]. *Bba - Biomembranes*, 2000, 1465: 246-262.