

网络出版时间:2014-07-09 11:51

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.08.033

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.08.033.html>

陕西关中平原小麦/玉米轮作体系 施肥现状调查与评价

常艳丽,刘俊梅,李玉会,孙本华,张树兰,杨学云

(西北农林科技大学 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] **【目的】**调查和分析陕西关中平原农户施肥现状,为指导农民合理施肥提供参考。**【方法】**于 2011—2012-03,在陕西省冬小麦/夏玉米轮作区,选择有代表性的 10 个县(区)(岐山、陈仓、扶风、泾阳、武功、兴平、杨凌、蒲城、富平、临渭),在每个县(区)选择代表性乡镇 4~18 个,每乡镇选择代表性村 3~10 个,每村选择 4~5 家农户,采用实地问卷调查形式,对冬小麦、夏玉米产量及田间管理和施肥情况进行调查,并对调查数据进行分析 and 评价。**【结果】**关中平原小麦纯 N、 P_2O_5 和 K_2O 平均用量分别为 (210 ± 106) 、 (183 ± 121) 和 (25 ± 49) kg/hm²,小麦平均产量为 (6.5 ± 1.0) t/hm²;夏玉米纯 N、 P_2O_5 和 K_2O 平均用量分别为 (288 ± 113) 、 (45 ± 88) 和 (12 ± 30) kg/hm²,玉米平均产量为 (6.2 ± 1.2) t/hm²。冬小麦施氮量适中的农户占 33.6%,施氮量很低的农户占 3.5%,偏低的占 7.6%,偏高的占 16.8%,很高的占 38.5%。夏玉米施氮量适中的农户占 11.2%,施氮量很低的农户占 4.4%,偏低的占 6.2%,偏高的占 13.5%,很高的占 64.7%。冬小麦 N、 P_2O_5 和 K_2O 主要以基肥方式施入,其中基施的 N 肥占总氮投入量的 90%以上;夏玉米氮肥主要以拔节期追肥方式施入,基施氮肥约占总氮量的 10%。冬小麦 N、 P_2O_5 和 K_2O 平均偏生产力分别为 31.0、35.5、260.0 kg/kg;夏玉米分别为 21.5、137.8、516.7 kg/kg。**【结论】**在关中平原小麦/玉米轮作体系中,氮肥施用过量严重,且前期投入偏多、后期投入偏少;磷肥偏高是目前该体系养分资源投入中的另一个问题,未来需要进一步加强对农民的宣传培训,使其科学合理施肥。

[关键词] 陕西关中平原;冬小麦/夏玉米;产量;养分投入;偏生产力

[中图分类号] S14-31

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)08-0051-11

Investigation and evaluation of fertilization under winter wheat and summer maize rotation system in Guanzhong Plain, Shaanxi Province

CHANG Yan-li, LIU Jun-mei, LI Yu-hui, SUN Ben-hua,
ZHANG Shu-lan, YANG Xue-yun

(Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture,
Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Investigation and analysis of fertilization were conducted to provide information for improving regional fertilizing practice. **【Method】** We carried out a questionnaire survey through Oct. 2011 to Mar. 2012 in 10 representative counties (Qishan, Chencang, Fufeng, Jingyang, Wugong, Xingping, Yangling, Pucheng, Fuping, and Linwei) in Guanzhong Plain, Shaanxi Province. In each county, 4—18 towns were chosen, with 3—10 villages each town and 4—5 households each village. Survey on the fertilization regimes of the winter wheat and summer maize rotation system was conducted and the results were

[收稿日期] 2013-05-27

[基金项目] “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD11B05)

[作者简介] 常艳丽(1988—),女,陕西榆林人,硕士,主要从事土壤肥力研究。E-mail: iycer0925@sina.com

[通信作者] 杨学云(1967—),男,宁夏青铜峡人,研究员,主要从事土壤肥力研究。E-mail: xueyunyang@nwsuaf.edu.cn

summarized and evaluated. 【Result】 The average application rates of N, P_2O_5 and K_2O for winter wheat were (210 ± 106) , (183 ± 121) and (25 ± 49) kg/hm², respectively, and the mean grain yield of winter wheat was (6.5 ± 1.0) t/hm². The mean yield of summer maize was (6.2 ± 1.2) t/hm², and mean application rates of N, P_2O_5 and K_2O were (288 ± 113) , (45 ± 88) and (12 ± 30) kg/hm², respectively. N application rates of 33.6% households were at an optimal level, 3.5% were at a very low level, 7.6% were at a low level, 16.8% were at a high level and 38.5% were at a very high level. For summer maize, N fertilizer application rates of more than 70% households were higher than the recommended rate, 11% were at a lower level, and 11.2% were at the optimal range. Nitrogen, phosphorus and potassium nutrients were mainly applied as basal dressing for winter wheat, and the basal N accounted for 90% of the total. For summer maize, N, P_2O_5 and K_2O nutrients were mainly applied as top dressing at jointing stage, and the N used as top dressing accounted for 90% of the total. The partial factor productivity (PFP) values of N, P_2O_5 and K_2O for winter wheat were 31.0, 35.5 and 260.0 kg/kg, respectively, and those for summer maize were 21.5, 137.8 and 516.7 kg/kg, respectively. 【Conclusion】 In the winter wheat and summer maize rotation system in Guanzhong Plain, over application of nitrogen fertilizer was severe with too much N as starter. Over application of phosphorus fertilizer was another key problem. Therefore, efforts should be made to educate the farmers for scientific and rational use of fertilizers.

Key words: Guanzhong Plain, Shaanxi Province; winter wheat/summer maize; crop yield; fertilization; partial factor productivity

据统计,陕西省 1980 年化肥施用量约 30 万 t,到 2010 年增加到 197 万 t,增加了 556%,粮食产量由 757 万 t 增加至 1 165 万 t,增加了 54%^[1]。说明在化肥投入成倍增加的同时,粮食产量却没有成倍增加。有研究表明,化肥对粮食产量的贡献已经由 20 世纪 80 年代的 30%~40% 下降到 10% 左右^[2]。

张福锁等^[3]于 2000—2005 年在不同区域对不同作物的研究发现,目前我国主要粮食作物的氮肥利用效率平均为 27.5%,磷肥利用效率平均为 11.6%,钾肥利用效率平均为 31.3%。较低的肥料利用率和生产力促使化肥需求量增长,带来了极大的资源压力,且过量施用化肥对环境产生诸多负面效应,如富营养化^[4]、硝态氮淋溶导致的饮用水硝酸盐含量超标等^[5]。另外,美国农业部资料表明,美国 60% 的河流、湖泊污染归因于过度施肥的径流损失^[6]。我国相关研究表明,过量施肥会造成氮的反硝化损失^[7]、土壤剖面硝态氮淋溶^[8]与水体富营养化^[9]等环境问题。

冬小麦/夏玉米轮作是陕西省关中平原的主要种植制度,该地区小麦产量占全省小麦总产量的 64%^[10],玉米产量占全省玉米总产量的 70%^[11],因此,合理施肥对保证该地区小麦/玉米高产以及资源高效利用至关重要。据报道,陕西省化肥总投入量总体来看不断增加^[12]。赵护兵等^[13]于 2009 年在陕

西关中(西安、宝鸡、咸阳和渭南)的调查结果表明,小麦投入氮磷钾肥分别为 (191 ± 95) , (130 ± 68) 和 (44 ± 82) kg/hm²,氮肥投入较高的农户占 50.0%,磷肥投入较高的农户占 35%。由此可见,陕西关中平原小麦/玉米轮作区农户存在过量施肥的问题。为此,我国从 2005 年开始实施测土配方施肥项目,通过田间试验结合土壤测试来指导农户合理施肥。陕西省测土配方施肥推广面积也在逐年增加^[14],但农户施肥习惯是否已发生显著变化,尚未见报道。基于此,本研究于 2011—2012 年调查了陕西关中平原冬小麦/夏玉米轮作区农户施肥状况,为明确测土施肥技术的推广效果以及进一步指导农户合理施用化肥、实现作物高产和养分高效、保障区域粮食安全提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 调查区域

关中平原位于陕西省中部,平均海拔 500 m,粮食生产以一年两熟的冬小麦/夏玉米轮作为主,冬小麦一般于 10 月初播种,翌年 6 月上、中旬收获,玉米在小麦收获后即时播种,当年 10 月初收获。该区域主要土壤是塿土(旱耕土垫人为土),根据 2009 年土壤取样测试结果($n=251$),土壤有机质含量平均为 16.8 g/kg,土壤全氮平均 1.13 g/kg,土壤碱解氮平均 95.8 mg/kg,土壤有效磷平均 20.2 mg/kg,

土壤有效钾平均 169.2 mg/kg。

1.2 调查方法

农户调查于 2011-10—2012-03 初进行,调查涉及区县共 10 个,分别是宝鸡市的岐山县、陈仓区和扶风县,咸阳市的泾阳县、武功县和兴平市、杨凌示范区及渭南市的蒲城县、富平县和临渭区。本次调查在各县/区选择代表性乡镇 4~18 个,每个乡镇选择代表性村(组)3~10 个,每个村随机选择 4~5 个农户,采用问卷形式,调查了农户冬小麦/夏玉米经营情况、田间管理情况和施肥状况,共调查农户约 2 000 户,其中冬小麦、夏玉米的有效调查农户分别为 1 769 和 1 747 户。

1.3 化肥偏生产力计算方法

化肥偏生产力(PFP,单位为 kg/kg)是指投入单位化肥所能生产的作物籽粒产量,即:

$$PFP=Y/F。$$
 (1)

式中:Y 为单位面积作物籽粒产量,F 为相同单位面

积化肥纯养分(N、P₂O₅ 或 K₂O)投入量。

1.4 数据处理

调查数据采用 Excel 2003 处理分析。

2 结果与分析

2.1 关中平原冬小麦、夏玉米的养分投入量

2011—2012 年冬小麦产量和农户对养分的投入量调查结果(表 1)显示,小麦产量为(6.0±1.6)~(7.0±4.0) t/hm²,平均产量为(6.5±1.0) t/hm²。农户间小麦施肥量变异很大,10 个县区农户氮肥(N)施用量为(152±73)~(265±144) kg/hm²,平均为(210±106) kg/hm²;磷肥(P₂O₅)施用量为(148±85)~(230±277) kg/hm²,平均为(183±121) kg/hm²;钾肥(K₂O)施用量较少,接近 90%的农户种植小麦时不施钾肥,平均施用量为(25±49) kg/hm²。

表 1 陕西关中平原冬小麦的养分投入量及产量

Table 1 Yield and fertilizer application rate for winter wheat in Guanzhong Plain, Shaanxi Province

县(区) County	样本数 Sample number	氮/ (kg·hm ⁻²) N	磷/ (kg·hm ⁻²) P ₂ O ₅	钾/ (kg·hm ⁻²) K ₂ O	产量/ (t·hm ⁻²) Yield
岐山 Qishan	144	265±144	230±277	54±86	6.6±1.0
扶风 Fufeng	268	195±71	175±83	17±38	6.5±0.9
陈仓 Chencang	120	152±73	148±85	30±32	6.5±0.8
泾阳 Jingyang	132	242±115	176±88	16±22	6.6±0.8
兴平 Xingping	212	207±117	168±93	25±31	6.7±0.8
武功 Wugong	201	202±98	176±77	8±41	6.8±0.7
临渭 Linwei	199	233±141	219±115	22±43	7.0±4.0
蒲城 Pucheng	130	219±119	195±99	28±67	6.0±1.6
富平 Fuping	232	213±94	187±103	45±53	6.2±1.0
杨凌 Yangling	131	178±86	188±91	4±19	6.9±0.7
平均值 Average	1 769	210±106	183±121	25±49	6.5±1.0

注:表中数据为“平均值±标准差”;第 2 列最后一行样本数为总数。表 2 同。

Note: Values listed in the table are mean± standard deviation. The value in the second column last row is the number of total samples. The same for Table 2.

关中平原农户对夏玉米的肥料用量及其产量数据(表 2)表明,玉米产量为(5.5±1.0)~(7.0±1.0) t/hm²,平均产量为(6.2±1.2) t/hm²。农户间玉米施肥量变异也较大,10 个县区农户氮肥(N)施用量为(246±106)~(332±81) kg/hm²,平均为(288±113) kg/hm²;磷肥(P₂O₅)施用量为(3±17)~(104±115) kg/hm²,平均为(45±88) kg/hm²;钾肥(K₂O)用量很少或不施,平均用量为(12±30) kg/hm²。

各个县区冬小麦和夏玉米 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分投入的标准差均很大,说明不同农户之间肥料施用量存在很大差异,很不均衡。这是因为绝大多数

农民按照传统习惯施肥,施肥不科学;此外,部分农民施肥量是按照自家经济状况来确定的,经济状况好的施肥量大,经济状况差的施肥量小。

2.2 关中平原冬小麦、夏玉米的养分投入分布

根据关中平原冬小麦/夏玉米养分投入分级标准^[15],在关中不同地区调查的 1 769 户农户冬小麦施肥调查结果(表 3)表明,关中平原主要县(区)冬小麦施氮量适中农户所占比例为 24.3%~53.4%,平均为 33.6%;施氮量很低的农户所占比例为 1.1%~8.3%,平均为 3.5%;施氮量偏低的农户所占比例为 3.5%~30.0%,平均为 7.6%;施氮量偏高的农户所占比例为 6.7%~25.0%,平均为

16.8%；施氮量很高的农户所占比例为 18.3%～51.4%，平均为 38.5%。不同地区间杨凌施用氮肥适中的农户占到 53.4%，而其他地区均在 30.0%左右。

表 2 陕西关中平原夏玉米的养分投入量及产量

Table 2 Fertilizer application rate for summer maize in Guanzhong Plain, Shaanxi Province					
县(区) County	样本数 Sample number	氮/ (kg·hm ⁻²) N	磷/ (kg·hm ⁻²) P ₂ O ₅	钾/ (kg·hm ⁻²) K ₂ O	产量/ (t·hm ⁻²) Yield
岐山 Qishan	143	326±164	84±172	26±56	5.5±1.0
扶风 Fufeng	255	307±95	8±34	1±10	5.9±1.0
陈仓 Chencang	112	246±106	55±69	17±33	5.7±0.9
泾阳 Jingyang	132	332±81	104±115	17±24	6.5±0.8
兴平 Xingping	212	287±97	48±87	10±29	7.0±1.0
武功 Wugong	201	285±106	28±76	10±23	6.5±0.8
临渭 Linwei	199	267±107	70±92	11±32	6.9±1.1
蒲城 Pucheng	130	258±126	43±63	12±24	6.2±1.5
富平 Fuping	232	266±119	53±60	24±36	5.9±1.6
杨凌 Yangling	131	274±84	3±17	0	6.2±1.2
平均值 Average	1 747	288±113	45±88	12±30	6.2±1.2

表 3 陕西关中平原农户冬小麦纯氮投入量的分布比例

Table 3 Percentage of households with different nitrogen fertilizer consumption rates for winter wheat in Guanzhong Plain, Shaanxi Province						%
县(区) County	很低 Very low	偏低 Low	适中 Optimal	偏高 High	很高 Very high	
岐山 Qishan	2.1	4.8	24.3	17.4	51.4	
扶风 Fufeng	1.1	4.5	38.8	16.0	39.6	
陈仓 Chencang	8.3	30.0	36.7	6.7	18.3	
泾阳 Jingyang	2.3	5.3	25.8	17.4	49.2	
兴平 Xingping	7.1	7.5	33.5	19.8	32.1	
武功 Wugong	3.0	3.5	38.3	21.4	33.8	
临渭 Linwei	4.5	6.5	26.1	12.6	50.3	
蒲城 Pucheng	3.1	4.6	35.4	12.3	44.6	
富平 Fuping	2.2	10.3	26.3	25.0	36.2	
杨凌 Yangling	2.3	5.3	53.4	11.5	27.5	
平均 Average	3.5	7.6	33.6	16.8	38.5	

注：冬小麦纯氮(N)用量很低、偏低、适中、偏高、很高的分级标准分别为≤80,>80~≤120,>120~≤180,>180~≤220,>220 kg/hm²。
Note: The grading criteria of nitrogen (N) application rate for winter wheat were divided into 5 categories, very low, low, optimal, high and very high, and the corresponding values are ≤80, >80~≤120, >120~≤180, >180~≤220, and >220 kg/hm², respectively.

从陕西关中平原冬小麦 P₂O₅ 投入分布(表 4)可以看出,不同县(区)冬小麦施磷量适中的农户占 6.0%~38.9%,平均为 25.2%;施磷量很低的农户占 3.4%~24.3%,平均为 8.6%;施磷量偏低的农户占 1.6%~15.3%,平均为 8.1%;施磷量偏高的农户占 8.3%~32.2%,平均为 20.5%;施磷量很高的农户占 20.8%~53.8%,平均为 37.6%。由此可知,关中平原小麦磷肥投入量在合理范围内的农户不到 1/3,超过 50%的农户磷肥投入量较高,所以在冬小麦科学施肥中,磷肥的合理施用也是一个值得关注的问题。

陕西关中平原夏玉米氮素投入分布结果(表 5)表明,不同县(区)1 747 户农户中,夏玉米施氮量适中的农户占 3.1%~16.0%,平均为 11.2%;施氮量很低的农户占 0%~10.8%,平均为 4.4%;施氮量偏低的农户占 2.4%~17.9%,平均为 6.2%;施氮量偏高的农户占 3.6%~23.1%,平均为 13.5%;施氮量很高的农户占 50.0%~83.3%,平均为 64.7%。这表明只有不到 12%的农户的氮肥投入量在合理范围内,75%以上的农户氮肥投入量偏高或极高。相对于冬小麦的氮肥投入,夏玉米纯氮投入量不合理程度更严重。

表 4 陕西关中平原农户冬小麦 P₂O₅ 投入量的分布比例

Table 4 Percentage of households with different phosphate (P ₂ O ₅) fertilizer consumption rates for winter wheat in Guanzhong Plain, Shaanxi Province						%
县(区) County	很低 Very low	偏低 Low	适中 Optimal	偏高 High	很高 Very high	
岐山 Qishan	24.3	15.3	22.2	8.3	29.9	
扶风 Fufeng	6.0	7.7	30.1	15.9	40.3	
陈仓 Chencang	13.3	10.0	35.1	20.8	20.8	
泾阳 Jingyang	6.8	5.3	24.2	31.1	32.6	
兴平 Xingping	12.2	15.1	15.6	23.1	34.0	
武功 Wugong	5.5	3.5	34.3	20.4	36.3	
临渭 Linwei	7.5	7.1	6.0	32.2	47.2	
蒲城 Pucheng	9.2	6.9	16.3	13.8	53.8	
富平 Fuping	3.4	7.3	31.5	25.0	32.8	
杨凌 Yangling	3.8	1.6	38.9	8.4	47.3	
平均 Average	8.6	8.1	25.2	20.5	37.6	

注:冬小麦纯磷(P₂O₅)用量很低、偏低、适中、偏高、很高的分级标准分别为≤60,>60~≤100,>100~≤140,>140~≤180,>180 kg/hm²。

Note: The grading criteria of phosphate fertilizer (P₂O₅) application rate for winter wheat were divided into 5 categories, very low, low, optimal, high and very high, and the corresponding values are ≤60, >60~≤100, >100~≤140, >140~≤180, and >180 kg/hm², respectively.

表 5 陕西关中平原农户夏玉米纯氮投入量的分布比例

Table 5 Percentage of households with different nitrogen fertilizer consumption rates for summer maize in Guanzhong Plain, Shaanxi Province						%
县(区) County	很低 Very low	偏低 Low	适中 Optimal	偏高 High	很高 Very high	
岐山 Qishan	4.9	3.5	12.6	4.9	74.1	
扶风 Fufeng	0.8	2.4	6.7	12.8	77.3	
陈仓 Chencang	4.5	17.9	16.0	3.6	58.0	
泾阳 Jingyang	0.0	3.0	3.1	10.6	83.3	
兴平 Xingping	3.8	6.6	11.3	13.2	65.1	
武功 Wugong	4.0	7.0	10.9	11.4	66.7	
临渭 Linwei	5.0	4.5	14.6	23.1	52.8	
蒲城 Pucheng	10.8	8.5	13.8	16.9	50.0	
富平 Fuping	9.1	7.7	12.1	14.6	56.5	
杨凌 Yangling	0.8	6.1	13.0	19.1	61.1	
平均 Average	4.4	6.2	11.2	13.5	64.7	

注:夏玉米纯氮(N)用量很低、偏低、适中、偏高、很高的分级标准分别为≤100,>100~≤150,>150~≤200,>200~≤250,>250 kg/hm²。

Note: The grading criteria of nitrogen (N) application rates for summer maize were classified into 5 categories, very low, low, optimal, high and very high, and the corresponding values are ≤100, >100~≤150, >150~≤200, >200~≤250, and >250 kg/hm², respectively.

从陕西关中平原夏玉米 P₂O₅ 投入分布(表 6)可以看出,夏玉米施磷量合适的农户占 0.8%~18.8%,平均为 7.3%;施磷量很低的农户占 28.8%~97.7%,平均为 63.6%;施磷量偏低的农户占 1.6%~21.5%,平均为 9.4%;施磷量偏高的农户占 1.5%~19.4%,平均为 8.4%;施磷量很高的农户占 0%~29.5%,平均为 11.3%。

2.3 关中平原冬小麦、夏玉米的养分分次施用量

陕西关中平原冬小麦 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分的

分次施肥情况见表 7。从表 7 可以看出,冬小麦 N、P₂O₅ 和 K₂O 主要以基肥方式施入,除了泾阳和富平追施氮肥比例略高,分别为 35.3%和 24.1%外,其余各县(区)冬小麦 N 以基肥方式施入比例基本一致,平均约占 N 肥投入总量的 90%;P₂O₅ 和 K₂O 除兴平基施 73.2%外,其余县(区)几乎全部以基肥方式施入。氮肥种类以碳铵和尿素为主,磷肥以普通过磷酸钙为主,施复混肥的农户所占比例不大,复混肥种类繁多。

表 6 陕西关中平原农户夏玉米 P₂O₅ 投入量的分布比例

Table 6 Percentage of the households with different phosphate (P₂O₅) fertilizer consumption rates for summer maize in Guanzhong Plain, Shaanxi Province

县(区) County	很低 Lower	偏低 Low	适中 Optimal	偏高 High	很高 Higher
岐山 Qishan	64.3	2.8	5.6	9.8	17.5
扶风 Fufeng	92.9	1.6	1.2	2.7	1.6
陈仓 Chencang	52.6	2.7	18.8	17.0	8.9
泾阳 Jingyang	28.8	19.7	15.9	6.1	29.5
兴平 Xingping	61.3	9.0	8.0	7.5	14.2
武功 Wugong	76.5	9.0	5.0	5.0	4.5
临渭 Linwei	46.7	11.1	10.6	8.5	23.1
蒲城 Pucheng	60.0	13.1	6.9	6.9	13.1
富平 Fuping	44.0	21.5	7.3	19.4	7.8
杨凌 Yangling	97.7	0.0	0.8	1.5	0.0
平均 Average	63.6	9.4	7.3	8.4	11.3

注:夏玉米纯磷(P₂O₅)用量很低、偏低、适中、偏高、很高的分级标准分别为≤30,>30~≤60,>60~≤90,>90~≤120,>120 kg/hm²。
Note:The grading criteria of phosphate fertilizer (P₂O₅) application rates for summer maize were classified into 5 categories,very low,low,optimal,high and very high, and the corresponding values are ≤30,>30~≤60,>60~≤90,>90~≤120,and >120 kg/hm², respectively.

表 7 陕西关中平原农户冬小麦 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分基施和追施的用量

Table 7 Rate of fertilizers (N,P₂O₅ and K₂O) applied as starter and top dressing for winter wheat in Guanzhong Plain, Shaanxi Province

县(区) County	氮 N		磷 P ₂ O ₅		钾 K ₂ O	
	基肥 Starter	追肥 Top dressing	基肥 Starter	追肥 Top dressing	基肥 Starter	追肥 Top dressing
岐山 Qishan	263.3	1.4	229.7	0	54.1	0.0
扶风 Fufeng	193.4	1.5	174.9	0	16.6	0.0
陈仓 Chencang	145.3	6.8	148.2	0	29.8	0.0
泾阳 Jingyang	156.3	85.4	175.6	0	16.3	0.0
兴平 Xingping	199.2	8.0	165.0	2.6	18.0	6.6
武功 Wugong	182.2	19.5	174.1	1.8	7.9	0.0
临渭 Linwei	221.2	11.4	219.1	0.0	21.8	0.0
蒲城 Pucheng	202.9	15.7	195.3	0.0	28.1	0.0
富平 Fuping	161.9	51.5	186.2	0.5	44.6	0.2
杨凌 Yangling	168.9	9.6	188.4	0	3.6	0.0
平均 Average	190.6	20.0	185.5	0.5	23.9	0.8

夏玉米不同时期 N、P₂O₅ 和 K₂O 投入量调查 结果见表 8。

表 8 陕西关中平原农户夏玉米 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分基施和追施的用量

Table 8 Rate of fertilizers (N,P₂O₅ and K₂O) applied as starter and top dressing for summer maize in Guanzhong Plain, Shaanxi Province

县(区) County	氮 N		磷 P ₂ O ₅		钾 K ₂ O	
	基肥 Starter	追肥 Top dressing	基肥 Starter	追肥 Top dressing	基肥 Starter	追肥 Top dressing
岐山 Qishan	30.2	295.6	28.7	55.4	8.2	17.9
扶风 Fufeng	2.1	304.8	0.3	8.3	0.0	1.3
陈仓 Chencang	9.5	236.6	0	54.8	0.0	17.4
泾阳 Jingyang	56.7	275.5	104.3	0.0	17.0	0
兴平 Xingping	9.3	277.4	5.6	42.7	2.5	8.0
武功 Wugong	4.4	280.5	2.2	25.6	2.4	7.9
临渭 Linwei	74.1	193.0	24.7	45.1	7.3	3.8
蒲城 Pucheng	44.1	214.0	24.4	18.7	11.2	1.0
富平 Fuping	45.5	221.0	46.4	6.5	21.6	2.8
杨凌 Yangling	1.0	272.5	0.0	2.6	0	0
平均 Average	27.4	256.5	22.0	25.1	7.1	5.5

由表 8 可以看出,不同县(区)N 肥投入主要以拔节期追肥方式施入,基施和追施 N 肥用量平均分别为 27.4 和 256.5 kg/hm²,分别占总投入量的 9.7%和 90.3%,P₂O₅ 和 K₂O 基肥投入占养分投入总量的 46.7%和 56.3%。由冬小麦、夏玉米不同时期 N、P₂O₅、K₂O 养分投入量可知,冬小麦施肥主要以基肥为主,夏玉米以一次追施氮肥为主,这也是当地农民传统的施肥习惯。

2.4 关中平原冬小麦、夏玉米的肥料偏生产力

化肥偏生产力(PFP)是一个可以充分反映实际

生产水平的重要指标,是当地土壤基础养分水平和化肥施用量的综合效应。由表 9 可知,关中平原冬小麦 N、P₂O₅ 和 K₂O 的平均 PFP 分别为 31.0, 35.5 和 260.0 kg/kg。各县(区)氮肥 PFP 为 25.2~42.8 kg/kg,其中宝鸡陈仓区氮肥 PFP 最高,岐山氮肥 PFP 最低;各县(区)磷肥 PFP 为 30.0~43.9 kg/kg,其中陈仓区磷肥 PFP 最高,岐山、蒲城和临渭区的磷肥 PFP 最低;钾肥 PFP 各地区差异较大,变幅为 30.0~1 725.0 kg/kg。

表 9 陕西关中平原农户冬小麦的氮、磷、钾肥偏生产力

Table 9 Partial factor productivity(PFP)of N,P₂O₅ and K₂O of winter wheat in Guanzhong Plain,Shaanxi Province kg/kg

县(区) County	氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphorus fertilizer	钾肥 Potassium fertilizer
岐山 Qishan	25.2	30.0	104.8
扶风 Fufeng	33.2	36.9	382.4
陈仓 Chencang	42.8	43.9	216.7
泾阳 Jingyang	27.3	37.5	942.9
兴平 Xingping	32.4	41.1	418.8
武功 Wugong	34.0	39.1	283.3
临渭 Linwei	30.0	30.0	30.0
蒲城 Pucheng	26.2	30.0	222.2
富平 Fuping	29.1	33.0	137.8
杨凌 Yangling	38.8	36.7	1 725.0
平均 Average	31.0	35.5	260.0

由表 10 可知,关中平原各县(区)夏玉米 N、P₂O₅ 和 K₂O 的平均 PFP 分别为 21.5,137.8 和 516.7 kg/kg。各县(区)氮肥 PFP 差异不大,为 16.5~26.1 kg/kg,其中富平县氮肥 PFP 最大,岐山最小。除杨凌区和扶风县外,其他县(区)磷肥

PFP 差异不大,为 62.5~232.1 kg/kg;杨凌区磷肥 PFP 最大,泾阳和岐山的磷肥 PFP 较小。除扶风县外,其他县(区)钾肥 PFP 差异较大,为 203.7~700.0 kg/kg。

表 10 陕西关中平原农户夏玉米的氮、磷、钾肥偏生产力

Table 10 Partial factor productivity of N,P₂O₅ and K₂O of summer maize in Guanzhong Plain,Shaanxi Province kg/kg

县(区) County	氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphorus fertilizer	钾肥 Potassium fertilizer
岐山 Qishan	16.5	64.0	203.7
扶风 Fufeng	19.5	737.5	5 900.0
陈仓 Chencang	23.2	103.6	335.3
泾阳 Jingyang	19.6	62.5	382.4
兴平 Xingping	24.4	145.8	700.0
武功 Wugong	22.8	232.1	650.0
临渭 Linwei	25.8	98.6	627.3
蒲城 Pucheng	23.1	140.9	476.9
富平 Fuping	26.1	111.3	245.8
杨凌 Yangling	22.6	2 066.7	—
平均 Average	21.5	137.8	516.7

3 讨 论

3.1 关中平原冬小麦、夏玉米的产量

本次调查结果表明,关中平原 10 个县(区)冬小麦平均产量为 6.0~7.0 t/hm²,夏玉米平均产量为

5.5~7.0 t/hm²。相比以往关中平原冬小麦、夏玉米产量调查结果^[13,16],本次调查冬小麦产量呈增加趋势,而夏玉米产量呈降低趋势。这可能与调查的作物品种、气候因子等不同有关。关中平原田间试验结果表明,冬小麦产量最高可达 8.0 t/hm²^[17],夏

玉米最高产量在 10 t/hm^2 以上^[18]。因此,结合高产品种植、施肥优化等管理措施,该区小麦和玉米生产潜力巨大。

3.2 关中平原冬小麦、夏玉米的养分投入

本研究结果显示,陕西关中平原冬小麦纯 N 的平均用量为 $152 \sim 265 \text{ kg/hm}^2$,而该区域冬小麦氮肥(纯 N)投入推荐量一般为 $120 \sim 226 \text{ kg/hm}^2$ ^[15-16,19],据此可知该地区冬小麦氮肥平均用量偏高。根据段敏^[15]的养分投入分级标准可知,该地区氮肥投入量适中的农户占 33.6%,有 55.3% 的农户氮肥投入量偏高。与赵护兵等^[13]的调查结果相比,小麦氮肥投入适中的农户比例增加了 20%,但是氮肥投入偏高的比例仍然相似。本研究结果显示,关中平原夏玉米纯 N 施用量为 $246 \sim 332 \text{ kg/hm}^2$,而推荐氮肥(纯 N)用量为 $112 \sim 205 \text{ kg/hm}^2$ ^[16,18-21],可见夏玉米氮肥施用过量严重,投入量偏高的农户占到 70% 以上。与同延安等^[16]1997—1998 年在关中西部的调查结果相比,农户夏玉米氮肥过量的比例有增加趋势。氮肥投入过量,不仅肥料利用率降低,还可能导致作物减产^[21];此外,过量施用氮肥还会造成地下水硝态氮含量过高或超标,且超标的地下水通过水循环可能进入地表水,造成江河湖水的富营养化,从而产生更严重的环境及生态危害^[22-26];其次,过量施用的氮肥,会通过硝化与反硝化作用以氧化亚氮的气体形态进入大气,污染大气环境^[27],破坏臭氧层^[28-29];另外,不合理施用氮肥会增加生产成本,降低经济效益。有研究显示,我国每年不合理施肥造成的氮损失价值达 300 多亿元^[30]。

本调查结果中,关中平原冬小麦 P_2O_5 用量为 $148 \sim 230 \text{ kg/hm}^2$,而关中平原冬小麦磷肥(P_2O_5)推荐用量仅为 $60 \sim 140 \text{ kg/hm}^2$ ^[31-32],结合磷肥投入分级标准^[15],磷肥投入量适中的农户仅占 25.2%,磷肥投入量偏高的农户所占比例约为 60%。关中平原夏玉米 P_2O_5 用量为 $3 \sim 104 \text{ kg/hm}^2$,推荐施磷(P_2O_5)量为 $30 \sim 80 \text{ kg/hm}^2$ ^[31], P_2O_5 投入量偏高的农户约占 20%,投入不足(很低、偏低)的农户约占 75%。关中平原小麦/玉米轮作试验结果表明,年生产粮食 $10.5 \sim 12.5 \text{ t/hm}^2$ 需磷(P_2O_5)量为 $105 \sim 120 \text{ kg/hm}^2$ ^[33]。综合现有农户年磷肥投入量调查结果可以看出,小麦/玉米轮作体系农户存在过量施磷的问题。我国磷矿资源总量约 500 亿 t,探明储量 130 亿 t,较为丰富,但我国大多数磷矿品位低于 25%^[34],且磷矿不可再生,现存量越来越少,特别

是随着工业的发展而大量开采磷矿更加速了这种损失。磷施入土壤后虽大多累积在土壤中,但也有部分磷酸盐由径流进入湖泊和海洋,当磷施用过量时这种现象被放大,磷素淋溶汇集最终可能导致水体富营养化等问题。因此,合理推荐施用磷肥也是非常重要的。

本研究中,关中平原冬小麦 K_2O 平均用量为 25 kg/hm^2 ,夏玉米 K_2O 平均用量为 12 kg/hm^2 ,不同农户之间钾肥施用量存在较大差异。关中平原土壤富钾,在渭河三级阶地上的长期定位试验表明^[35],钾肥对小麦和玉米的增产效果甚微。在现有的小麦/玉米轮作体系产量水平下,不建议施用化学钾肥。李秋梅等^[36]指出,冬小麦和夏玉米的吸钾总量分别为 $147 \sim 166$ 和 $96 \sim 112 \text{ kg/hm}^2$,且大概有 91% 和 84% 的钾储存在冬小麦和夏玉米的秸秆中。王顺霞等^[37]研究表明,在小麦/玉米轮作体系中,小麦秸秆还田可以有效防止玉米早衰,增加穗质量,从而提高产量。因此,在冬小麦/夏玉米施肥中,减少氮、磷肥施用量从而提高氮、磷肥利用率,提倡秸秆还田,是今后指导农户科学施肥的一个重要方面。

本调查结果显示,冬小麦的 N 主要以基肥方式投入,占养分投入总量的 90% 以上。陈祥^[38]在陕西杨凌和风翔的试验结果表明,与传统一次性施肥方式相比,50% 氮肥基施,50% 于冬小麦返青后追施,可以提高冬小麦的籽粒产量和氮肥利用率。夏玉米的 N 主要以一次性追肥方式投入,基施和追施分别占 10% 和 90%。夏玉米整个生育期所需要的氮肥一次性施用,会增加氮素的淋失量^[39],同时容易造成前期玉米茎叶生长过于旺盛,植株节间细长、植株过高、根系生长不良、机械组织不发达等问题,易引起茎秆倒伏^[40-41]。而增加玉米拔节后氮素用量及次数,能够显著增加产量及氮肥效率^[42]。由此可知,关中平原农户氮磷施用量不仅存在过量问题,而且氮肥分期调控也存在问题。

3.3 关中平原冬小麦、夏玉米的肥料偏生产力

本研究中,关中平原不同县(区)冬小麦 N、 P_2O_5 、 K_2O 的平均 PFP 分别为 31.0、35.5 和 260.0 kg/kg;夏玉米平均 PFP 分别为 21.5、137.8 和 516.7 kg/kg。张福锁等^[3]对我国河北、天津和陕西等 7 省(区)的小麦/玉米轮作试验结果进行了分析,发现我国小麦 N、 P_2O_5 、 K_2O 平均 PFP 为 43.0、63.7 和 72.2 kg/kg,玉米 N、 P_2O_5 、 K_2O 平均 PFP 为 51.6、72.4 和 64.7 kg/kg。可见,关中平原冬小麦的氮、磷肥 PFP 低于全国水平,钾肥由于投入极

少,故其 PFP 高于全国水平;而夏玉米的氮肥 PFP 也低于全国水平,在玉米上磷、钾肥投入较少,故其 PFP 均相对高于全国水平。因此,为了提高氮、磷肥的效益,必须科学合理施用氮、磷肥。

总体而言,在关中平原小麦/玉米轮作体系中,从测土配方施肥项目实施以来,冬小麦氮肥投入适中的农户比例明显提高,但是无论对于冬小麦还是夏玉米,氮肥过量施用农户所占比例依然很高,而且氮肥施用仍以一次性施入为主。另外,磷肥施用量偏高是冬小麦/夏玉米体系养分资源投入中存在的另一个主要问题。由此看来,指导、培训农户合理施肥、配肥、分期用肥是一项长期的工作。

志 谢:研究生贾莉洁、杨旻、马晓霞、葛玮健、李婕、王莲莲、孙瑞、潘婷同学及实验室代雪灵老师参加了本试验的样品采集和农户调查,在此一并对他们表示由衷的感谢!

[参考文献]

[1] 刘全清,张卫锋,杜 森,等. 中国西北地区肥料使用和生产现状及问题 [J]. 磷肥与复肥,2005,20(5):69-73.
Liu Q Q,Zhang W F,Du S,et al. The status and problems of fertilizer production and application in northwest area of China and some suggestions [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2005,20(5):69-73. (in Chinese)

[2] 张福锁,张卫锋,陈新平. 对我国肥料利用率的分析 [C]//第二届全国测土配方施肥技术研讨会论文集. 北京:中国农业大学出版社,2007:10-12.
Zhang F S,Zhang W F,Chen X P. Analysis of fertilizer use efficiency in China [C]//Proceedings of the 2nd national soil testing and fertilizer recommendation symposium. Beijing:China Agricultural University Press,2007:10-12. (in Chinese)

[3] 张福锁,王激清,张卫锋,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(5):915-924.
Zhang F S,Wang J Q,Zhang W F,et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement [J]. Acta Pedologica Sinica,2008(5):915-924. (in Chinese)

[4] Ockman O C,Kaarstad O,Lie O H,et al. Agriculture and fertilizers; Fertilizers in perspective [M]. Oslo: Norsk Hydro, 1990.

[5] 范明生,张福锁,江荣风. 农田养分资源综合管理研究与发展概况 [C]//第二届全国测土配方施肥技术研讨会论文集. 北京:中国农业大学出版社,2007:13-20.
Fan M S,Zhang F S,Jiang R F. Research and development situation of integrated nutrient management of farmland [C]//Proceedings of the 2nd national soil testing and fertilizer recommendation symposium. Beijing:China Agricultural University Press,2007:13-20. (in Chinese)

[6] National Research Council. An agenda for agriculture [M]. Washington,D C:Nation Academy Press,1989.

[7] 张承先,武雪萍,吴会军,等. 不同土壤水分条件下华北冬小麦基施不同氮肥的氨挥发研究 [J]. 中国土壤与肥料,2008(5):28-32.
Zhang C X,Wu X P,Wu H J,et al. Research on the relationship of ammonia volatilization rate and fertilizer type with irrigation treatments for winter wheat in North China [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2008(5):28-32. (in Chinese)

[8] 同延安,石 维,吕殿青,等. 陕西三种类型土壤剖面硝酸盐累积、分布与土壤质地的关系 [J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4):435-441.
Tong Y A,Shi W,Lü D Q,et al. Relationship between soil texture and nitrate distribution and accumulation in three types of soil profile in Shaanxi [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science,2005,11(4):435-441. (in Chinese)

[9] 李贞宇,王 旭,魏 静,等. 我国不同区域玉米施肥的生命周期评价 [J]. 环境科学学报,2010,30(9):1912-1920.
Li Z Y,Wang X,Wei J,et al. Life cycle assessment of fertilization in corn production in different regions of China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2010,30(9):1912-1920. (in Chinese)

[10] 张保军,张正茂,李思训,等. 提升陕西省小麦生产能力的区域分析 [J]. 麦类作物学报,2009,29(4):701-705.
Zhang B J,Zhang Z M,Li S X,et al. Regional analysis to promote the wheat productivity in Shaanxi Province [J]. Journal of Triticeae Crops,2009,29(4):701-705. (in Chinese)

[11] 胥志文,张林约,郭德龙,等. 影响关中西部灌区夏玉米增产的主要因素及持续增产措施 [J]. 农业科技通讯,2009(3):118-120.
Xu Z W,Zhang L Y,Guo D L,et al. The main factors influencing yield increase and its sustainability of summer maize in the western Guanzhong irrigated area [J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology,2009(3):118-120. (in Chinese)

[12] 王圣瑞,马文奇,徐文华,等. 陕西省小麦施肥现状与评价研究 [J]. 干旱地区农业研究,2003,21(1):31-37.
Wang S R,Ma W Q,Xu W H,et al. Evaluation and present situation of fertilization for wheat in Shaanxi Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2003,21(1):31-37. (in Chinese)

[13] 赵护兵,王朝辉,高亚军. 关中平原农户冬小麦养分资源投入的调查与分析 [J]. 麦类作物学报,2010,30(6):1135-1139.
Zhao H B,Wang Z H,Gao Y J. Investigation and analysis of winter wheat nutrients resource inputting in Guanzhong Area [J]. Journal of Triticeae Crops,2010,30(6):1135-1139. (in Chinese)

[14] 陕西省土肥站. 陕西省测土配方施肥工作总结 [C]//首届全国测土配方施肥技术研讨会论文集. 北京:中国农业大学出版社,2007:333-338.
Shaanxi Soil and Fertilizer Station. Summary of Shaanxi soil testing and fertilizer recommendation [C]//Proceedings of the 1st national soil testing and fertilizer recommendation symposium. Beijing:China Agricultural University Press,2007:333-338. (in Chinese)

[15] 段 敏. 陕西关中地区小麦玉米养分资源管理及其高产探索

- 研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2010.
- Duan M. Study on nutrients management and high yield of wheat and maize in Guanzhong Area of Shaanxi Province [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)
- [16] 同延安, Emteryd O, 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.
- Tong Y A, Emteryd O, Zhang S L, et al. Evalution of over-application of nitrogen fertilizer in China' Shaanxi Province [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(8): 1239-1244. (in Chinese)
- [17] 高亚军, 李生秀. 黄土高原地区农田水氮效应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 14-18.
- Gao Y J, Li S X. Analysis of the effect of water and nitrogen fertilizer in farmland of Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2003, 9(1): 14-18. (in Chinese)
- [18] 何绪生, 吕殿青. 关中灌区夏玉米高产需肥量及土壤作物氮供需特点研究 [J]. 土壤肥料, 1998(5): 34-37.
- He X S, Lü D Q. Research on nutrient requirement of summer maize and soil nitrogen supply in Guanzhong irrigated area [J]. Soil & Fertilizer, 1998(5): 34-37. (in Chinese)
- [19] 张树兰, 同延安, 赵护兵, 等. 冬小麦-夏玉米轮作氮肥施量与氮营养诊断 [J]. 西北农业学报, 2000, 9(2): 104-107.
- Zhang S L, Tong Y A, Zhao H B, et al. Recommendation of nitrogen fertilizer and nitrogen nutritional diagnosis in wheat-corn rotation [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2000, 9(2): 104-107. (in Chinese)
- [20] 张 明. 陕西关中冬小麦/夏玉米轮作体系下合理施肥技术研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2011.
- Zhang M. Research of reasonable fertilizer application technology of winter wheat/summer maize rotation system in Guanzhong Area of Shaanxi [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2011. (in Chinese)
- [21] 赵 营. 冬小麦/夏玉米轮作体系下作物养分吸收利用与累积规律及优化施肥 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2006.
- Zhao Y. Nutrients uptake, utilization, accumulation and optimize fertilization under the winter wheat/summer maize rotation system [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2006. (in Chinese)
- [22] 朱兆良. 农田中氮素的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants system and the strategies and techniques for its reduction [J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 1-6. (in Chinese)
- [23] 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.
- Gao X Z, Ma W Q, Du S, et al. Current status and problems of fertilization in China [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(6): 258-261. (in Chinese)
- [24] 朱建国. 硝态氮污染危害与研究展望 [J]. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 62-69.
- Zhu J G. Consequences of nitrate pollution and future prospects [J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(S1): 62-69. (in Chinese)
- [25] 李生秀, 李世清, 高亚军. 氮肥品种和用量对氮素淋失的影响 [M]//汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 341-345.
- Li S X, Li S Q, Gao Y J. Effects of types and rates of nitrogen fertilizer on nitrate leaching losses [M]//Wang D S. Principle and regulation technology of relationship between water and fertilizers on dryland. Beijing: China Agricultural University Press, 1995: 341-345. (in Chinese)
- [26] 熊桂林, 陈怀谷, 李 伟, 等. 不同施肥处理对小麦纹枯病及根际微生物的影响 [J]. 江苏农业学报, 2008, 24(4): 414-418.
- Xiong G L, Chen H G, Li W, et al. Effects of different fertilizer treatments on rhizosphere microflora of wheat and incidence of wheat sharp eyespot [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2008, 24(4): 414-418. (in Chinese)
- [27] Mosier A R, Zhu Z L. Changes in patterns of fertilizer nitrogen use in Asia and its consequenc for N_2O emissions from agricultural systems [J]. Nutr Cyc in Agroecosystems, 2000(57): 107-117.
- [28] 苏 芳, 丁新泉, 高志岭, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系氮肥的氮挥发 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(3): 409-413.
- Su F, Ding X Q, Gao Z L, et al. Ammonia volatilization from nitrogen fertilization of winter wheat-summer maize rotation system in the North China Plain [J]. China Environmental Science, 2007, 27(3): 409-413. (in Chinese)
- [29] Bouwman A F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils [J]. Nutr Cyc in Agroecosystems, 2007, 46(1): 53-70.
- [30] 李庆逵. 从事土壤化学分析工作的回顾 [J]. 土壤, 1994(5): 225-229.
- Li Q K. A review of the work in the soil chemical analysis [J]. Soils, 1994(5): 225-229. (in Chinese)
- [31] 付莹莹. 陕西关中地区土壤养分丰缺指标体系的建立 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2009.
- Fu Y Y. The establishment of soil nutrient index in Guanzhong Areas, Shaanxi Province [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2009. (in Chinese)
- [32] 张 鹏. 关中西部灌区冬小麦合理施肥技术研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2010.
- Zhang P. Study on balance fertilization in irrigation area of western Guanzhong Plain [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)
- [33] 刘杏兰. 关中灌区小麦、玉米轮作田磷肥施用定位研究 [J]. 西北农业学报, 1995(3): 85-88.
- Liu X L. Phosphorus fertilizer recommendation for wheat-maize rotation system in Guanzhong irrigation area [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 1995(3): 85-88. (in Chinese)
- [34] 刘建雄. 我国磷矿资源分析与开发利用 [J]. 化肥工业, 2009, 36(6): 27-31.
- Liu J X. Analysis of domestic phosphate rock resource, their

exploitation and utilization [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2009,36(6):27-31. (in Chinese)

[35] 杨学云,孙本华,马路军,等. 黄土施肥效应与肥力演变的长期定位监测研究: I. 长期施肥的产量效应 [J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(增刊):66-70.

Yang X Y,Sun B H,Ma L J,et al. A study on the effect of fertilization and fertility evolution of loess soil: I. Crop yield [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2002,8(S1):66-70. (in Chinese)

[36] 李秋梅,陈新平,张福锁,等. 冬小麦-夏玉米轮作体系中磷钾平衡的研究 [J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):152-156.

Li Q M,Chen X P,Zhang F S,et al. Study on balance of phosphorus and potassium in winter wheat and summer maize rotation system [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002,8(2):152-156. (in Chinese)

[37] 王顺霞,王占军,左 忠,等. 不同覆盖方式对旱地玉米田土壤环境及玉米产量的影响 [J]. 干旱区资源与环境,2004,18(9):134-137.

Wang S X,Wang Z J,Zuo Z,et al. Effects of difference mulching on the soil environment and maize yield in rain fed land [J]. Journal of Arid Land Resources & Environment,2004,18(9):134-137. (in Chinese)

[38] 陈 祥. 冬小麦/夏玉米高产研究中的养分资源管理 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.

Chen X. Research on nutrients management of high-yield in winter wheat/summer maize rotation [D]. Yangling,Shaanxi: Northwest A&F University,2008. (in Chinese)

[39] 卜玉涛,毛昆明,张发明. 土壤氮素淋失研究进展 [J]. 现代农业科技,2010(16):285-291.

Bu Y T,Mao K M,Zhang F M. Advances in nitrogen leaching from soil [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2010(16):285-291. (in Chinese)

[40] 王振军,雷晓天,郭志刚. 夏玉米倒伏的原因及预防措施 [J]. 农业科技通讯,2011(10):122-123.

Wang Z J,Lei X T,Guo Z G. The reason and preventive measures on summer corn lodging [J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology,2011(10):122-123. (in Chinese)

[41] 武继承,杨永辉,康永亮,等. 氮磷配施对玉米生长和养分利用的影响 [J]. 河南农业科学,2011,40(10):68-71.

Wu J C,Yang Y H,Kang Y L,et al. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizer on corn growth and fertilizer use [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences,2011,40(10):68-71. (in Chinese)

[42] 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等. 施氮时期对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(5):1099-1107.

Lü P,Zhang J W,Liu W,et al. Effects of nitrogen application dates on yield and nitrogen use efficiency of summer maize in super-high yield conditions [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2011,17(5):1099-1107. (in Chinese)

(上接第 50 页)

[16] 鲁 艳,李新荣,何明珠,等. 不同浓度 Ni、Cu 处理对骆驼蓬光合作用和叶绿素荧光特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2011,22(4):936-942.

Lu Y,Li X R,He M Z,et al. Influence of different concentration Ni and Cu on the photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Peganum harmala* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2011,22(4):936-942. (in Chinese)

[17] 徐红霞,翁晓燕,毛伟华,等. 镉胁迫对水稻光合、叶绿素荧光特性和能量分配的影响 [J]. 中国水稻科学,2005,19(4):338-342.

Xu H X,Weng X Y,Mao W H,et al. Effects of cadmium stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence characteristics and excitation energy distribution in leaves of rice [J]. Chinese J Rice Sci,2005,19(4):338-342. (in Chinese)

[18] Demmig B,Winter K. Photoinhibition and zeaxanthin formation in intact leaves [J]. Plant Physiology,1987,84:218-224.

[19] Oettmeier W. Herbicide resistance and supersensitivity in photosystem II [J]. Cell Mol Life Sci,1999,55:1255-1277.

[20] 郭连安,张 玲,胡运高,等. 稻瘟菌粗毒素对水稻幼苗生理生化影响 [J]. 贵州农业科学,2011,39(10):105-107.

Guo L A,Zhang L,Hu Y G,et al. Influence of crude *Magnaporthe grisea* toxin on physiology and biochemistry of rice seedlings [J]. Guizhou Agricultural Sciences,2011,39(10):105-107. (in Chinese)

[21] 范静华,周惠萍,王洪海,等. 稻瘟病菌生理小种及其毒性 [J]. 植物保护,2005,31(6):29-31.

Fan J H,Zhou H P,Wang H H,et al. Studies on physiological races and virulence of *Magnaporthe grisea* in Yunnan Province [J]. Plant Protection,2005,31(6):29-31. (in Chinese)