

陕西关中小麦/玉米轮作区氮肥用量及 施氮现状评估

张 明^{1a}, 同延安^{1a}, 郭俊炜², 张树兰^{1a}, 郭 盼^{1b}

(1 西北农林科技大学 a 资源环境学院, b 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 咸阳职业技术学院, 陕西 咸阳 712000)

【摘 要】 【目的】研究陕西关中冬小麦/夏玉米轮作体系中, 2 种作物氮肥的合理用量, 以此对施肥现状进行评价。【方法】在位于陕西关中地区的杨凌进行氮肥肥效田间试验, 利用数学方法得出氮肥合理用量, 并将其与实际调查的农户习惯氮肥用量进行比较, 以分析二者土壤硝态氮含量与经济效益的差异。【结果】冬小麦、夏玉米推荐氮肥用量分别为 140 和 145 kg/hm², 而当前农户习惯氮肥用量分别为(211±139)和(310±131) kg/hm², 明显高于推荐氮肥用量, 但二者产量无明显差异。过量施用氮肥导致陕西关中地区冬小麦、夏玉米土壤硝态氮含量(0~100 cm 土层)较高, 分别为 117.4 和 125.3 kg/hm², 同时造成经济效益损失达 3 014 元/hm²。【结论】在陕西关中地区的冬小麦/夏玉米轮作体系下, 应减少农户习惯施氮量, 提高肥料利用率, 减小化肥对环境的污染, 降低农民农业投入。

【关键词】 冬小麦; 夏玉米; 氮肥施用; 陕西关中

【中图分类号】 S147.22

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)04-0152-07

Determination of reasonable nitrogen use and evaluation of application status in wheat/maize rotation system in Guanzhong area of Shaanxi Province

ZHANG Ming^{1a}, TONG Yan-an^{1a}, GUO Jun-wei²,
ZHANG Shu-lan^{1a}, GUO Pan^{1b}

(1a College of Resources and Environmental Sciences, b College of Forestry, Northwest A&F University,
Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Xianyang Vocational Technical College, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: 【Objective】Reasonable nitrogen use amount in winter wheat/summer maize rotation system in Guanzhong area of Shaanxi Province was researched, and it was used as criterium for evaluating the status of farmers' N fertilization practices. 【Method】Suggested amount of nitrogen use was calculated from field nitrogen effect experiment in Yangling region, Guanzhong area. It was compared with farmers' actual N application rates to analyse the differences from both the amount of soil nitrate nitrogen residue and economic benefit between them. 【Result】Recommended amounts of nitrogen use on winter wheat and summer maize were 140 and 145 kg/hm², respectively. The current farmers' nitrogen use amounts were correspondingly (211±139) and (310±131) kg/hm², which were significantly higher than recommendation, but there was no obvious difference in yield. Excessive amounts of nitrogen led to higher soil nitrogen accumulation in 0—100 cm soil layer, 117.4 and 125.3 kg/hm² for winter wheat and summer maize, respectively, and

* [收稿日期] 2010-09-15

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2008BADA4B09); 农业部行业计划项目(200803030)

[作者简介] 张 明(1985—), 男, 河北藁城人, 在读硕士, 主要从事植物营养施肥原理与技术研究。

E-mail: zhangming0106@163.com

[通信作者] 同延安(1956—), 男, 陕西华县人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养、施肥与环境研究。

E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

meanwhile,the economic benefit was wasted 3 014 yuan/hm².【Conclusion】Reducing farmers’ nitrogen use amounts,increasing nutrient efficiency,decreasing pollution of fertilizers and lowering the farmers’ input in agricultural should be done in winter wheat/summer maize rotation system in Guanzhong area of Shaanxi Province.

Key words: winter wheat;summer maize;nitrogen application;Guanzhong area of Shaanxi Province

中国是世界上最大的化肥生产、进口和消费国,世界 35%的化肥施用在 中国,中国近 47%的粮食产量来自化肥的施用^[1]。在我国,化肥过量施用、肥料利用率下降等问题一直很严重。从 1977—2005 年,我国粮食年产量从 283×10³ t 增加到了 484×10³ t,增加了 71%,而化肥用量从 707 t 增加到 2 621 t,增加了 271%,导致氮肥偏生产力(PFP_N)从 55 kg/kg 减少到 20 kg/kg^[2-4]。在我国,氮肥利用率为 28%~41%,明显低于发达国家(50%~60%)^[5]。按 13 000×10⁴ hm² 耕地和 20 280×10⁴ hm² 播种面积(复种指数 1.56)计算,2007 年,我国氮肥施用量平均达到了 176.7 和 113.3 kg/hm²^[6]。史进元等^[7]1995 年指出,陕西粮食作物生产中化肥的施用量是 20 年前的 5 倍,但粮食产量平均仅增加了 60%。陕西省关中地区属于暖温带半湿润气候区,主要土壤类型为 塷土,年均气温 13~15 ℃,年均降水量约 650 mm,粮食生产以冬小麦/夏玉米轮作为主^[8]。2004 年,同延安等^[9]研究表明,关中地区农户对麦田过量施用氮肥 55 kg/hm²,64%的农户玉米田过

量施氮 90 kg/hm²,或平均过量 56 kg/hm²。可见,解决氮肥的平衡施用,一直是农业研究的一个热点问题,对其进行研究具有极其重要的意义。但近年来,关于陕西关中地区主产作物冬小麦、夏玉米氮肥施用现状及推荐施肥量的研究报道不多,以前的研究成果已不适用于当前的种植模式,无法解决当前施肥中出现的问题。为此,本研究采用田间试验,提出当地氮肥的合理用量,最后对合理施肥量与习惯施肥量下的土壤硝态氮含量及经济效益进行了比较,以期为当地的科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 供试作物品种 冬小麦品种为“小偃 22”,夏玉米品种为“郑单 958”。

1.1.2 供试土壤 本试验于 2006—2007 年在位于陕西关中的杨凌进行,试验地土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 General properties of soil samples

地点 Site	土壤 Soil	有机质/ (g·kg ⁻¹) O. M	无机氮/ (mg·kg ⁻¹) N _{min} (0~100 cm)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Olsen-P	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) NH ₄ Ac-K	pH
穆家寨 Mujiazhai	潮土 Fluvo-aquic soil	13.68	143	15.62	174.3	7.6
西卫店 Xiweidian	塷土 Lou soil	12.81	117	9.89	168.5	7.5
新集村 Xinjicun	塷土 Lou soil	11.36	126	10.16	151.5	7.7
监测点 Test base	塷土 Lou soil	10.94	115	13.27	160.1	7.5

1.1.3 供试肥料 氮、磷、钾肥品种分别为 46%尿素、12%普通过磷酸钙和 60%氯化钾。

1.2 试验设计

本研究分别在陕西杨凌穆家寨、西卫店、新集村和试验监测点进行,共布设 6 个氮肥试验点,其中冬小麦 2 个,夏玉米 4 个(表 2)。施肥方法为 2/3 氮肥及 60 kg/hm² 磷肥、216 kg/hm² 钾肥作为底肥施入,1/3 氮肥于冬小麦拔节前或夏玉米大喇叭口期追施。小区面积 30 m²(6 m×5 m),冬小麦行距 25 cm,每 m 行长播 50 粒;夏玉米行距 60 cm,株距 33.3 cm,密度 49 500 株/hm²,均为人工点播。各处

理田间管理与当地大田相同。

冬小麦、夏玉米产量计算均采用田间测产和收获实产 2 种方法,以期相互检验。田间测产方法为:冬小麦计算 1 m² 的穗数及平均 20 穗的穗粒数,然后测定其千粒质量,由此计算产量,每田块重复 3 次;夏玉米计算 4 行宽、10 m 长面积内株数,从中任意选取连续 10 株,计算其穗粒数,然后测定千粒质量,由此计算产量,每田块重复 3 次。收获实产法为:冬小麦每重复收获 4 m×4 m 面积,晾晒、脱粒并称质量,由此计算产量;夏玉米收获 6 行×4 m 面积,晾晒、脱粒并称质量,由此计算产量。

表 2 陕西关中地区冬小麦/夏玉米轮作体系田间施氮(N)试验设计

Table 2 Experimental design of nitrogen in field test in Guanzhong area of Shaanxi Province

作物 Crop	地点 Site	各水平氮肥施用量/(kg·hm ⁻²) Nitrogen usage in each level						重复数 Repetition
		1	2	3	4	5	6	
冬小麦 Test base	监测点 Winter wheat	0	60	120	180	240	—	6
	新集村 Xinjicun	0	105	210	255	315	—	4
夏玉米 Summer maize	监测点 Test base	0	75	150	225	300	375	3
	新集村 Xinjicun	0	125	250	255	375	—	4
	穆家寨 Mujiazhai	0	75	150	225	300	375	3
	西卫店 Xiweidian	0	60	120	180	240	—	3

1.3 农户调查与样品采集

于 2008-11,随机选取位于陕西关中地区高陵县(44 户)、武功县(32 户)以及杨凌(24 户)的农户,采用实地问卷形式调查,调查内容包括农户家庭经营情况、冬小麦/夏玉米田间管理情况和施肥状况等,粮食生产均为冬小麦/夏玉米轮作体系。种植品种冬小麦主要以“小偃 22”、“西农 979”和“西农 88”为主,夏玉米主要以“郑单 958”和“浚单 22”为主。

于 2009 年 6 月上旬小麦收获之际,对所调查地点随机采集土样。每个县布设 20 个采样点,每个点 3 次重复,土层深度为 100 cm,每 20 cm 分层采样,测定土壤硝态氮含量。硝态氮含量测定方法^[10-13]:取新鲜土样 20 g,用 0.01 mol/L 氯化钙 40 mL 浸提 0.5 h,过滤后用德国 Merck Rqflex 30 型反射仪测定硝态氮含量,试纸条测定硝态氮含量为 3~90 mg/L。

1.4 数据计算与处理

氮肥偏生产力(PFP_N)计算公式为:

$$PFP_N=Y/F。$$

式中:Y 为施肥后所获得的作物产量,F 为化肥的投入量。

氮肥相对经济效益(REB_N)计算公式为:

$$REB_N=(B_Y-B_F)-(B'_Y-B'_F)。$$

式中: B_Y 为获得的作物产量的收益, B_F 为化肥投入的支出, B'_Y 为推荐施肥处理获得的作物产量的收益, B'_F 为推荐施肥处理化肥投入的支出。本研究尿素购买价按 2.0 元/kg 计算,小麦收购价按 1.8 元/kg 计算,玉米收购价按 1.5 元/kg 计算。

试验均采用 EXCEL 2003 和 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 冬小麦/夏玉米轮作体系氮肥的合理用量

Cerreto 等^[14]研究表明,描述玉米对氮肥反应的模型应以二次加平台模型为优;王新民等^[15]研究表明,在冬小麦与夏玉米轮作系统中,可以用线性加平台模型、二次加平台模型和二次多项式模型来描述作物产量与施 N 量之间的回归关系,而其中又以线性加平台模型效果最优,可作为 N 肥肥料效应模型的最佳选择;陈新平等^[16]研究表明,线性加平台模型和二次加平台模型推荐的最佳氮肥施肥量明显低于二次多项式模型,不仅提高了氮肥利用率,而且还表现出了较佳的环境效应。因此,本试验综合考虑产量、环境和经济效益,利用线性加平台模型对各试验点冬小麦、夏玉米氮素用量与产量之间的关系进行分析,结果见图 1、图 2。

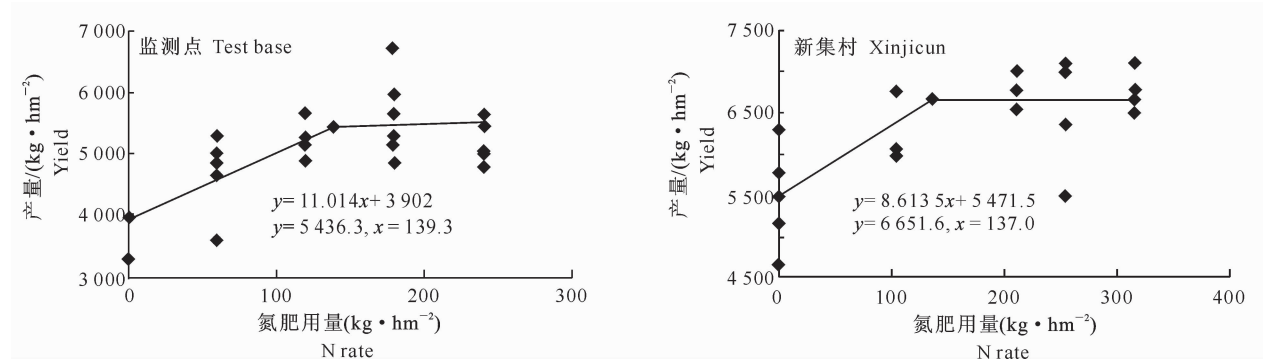


图 1 陕西关中地区冬小麦氮肥用量与产量的线性加平台模型

Fig. 1 Linear plus plateau model between amount of nitrogen and yield for winter wheat in Guanzhong area of Shaanxi Province

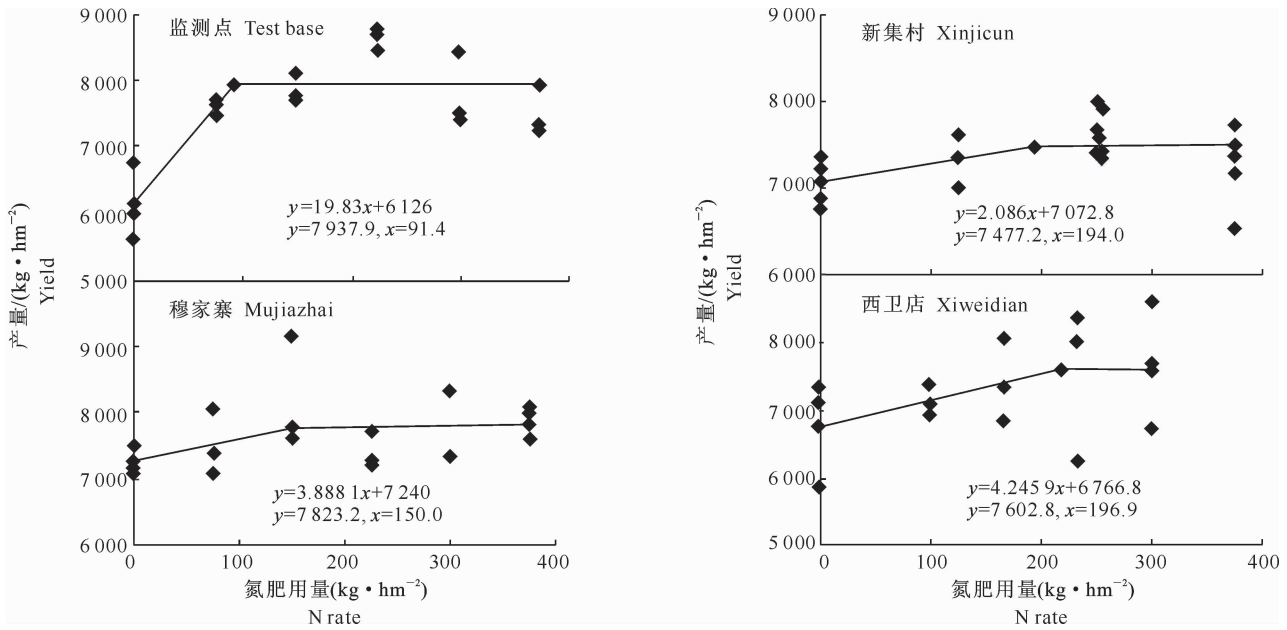


图 2 陕西关中地区夏玉米氮肥用量与产量的线性加平台模型

Fig. 2 Linear plus plateau model between amount of nitrogen and yield for summer maize in Guanzhong area of Shaanxi Province

由图 1 和图 2 可知,冬小麦最佳氮肥用量为 137.0~139.3 kg/hm²,相应产量为 5 436.3~6 651.6 kg/hm²,推荐氮肥用量为 140 kg/hm²;夏玉米最佳氮肥用量为 91.4~196.9 kg/hm²,相应产量为 7 477.2~7 937.9 kg/hm²,推荐氮肥用量为 145 kg/hm²。总体而言,夏玉米最佳氮肥用量变幅较大,超过 100 kg/hm²,说明陕西关中地区土壤性质较复杂,氮肥用量较难控制。

2.2 冬小麦/夏玉米轮作体系农户施氮现状调查与评估

为了更准确地反映当地施肥现状,笔者对位于陕西关中高陵、武功、杨凌地区的农户就农业生产、种植习惯、施肥方法等进行调研,并对土壤氮素残留进行了分析,结果见表 3。

表 3 陕西关中地区冬小麦、夏玉米试验及氮素相关指标

Table 3 Indexes related to nitrogen about field experiment and survey of winter wheat and summer maize in Guanzhong area of Shaanxi Province

作物 Crop	地点 Site	样本数 Content of samples	氮肥用量/ (kg·hm ⁻²) N rate	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield	氮肥偏 生产力/ (kg·kg ⁻¹) PEP _N	硝态氮残留量/ (kg·hm ⁻²) NO ₃ ⁻ -N residue (0~100 cm)	氮肥相对 经济效益/ (元·hm ⁻²) REB _N
冬小麦 Winter wheat	试验 Experiment	5	0	5 153±1 051	—	—	-2 088
		5	140 *	6 651±859 **	48	—	0
	高陵 Gaoling	44	214±136	6 640±814	31	112±47	-342
	武功 Wugong	32	175±111	6 799±647	39	107±61	114
	杨凌 Yangling	24	253±166	6 313±945	25	133±57	-1 100
夏玉米 Summer maize	试验 Experiment	5	0	6 326±618	—	—	-1 446
		5	145 *	7 710±209 **	53	—	0
	高陵 Gaoling	44	312±119	6 715±848	22	124±54	-2 219
	武功 Wugong	32	337±155	6 473±1 006	19	136±53	-2 690
	杨凌 Yangling	24	272±113	6 208±1 278	23	115±48	-2 805

注:数据用“平均值±标准误差”表示,下同;*、** 为试验得出的推荐施氮量及其产量。

Note:The data are expressed by “mean value±standard error”. *, ** means the optimum N rate and its yield from experiment.

由表 3 可知,在所调查范围内,冬小麦氮肥用量变幅为(175±111)~(253±166) kg/hm²,平均为(211±139) kg/hm²。夏玉米氮肥用量变幅为(272±113)~(337±155) kg/hm²,平均为(310±131) kg/hm²。

冬小麦氮肥用量为 0 kg/hm² 时,产量可达

($5\,153\pm1\,051$) kg/hm^2 ; 在推荐氮肥用量 ($140\text{ kg}/\text{hm}^2$) 下, 产量为 ($6\,651\pm859$) kg/hm^2 , 氮肥偏生产力 $48\text{ kg}/\text{kg}$; 所调查高陵、武功、杨凌农户冬小麦产量与推荐氮肥用量下的产量无明显差异, 但施氮量均明显较高, 氮肥偏生产力明显降低。

夏玉米呈现出与冬小麦类似的变化规律, 氮肥用量为 $0\text{ kg}/\text{hm}^2$ 时, 产量可达 ($6\,326\pm618$) kg/hm^2 ; 在推荐氮肥用量 ($145\text{ kg}/\text{hm}^2$) 下, 产量为 ($7\,710\pm209$) kg/hm^2 , 氮肥偏生产力 $53\text{ kg}/\text{kg}$; 所调查高陵、武功、杨凌农户夏玉米产量与推荐氮肥用量下的产量无明显差异, 甚至整体有减产的趋势, 但施氮量均明显较高, 氮肥偏生产力明显降低, 氮肥浪费严重。这说明在播种前, 土壤氮素肥力已经很高, 在不施氮肥的情况下, 依然能够获得相当高的产量。

而这些来自前茬作物累积的氮素, 正是过量施氮造成的。

2.3 农户习惯与推荐氮肥用量下土壤硝态氮含量及经济效益的比较

由于各地区氮肥用量不同, 相应收获后土壤硝态氮含量也有所不同。图 3 显示, 冬小麦表层 ($0\sim20\text{ cm}$) 土壤硝态氮含量以武功>高陵>杨凌; 随着土层深度的增加, 各地土壤硝态氮含量有减小的趋势, 但是在 $80\sim100\text{ cm}$ 土层, 土壤硝态氮含量仍然很高, 以杨凌>高陵>武功。夏玉米表层 ($0\sim20\text{ cm}$) 土壤硝态氮含量为高陵>武功>杨凌; 随着土层深度的增加, 各地土壤硝态氮含量有减小的趋势, 但是在 $80\sim100\text{ cm}$ 土层, 土壤硝态氮含量仍然很高, 以武功>杨凌>高陵。

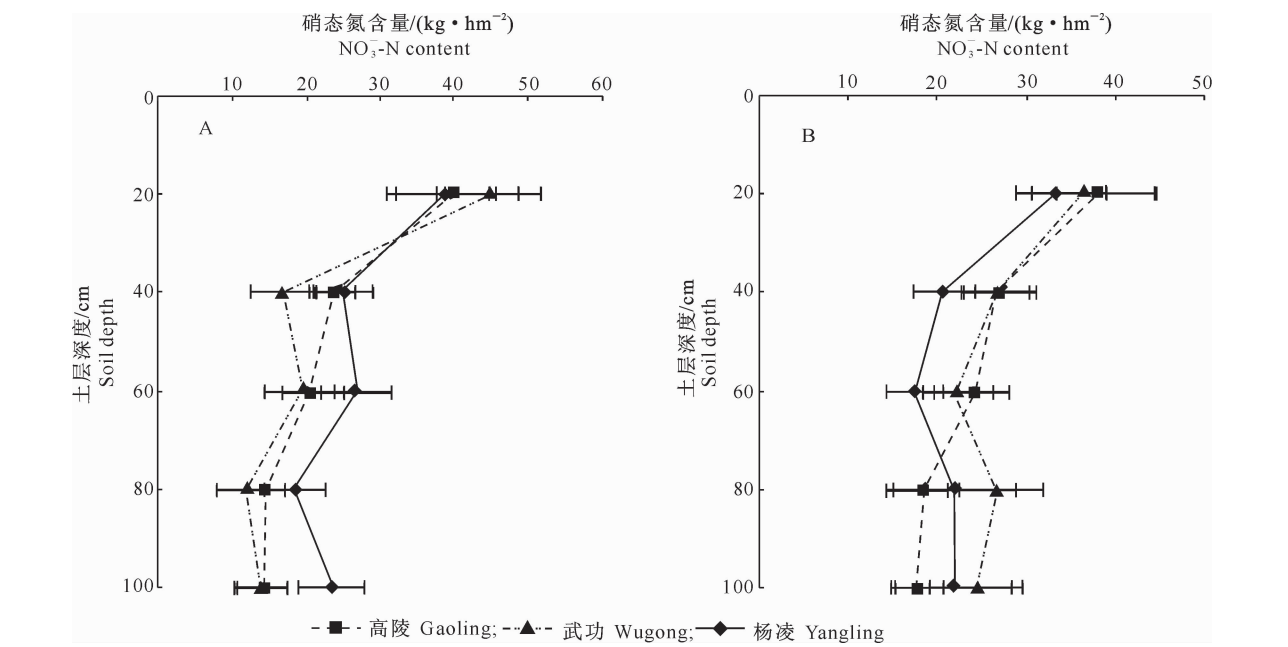


图 3 陕西关中地区冬小麦(A)和夏玉米(B)的土壤硝态氮含量

Fig. 3 Amount of soil nitrate nitrogen residue of winter wheat and summer maize in Guanzhong area of Shaanxi Province

表 3 表明, 在 3 个调查地中, 冬小麦氮肥用量为杨凌>高陵>武功, 分别为 (253 ± 166), (214 ± 136) 和 (175 ± 111) kg/hm^2 , $0\sim100\text{ cm}$ 土层土壤硝态氮含量为杨凌>高陵>武功, 分别为 (133 ± 57), (112 ± 47) 和 (107 ± 61) kg/hm^2 , 分别占氮肥用量的 61%, 53% 和 52%; 夏玉米氮肥用量为武功>高陵>杨凌, 分别为 (337 ± 155), (312 ± 119) 和 (272 ± 113) kg/hm^2 , $0\sim100\text{ cm}$ 土层土壤硝态氮残留量为武功>高陵>杨凌, 分别为 (136 ± 53), (124 ± 54) 和 (115 ± 48) kg/hm^2 , 分别占氮肥用量的 41%, 40% 和 43%。由此可知, 氮肥用量与土壤硝态氮含量间有明显的相关性。

表 3 表明, 由于氮肥用量与产量的差异, 3 个调查地的相对经济效益也不同。高陵、武功、杨凌冬小麦氮肥相对经济效益分别为 -342 , 114 和 $-1\,100$ 元/ hm^2 , 因武功地区冬小麦氮肥用量接近推荐量, 故其氮肥相对经济效益为正值, 其余两地氮肥用量大于推荐量, 故其氮肥相对经济效益均为负值; 高陵、武功、杨凌夏玉米氮肥相对经济效益分别为 $-2\,219$, $-2\,690$ 和 $-2\,805$ 元/ hm^2 , 因以上 3 个地区氮肥用量远大于推荐量, 故其氮肥相对经济效益均为负值, 且值很小。

3 个调查地冬小麦、夏玉米的氮肥平均相对经济效益分别为 -442 和 $-2\,571$ 元/ hm^2 , 均为负值,

总和为 $-3\,014\text{元}/\text{hm}^2$,即农户习惯施肥模式平均一个轮作周期(年)的经济收益比推荐氮肥用量下的经济收益减少 $3\,014\text{元}/\text{hm}^2$,这导致农户收入明显降低。2007年,陕西关中地区冬小麦/夏玉米轮作体系种植面积为 $65\times 10^4\text{hm}^2$ ^[17],据此可得,本地区每年农业收入损失达19.6亿元,占本地区农业总产值(538.3亿元)的3.64%。

3 讨论

本研究通过调查发现,农民冬小麦、夏玉米2种作物氮肥用量与产量之间相关性很差,甚至出现氮肥用量高而其产量降低的现象;另外,氮肥用量变幅及标准差均较高,这说明农民施肥仍存在一定的盲目性。

本研究得出,在陕西关中地区冬小麦/夏玉米轮作体系下,冬小麦、夏玉米推荐氮肥用量分别为140和145 kg/hm²。张树兰等^[18]2000年报道,冬小麦、夏小麦推荐氮肥用量分别为200.0~226.6和112.3~205.0 kg/hm²;李志宏等^[19]、田奇卓等^[20]报道,我国北方小麦合理氮肥用量为120~179 kg/hm²;王圣瑞等^[21]2003年报道,关中灌区冬小麦产量为2 585~7 500 kg/hm²时,优化施氮量为106~221 kg/hm²;同延安等^[9]2004年报道,1997—1998年,陕西关中地区冬小麦、夏玉米的氮素推荐施用量分别为135~180和180 kg/hm²。比较以上研究结果可知,经过近10年的养分累积,关中地区农田土壤中残留氮素增加,需外界补充养分减少,推荐氮肥用量减少,说明农民仍存在过量施肥习惯。

本研究通过调查得出,陕西关中地区当前农民习惯氮肥用量与试验得出的推荐氮肥用量,冬小麦分别为211和140 kg/hm²,夏玉米分别为310和145 kg/hm²,虽然习惯氮肥用量比推荐氮肥用量分别高51%和114%,但二者的产量却无明显差异。同延安等^[9]2004年报道,1997—1998年,陕西关中农户冬小麦氮肥用量平均为 $(178\pm 73)\text{kg}/\text{hm}^2$,夏玉米氮肥用量平均为 $(247\pm 98)\text{kg}/\text{hm}^2$ 。与本研究结果比较表明,10年后农户习惯氮肥用量有增无减,冬小麦、夏玉米平均氮肥用量分别增加了33和63 kg/hm²。

本研究调查数据显示,高陵、武功、杨凌的冬小麦、夏玉米氮肥偏生产力分别为31,39,25和22,19,23 kg/kg;同延安等^[9]2004年报道,1997—1998年,咸阳(距高陵近)、武功、杨凌冬小麦、夏玉米氮肥偏生产力分别为30,32,18和30,32,41 kg/kg。比

较可见,近10年来陕西关中地区冬小麦氮肥偏生产力没有明显变化,而夏玉米明显减小,说明农户过量施氮还在加剧。

本试验发现,即使在不施氮肥的对照区,冬小麦、夏玉米产量仍可分别达 $(5\,153\pm 1\,051)$ 和 $(6\,326\pm 618)\text{kg}/\text{hm}^2$,而农户氮肥用量分别为 (211 ± 139) 和 $(310\pm 131)\text{kg}/\text{hm}^2$ 时,产量分别为 $(6\,612\pm 812)$ 和 $(6\,636\pm 1\,096)\text{kg}/\text{hm}^2$,施氮肥即使产量增加了22.8%和0.4%,与之前报道的47%减少甚多。

本研究调查地冬小麦、夏玉米0~100 cm土层土壤硝态氮含量平均值分别为117.4和125.3 kg/hm²,与欧美等发达国家一般要求0~90 cm土体残留硝态氮低于45 kg/hm²相比明显较高^[22]。大量残留的NO₃⁻-N极易通过淋洗或硝化-反硝化作用,从土壤-作物体系中损失掉,从而对环境造成危害^[23-26]。

杨学云等^[27]1999年报道,陕西省关中灌区氮肥用量由165 kg/hm²增加到330 kg/hm²时,冬小麦产量并没有增加,反而下降了26%,而氮素淋出量却增加了3.1倍。本研究中,冬小麦、夏玉米氮肥用量与土壤硝态氮含量有明显相关性,氮肥用量越高,土壤硝态氮含量也越高,这与杨学云等^[27]的研究结果一致。

4 结论

本研究通过2006—2007年的6个定位试验,得到了陕西关中地区冬小麦/夏玉米轮作体系中东小麦、夏玉米氮肥推荐量分别为140和145 kg/hm²,与10年前相比有所降低。当前陕西关中地区冬小麦、夏玉米习惯氮肥用量依然很高,分别比推荐氮肥用量高51%和114%,与10年前相比,氮肥用量继续升高,氮肥偏生产力下降,过量、盲目施肥问题仍很严重,虽然增加了农民投入,但平均收益减少3 014元/hm²。由此造成冬小麦、夏玉米0~100 cm土层土壤硝态氮含量超标,分别达117.4和125.3 kg/hm²,明显增加了地下水硝酸盐含量,造成环境污染,危害人体健康。因此,为提高关中地区氮肥利用率,降低土壤硝态氮残留量,减少环境污染,增加农民收益,其主要途径是适当减少氮肥用量。

[参考文献]

- [1] 李庆远,朱兆良,于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1998.

- Li Q K, Zhu Z L, Yu T R. The issue of fertilizer application in sustainable agriculture in China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1998. (in Chinese)
- [2] 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.
- [3] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 1980—2006 [M]. 北京: 中国农业出版社.
Editorial Committee of China Agricultural Yearbook. China agricultural yearbook in 1980—2006 [M]. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- [4] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies [J]. Nutr Cycl Agroecosyst, 2002, 63: 117-127.
- [5] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 213-249.
Zhu Z L, Wen Q X. Nitrogen in soils of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992: 213-249. (in Chinese)
- [6] 尹小芳, 同延安, 张树兰, 等. 关中地区小麦/玉米轮作农田硝态氮淋溶特点 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 640-646.
Yin X F, Tong Y A, Zhang S L, et al. Nitrate leaching characteristics of wheat corn rotation farmland in Guanzhong area of Shaanxi [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 640-646. (in Chinese)
- [7] 史进元, 郭占富, 邹美娥. 陕西省施肥现状与展望 [J]. 西北农业学报, 1995(4): 158-163.
Shi J Y, Guo Z F, Zou M E. Fertilizer situation and prospects in Shaanxi province [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 1995(4): 158-163. (in Chinese)
- [8] 郭兆元. 陕西土壤 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
Guo Z Y. Shaanxi soil [M]. Beijing: Science Press, 1992. (in Chinese)
- [9] 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.
Tong Y A, Ove Emteryd, Zhang S L, et al. Evaluation of over application of nitrogen fertilizer in China's Shaanxi province [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(8): 1239-1244. (in Chinese)
- [10] Holden N M, Scholefield D. Paper test strips for rapid determination of nitrate tracer [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26(11): 1885-1894.
- [11] Bischoff M, Hiari A, Turco R F. Evaluation of nitrate analysis using test strips: Comparison with two analytical laboratory methods [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1996, 27(15): 2765-2774.
- [12] 李志宏, 张福锁, 王兴仁. 我国北方地区几种主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究. II: 植株硝酸盐快速诊断方法的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(3): 268-274.
Li Z H, Zhang F S, Wang X R. Nitrogen nutritional diagnosis and recommendation as topdressing fertilizer N for several crops in north China. II: Diagnosis nitrate in plant tissue by quick test method [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Sciences, 1997, 3(3): 268-274. (in Chinese)
- [13] 沙凌杰, 李正英, 朱 丽, 等. 反射仪-硝酸根试纸法现场速测蔬菜硝酸盐水平及其应用 [J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 994-999.
Sha L J, Li Z Y, Zhu L, et al. Nitrate tes-strip-reflectometer for rapid testing nitrate level in cucumber, Chinese cabbage and cabbage in field scene [J]. Journal of Agro Environment Science, 2005, 24(5): 994-999. (in Chinese)
- [14] Cerreto M E, Blackmer A M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer [J]. Agronomy Journal, 1990, 82(1): 138-143.
- [15] 王新民, 介晓磊, 陈士林, 等. 冬小麦与夏玉米轮作肥料效应模型的校验 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(10): 4181-4184.
Wang X M, Jie X L, Chen S L, et al. Verification of fertilization model and recommended fertilization in the crop rotation of winter wheat and summer maize [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(10): 4181-4184. (in Chinese)
- [16] 陈新平, 周金池, 王兴仁, 等. 小麦—玉米轮作制中氮肥效应模型的选择: 经济和环境效益分析 [J]. 土壤学报, 2000, 37(3): 346-354.
Chen X P, Zhou J C, Wang X R, et al. Economic and environmental evaluation on models for describing crop yield response to nitrogen fertilizers at winter wheat and summer corn rotation system [J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(3): 346-354. (in Chinese)
- [17] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴 2008 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
Bureau of Statistics of Shaanxi Province. Statistical yearbook of Shaanxi (2008) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2009. (in Chinese)
- [18] 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)
- [19] 李志宏, 王兴仁, 张福锁. 我国北方地区几种主要作物营养诊断及追肥推荐研究. I: 几种主要作物氮磷施用量的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(3): 262-267.
Li Z H, Wang X R, Zhang F S. Nitrogen nutritional diagnosis and recommendation as topdressing fertilizer N for several crops in north China. I: Recommendation of nitrogen and phosphate fertilizer for several crop in north China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Sciences, 1997, 3(3): 262-267. (in Chinese)