

基于春玉米籽粒产量的渭北旱塬区农户施肥现状评价

王浩, 董朝阳, 王淑兰, 张玉娇, 师祖姣, 张元红, 王瑞, 李军*

(西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:【目的】调查渭北旱塬区农户玉米产量与氮、磷、钾肥的施用量, 分析评价农户产量水平及基于产量的玉米施肥状况, 为指导该区域的科学施肥提供参考。【方法】于2013—2016年在渭北旱塬区东部的澄城、合阳、韩城、黄龙、蒲城等5个县(市), 实地入户调查680户农户玉米施肥量与产量。【结果】1) 农户玉米产量4年平均值为6000 kg/hm², 产量水平属于很低(<4200 kg/hm²)、偏低(4200~5900 kg/hm²)、中等(5900~7600 kg/hm²)、偏高(7600~9300 kg/hm²)、很高(>9300 kg/hm²)水平的农户数量分别占15.5%、26.9%、36.4%、14.4%、6.5%, 低于中等水平农户占42.4%。2) 农户春玉米施氮量4年平均值为249 kg/hm², 其中施氮量属于很低(<76 kg/hm²)、偏低(76~152 kg/hm²)、适中(152~228 kg/hm²)、偏高(228~304 kg/hm²)和很高(>304 kg/hm²)的农户数量分别占4.5%、11.6%、33.9%、35.3%和14.7%, 并且施氮量很低的农户数量呈现出逐年减少趋势, 由2013年的6.9%减少到2016年的2.8%。但施氮量偏高的农户呈现出增加趋势, 由2013年的33.9%增加到2016年的37.1%。3) 农户春玉米施磷量处于一个较为适中的水平, 4年平均磷肥施用量108~126 kg/hm², 平均值为118 kg/hm², 但施磷量很高(>160 kg/hm²)的农户依然存在。4) 农户春玉米施钾量4年平均值为35 kg/hm², 钾肥施用量低于适适量(52~78 kg/hm²)的农户占85.3%。5) 低施氮、磷肥时, 增加氮、磷肥施用, 有良好的增产效果, 随着氮、磷肥施用量的升高氮肥的增产效果明显降低, 但施氮、磷再增高时, 产量会出现下降趋势。6) 未发现施钾量与产量呈现出明显的关系, 但高产量水平主要集中在钾肥施用量40~80 kg/hm², 适量施钾有利于获得较高的籽粒产量。【结论】渭北旱塬区农户玉米籽粒产量总体上仍然处于偏低水平, 在施肥上氮肥过量施用与不足并存, 并且过量施氮农户呈现增加的趋势; 磷肥施用总体上合理, 但不合理施磷农户仍然占有一定的比例; 该区农户不重视钾肥的施用, 但适量施钾有助于获得较高的籽粒产量, 且有助于土壤的可持续利用。

关键词: 渭北旱塬; 农户; 春玉米; 产量; 施肥量

Evaluation on fertilization of farmer practice based on grain yield of spring maize in Weibei dryland

WANG Hao, DONG Zhao-yang, WANG Shu-lan, ZHANG Yu-jiao, SHI Zu-jiao, ZHANG Yuan-hong, WANG Rui, LI Jun*
(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objectives】The study investigated the maize yields and application rates of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) fertilizers in farmer's practices in Weibei dryland area, and made analysis and evaluation about the investigation results, to provide a guidance for scientific fertilizer application.

【Methods】From 2013 to 2016, questionnaire was conducted on fertilization rate and spring maize yield on 680 households from 5 counties, i.e. Chengcheng, Heyang, Hancheng, Huanglong, Pucheng, in the east of Weibei dryland. 【Results】1) The average maize yield in the four-years in the studied area was 6000 kg/hm² and the portion of samples in very low (<4200 kg/hm²), low (4200–5900 kg/hm²), moderate (5900–7600 kg/hm²), high (7600–9300 kg/hm²) and very high (>9300 kg/hm²) yield level was accounted for 15.5%, 26.9%, 36.4, 14.4% and

收稿日期: 2018-01-12 接受日期: 2018-03-14

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD22B02); 国家公益性行业(农业)科研专项(201303104)资助。

联系方式: 王浩 E-mail: haowang@nwsuaf.edu.cn; *通信作者 李军 E-mail: junli@nwsuaf.edu.cn

6.5%, respectively, and 42.4% was below moderate level. 2) The four-year averaged N rate in spring maize was 249 kg/hm², and the portion of samples in very low, low, moderate, high and very high level was 4.5%, 11.6%, 33.9%, 35.3%, and 14.7%, respectively. The percentage of farmers with low N rate declined year by year from 6.9% in 2013 to 2.8% in 2016. However, the percentage of farmers with high N rate increased from 33.9% in 2013 to 37.1% in 2016. 3) The P rates in the research areas were at a relatively moderate level. The average P fertilizer rate in the four years ranged from 108 to 126 kg/hm² with the four-year average of 118 kg/hm². However, farmers applying higher rate of phosphorus (> 160 kg/hm²) still existed. 4) The average K rate in four years was 35 kg/hm² and 85.3% of the farmers applied K rate less than moderate (52–78 kg/hm²). 5) Yield response of spring maize to N and P fertilizers at low rates was high, but yield response to nitrogen fertilizer decreased obviously with the increase of N and P rates, and the yield would decrease at the high N and P rates. 6) No significant relationship existed between K rates and yields, although high grain yield was mainly from K rates at 40–80 kg/hm² and appropriate rate of K was beneficial to obtain higher grain yield. 【 **Conclusions** 】 Generally, the maize grain yields in Weibei dryland areas are still in low levels. Overuse and underuse of N fertilizers are coexisted, and farmers with overuse of N are still increasing. P fertilizer application is generally reasonable, but inappropriate use of P is still existed. Although K application in the right rate helps to obtain higher grain yield and keep sustainable use of soil K, farmers pay little attention to K application.

Key words: Weibei dryland; farmers; spring maize; yield; fertilizer application rate

肥料在保障我国粮食安全中起着不可替代的支撑作用,同时化学肥料利用率低又对环境产生不良影响^[1]。施肥不足,难以满足作物需求,施肥过量则会引起一系列环境问题,影响农田土壤的可持续利用。因此如何利用好肥料资源、提高肥料利用效率是关系到国家粮食安全和环境质量的重大科技问题。在现实生产中,农户是养分管理的决策者,也是保障农业生态环境,实现农业节本增效的突破口,因此分析农户养分管理现状,对于维持作物高产、实现养分高效利用和化肥用量零增长具有重要意义。全国化肥试验网在二十世纪八十年代进行的5000多个肥效试验结果表明,在水稻、小麦和玉米上合理施用化肥比对照不施肥处理平均增产48%^[2]。近年来,随着化肥用量的增加和耕地肥力的逐渐提高,施肥的增产作用有所降低,但依然是作物增产增收最基本的物质保障。正是由于化肥在作物增产中的重要作用,自20世纪50年代以来我国化肥用量不断增加^[3]。在春玉米生产中,农户施肥主要依赖经验或盲目施肥,没有根据全国测土配方指导施肥,无法做到科学施肥,科学生产。彭雪松^[4]对河南省农户玉米施肥调研表明,农户偏施氮肥且用量较高,轻施磷、钾肥,不同区域差异较大,表现出施肥的不合理。孙旭霞^[5]对廊坊市农户调研也表明,农户普遍存在过量施肥的问题。苏效坡等^[6]对吉林施氮量的统计数据表明,在适宜施肥量区间内(160~240

kg/hm²)的农户比例为40.8%,有54.1%的农户过量施用氮肥(>240 kg/hm²),且追肥农户的施氮量比一次性施肥农户更高。常艳丽等^[7]对陕西关中10县调研数据表明,在关中平原小麦—玉米轮作体系中,氮肥施用严重过量,且前期投入偏多、后期投入偏少,同时磷肥偏高是目前该体系养分资源投入中的另一个问题。可以看出,中国玉米生产过程中不合理施肥现象普遍存在,肥料利用效率很低。全国化肥试验网在八十年代的肥效试验结果和近年来在粮食主产区开展的大量研究工作表明,我国平均施用每公斤氮素增产玉米10 kg左右,大田生产中可能更低^[2,8]。与国际上每公斤化肥氮素(N)平均增产水稻22 kg、小麦18 kg、玉米24 kg相比较^[9],当前我国每公斤氮素平均增产粮食的量大约是国际上增产量的一半,氮素的当季作物回收率也显著低于国际平均水平。我国是典型的农户主导型农业生产经营模式,因此提高农户的经营管理水平对农业生产具有重要意义。渭北旱塬是我国重要的旱作玉米生产基地,目前仍然缺少对该区域农户玉米生产进行多点持续调查研究,同时缺少结合测土配方数据对该区春玉米施肥进行系统评价,缺少对该区域农户玉米生产施肥现状的了解。本研究通过4年对该区域春玉米施肥现状进行多点持续调查,明确该区域农户施肥现状,并对该区域农户施肥进行客观评价,以期为该区域农户玉米生产中科学施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 调研区域概况

调研区域位于渭北旱塬东部,地处关中平原东北部、黄河西岸,属典型的黄土残塬沟壑半湿润易旱区。该区平均气温 8~14℃,降雨量 500~600 mm,并且受季风影响表现为年季间降雨差异较大,但总体上分布在 6—9 月,与春玉米生育期基本吻合。调研区农田属于全年无灌溉雨养地。区域土壤有机质为 10~15 g/kg,有效磷 5~15 mg/kg,速效钾 140~200 mg/kg。春玉米是该地区主要粮食作物,一年一熟制种植。

1.2 调研方法与内容

2013—2016 年连续 4 年在渭北旱塬春玉米种植典型的雨养农业区对该区域农户进行调研,农户选择采用定点不定户的方式。选择有代表性的澄城、合阳、韩城、黄龙、蒲城 5 个县(市),分别选择澄城县的赵庄、王庄、冯原 3 个镇,合阳的甘井、金峪、同家庄 3 个镇,蒲城县的罕井、苏坊 2 个镇,黄龙县的三岔乡、石堡 2 个镇,韩城市的管村、龙门 2 个镇进行调研,调研采用问卷调查形式,主要对农户施肥量、肥料种类,肥料养分含量以及春玉米籽粒产量进行调研,4 年共获得有效问卷 680 份。

1.3 产量分级标准

对调研产量进行分析,并利用铝盒取样—烘干法测定农户玉米籽粒含水量,折算实际产量。根据小概率事件原理,去除占调研比例小于 5% 的农户,调研区域玉米籽粒产量介于 4250~9350 kg/hm² 之间。对产量求极差,将产量从 4250~9350 kg/hm² 取整分为 5 个等级:很低, < 4200 kg/hm²; 偏低, 4200~5900 kg/hm²; 中等, 5900~7600 kg/hm²; 偏高, 7600~9300 kg/hm²; 很高, > 9300 kg/hm²。

1.4 合理施肥标准

渭北旱地 184 个取样点测土配方数据表明,该区农田土壤养分含量普遍偏低,供肥和保肥能力通常较差,特别是有机质含量低(11.8~13.4 g/kg),低于全国平均水平 24.65 g/kg,并且磷固定作用强,影响对作物的养分供应^[10]。可以看出该区田块间养分供应能力虽有差异,但差异并不明显,同时施肥除了维持产量水平外,另一重要的任务就是土壤培肥,实现“藏粮于地”的战略目标。因此,确定合理的施肥量,需在维持农田土壤养分平衡和肥力水平提升的基础上,考虑作物产量形成对养分的需求^[11]。

$$\text{合理施肥量} = \text{养分携出量} = \text{产量} \times \frac{\text{养分需求量} \times \text{调整系数}}{\text{养分需求量}} \quad (1)$$

式中:产量为由农户调研获得的实际田块产量。养分需求量指春玉米的百公斤籽粒养分需求量。受降水、气温、生产条件等影响,不同区域玉米养分需求量不同,根据渭北旱地测土配方数据结合玉米养分需求规律,参考于振文^[11]与巨晓棠^[12]的现代推荐标准,生产 100 kg 玉米需氮(N) 2.8 kg、磷(P₂O₅) 1.2 kg、钾(K₂O) 2 kg,调整系数指根据研究区域土壤养分供应能力和农田养分平衡确定的调整施肥数量高低的参数。

$$\text{合理施氮量} = \text{产量}/100 \times 2.8 \times 0.85 \quad (2)$$

式中:设定 0.85 为施氮调整系数。考虑当地玉米生产中普遍存在氮素投入过量,土壤氮素残留过多易受降水影响向深层淋溶损失,施用氮肥时只需补足作物带走的氮素数量即可。而该地区农户普遍实行秸秆还田,秸秆还田氮肥归还量约占 15%^[13-15],因此施氮调控系数取值 0.85。

$$\text{合理施磷量} = \text{产量}/100 \times 1.2 \times 1 \quad (3)$$

式中:设定 1 为施磷调整系数。渭北石灰性土壤有效磷易被固定,但考虑到秸秆还田对土壤磷的补充^[13],只需补充作物带走的磷素数量即可,磷素补施数量与玉米需磷量相当,因此施磷调整系数取值 1。

$$\text{合理施钾量} = \text{产量}/100 \times 2 \times 0.4 \quad (4)$$

式中:设定 0.4 为施钾调整系数。因渭北农田土壤富钾,速效钾含量可高达 160 mg/kg,只需补足作物带走的钾素即可,由于玉米秸秆钾素归还量可占作物含钾量的 60%^[13-14],施钾量仅为作物需钾量的 0.4 倍,因此施钾调整系数取值 0.4。

1.5 施肥水平分级

本研究参考曹寒冰等^[16]的施肥分级标准,以由各农户实际产量计算的推荐施肥量为合理施肥量,以推荐施肥量的 40% 为变幅,分为 5 级进行评价,从低到高依次为 < 0.4 Rec(很低); 0.4 Rec~0.8 Rec(偏低); 0.8 Rec~1.2 Rec(适中); 1.2 Rec~1.6 Rec(偏高); > 1.6 Rec(很高)。具体分级及各级别农户比例见表 1、表 2、表 3。

1.6 数据处理与分析

使用 EXCEL2013 对数据进行处理。采用 SPSS 19.0 软件,通过单因素方差分析,分析产量和肥料的年份效应。利用 Origin 2015 对肥料用量和籽粒产量进行数据线性拟合分析。

2 结果与分析

2.1 农户春玉米氮肥投入量

表 1 为调研区域农户玉米田施氮量分布。农户春玉米施氮量 4 年平均为 249 kg/hm², 在施氮量水平农户分级中, 属于很低的占 4.5%、偏低的占 11.6%、适中的占 33.9%、偏高的占 35.3%、很高的占

14.7%, 调研区域农户施氮量主要集中在适中与偏高范围。年度间变化分析表明, 施氮量很低的农户呈现出逐年减少的趋势, 由 2013 年的 6.9% 减少到 2016 年的 2.8%, 施氮量偏高的农户呈现出增加的趋势, 由 2013 年的 33.9% 增加到 2016 年的 37.1%。同时施氮量很高的农户波动较大 (9.8%~18.1%), 但未呈现出减少的趋势。

表 1 玉米田各施氮水平农户数量在总调查户数中的占比 (%) 与各年份平均施氮量
Table 1 Percentage in total surveyed households of farmer with different N application levels and the averaged N rate in surveyed year

年份 Year	施氮量范围 Range of nitrogen fertilization rate (kg/hm ²)					平均施氮量 Average N rate (kg/hm ²)
	<76 很低 Very low	76~152 偏低 Low	152~228 适中 Moderate	228~304 偏高 High	>304 很高 Very high	
2013	6.9	10.2	33.4	33.9	15.6	258 a
2014	4.6	15.9	35.2	34.5	9.8	231 b
2015	3.8	9.1	33.4	35.6	18.1	266 a
2016	2.8	11.3	33.5	37.1	15.3	242 b
平均 Mean	4.5	11.6	33.9	35.3	14.7	249

注 (Note): 同列数据后不同字母表示不同年份施氮量间存在显著差异 ($P < 0.05$) Values followed by different letters represent significant difference in N rates among years ($P < 0.05$).

2.2 农户春玉米磷肥投入量

表 2 为调研区域农户玉米田磷肥用量分布。可以看出调研区域磷肥用量处于一个较为适中的水平, 4 年平均施磷量处于 108~126 kg/hm², 平均磷肥投入量为 118 kg/hm²。但很高水平磷肥施用农户依然存在, 并占有一定的比例, 2013、2014、2015、

2016 年分别占 12.7%、19.3%、12.5%、17.1%。在施磷量水平农户分级中, 属于很低的占 8.2%、偏低占 30.9%、适中占 30.6%、偏高占 15.0%、很高占 15.4%。可以看出调研区域存在着磷肥施用过量与不足并存的现象。

表 2 玉米田各施磷水平农户数量在总调查户数中的占比 (%) 与各年份平均施磷量
Table 2 Percentage in total surveyed households of farmer with different P application levels and the averaged P rate in surveyed year

年份 Year	施磷量范围 Range of phosphorus fertilization rate (kg/hm ²)					平均施磷量 Average P rate (kg/hm ²)
	<40 很低 Very low	40~80 偏低 Low	80~120 适中 Moderate	120~160 偏高 High	>160 很高 Very high	
2013	9.4	30.2	32.4	15.3	12.7	108 b
2014	8.3	29.7	28.4	14.3	19.3	126 a
2015	9.8	33.2	28.9	15.6	12.5	113 b
2016	5.1	30.3	32.7	14.8	17.1	124 a
平均 Mean	8.2	30.9	30.6	15.0	15.4	118

注 (Note): 同列数据后不同字母表示不同年份施磷量间存在显著差异 ($P < 0.05$) Values followed by different letters represent significant difference in P rates among years ($P < 0.05$).

2.3 农户春玉米钾肥投入量

表 3 为调研区域农户玉米田钾肥施用量分布。

可以看出, 在玉米田施钾量水平农户分级中, 属于很低的占 46.5%、偏低的占 38.8%、适中的占 9.2%、

表 3 玉米田各施钾水平农户数量在总调查户数中的占比 (%) 与各年份平均施钾量
Table 3 Percentage in total surveyed households of farmer with different K application levels and the averaged K rate in surveyed year

年份 Year	施钾量范围 Range of potassium fertilization rate (kg/hm ²)					平均施钾量 Average K rate (kg/hm ²)
	<26 很低 Very low	26~52 偏低 Low	52~78 适中 Moderate	78~104 偏高 High	>104 很高 Very high	
2013	33.9	41.7	15.3	5.8	3.3	38 a
2014	50.0	37.5	9.3	3.1	0	31 a
2015	53.7	36.6	5.3	4.4	0	34 a
2016	48.5	39.2	6.8	5.4	0	36 a
平均 Mean	46.5	38.8	9.2	4.7	0.8	35

注 (Note): 同列数据后不同字母表示不同年份施钾量间存在显著差异 ($P < 0.05$) Values followed by different letters represent significant difference in K rates among years ($P < 0.05$).

偏高的占 4.7%、很高的占 0.8%，4 年平均施钾量为 35 kg/hm²，远低于推荐施钾量 65 kg/hm²，表明渭北旱地玉米田施用钾肥低于适中量的占比很大。

2.4 农户春玉米追肥投入量及比例

表 4 为调研区域农户玉米追肥投入量与比例，

可以看出调研区域玉米田追肥种类主要为氮肥，磷肥与钾肥追肥量和比例均为零。4 年平均氮肥基肥施用量 228 kg/hm²，占氮肥施用量的 91.4%，追肥施用量为 22 kg/hm²，占氮肥施用量的 8.6%。因此该区域氮肥以基肥施入为主，追施为辅。

表 4 玉米田养分基、追施比例和施用量

Table 4 Basal and topdressing proportion and rate of nutrients in maize field

年份 Year	施肥方法 Application way	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		比例 (%) Proportion	用量 (kg/hm ²) rate	比例 (%) Proportion	用量 (kg/hm ²) rate	比例 (%) Proportion	用量 (kg/hm ²) rate
2013	基肥 Basal	91.4	236	100	108	100	38
	追肥 Topdressing	8.6	22	0	0	0	0
2014	基肥 Basal	95.2	220	100	126	100	31
	追肥 Topdressing	4.8	11	0	0	0	0
2015	基肥 Basal	90.6	241	100	113	100	34
	追肥 Topdressing	9.4	25	0	0	0	0
2016	基肥 Basal	88.4	214	100	124	100	36
	追肥 Topdressing	11.6	28	0	0	0	0
平均 Mean	基肥 Basal	91.4	228	100	118	100	35
	追肥 Topdressing	8.6	22	0	0	0	0

2.5 农户春玉米籽粒产量

本研究将玉米籽粒产量分为 5 级 (表 5)。4 年调研结果表明，在玉米产量水平农户分级中，属于很低的占 15.5%、偏低的占 26.9%、适中的占 36.4%、偏高的占 14.4%、很高的占 6.5%，平均产量为 6000 kg/hm²。同时，不同年际间玉米籽粒产量波动较大，主要表现在产量偏低水平 (19.2%~38.9%) 与偏高

(7.2%~24.3%) 变化较大，同时产量低于适中水平比例很高，表明该区玉米籽粒产量低而不稳。

2.6 农户肥料施用量与产量关系分析

图 1a 为农户玉米田施氮量与春玉米籽粒产量关系。可以看出，低施氮时，增加氮肥施用，有良好的增产效果 (曲线斜率)，随着施氮量的升高氮肥的增产效果明显降低，到了较高施氮水平时，此时产

表 5 不同春玉米产量水平农户的百分比 (%) 及其平均产量
Table 5 Proportion of farmer households with different yield level ranges and their mean maize yields

年份 Year	产量水平 Yield level (kg/hm ²)					平均产量 Average yield (kg/hm ²)
	<4200 很低 Very low	4200~5900 偏低 Low	5900~7600 中等 Moderate	7600~9300 偏高 High	>9300 很高 Very high	
2013	10.6	19.2	41.1	18.1	11	6100 a
2014	21.1	38.9	30.3	7.2	2.5	5880 b
2015	19.3	28.6	37.1	8.3	6.7	5728 b
2016	11.3	21.1	37.2	24.3	6.1	6330 a
平均 Mean	15.5	26.9	36.4	14.4	6.5	6000

注 (Note): 同列数据后不同字母表示不同年份平均产量间存在显著差异 ($P < 0.05$) Values followed by different letters represent significant difference in average yields among years ($P < 0.05$).

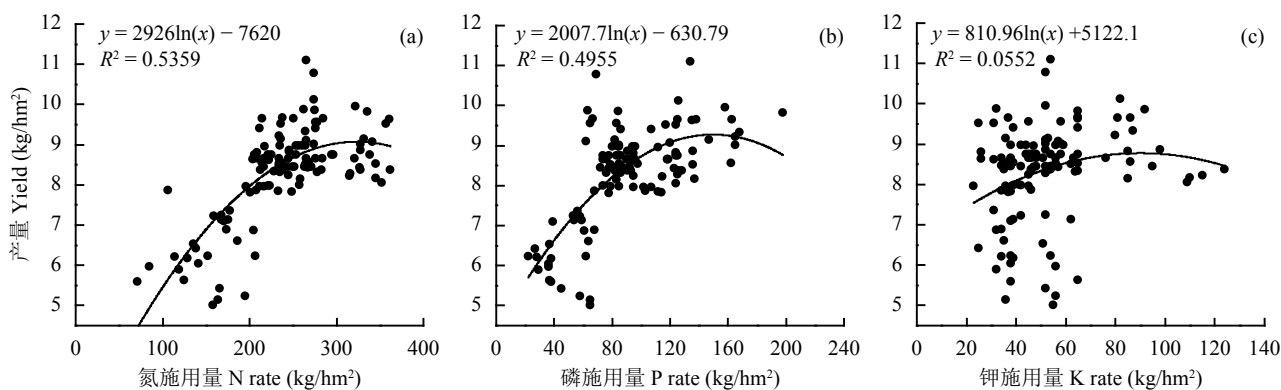


图 1 农户氮、磷、钾肥料施用量与春玉米籽粒产量关系

Fig. 1 Exponential curve fitting between N, P and K rate and grain yield

量呈现出下降的趋势, 说明了氮肥施用是高产的基础, 过量施氮对产量无明显的增加作用, 甚至会出现产量降低的趋势。

图 1b 为农户磷施用量与作物产量的关系。可以看出, 低施磷量时, 增加磷肥施用可以有效增加玉米籽粒产量, 在很高水平施磷量时产量出现明显下降, 同时较高水平的籽粒产量主要集中在高施磷区, 说明了磷肥的增产效果在低水平施磷时受施用量影响较大, 在高水平施磷时则受其他因素影响较大。

图 1c 为钾肥施用与产量的关系, 在本研究所调查的农户中未发现施钾量与产量呈现出明显的关系, 但高籽粒产量水平主要集中在钾肥施用量 40~80 kg/hm², 可以看出, 适量施钾有利于获得较高的籽粒产量。

3 讨论

3.1 农户玉米产量

对 4 年调研数据分析表明, 当地春玉米产量仍

然处于低而不稳的状态, 这主要与该区域年季间降雨差异有关, 并且调研区域均属于全年无灌溉雨养地, 为典型的旱作农业区^[17]。调研区域 2013、2014、2015、2016 年玉米生育期降雨分别为 293、494、273 和 357 mm, 本研究中不同年份玉米籽粒平均产量表现为 2016 > 2013 > 2015 > 2014, 生育期降雨量与产量并未呈现出良好的正相关关系, 并且主要表现在 2014 年生育期降雨 494 mm, 但产量水平低于其他年份, 这主要与降雨在生育期内分布有关。2014 年 6 月与 7 月持续低降雨是导致低产的关键因素, 同时也影响了作物关键生长期农户的追肥, 这也导致了农户后期追肥的减少至 11%, 低于四年平均水平 22%。可以看出, 旱区农业生产的主要限制因子为水分, 充分利用自然降雨解决降雨偏低与季节分布不均的问题是农户增产的关键, 同时农户施肥行为也受到降雨的影响。对该区产量分析发现, 4 年平均玉米籽粒产量 7395 kg/hm², 并且低产量水平农户占 42%, 相比全国玉米籽粒产量水平存在差距, 但这主要是由于自然资源的限制, 但相比

该区域 10 年前产量水平有较大的提升^[18]，这表明了该区域农户生产方式的进步，同时发现该区域有高产量水平的出现，大于 9500 kg/hm² 占 6.5%，说明该区域玉米籽粒产量仍然具有很大的提升空间。

施肥也是影响作物产量的关键因素，尤其是氮肥与磷肥(图 1)。施肥是实现作物潜力产量和培肥土壤的关键措施。如果不考虑环境养分投入或土壤作物系统向环境的养分损失，或认为两者基本平衡^[19]，为了维持作物高产和土壤肥力，养分的投入至少应等于作物携出，如欲使土壤肥力水平有所提高，养分的投入应适当高于作物携出。但从 20 世纪 80 年代后期，开始重视养分投入至今，过量施氮使黄土高原旱地农田土壤氮素残留量明显增加，特别是硝态氮残留已成为一个必须重视的问题^[20]。调查分析发现钾肥对产量的影响并不明显，这主要是因为黄土旱地土壤有效钾丰富，但农户忽略钾肥的施用，作物收获带走的钾素未得到补充，这一地区土壤钾素一直处于消耗状态。所以，虽然该地区土壤有效钾丰富，长期只重视氮肥和磷肥，而忽视钾肥，也会因土壤钾素消耗导致一些田块氮磷钾供应能力失衡。

3.2 农户玉米田肥料投入

4 年调研结果表明，该区域肥料施用适中的农户仅占 32.3%，有 67.7% 的农户存在着肥料施用偏高或偏低的问题，平均施氮量 249 kg/hm²，同时偏高与较高施氮量农户占 49.1%，这一数据表明了该区过量施氮现象严重，但未获得较高的产量水平，因此会造成肥料的大量浪费，过量施氮值得关注。多年研究表明，合理的养分投入管理可以在粮食作物不减产的情况下，减少氮肥施用量^[21-24]，例如我国玉米的大量试验表明，通过养分资源科学管理方法在氮肥减少 30%~60% 的情况下，作物产量并没有减少^[23, 25-26]，这些研究对保护农业生态环境和可持续发展具有重要指导意义。所以合理引导该区施氮量高的农户减少氮肥用量、提高氮肥利用率是今后旱地春玉米施肥工作的重点。

不注重追肥的施用也是该区肥料投入的一个重要问题。4 年调研数据表明，该区域氮肥追肥量仅占氮肥投入总量的 8.6%。氮肥为易挥发性肥料，同时具有较强的促进生长作用，一次性将氮肥作为底肥全部施入，会引起作物前期过度生长，而在水资源有限的旱作农业区势必会对后期作物的生长造成较大影响，氮肥的挥发效应也会引起前期肥料的过度浪费^[27-29]，后期追施氮肥改善了玉米的群体质量，田

间透光率好，植株健壮，抗倒伏能力提高；同时提高了光合产物的生产能力，籽粒形成期叶面积系数大，光合速率高，有利于后期玉米生长以及营养物质向籽粒的转化^[30-31]。因此，肥料追施有利于玉米籽粒产量的提高与肥料的高效利用。

通过对该区域 4 年调查发现，农户磷肥投入基本处于中等水平，磷肥平均投入量 118 kg/hm²，但同时存在着施肥较高和很低的问题，其中 30.4% 的农户磷肥投入量偏多，39.0% 的农户磷肥投入量偏少，因此该区域磷肥施用不合理的问题也应引起关注。钾肥的投入主要集中在偏低水平，其中很低水平的农户占 68.9%，偏低的占 18.3%，仅有 7.5% 的农户钾肥投入量处于适中水平。这主要与该区域土壤钾素含量高有关^[32]。近年来由于产量的提升，土壤钾素移出量增加，很低的钾素投入量必然会导致土壤钾素的收支赤字，合理施用钾肥对该区域土壤可持续生产具有重要的意义。

4 结论

以产量水平为依据，渭北旱地春玉米肥料施用存在的主要问题包括，氮肥施用量偏高与偏低共存，且偏高农户仍然有增加的趋势；磷肥施用基本合理，但仍然表现为偏高与偏低共存；钾肥投入总体偏低，不利于土壤钾素平衡，这也是值得我们关注的问题。

参 考 文 献:

- [1] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
Zhu Z L, Jin J Y. Fertilizer use and food security in China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(2): 259-273.
- [2] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国化肥区划[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Regionalization of fertilizer use in China[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1986.
- [3] 自由路. 我国肥料产业面临的挑战与发展机遇[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 1-8.
Bai Y L. Challenges and opportunities of fertilizer industry in China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2017, 23(1): 1-8.
- [4] 彭雪松. 河南省小麦玉米化肥施用状况与应用效果研究[D]. 郑州: 河南农业大学硕士学位论文, 2012.
Peng X S. Study on chemical fertilizer consumption and application effect on wheat and maize in Henan Province[D]. Zhengzhou: MS Thesis of Henan Agricultural University, 2012.
- [5] 孙旭霞. 廊坊市施肥状况的评价与对策研究[D]. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2005.
Sun X X. Study on countermeasure and evaluation of the fertilizer

- application in Langfang City[D]. Beijing: MS Thesis of China Agricultural University, 2005.
- [6] 苏效坡, 伍大利, 夏婷婷, 等. 吉林省梨树县农户春玉米氮肥施用现状调查[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(5): 46–48, 70.
Su X P, Wu D L, Xia T T, *et al.* Investigation on current status of nitrogen application in spring maize in the farmers of Lishu County Jilin Province[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2015, 40(5): 46–48, 70.
- [7] 常艳丽, 刘俊梅, 李玉会, 等. 陕西关中平原小麦/玉米轮作体系施肥现状调查与评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 51–61.
Chang Y L, Liu J M, Li Y H, *et al.* Investigation and evaluation of fertilization under winter wheat and summer maize rotation system in Guanzhong Plain, Shanxi Province[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2014, 42(8): 51–61.
- [8] 金继运. 我国化肥利用率问题分析[A]. 李华栋. 农业持续发展中的植物养分管理[C]. 南昌: 江西人民出版社, 2008.
Jin J Y. Fertilizer use efficiency in China[A]. Li H D. Plant nutrient management in sustainable agriculture[C]. Nanchang: Jiangxi People's Press, 2008.
- [9] Cassman K G, Dobermann A, Walters D T. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management[J]. *Ambio*, 2002, 31(2): 132–140.
- [10] 刘芬, 同延安, 王小英, 赵佐平. 渭北旱塬春玉米施肥效果及肥料利用效率研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 48–55.
Liu F, Tong Y A, Wang X Y, Zhao Z P. Effects of N, P and K fertilization on spring maize yield and fertilizer use efficiency in Weibei rainfed highland[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(1): 48–55.
- [11] 于振文. 作物栽培学各论(北方版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
Yu Z W. The theory of crop cultivation (Northed)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [12] 巨晓棠. 理论施氮量的改进及验证——兼论确定作物氮肥推荐量的方法[J]. 土壤学报, 2015, 52(2): 249–261.
Ju X T. Improvement and validation of theoretical N rate-Discussion the methods for N fertilizer recommendation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(2): 249–261.
- [13] 岳丹. 不同还田模式下黄土高原旱作农田秸秆腐解特征及养分释放规律研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2015.
Yue D. Study on stubble decomposition characteristics and nutrient release laws under different stubble–returned mode in the Loess Plateau dry farmland[D]. Lanzhou: MS Thesis of Gansu Agriculture University, 2015
- [14] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 1–21.
Song D L, Hou S P, Wang X B, *et al.* Nutrient resource quantity of crop straw and its potential of substituting[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(1): 1–21.
- [15] 纪德智, 王端, 赵京考, 等. 不同氮肥形式对玉米氮、磷、钾吸收及氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 104–109.
Ji D Z, Wang D, Zhao J K, *et al.* Effects of different nitrogen forms on N, P, K uptake of corn and nitrogen balance[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(4): 104–109.
- [16] 曹寒冰, 王朝辉, 赵护兵, 等. 基于产量的渭北旱地小麦施肥评价及减肥潜力分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2758–2768.
Cao H B, Wang Z H, Zhao H B, *et al.* Yield based evaluation on fertilizer application and analysis of its reduction potential in Weibei dryland wheat production[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(14): 2758–2768.
- [17] 李兆元, 葛凤英. 渭北旱原地区的气候资源及其灾害[J]. 陕西气象, 1983, (4): 28–40.
Li Z Y, Ge F Y. Climate resources and their disasters[J]. *Shanxi Climate*, 1983, (4): 28–40.
- [18] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistic yearly book[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.
- [19] 温延臣, 李燕青, 袁亮, 等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 91–99.
Wen Y C, Li Y Q, Yuan L, *et al.* Comprehensive assessment methodology of characteristics of soil fertility under different fertilization regimes in North China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(7): 91–99.
- [20] 党廷辉, 戚龙海, 郭胜利, 郝明德. 旱地土壤硝态氮与氮素平衡、氮肥利用的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3): 573–577.
Dang T H, Qi L H, Guo S L, Hao M D. Relationship between soil nitrate, nitrogen balance and utilization in rainfed land[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(3): 573–577.
- [21] 吴良泉, 武良, 崔振岭, 等. 中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 802–817.
Wu L Q, Wu L, Cui Z L, *et al.* Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(4): 802–817.
- [22] 李玉影, 刘双全, 姬景红, 等. 玉米平衡施肥对产量、养分平衡系数及肥料利用率的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 120–124, 130.
Li Y Y, Liu S Q, Ji J H, *et al.* Effect of balanced fertilization on yield, nutrient balance coefficient and fertilizer use efficiency of corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(3): 120–124, 130.
- [23] 韩瑞芸, 刘志发, 杨世琦, 等. 氮肥减量对东北坡岗地土壤养分及玉米产量的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(24): 63–68.
Han R Y, Liu Z F, Yang S Q, *et al.* Effect of nitrogen fertilizer reduction on soil nutrient and corn yield in slope land of Northeast China[J]. *Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(24): 63–68.
- [24] 王兴龙, 莫太相, 邱传志, 等. 减氮配施有机肥对土壤碳库及玉米产量的影响[J]. 生态环境学报, 2017, 26(8): 1342–1348.
Wang X L, Mo T X, Qiu C Z, *et al.* Effect of nitrogen reduction with organic fertilizer application on soil carbon pool management index and maize yield[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(8): 1342–1348.
- [25] 董强, 吴得峰, 党廷辉, 郭胜利. 黄土高原南部不同减氮模式对春玉米产量及土壤硝态氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 856–863.
Dong Q, Wu D F, Dang T H, Guo S L. Effects of different nitrogen reduction modes on yield of spring maize and nitrate-N residue in soils of the southern Loess Plateau[J]. *Journal of Plant Nutrition and*

- Fertilizer, 2017, 23(4): 856–863.
- [26] Yin Min Htun, 同延安, 韩稳社, 等. 减氮-秸秆还田及双氰胺施用对旱地雨养区冬小麦产量和氮平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(11): 3593–3599.
- Yin M H, Tong Y A, Han W S, *et al.* Effects of reducing N, straw returning and dicyandiamide application on winter wheat yield and nitrogen budgets in rainfed region[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(11): 3593–3599.
- [27] 张婧, 夏光利, 李虎, 等. 一次性施肥技术对冬小麦/夏玉米轮作系统土壤N₂O排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 195–204.
- Zhang J, Xia G L, Li H, *et al.* Effect of single basal fertilization on N₂O emissions in wheat and maize rotation system[J]. Journal of Agro-environment Science, 2016, 35(1): 195–204.
- [28] 郑海泽, 张红芳, 郑彩平, 裴雪霞. 追肥时期与肥料种类对夏玉米产量及水肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(27): 63–68.
- Zheng H Z, Zhang H F, Zheng C P, Pei X X. Effects of topdressing fertilizer stage and types on yield of summer maize varieties and water and fertilizer use efficiency[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(27): 63–68.
- [29] 黄亚萍, 海江波, 罗宏博, 等. 不同种植模式及追肥水平对春玉米光合特性和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(9): 43–50.
- Huang Y P, Hai J B, Luo H B, *et al.* Effects of different planting patterns and top dressing levels on photosynthetic characteristics and yield of spring maize[J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2015, 24(9): 43–50.
- [30] 赵俊晔, 于振文. 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 815–822.
- Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen rate on nitrogen fertilizer use of winter wheat and content of soil nitrate-N under different fertility condition[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 815–822.
- [31] 王福钧, 彭根元, 兰林旺, 等. 应用¹⁵N示踪技术研究水稻吸收肥料氮的动态及不同时期追施氮肥的作用[J]. 中国农业科学, 1981, 14(4): 66–71.
- Wang F J, Peng G Y, Lan L W, *et al.* Studies on the process of fertilizer-N absorption in rice plant by using isotope ¹⁵N and on the effect of the application of N fertilizer[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1981, 14(4): 66–71.
- [32] 刘芬, 王小英, 赵业婷, 同延安. 渭北旱塬土壤养分时空变异与养分平衡研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 110–119.
- Liu F, Wang X Y, Zhao Y T, Tong Y A. Spatial and temporal variation of soil nutrient and nutrient balance status in Weibei rainfed Highland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2): 110–119.