

吉林省玉米化肥投入现状与影响因素分析

袁静超¹, 蔡红光¹, 刘剑钊¹, 张洪喜¹, 梁尧¹, 程松¹,
刘松涛¹, 李德忠², 任军¹

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部东北植物营养与农业环境重点实验室, 长春 130033;

2. 吉林省土壤肥料总站, 长春 130021)

摘要: 基于吉林省东、中、西3个区域51个县(市)的3 060个农户的实证调查, 分析玉米化肥投入现状及其影响因素。结果表明, 吉林省玉米化肥投入量为245~655 kg/hm², 其中东部高、中、低地力水平化肥投入量比推荐施肥分别高11.0%、29.4%和34.6%; 中部高、中、低地力水平化肥投入量比推荐施肥分别高18.9%、21.9%和39.2%; 西部高、中、低地力水平化肥投入量比推荐施肥分别高41.7%、62.1%和74.3%。吉林省东、中、西部3个区域氮肥偏生产力分别为41.1、41.9和38.9 kg/kg, 磷肥偏生产力分别为110.0、108.1和94.4 kg/kg, 钾肥偏生产力分别为102.5、103.4和83.0 kg/kg。吉林省氮、磷、钾肥在减肥增效方面还有较大的提升空间, 需进一步优化土壤作物管理系统, 实现作物产量与效率的协同提高。

关键词: 玉米; 化肥投入; 农户调查

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Analysis on the Current Status and Influencing Factors of Fertilizer Application in Maize in Jilin Province

YUAN Jing-chao¹, CAI Hong-guang¹, LIU Jian-zhao¹, ZHANG Hong-xi¹, LIANG Yao¹, CHENG Song¹,
LIU Song-tao¹, LI Deng-zhong², REN Jun¹

(1. *Institute of Agricultural Resource and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northeast Region MOA, Changchun, 130033;*

2. *General Soil and Fertilizer Station of Jilin Province, Changchun 130012, China)*

Abstract: Based on the empirical investigation of 3 060 farmers of 51 counties(cities) in east, central and west areas of Jilin province, the situation of fertilizer application and its effect on maize yield were evaluated. The results showed that fertilizer input in Jilin province was 245–655 kg/ha. Fertilizer input in the high, middle, and low soil fertility area in eastern Jilin province were 1.0%, 29.4% and 34.6% higher than recommended fertilization amount, respectively. Fertilizer input in the high, middle, and low soil fertility area in central Jilin province were respectively 18.9%, 21.9% and 39.2% higher than the recommended fertilization rate. Fertilizer input in the high, middle, and low soil fertility area in western Jilin province were respectively 41.7%, 62.1% and 74.3% higher than the recommended fertilization rate. In eastern, central, and western regions of Jilin province, partial factor productivity was 41.1, 41.9 and 38.9 kg/kg for N, 110.0, 108.1 and 94.4 kg/kg for P₂O₅, and 102.5, 103.4 and 83.0 kg/kg for K₂O respectively. There is still a large space for reducing the application amount of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer and increasing fertilizer use efficiency in Jilin province. It is necessary to optimize crop–soil management system so as to realize the synergistic improvement of crop yield and efficiency.

Key words: Maize; Fertilizer input; Farmer survey

录用日期: 2020-06-20

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201804)、国家现代农业产业技术体系(CARS-07-G-6)、吉林省玉米产业技术体系专项、吉林省农业科技创新工程人才基金项目(C8223001201)

作者简介: 袁静超(1985-), 女, 硕士, 助研, 主要从事土壤肥料研究。E-mail: jinghao_yuan@163.com

任军为本文通讯作者。E-mail: renjun557@163.com

玉米是吉林省最主要的粮食作物之一,2000~2015年玉米播种面积不断增加,从1 821.1万 hm^2 增至4 251.1万 hm^2 。为改变种植结构不协调,适应经济发展,全面提高农产品质量和国家粮食安全,玉米作为农业部结构调整重点对象,2016年和2017年吉林省玉米种植面积与2015年相比连续下降0.2%和2.1%。同时为推进化肥减量提效,农业部制定了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,2016年和2017年吉林省化肥施用量与2015年相比连续下降0.5%和4.0%。在减少种植面积和化肥用量的同时,玉米产量有所提高^[1,2],大量施用化肥对农民来说并不经济。高强等^[3,4]在2008年对东北地区443个农户施肥现状调查分析指出,施磷偏高与施钾偏低是肥料不合理施用的突出问题,施用有机肥农户仅占总调查农户数量的6%。2005年吉林省玉米一次性施肥面积占玉米总施肥面积的62.5%,最高一次性施肥量可达800 kg/hm^2 ,产量逐年提高,种植密度加大,施肥量也逐年增加,投入成本加大。近年来,多有学者关注如何减少化肥投入的同时,提高肥料养分利用效率^[5,6]。有研究表明,氮肥减施10%至180 kg/hm^2 可提高肥料利用率13.3%~23.3%,产量提高2.2%~8.3%^[7]。与常规施氮相比,减量施氮和秸秆深埋可减少土壤剖面硝态氮含量,阻控土壤硝态氮淋溶下移,从而提高玉米产量^[8]。秸秆还田配施磷肥减量20%初期降低了植株对磷的吸收,随秸秆还田时间的增加不再影响植株对磷素的吸收^[9]。通过技术不断优化,减肥增效可减少成本投入的同时实现效率的提升。本文以吉林省玉米为主要研究对象,就农户玉米施肥现状进行调查,分析当前吉林省玉米施肥中存在的主要问题与影响因素,为该区域减肥增效技术应用与发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据采集

因此采用随机抽样调查方法,2015年1月在吉林省西部(白城、通榆、大安、洮南、镇赉、松原、宁江、长岭、前郭、双辽、乾安)、中部(四平、伊通、扶余、梨树、公主岭、长春、农安、九台、榆树、德惠、双阳、舒兰、吉林、永吉)、东部(敦化、辉南、桦甸、蛟河、磐石、辽源、东丰、东辽、柳河、梅河口、通化、通化县、集安、白山、靖宇、临江、抚松、长白、延边、汪清、龙井、和龙、图们、安图、延吉、珲春)3个生态区域51个县(市)总计3 060个农户进行玉米施肥投入状况的问卷调查,每个县(市)在高、中、低3个地力水平下各随机选取20户进行抽样调查。调查指标包括农户地址、种

植规模、子粒产量、化肥投入量等。其他指标来源于吉林省2018年统计年鉴及吉林省土壤肥料信息网、吉林省农业委员会肥料登记产品公告等资料统计数据^[10]。

1.2 测定项目与方法

采用以下公式计算相关参数^[11,12]:

肥料偏生产力(PFP, kg/kg)= Y/F , Y 为施肥区玉米产量, F 为单一肥料施肥量或总施肥量;

施肥利润(yuan/hm^2)=(施肥玉米产量-不施肥玉米产量) $\times$ 玉米价格-施肥量 $\times$ 肥料价格;

产投比(Input-output ratio)=施肥利润/施肥成本。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel 2016软件对数据进行处理和作图,采用SAS 8.0统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 吉林省化肥使用情况

自1996年以来,吉林省化肥使用量逐年增加,呈现复合肥施用量显著增加、磷钾肥稳步增加、氮肥逐年下降的趋势,至2013年复合肥和氮肥施用量基本一致,随后复合肥施用量稳步上升(图1)。吉林省玉米种植面积与农作物总播种面积和粮食播种面积趋势一致(图2),玉米种植面积于2011年起,占粮食播种面积的70%以上,占农作物播种面积的63%以上,至2015年分别达77%和71%,2017年略有下降。吉林省农化化肥施用以玉米为主,其施用量与玉米种植面积呈显著正相关。

2.2 吉林省玉米化肥投入、养分及经济效益分析

2.2.1 吉林省玉米化肥投入调查

不同生态区域中,东部地区玉米氮、磷、钾肥投入量分别为203.8、76.4、81.8 kg/hm^2 ,投入比例分别为1.00:0.38:0.40;中部地区玉米氮、磷、钾肥投入量分别为217.3、84.2、88.0 kg/hm^2 ,投入比例分别为1.00:0.39:0.41;西部地区玉米氮、磷、钾肥投入量分别为205.4、84.6、96.0 kg/hm^2 ,投入比例分别为1.00:0.41:0.47。

不同农田地力水平条件下,低地力水平农田与高地力水平农田肥料投入差异显著。其中,高地力水平农田玉米氮、磷、钾肥投入量分别为236.5、95.1、100.0 kg/hm^2 ,投入比例分别为1.00:0.40:0.42;中地力水平农田氮、磷、钾肥投入量分别为208.6、80.8、89.4 kg/hm^2 ,投入比例分别为1.00:0.39:0.43;低地力水平农田氮、磷、钾肥投入量分别为181.3、69.3、76.5 kg/hm^2 ,投入比例分别为1.00:0.38:0.42。

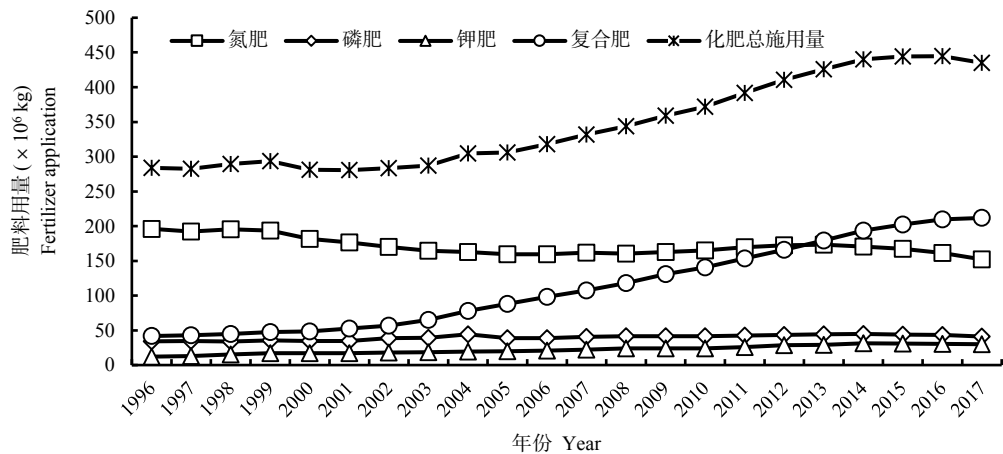


图1 吉林省1996~2017年农用化肥施用量
Fig.1 Fertilizer application in agriculture in Jilin province from 1996 to 2017

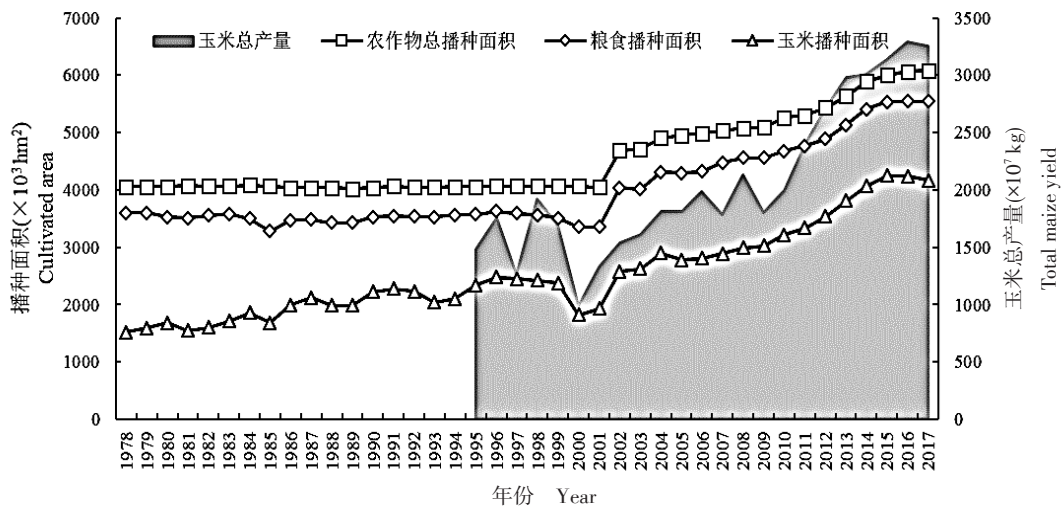


图2 吉林省1978~2017年农作物种植面积和玉米总产量
Fig.2 Total maize planting area and mazie yield of Jilin province from 1978 to 2017

表1 吉林省玉米化肥投入现状(n=3 060)

Table 1 Status of ferlizer input in maize in Jilin province

kg/hm²

区域 Region	地力水平 Soil fertility level	施肥量 Fertilizer application amount		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
东部	高(n=520)	232.0±78.2	89.8±35.3	93.1±22.0
	中(n=520)	202.5±70.8	75.5±14.1	82.6±21.4
	低(n=520)	177.1±62.8	63.9±12.8	69.9±19.2
中部	高(n=280)	235.7±72.2	94.4±19.8	97.5±21.7
	中 (n=280)	218.1±64.5	83.5±14.4	88.1±17.6
	低(n=280)	197.9±63.0	74.8±14.5	78.4±18.0
西部	高(n=220)	241.7±83.5	101.1±24.1 a	109.3±29.6
	中(n=220)	205.2±70.6	83.5±15.0 c	97.5±36.6 b
	低(n=220)	168.8±12.9	69.1±12.9 de	81.1±24.8 cd

2.2.2 吉林省玉米养分偏生产力现状

目前,吉林省不同地区氮、磷、钾肥偏生产力分

别为 28.9~61.6 kg/kg、52.0~185.0 kg/kg、43.4~154.3 kg/kg(表2)。从不同区域来看,吉林省东、中、

西部 3 个生态区氮肥偏生产力分别为 41.1、41.9 和 38.9 kg/kg, 磷肥偏生产力分别为 110.0、108.1 和 94.4 kg/kg, 钾肥偏生产力分别为 102.5、103.4 和 83.0 kg/kg。从不同农田地力水平来看,高、中、低地力水平农田氮肥偏生产力分别为 42.9、40.7 和 38.3 kg/kg, 磷肥偏生产力分别为 106.9、105.2 和 100.5 kg/kg, 钾肥偏生产力分别为 101.9、95.5 和 91.5 kg/kg。

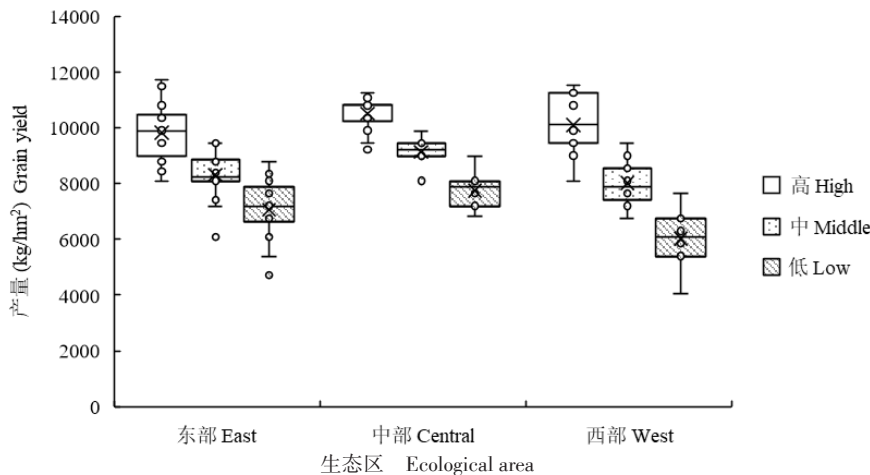
表 2 吉林省玉米氮、磷、钾肥偏生产力(n=3 060)
Table 2 Partial factor productivity of N, P, K in Jilin province

区 域 Region	地力水平 Soil fertility level	氮肥偏生产力			磷肥偏生产力			钾肥偏生产力		
		Partial factor productivity of N			Partial factor productivity of P ₂ O ₅			Partial factor productivity of K ₂ O		
		平均值	区 间	变异系数	平均值	区 间	变异系数	平均值	区 间	变异系数
		Mean	Interval	CV	Mean	Interval	CV	Mean	Interval	CV
东部	高	42.5	30.2 ~ 61.6	15.39	109.4	52.0 ~ 153.0	21.65	105.5	81.0 ~ 154.3	18.44
	中	41.1	30.0 ~ 50.6	12.64	110.6	67.5 ~ 144.0	15.90	101.1	75.0 ~ 162.0	20.13
	低	39.9	28.1 ~ 48.0	13.68	122.3	88.2 ~ 160.0	16.38	111.9	87.5 ~ 180.0	23.73
中部	高	44.6	39.4 ~ 54.9	8.82	111.3	77.1 ~ 150.0	16.44	107.8	94.5 ~ 128.0	13.00
	中	41.8	36.8 ~ 48.6	7.29	109.3	81.8 ~ 126.0	12.34	103.6	88.2 ~ 128.6	10.72
	低	39.2	34.6 ~ 49.1	11.85	103.7	69.2 ~ 156.5	19.93	98.9	75.0 ~ 135.0	15.94
西部	高	41.7	36.0 ~ 49.7	9.40	99.8	69.2 ~ 150.0	27.06	92.3	51.4 ~ 130.6	26.83
	中	39.1	35.6 ~ 45.0	7.80	97.5	60.0 ~ 185.0	20.82	82.2	38.9 ~ 112.5	28.07
	低	35.7	28.9 ~ 43.4	11.11	87.3	62.5 ~ 102.0	13.50	74.4	43.4 ~ 108.0	23.94

2.2.3 化肥投入对玉米产量及经济效益的影响

全省玉米产量范围为 4 050 ~ 11 700 kg/hm² (图 3)。从 3 个生态区来看,吉林省东、中、西部平均产量差异显著($P<0.01$),以中部地区的玉米产量最高,东部地区次之,西部地区最低。化肥投入的多寡不仅为获得高产,也应考虑经济效益和成本投入等情况(表 3)。不施肥条件下吉林省玉米产量平均为 6 600 kg/hm²^[13],施用氮、磷、钾肥增加了玉米种植的

成本投入。吉林省中部地区高地力农田玉米的产值、施肥利润和产投比均为最高,平均分别为 15.77×10³元/hm²、3.95×10³元/hm²和 2.07。与低地力农田比较,高、中地力农田产值显著提高,平均增量分别为 4.79×10³元/hm²、2.31×10³元/hm²。不同地力农田条件下,西部地区产投比均低于吉林省东部和中部,说明其施肥的经济回报较低。



注:箱型框中的实线和叉线分别表示数据集的中值和平均值,上下边界分别表示数据集的25%和75%分位值。
Note: The horizontal solid lines and cross inside boxes indicate the median and the mean of dataset, the upper and lower limits of box represent 25% and 75% of dataset.

图 3 吉林省不同生态区玉米产量分布(n=3 060)
Fig.3 Distribution of maize yield in different ecological areas of Jilin province

表3 施肥对玉米经济效益的影响(n=3 060)
Table 3 Effect of the application of N, P and K fertilizers on economic benefit of maize

区域 Region	地力水平 Soil fertility level	产值 (×10 ³ 元/hm ²) Gross income	氮肥成本 (×10 ³ 元/hm ²) N fertilizer cost	磷肥成本 (×10 ³ 元/hm ²) P ₂ O ₅ fertilizer cost	钾肥成本 (×10 ³ 元/hm ²) K ₂ O fertilizer cost	施肥利润 Net profit	产投比 Profit-to-input ratio
东部	高	14.74±1.4	0.95±0.15	0.43±0.12	0.48±0.08	2.98±1.4	1.63±0.8
	中	12.48±1.1	0.83±0.11	0.36±0.06	0.43±0.07	0.96±1.1	0.58±0.6
	低	10.60±1.4	0.73±0.11	0.30±0.06	0.37±0.07	-0.70±1.3	-0.58±1.0
中部	高	15.77±0.9	0.97±0.06	0.45±0.09	0.51±0.07	3.95±0.80	2.07±0.47
	中	13.69±0.7	0.89±0.06	0.40±0.06	0.46±0.05	2.04±0.68	1.17±0.4
	低	11.63±0.8	0.81±0.07	0.36±0.07	0.41±0.05	0.16±0.86	0.11±0.6
西部	高	15.13±1.5	0.99±0.13	0.48±0.11	0.57±0.15	3.19±1.5	1.59±0.8
	中	12.03±1.2	0.84±0.12	0.40±0.09	0.51±0.17	0.38±1.1	0.19±0.6
	低	9.05±1.4	0.69±0.11	0.33±0.07	0.42±0.14	-2.29±1.2	-1.73±1.14

注:玉米市场价格按1.5元/kg计,N、P₂O₅、K₂O价格分别为4.1、4.75和5.2元/kg计,不施肥条件下吉林省玉米产量按6 600 kg/hm²计。
Note: The market prices are 1.5 yuan/kg for maize, 4.1 yuan/kg for N, 4.75 yuan/kg for P₂O₅ and 5.2 yuan/kg for K₂O. The average grain yeild without N fertilizer is 6 600 kg/ha in Jilin province.

2.3 吉林省玉米化肥投入影响因素分析

2.3.1 吉林省玉米施肥现状评估

依据吉林省农业委员会肥料登记产品公告资料统计,2015年以来,在吉林省销售的肥料主要有掺混、复混、有机-无机复混、有机、水稻苗床调理剂等,其中正式登记的企业中,生产玉米高氮掺混肥、高氮复混肥、高氮有机-无机复混肥分别占总肥料品种数29.1%、3.6%、0.5%,玉米有机-无机复混肥占总肥料品种数2.7%,玉米有机肥占总肥料品种数3.1%,可见,吉林省玉米施肥现状还是以化肥为主,有机肥施用有限,使得土壤碳源补充不足,土壤运行能力下降,固碳能力减弱。在土壤干旱或养分缺乏的地区,为维持产量,农户不得不加大施肥量致使养分利用率降低,易造成亚硝酸盐积累,土壤碳氮比失衡,加剧土壤质量的恶化。吉林省玉米播种面积占粮食作物播种面积的80%以上,玉米连作使土壤多处于“超负荷”状态^[14],传统耕作模式下农户秋季清理田间秸秆,储备足够燃料后,冗余直接在田间焚烧时有发生,常引起土壤风蚀和墒情散失,浪费秸秆资源的同时对生态环境造成了负面影响^[15]。

为科学施肥,减少化肥投入,提高肥料利用率,近年来吉林省大力推动测土配方施肥、有机肥部分替代、秸秆还田技术以及缓控释肥等新型肥料施用,但受农民年龄、文化程度、经济水平、政府补贴政策等影响接受程度比例较低,具有一定规模的家庭农场、合作社接受程度比例较高。这可能有以下3个方面的原因,一是农民风险回避行为,根据自身多年经验和习惯作为化肥施用量的确定依据^[16];二是农

民对有机肥认知简单,加之有机肥成本高和运输不便等原因,农户在无补贴的前提下大部分选择仅使用化肥^[17];三是农民机械化普及率较低,多数以小拖拉机作为机械工具,搭载播种器、镇压轮、犁铧等作业工具,大型农机装备不足^[18]。纵观国内外研究,前人通过对美国密歇根州西南部1 000户种植玉米的农户进行了调查,几乎所有农户认为多施用氮肥会降低风险,多数农民不愿加入减氮计划^[19]。朱利群等^[20]通过对苏浙皖3省596个农户样本调研数据分析,25%的农户认为使用有机肥农产品品质好,24%农户认为使用有机肥对环境危害小,因其成本及需要大量劳动力等问题影响了其采用有机肥和化肥配施技术的意愿和积极性。可见,为了追求产量最大化和易操作性,即使在国外发达国家或是国内发达地区农民对于新型施肥技术的采纳意愿受多方面因素的制约和影响。

2.3.2 吉林省玉米施肥水平提高对策

2.3.2.1 肥料施用技术优化

近年来,东北地区的科研单位化肥减施增效、有机替代等领域开展了大量研究与示范,构建了以“减氮分次调控、磷钾衡量监控、适量补施中微”为核心的区域性高产玉米高效施肥技术模式^[21]。通过合理的氮、磷、钾肥用量,减少氮肥基施比例,增加玉米后期养分供给,确保玉米不同生育期对养分需求的持续供应,取得较高的玉米产量和肥料利用率。张磊等^[22~23]明确了雨养区速效性氮肥和缓/控释氮肥的配施比例及适宜用量。侯云鹏等^[24]在吉林西部半干旱地区建立了滴灌条件下养分高效运筹技术模式,

提出了氮磷钾肥适宜用量和随水施用比例。

吉林省每年可收集秸秆约4 000万t,秸秆直接还田是最为经济有效的利用方式。目前,玉米秸秆直接还田以深翻和覆盖为主。蔡红光等^[25]研究表明,秸秆全量深翻还田有效改善土壤结构特征,补充土壤养分,改善了土壤的酸碱度。根据吉林省区域生态特征,分别建立东、中雨养区与西部灌溉区玉米秸秆全量深翻还田耕种技术体系,实施秸秆深翻还田后雨养区氮、磷、钾肥偏生产力较农户习惯分别提高32.2%、37.7%、29.6%,灌溉区、磷、钾肥偏生产力较农户习惯分别提升41.1%、46.1%、46.6%,且实现了土壤“体型”和“体质”的优化^[26]。蔡丽君等^[27]研究表明,秸秆覆盖还田免耕可显著增加土壤酶活性,有效提高土壤固氮率,节约种植成本。

畜禽粪便经无害化处理后还田是培肥地力的一种有效方式。研究表明,畜禽粪便所产生的养分总量每年可替代氮、磷、钾肥分别为1 278.50万、366.16万、928.44万t,吉林省所产生的畜禽粪便可替代氮、磷、钾肥潜力分别为37.55万、10.52万、28.94万t^[28]。李慧等^[29]研究表明,化肥配施有机肥可稳步提升玉米产量的可持续性指数,是提升土壤肥力,保障黑土资源可持续利用的重要措施。吉林省有机肥施用技术相对成熟,但畜禽粪便无害化处理技术及与种植业相结合实现种养循环尚存在一定距离。

2.3.2.2 加强宣传引导,实施政策鼓励

农户认知是农户采纳新技术的关键影响因素。科研院所与当地农技部门合作,充分发挥基层宣传,建立示范样板田,通过现场观摩会、培训会、远程网络专家答疑、宣传册、展示牌等多种方式加大宣传力度,并注重当地种粮大户、家庭农场、合作社等的示范引领作用,向农户传递新技术在化肥减量增效、降本增收、保障土地可持续利用、减轻农业生产对环境污染等方面的重要作用^[30],以达到农户采纳新技术意愿的目标。吉林省玉米种植从种子繁育、肥料生产和施用、耕作技术和栽培技术以及机械配套设备和销售渠道等,都已经形成了一整套技术体系,在实施化肥配套技术、秸秆还田、有机培肥等新技术和机械配套^[31]、有机肥成本是当前面临的突出问题,再加之土壤质量的改善需要周期性,农民短期难以看到成效,因此政府应根据当地农业发展现状,因地制宜实施政策扶持,给予一定的政策补贴,进一步增强农户采纳意愿。

3 展 望

2019年10月,国务院新闻办公室发表《中国的

粮食安全》白皮书^[32],明确指出继续“藏粮于地,藏粮于技”战略,确保节本增效,粮食安全。本研究对吉林省3个生态区51个县(市)3 060户进行调查,结果表明,吉林省玉米化肥投入量为245~655 kg/hm²,其中,东部高、中、低地力水平平均化肥投入量分别为415、361、311 kg/hm²,中部高、中、低地力水平平均化肥投入量分别为428、390、351 kg/hm²,西部高、中、低地力水平平均化肥投入量分别为452、386、319 kg/hm²,高于根据农业农村部《2018年春季主要农作物施肥指导意见》中的推荐施肥量11.0%~74.3%^[33]。农民普遍认为,高化肥投入可以换来高产量回报。随着科技水平和意识观念的不断进步,在生态振兴背景下如何引导农民采用合理的用量、合适的肥料、适宜的技术,进行绿色施肥,实现减肥增效已迫在眉睫^[34,35]。养分偏生产力高低是评估“减肥增效”技术效果的重要指标,吉林省东、中、西部3个生态区氮肥偏生产力分别为41.1、41.9和38.9 kg/kg,磷肥偏生产力分别为110.0、108.1和94.4 kg/kg,钾肥偏生产力分别为102.5、103.4和83.0 kg/kg,平均施肥利润仅为1.19×10³元/hm²,产投比为0.56。吉林省玉米生产在减肥增效方面还有较大的提升空间。如何推广减肥增效的理念及技术,实现产量和效率协同提高,这与农户的行为决策、适宜品种的选择^[36]、耕作措施的完善^[37],新型肥料的使用^[38]、施肥技术的改良^[39]等密切相关。

我国始终将农业可持续发展放在突出位置,未来中国依然面对粮食安全压力,推行绿色生产方式,即通过化肥减施增效、秸秆还田、畜禽粪便无害化利用等途径可实现玉米绿色种植,并基于规模化经营主体示范引领,技术模式的标准化实施,可进一步增强农业可持续发展能力,实现粮食安全,经济、社会、生态等共赢。

参考文献:

- [1] 吉林省统计局,国家统计局吉林调查总队. 2018吉林统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2018.
- [2] 农业部办公厅. 农业部关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》[Z]. 2015.
- [3] 高 强,冯国忠,王志刚. 东北地区春玉米调查现状调查[J]. 中国农学通报,2010,26(14):229-231.
Gao Q, Feng G Z, Wang Z G. Present situation of fertilizer application on spring maize in northeast China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(14): 229-231. (in Chinese)
- [4] 高 强,李德忠,黄立华,等. 吉林玉米带玉米一次性施肥现状调查分析[J]. 吉林农业大学学报,2008,30(3):301-305.
Gao Q, Li D Z, Huang L H, et al. Investigation of present situation on single fertilization for maize in Jilin maize belt[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30(3): 301-305. (in Chinese)

- [5] 仇少君,李 宁,何 萍,等.典型黑土春玉米化学肥料养分利用效率变化研究[J]. 中国农业科学,2019,52(16):2824-2834.
Qiu S J, Li N, He P, et al. Nutrients use efficiency change of chemical fertilizers for spring maize in a typical black soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(16): 2824-2834. (in Chinese)
- [6] 刘 莉,刘 静.基于种植结构调整视角的化肥减施对策研究[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(1):17-25.
Liu L, Liu J. Study on the path of chemical fertilizer reduction from the perspective of planting structure adjustment[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(1): 17-25. (in Chinese)
- [7] 胡 娟,吴景贵,孙继梅,等.氮肥减量与缓控肥配施对土壤供氮特征及玉米产量的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(4):116-120,194.
Hu J, Wu J G, Sun J M, et al. Effects of reduced nitrogen fertilization and its combined application with slow and controlled release fertilizers on soil nitrogen characteristics and yield of maize[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(4): 116-120, 194. (in Chinese)
- [8] 吴三鼎,董 强,党廷辉.减量施氮及秸秆深埋对春玉米地土壤电导率和硝态氮淋溶的影响[J]. 水土保持学报,2018,32(6):46-51.
Wu S D, Dong Q, Dang Y H. Effects of reduced nitrogen application and deep burial of straw on soil electrical conductivity and nitrate nitrogen leaching in spring maize field[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(6): 46-51. (in Chinese)
- [9] 王秀娟,解占军,何志刚,等.秸秆还田条件下减量施磷对玉米产量、磷素利用率及土壤磷含量的影响[J]. 河南农业科学,2018,47(8):39-44.
Wang X J, Xie Z J, He Z G, et al. Effects of reducing phosphorus application on maize yield, phosphorus use efficiency and soil phosphorus content under straw returning condition[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2018, 47(8): 39-44. (in Chinese)
- [10] 吉林省土壤肥料信息网.吉林省农业委员会肥料登记产品公告[EB/OL]. <http://www.jltf.cn/list.asp?dh=fzgl&classid=56>, 2019-09-27.
- [11] Chen G F, Cao H Z, Chen D D, et al. Developing sustainable summer maize production for smallholder farmers in the North China plain: an agronomic diagnosis method[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(8): 1667-1679.
- [12] 王宜伦,刘天学,赵 鹏,等.施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收集土壤硝态氮的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(12):2483-2491.
Wang Y L, Liu T X, Zhao P, et al. Effect of nitrogen fertilizer application on yield, nitrogen absorption and soil nitric N in super-high-yield summer maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(12): 2483-2491. (in Chinese)
- [13] 王 寅,冯国忠,焉 莉,等.吉林省玉米施肥效果与肥料利用效率现状研究[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(6):1441-1448.
Wang Y, Feng G Z, Yan L, et al. Present fertilization effect and fertilizer use efficiency of maize in Jilin province[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(6): 1441-1448. (in Chinese)
- [14] 张 彬,郭庆海.吉林省玉米带种植结构与生态环境问题研究[J]. 玉米科学,2016,24(3):162-166.
Zhang B, Guo Q H. Study on the planting structure and ecological environment of corn belt in Jilin province[J]. *Journal of Maize Science*, 2016, 24(3): 162-166. (in Chinese)
- [15] 米国华,伍大利,陈延玲,等.东北玉米化肥减施增效技术途径探讨[J]. 中国农业科学,2018,51(4):2758-2770.
Mi G H, Wu D L, Chen Y L, et al. The ways to reduce chemical fertilizer input and increase fertilizer use efficiency in maize in northeast China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(4): 2758-2770. (in Chinese)
- [16] 杨宏菲.长春市农户化肥施用行为的影响因素研究[D].长春:吉林大学,2019.
- [17] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
Ju X T, Gu B J. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(4): 783-795. (in Chinese)
- [18] 杨淑杰,李玉波.吉林省农业机械化与粮食产量灰色关联分析[J]. 中国农机化学报,2018,39(8):101-107.
Yang S J, Li Y B. Grey correlation between agricultural mechanization and grain yield in Jilin province[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2018, 39(8): 101-107. (in Chinese)
- [19] Stuart D, Schewe R L, Mcdermott M. Reducing nitrogen fertilizer application as a climate change mitigation strategy: Understanding farmer decision-making and potential barriers to change in the US [J]. *Land Use Policy*, 2014, 36: 210-218.
- [20] 朱利群,王 珏,王春杰,等.有机肥和化肥配施技术农户采纳意愿影响因素分析——基于苏、浙、皖三省农户调查[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(3):671-679.
Zhu L Q, Wang J, Wang C J, et al. Analysis of influencing factors on Farmers' adoption of the application technology of organic fertilizer combined with chemical fertilizer—based on the survey of farmer households in Jiangsu, Zhejiang and Anhui[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(3): 671-679. (in Chinese)
- [21] 蔡红光,张秀芝,闫孝贡,等.吉林省春玉米土壤中微量元素潜在缺乏初探[J]. 玉米科学,2013,21(3):71-75.
Cai H G, Zhang X Z, Yan X G, et al. Preliminary study on hidden deficiency of secondary and trace elements in spring maize in Jilin province[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(3): 71-75. (in Chinese)
- [22] 张 磊,杨 建,侯云鹏,等.控释氮肥与速效氮肥配施对玉米氮素吸收及利用的影响[J]. 东北农业科学,2017,42(1):24-27.
Zhang L, Yang J, Hou Y P, et al. Effect of combined application of controlled-release nitrogen fertilizer and fast-release nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization of maize[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2017, 42(1): 24-27. (in Chinese)
- [23] 张 磊,王立春,孔丽丽,等.不同施肥模式下春玉米养分吸收利用和土壤养分平衡研究[J]. 土壤通报,2017,48(5):1169-1176.
Zhang L, Wang L C, Kong L L, et al. Nutrient utilization and soil nutrient of spring maize under different fertilizer application modes

- [J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 2017, 48(5): 1169–1176. (in Chinese)
- [24] 侯云鹏,孔丽丽,李 前,等. 滴灌施氮对春玉米氮素吸收、土壤无机氮含量及氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 238–245.
- Hou Y P, Kong L L, Li Q, et al. Effects of drip irrigation with nitrogen on nitrogen uptake, soil inorganic nitrogen content and nitrogen balance of spring maize[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2018, 32(1): 238–245. (in Chinese)
- [25] 蔡红光,梁 尧,刘慧涛,等. 东北地区玉米秸秆全量深翻还田耕种技术研究[J]. 玉米科学, 2019, 27(5): 123–129.
- Cai H G, Liang Y, Liu H T, et al. Research on full maize straw returning with deep ploughing mode in the northeast China[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(5): 123–129. (in Chinese)
- [26] 梁 尧,蔡红光,闫孝贡,等. 玉米秸秆不同还田方式对黑土肥力特征的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(6): 107–113.
- Liang Y, Cai H G, Yan X G, et al. Effect of different maize straw-returning modes on the fertility of black soil[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(6): 107–113. (in Chinese)
- [27] 蔡丽君,张敬涛,盖佳志,等. 免耕条件下秸秆还田量对土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 1127–1132.
- Cai L J, Zhang J T, Gai J Z, et al. Effect of the amount of stalk return to field on soil enzyme activities under No-tillage[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2015, 46(5): 1127–1132. (in Chinese)
- [28] 王志国,李辉信,岳明灿,等. 中国畜禽粪尿资源及其替代化肥潜力分析[J]. 中国农学通报, 2019, 35(26): 121–128.
- Wang Z G, Li H X, Yue M C, et al. Livestock manure resources and their replace potential fertilizer in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(26): 121–128. (in Chinese)
- [29] 李 慧,徐明岗,朱 平,等. 长期培肥我国典型黑土玉米氮肥效应的演变趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1506–1513.
- Li H, Xu M G, Zhu P, et al. Change of nitrogen use efficiency of maize affected by long-term manure fertilization in the typical black soil[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(6): 1506–1513. (in Chinese)
- [30] 李子琳,韩 逸,郭 熙,等. 基于SEM的农户测土配方施肥技术采纳意愿及其影响因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2119–2129.
- Li Z L, Han Y, Guo X, et al. Analysis of factors on farmer's willingness to adopt soil testing and formula fertilization technology based on SEM[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(9): 2119–2129. (in Chinese)
- [31] 高 巍,陈 志,黄玉祥,等. 吉林省农户采用玉米机械化收获的影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 175–168.
- Gao W, Chen Z, Huang Y X, Yang M L. Analysis of influencing factors on famers' adoption of maize mechanized harvesting in Jilin province[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2012, 43(S): 175–168. (in Chinese)
- [32] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 《中国的粮食安全》白皮书(全文) [EB/OL]. <http://www.scio.gov.cn/zfbps/32832/Document/1666192/1666192.htm>, 2019–10–14.
- [33] 农业农村部种植业管理司,全国农业技术推广服务中心,农业农村部科学施肥专家指导组. 2018年春季主要农作物科学施肥指导意见[N]. 农民日报, 2018–03–30(007).
- [34] 王 恒,易小燕. 绿色发展背景下农户施肥及其决策行为研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(8): 1284–1292.
- Wang H, Yi X Y. Advances in research on fertilization and decision-making behavior of farmers in the context of green development[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(8): 1284–1292. (in Chinese)
- [35] Bai Z G, Thomas C, Maria R G, et al. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2018, 265: 1–7.
- [36] Chen Y L, Xiao C X, Chen X C, et al. Characterization of the plant traits contributed to high grain yield and high grain nitrogen concentration in maize[J]. Field Crops Research, 2014, 159: 1–9.
- [37] 张泽慧,吴 帅,翟 成,等. 耕作措施与不同秸秆还田方式对黑土物理指标及固定态铵的影响[J]. 玉米科学, 2019, 27(3): 102–107.
- Zhang Z H, Wu S, Zhai C, et al. Effects of tillage and straw returning on soil physical properties and fixed ammonium[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(3): 102–107. (in Chinese)
- [38] 解文艳,周怀平,杨振兴,等. 不同缓控释氮肥对连作春玉米产量及氮肥去向的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 207–214.
- Xie W Y, Zhou H P, Yang Z X, et al. Effects of different slow controlled-release fertilizers on grain yield and nitrogen fate in continuous spring maize production[J]. Journal of Soil and Water, 2019, 33(3): 207–214. (in Chinese)
- [39] Wei S S, Wang X Y, Zhu Q C, et al. Optimizing yield and resource utilization of summer maize under the conditions of increasing density and reducing nitrogen fertilization[J]. The Science of Nature, 2017, 104: 11–12.

(责任编辑: 栾天宇)