

河西走廊灌溉玉米施肥现状评价与减肥对策

赵建华¹, 孙建好¹, 陈亮之¹, 马明生², 张绪成², 孙宁科³

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070;

3. 张掖市农业科学院, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 选取河西走廊灌溉玉米典型种植区张掖, 连续2年进行农户调查玉米施肥现状及存在问题。结果表明, 玉米产量两年平均为 12 589 kg/hm², 两年均是中产等级的样本数占总样本数的比例最高。氮肥投入处于偏高(438 ~ 584 kg/hm²)和很高(>584 kg/hm²)等级以上的占比为 47%(2018年)和 76%(2019年), 磷肥投入处于偏高(187 ~ 250 kg/hm²)和很高(>250 kg/hm²)等级以上的占比为 88%(2018年)和 38%(2019年), 钾肥投入处于偏低(104 ~ 208 kg/hm²)和很低(<104 kg/hm²)等级的占比为 26%和 68%(2019年); 两年平均 N 525.3 kg/hm², P₂O₅ 236.3 kg/hm², K₂O 87.1 kg/hm², 平均 N、P₂O₅、K₂O 的肥料偏生产力(PFP)分别为 25.0、53.5、102.6 kg/kg, 远低于全国平均。调研结果表明, 河西灌溉玉米氮磷肥施用严重过量, 钾肥投入盲目, 有机肥不受重视。应通过优化田间管理、选用新型肥料、配施有机肥等措施, 有效减少化肥投入, 实现玉米绿色可持续生产。

关键词: 玉米; 农户调研; 河西走廊; 施肥; 化肥减量

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Evaluation of Fertilizer Application and Fertilizer Reduction for Maize Production in Hexi Corridor

ZHAO Jian-hua¹, SUN Jian-hao¹, CHEN Liang-zhi¹, MA Ming-sheng², ZHANG Xu-cheng², SUN Ning-ke³

(1. *Institute of Soil Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou*

730070; 2. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070;

3. Zhangye Academy of Agricultural Sciences, Zhangye 734000, China)

Abstract: A two-year farmer survey was carried out in Zhangye city, a typical planting area of irrigated maize, in order to understand the situation and problems of fertilization in Hexi Corridor in Gansu province, China. The results showed that on average over two years, the yield of maize was 12589 kg/ha, and the percentage of farmers with the medium yield level was the highest. The proportion of farmers applying nitrogen fertilizer above the high(438–584 kg/ha) and very high(>584 kg/ha) levels was 47%(2018) and 76%(2019), respectively. The proportion of farmers applying phosphate fertilizer at the high(187–250 kg/ha) and high(>250 kg/ha) levels was 88%(2018) and 38%(2019), respectively. The proportion of farmers applying potassium fertilizer at the low(104–208 kg/ha) and very low(<104 kg/ha) levels was 26%(2018) and 68%(2019), respectively. The average fertilizer input over the two years was 525 kg/ha, 236 kg/ha, 87 kg/ha for N, P₂O₅ and K₂O, respectively. The average fertilizer partial productivity(PFP) for N, P₂O₅, and K₂O was 25.7, 55.4, 107.9 kg/kg, respectively, which is much lower than the national average value. These results indicated that the application of nitrogen and phosphorus fertilizers in irrigated maize in Hexi Corridor was seriously excessive. Potassium fertilizer was blindly applied, and the organic fertilizer was overlooked. The situation may be improved in some ways, such as optimizing field management, new fertilizer application, organic fertilizer application and so on, to achieve sustainable maize production.

Key words: Maize; Farmer investigation; Hexi Corridor; Fertilization; Fertilizer reduction

录用日期: 2020-06-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201808-02)

作者简介: 赵建华(1980-), 内蒙古额济纳旗人, 副研究员, 主要研究方向为作物栽培与农田生态学。Tel: 13893354564

E-mail: zhaojianhuatt@163.com

孙建好为本文通讯作者。E-mail: sunjianhao@126.com

河西走廊是我国重要的商品粮基地,玉米是该区域主栽作物,栽培面积约占适播区播种面积的50%以上^[1]。玉米已经成为该区域重要的粮饲来源,具有重要的战略意义。由于河西走廊灌区得天独厚的生态条件,玉米在该区域的单产相对较高,平均产量达12 720 kg/hm²^[2]。在玉米种植过程中,种植户缺乏肥料使用的科学认识,一味通过增施化学肥料来追求高产,这不但造成了化肥资源浪费,而且产生诸多负面影响^[3~5]。2016年,国家推行绿色生产方式,促进农业可持续发展,首次提出“农药化肥双减”和“农药零增长”概念和目标,希望通过减少农药、化肥不合理使用减少环境污染,尽可能节约生产成本,增加农民收入^[6,7]。面对河西走廊灌溉玉米种植中化肥施用量日益增加的严峻形势,如何改善该区域化肥使用现状,做到玉米种植可持续、环境友好发展,成为亟待解决的问题。2018年对张掖市小满镇河南闸村、2019年对张掖市新敦乡新敦村玉米种植户进行入户问卷调查,主要调研化肥施用量、施用方法等,分析发现河西走廊灌溉玉米化肥施用存在的问题,指导当地玉米种植户合理施用化肥,为河西走廊灌溉玉米可持续发展,实现玉米高产、化肥高效利用、节本增收提供理论借鉴。

1 材料与方法

1.1 调研区域概况

调研区域位于甘肃省张掖市小满镇河南闸村和新敦乡新敦村,张掖地处河西走廊中段,玉米一年一熟,玉米是该区主要粮食作物。该区海拔1 570 m,平均年日照时数3 085 h,昼夜温差13.00℃~16.07℃,年平均气温7℃,≥0℃积温3 388℃·d,≥10℃积温2 896℃·d,无霜期153 d。耕层土壤容重1.61 g/cm³,年平均蒸发量2 075 mm,年降水量不足130 mm,干旱指数达10.3,属于典型的无灌溉就无种植业的干旱灌溉农业区。地下水埋深68~73 m,地下水位年变幅1.0 m左右。土壤有机质17.9 g/kg,速效氮128.8 mg/kg,速效磷24.7 mg/kg,速效钾82.0 mg/kg,pH值为8.2。

1.2 调研方法

2018年在张掖市小满镇河南闸村、2019年在张掖市新敦乡新敦村开展调研,采用入户问卷调查形式,主要就玉米种植面积、品种、产量、施肥方式、施肥时期、施肥量等进行调查。2018年问卷总数36份,有效问卷32份;2019年问卷总数33份,有效问卷29份。

1.3 施肥分级标准

参考巨晓棠^[8]现代推荐施肥标准,生产100 kg玉米需氮(N) 2.8 kg、磷(P₂O₅) 1.2 kg、钾(K₂O) 2.0 kg,确定推荐施肥量,推荐施肥量=产量/100×100 kg子粒养分吸收量。

通过两年调查数据求算玉米平均产量,依据平均产量求算氮磷钾推荐施肥量。根据曹寒冰等^[9]的施肥分级标准,以推荐施肥量的40%为变幅,将调研施肥量数据分为5个等级进行评价。

1.4 数据处理

化肥养分含量根据产品标注含量进行计算,使用Microsoft Excel 2016对数据进行整理和分析。

肥料偏生产力(PFP)=子粒产量/养分投入量。

2 结果与分析

2.1 玉米产量

2018年产量变幅为11 000~17 150 kg/hm²,2019年产量变幅为6 000~15 000 kg/hm²(图1)。2018年平均产量为14 041.7 kg/hm²,2019年平均产量为11 137.5 kg/hm²,两年平均产量为12 589.6 kg/hm²。以最低和最高产量求极差,以等产量间距分成5个等级,2018年5个等级分别为<12 230 kg/hm²(低产)、12 230~13 460 kg/hm²(偏低)、13 460~14 690 kg/hm²(中产)、14 690~15 920 kg/hm²(偏高)、>15 920 kg/hm²(高产),各等级样本占样本总量的比例为12.5%、18.8%、43.8%、15.6%和9.4%;2019年5个等级分别为<7 800 kg/hm²(低产)、7 800~9 600 kg/hm²(偏低)、9 600~11 400 kg/hm²(中产)、11 400~13 200 kg/hm²(偏高)、>13 200 kg/hm²(高产),各等级样本占样本总量的比例为13.8%、6.9%、37.9%、24.1%和20.7%;两年均是以中产(9 600~14 690 kg/hm²)占比最高。

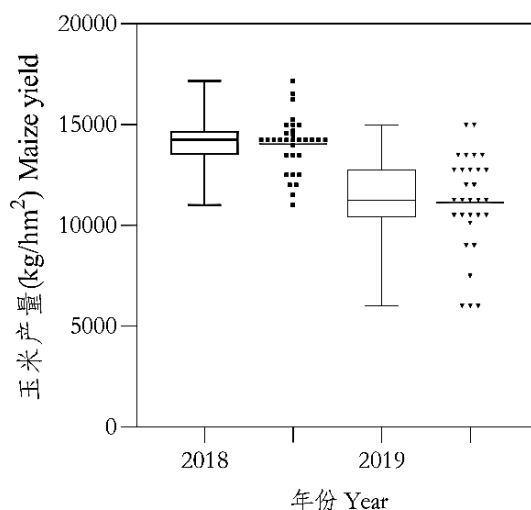


图1 调查区域玉米产量

Fig.1 Maize yield in investigated areas in 2018 and 2019

2.2 氮肥投入

由表1可知,2018年调研32户玉米种植户平均施氮量为447.4 kg/hm²;2019年为603.2 kg/hm²。从施氮量分级看出,虽然2018年氮肥投入处于适中等级的样本数占总样本数的比例为37.5%,但偏高和很高的占比分别为16%和31%;2019年,样本处于很高等级的占比最高,达62%,而其他等级的占比均在20%以下。

2.3 磷肥投入

2018、2019年调研区磷肥平均投入量分别为230.3、242.2 kg/hm²(表2)。从投入量分级来看,2018

年样本磷肥投入量处于适中、偏高和很高等级的占比分别为25%、28%和38%;2019年磷肥投入量5个等级的占比分别为38%、7%、17%、10%和28%,投入量以很低和很高为主。

2.4 钾肥投入

两年结果显示,钾肥投入等级处于很低和偏低的占比较高(表3),2018年仅有1户进行钾肥投入,投入量为89.0 kg/hm²,且处于投入分级的偏低等级;2019年,进行钾肥投入的样本为19户,平均投入量为85.1 kg/hm²,从分级来看,处于很低、偏低和适中的占比分别为68%、26%和5%。

表1 调研地区玉米氮肥投入
Table 1 Nitrogen fertilizer application rate in the investigated area

年 份 Year	样本量 No. of samples	氮肥投入等级 N application classification					平均施氮量 (kg/hm ²) Average N rate
		<141	141 ~ 282	282 ~ 423	423 ~ 564	>564	
		很低	偏低	适中	偏高	很高	
		Very low	Low	Moderate	High	Very high	
2018	32	1	4	12	5	10	447.4
2019	29	0	4	2	5	18	603.2

表2 调研区域玉米磷肥投入
Table 2 Phosphorus fertilizer application in investigated area

年份 Year	样本量 No. of samples	磷肥投入等级 Phosphorus application classification					平均施磷量 (kg/hm ²) Average P rate
		<63	63 ~ 125	125 ~ 187	187 ~ 250	>250	
		很低	偏低	适中	偏高	很高	
		Very low	Low	Moderate	High	Very high	
2018	32	1	2	9	8	12	230.3
2019	29	11	2	5	3	8	242.2

表3 调研区玉米钾肥投入
Table 3 Potassium fertilizer application in investigated area

年份 Year	样本量 No. of samples	钾肥投入等级 Potassium application classification					平均施钾量 (kg/hm ²) Average K rate
		<104	104 ~ 208	208 ~ 312	312 ~ 416	>416	
		很低	偏低	适中	偏高	很高	
		Very low	Low	Moderate	High	Very high	
2018	32	0	1	0	0	0	89.0
2019	29	13	5	1	0	0	85.1

2.5 肥料偏生产力

两年中,玉米氮、磷、钾肥偏生产力均表现为K₂O>P₂O₅>N,两年平均分别为25.0、53.5、

102.6 kg/kg,即每投入1 kg纯N、P₂O₅、K₂O养分,分别可生产25.0、53.5、102.6 kg玉米子粒。

表4 调研区域肥料偏生产力
Table 4 The partial factor productivity of fertilizer for maize in investigated area

年份 Year	氮肥偏生产力 PFP-N	磷肥偏生产力 PFP-P ₂ O ₅	钾肥偏生产力 PFP-K ₂ O
2018	31.4	61.0	74.3
2019	18.5	46.0	130.8
平均	25.0	53.5	102.6

3 减施肥对策分析

3.1 投入现状

河西走廊已成为全国最大的玉米制种基地,张掖市又是河西灌区制种玉米种植最广的区域。自2006年以来,种植面积常年维持在6.67万hm²以上^[10,11]。大田玉米也是本区域的主要粮食作物,其种植过程中的化肥、农药管理对制种玉米生产有重要指导作用。索东让等^[12]对张掖大田生产玉米和制种玉米的养分吸收做了对比分析,结果显示,相比大田生产玉米,制种玉米应适当减少施肥量,调研区两年玉米平均产量为12 589.6 kg/hm²,按照形成100 kg子粒所需氮(N) 2.8 kg、磷(P₂O₅) 1.2 kg、钾(K₂O) 2.0 kg计算,需投入的化肥量分别为N 352 kg/hm², P₂O₅ 151 kg/hm², K₂O 251 kg/hm²。以往调查^[13]发现,河西走廊玉米氮、磷肥用量高达525~600、150~180 kg/hm²。但也有研究^[14~16]表明,该区域适宜的肥料投入量分别为氮肥N 300 kg/hm²、磷肥P₂O₅ 90 kg/hm²、钾肥K₂O 75 kg/hm²。在本调研中,两年平均化肥投入达N 525.3 kg/hm²、P₂O₅ 236.3 kg/hm²、K₂O 87.1 kg/hm²,氮磷肥用量远高于适宜推荐量,河西走廊灌区土壤速效钾含量介于150~200 mg/kg,属于富钾区域。然而,调研区玉米种植户依旧有高出推荐施肥量的钾肥投入,突显种植户在钾肥投入时的盲目性。张福锁等^[17]研究表明,我国玉米的N、P₂O₅、K₂O的肥料偏生产力(PFP)分别为51.6、72.4、64.7 kg/kg,本调研结果为25.0、53.5、102.6 kg/kg,氮、磷肥的PFP远远低于全国平均。可见,高的氮磷肥投入并没有带来相应的高产,这些均表明河西走廊灌溉玉米种植中氮磷肥超量严重,且利用效率偏低。

3.2 减施肥对策

3.2.1 优化施肥

河西走廊玉米灌水方式多以大水漫灌为主,施肥方式多采用随水冲施,这不仅浪费了水、肥资源,降低了水、肥利用效率,也加大了生产成本投入。因此,要实现化肥减量,就要进行化肥施用方法优化,

如播种前基肥应随旋耕整地施入,追肥改撒施为条施或穴施,以减少肥料损耗,提升肥料利用效率。另外,有条件的区域可推广玉米滴灌水肥一体化节水节肥种植技术,高效利用水肥资源。河西走廊玉米种植户在玉米种植中对化肥投入量、投入时期无科学的认识,多凭靠种植经验进行施肥管理,在高产目标的驱动下,一味增加肥料用量的现象很普遍,致使化肥投入量日趋增加。因此,应引导玉米种植户科学合理使用化肥,进行测土配方施肥,合理确定化肥施用量。河西走廊玉米连作的问题较为突出^[18],长期连作加之大量氮磷肥投入,造成土壤养分比例失衡,因此,应根据土壤养分情况,适当配施中、微量元素肥料,以维持土壤养分环境平衡。

3.2.2 新型肥料

调研区玉米种植户在化肥的选择上多以速效肥为主,如氮肥多使用尿素。尿素中大部分氮素容易在氨化过程中挥发损耗,利用效率较低^[19~21]。河西走廊玉米种植中化肥施用时常配合灌水进行,大水漫灌加速了速效肥料中养分的淋溶和挥发损失,因此,可选用新型肥料来提高肥料利用效率,如硝化/脲酶抑制剂包膜尿素、控释尿素、腐殖酸尿素等。另外,可选用新型缓控释复合肥进行一次性的施入,这不但解决肥料损耗问题,还可减少追肥环节带来的人工成本投入,为农户节本增效。河西走廊玉米播种期常受低温的限制,导致玉米早期生长不良,因此,可参照美国经验施用玉米启动肥,启动肥被定义为在播种时将少量的肥料集中施在距离种子很近区域的肥料,通常为条施,启动肥的施入能够促进玉米早期生长、壮苗、保苗和提高产量^[22,23]。

3.2.3 培肥土壤

河西走廊灌区土壤为灌漠土,土壤贫瘠,有机质含量低,土壤盐渍化日趋严重^[24],如何培肥土壤成为该区域农田质量持续提升的关键。玉米种植户大量的化肥投入造成土壤质量下降。研究发现,有机肥与化肥配施可有效提高玉米产量,改善土壤质量^[25~27]。在本次调研中,施用农家肥的种植户极少,

因此,鼓励有条件的玉米种植户在施用化肥的同时配施适量农家肥。同时,现行市面商品有机肥多样,也可选用新型商品有机肥与化肥配施。另外,绿肥是环保型有机肥料。研究表明,翻压还田绿肥可有效培肥土壤并减少化肥投入^[28,29],因此,可通过玉米-绿肥轮作、玉米套作绿肥的方式培肥土壤。玉米秸秆作为物质、能量和养分的载体,含有丰富的氮、磷、钾和微量营养元素^[30],河西灌区玉米收获后秸秆大部分作为燃料,处理方式以焚烧为主,这导致严重的环境污染。因此,可进行玉米秸秆还田栽培措施推广,培肥土壤,改善农田生态环境,减少化学肥料投入。

综上,河西走廊灌区玉米种植中化肥投入量严重超量。为保证河西灌区玉米可持续生产,需通过多种措施实现化肥减量,如选择养分高效玉米品种,选用新型肥料,改进农艺措施等,同时集成现有各项化肥减量单项措施,建立玉米高产高效栽培技术模式,形成技术规程,规范玉米生产,优化管理,达到减肥增效目标。

参考文献:

- [1] 张文颖,张恩和. 留茬覆盖免耕对河西走廊灌区春玉米田土壤容重和硬度的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(7): 1582-1586.
Zhang W Y, Zhang E H. Effects of no-tillage with stubble on soil bulk density and soil stability in spring maize field of Hexi Corridor irrigated area[J]. Hebei Agricultural Sciences, 2015, 54(7): 1582-1586. (in Chinese)
- [2] 蒋岱位,钟方雷,郭爱君. 干旱区绿洲大田玉米生产效率研究-以张掖市种植户为例[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10): 167-171.
Jiang D W, Zhong F L, Guo A J. Field corn production efficiency in oasis field-A case study of households in Zhangye district[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(10): 167-171. (in Chinese)
- [3] 汪如贵. 黑河灌区制种玉米最佳施肥量探析[J]. 农业科技与信息, 2010(5): 37-38.
Wang R G. Analysis of optimum fertilization on seed corn in irrigated area of the Heihe River[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2010(5): 37-38. (in Chinese)
- [4] 王炳贤,索东让,孙宁科. 河西走廊春玉米需肥规律研究[J]. 农业科技与信息, 2013(17): 34-37.
Wang B X, Suo D R, Sun N K. Study on the fertilizer rule for spring maize in Hexi Corridor[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2013(17): 34-37. (in Chinese)
- [5] 索东让,杨生茂,孙炳玲,等. 河西绿洲灌漠土长期施肥效应及土壤生产力演变[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 56-60.
Suo D R, Yang S M, Sun B L, et al. Effect of long-term fertilization and evolution of soil productivity on irrigated desert soil of oasis area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(6): 56-60. (in Chinese)
- [6] 李怡洁. 化肥、农药双减问题探析[J]. 南方农业, 2019, 13(5): 174-175.
Li Y J. Analysis on the problem of double reduction of chemical fertilizer and pesticide[J]. South China Agriculture, 2019, 13(5): 174-175. (in Chinese)
- [7] 剧成欣,季红娟,张春梅,等. 中国水稻生产“双减”的目的意义与途径方法[J]. 中国农学通报, 2018, 34(23): 12-18.
Ju C X, Ji H J, Zhang C M, et al. The meaning and approach of “double reduction” of rice production in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(23): 12-18. (in Chinese)
- [8] 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. (in Chinese)
- [9] 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. (in Chinese)
- [10] 张东昱,程光华,王多成. 改革开放40年张掖玉米种业取得辉煌成就[J]. 中国种业, 2019(4): 29-33.
Zhang D Y, Cheng G H, Wang D C. The brilliant achievements of corn seed industry in Zhangye during 40 years of reform and opening up[J]. China Seed Industry, 2019(4): 29-33. (in Chinese)
- [11] 王丹妮. 张掖市玉米产业的现状及发展对策分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [12] 索东让,李隆,孙宁科,等. 河西走廊制种田与生产田玉米需肥特点比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 816-823.
Suo D R, Li L, Sun N K, et al. Comparison on nutrient requirement characteristics of seed-producing corn and yield-producing corn in the Hexi Corridor[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(4): 816-823. (in Chinese)
- [13] 肖占文,秦嘉海,周俊,等. 河西走廊灌漠土不同肥力水平下制种玉米氮素适宜用量的研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(6): 1358-1362.
Xiao Z W, Qin J H, Zhou J, et al. Studies on suitable dosage of nitrogen for producing maize seed under the irrigated desert soils of different levels of fertility in Hexi Corridor[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39(6): 1358-1362. (in Chinese)
- [14] 秦晓霞. 河西走廊灌漠土制种玉米NPK适宜用量的研究[J]. 中国种业, 2008(7): 42-44.
Qin X X. Studies on suitable dosage of NPK for producing maize seed on the irrigated desert soils in the Hexi Corridor[J]. China Seed Industry, 2008(7): 42-44. (in Chinese)
- [15] 闫治斌,秦嘉海,肖占文,等. 河西走廊制种玉米磷素适宜用量的研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 197-99.
Yan Z B, Qin J H, Xiao Z W, et al. Optimized application of P fertilizer for maize production in the Hexi Corridor[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39(1): 197-99. (in Chinese)
- [16] 范成云. 河西走廊灌区氮肥用量对玉米氮素吸收和土壤氮素残留的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.

- [17] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
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, 45(5): 915-924. (in Chinese)
- [18] 肖占文,王多成,闫吉治,等. 不同连作年限对玉米制种产量及农艺经济性性状的影响[J]. 作物杂志, 2010(2): 107-109.
Xiao Z W, Wang D C, Yan J Z, et al. Effect of continuous cropping on yield and agronomic and economic traits of corn seed production [J]. *Crops*, 2010(2): 107-109. (in Chinese)
- [19] 李世清,李生秀. 影响土壤尿素水解速率的一些因子[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 156-162.
Li S Q, Li S X. Some factors affecting urea hydrolysis rates in soil [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 1999, 5(2): 156-162. (in Chinese)
- [20] 杨雯玉,贺明荣,王远军,等. 控释尿素与普通尿素配施对冬小麦氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 627-633.
Yang W Y, He M R, Wang Y J, et al. Effect of controlled-release urea combined application with urea on nitrogen utilization efficiency of winter wheat[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2005, 11(5): 627-633. (in Chinese)
- [21] 习金根,周建斌. 不同灌溉施肥方式下尿素态氮在土壤中迁移转化特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 271-275.
Xi J G, Zhou J B. Leaching and transforming characteristics of urea-N added by different ways of fertigation[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2003, 9(3): 271-275. (in Chinese)
- [22] 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(14): 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 North-east China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(14): 2758-2770. (in Chinese)
- [23] Reeves D W, Touchton J T, Burmester C H. Starter fertilizer combinations and placement for conventional and no-tillage corn[J]. *Journal of Fertilizer Issues*, 1986, 3: 80-85.
- [24] 韩明. 河西地区土地盐渍化现状分析及改善措施[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [25] 王晓娟,贾志宽,梁连友. 不同有机肥量对旱地玉米光合特性和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 419-425.
Wang X J, Jia Z K, Liang L Y. Effects of organic fertilizer application rate on leaf photosynthetic characteristics and grain yield of dryland maize[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(2): 419-425. (in Chinese)
- [26] 任伟,赵鑫,黄收兵,等. 不同密度下增施有机肥对夏玉米物质生产及产量构成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1146-1155.
Ren W, Zhao X, Huang S B, et al. Effects of application of organic fertilizer under different planting densities on dry matter production and yield formation of summer maize[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22(10): 1146-1155. (in Chinese)
- [27] 孙莹,侯玮,迟美静,等. 氮肥与有机肥配施对设施土壤腐殖质组分的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 940-952.
Sun Y, Hou W, Chi M J, et al. Effect of combined application of nitrogen fertilizer and organic manure on soil humus composition in greenhouse[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56(4): 940-952. (in Chinese)
- [28] 张久东,包兴国,曹卫东,等. 间作绿肥作物对玉米产量和土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(4): 43-47.
Zhang J D, Bao X G, Cao W D, et al. Effect of intercropping green manure crops on maize yield and soil fertility[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2013(4): 43-47. (in Chinese)
- [29] 卢秉林,包兴国,张久东,等. 间作绿肥饲草与减施氮肥对河西绿洲灌区玉米产量和土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2): 170-175.
Lu B L, Bao X G, Zhang J D, et al. Effects of intercropping green manure forages and nitrogen-reduction on corn yield and soil fertility in Hexi Oasis Irrigation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(2): 170-175. (in Chinese)
- [30] 王永洁,史健峰,崔虎,等. 秸秆还田对土壤理化性质和玉米产量的影响[J]. 科技通讯, 2019, 35(7): 97-103.
Wang Y J, Shi J F, Cui H, et al. Effects of straw returned to soil on soil physical and chemical properties and maize yield[J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2019, 35(7): 97-103. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)