

连年施用不同浓度硫肥对玉米田土壤有效硫含量和pH值的影响

李哲¹, 胡楠², 崔帅¹, 张毓¹, 高强¹

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘要: 通过连续5年玉米定位施硫试验, 在两种土壤类型(黑土、风沙土)、两种硫肥(硫磺、硫酸铵)、4个硫浓度梯度(0、30、90、150 kg/hm²)处理下, 探讨第5年玉米各生育时期及各年际间土壤有效硫和pH值的变化规律。结果表明, 风沙土有效硫含量年际间变化幅度较黑土偏高, 高浓度硫肥处理的土壤有效硫含量逐年递增, 增长趋势从第3年开始趋于平缓; 低浓度硫肥处理始终呈上升趋势。土壤有效硫含量在玉米营养生长期降低速率较快, 后期变缓。低浓度硫肥处理的土壤pH值呈动态平衡趋势; 高浓度硫肥处理的土壤pH值随着施硫年份逐渐降低, 下降趋势从第4年开始逐渐变缓。在玉米营养生长期, 高浓度硫肥处理pH值降低, 在吐丝期出现上升趋势, 灌浆期达到最大值。玉米在营养生长期对硫养分吸收量较大, 硫肥可作为基肥使用。在硫肥选择上, 硫磺更适合黑土, 硫酸铵更适合风沙土。

关键词: 玉米; 施硫量; 土壤有效硫; 土壤pH值

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effect of Continuous Application of Different Concentrations of Sulfur Fertilizer on the Effective Sulfur Content and pH of Corn Field Soil

LI Zhe¹, HU Nan², CUI Shuai¹, ZHANG Yu¹, GAO Qiang¹

(1. School of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

2. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Through five consecutive years of corn targeted sulfur application experiments, two soil types (black soil and sandy soil), two sulfur fertilizers (sulfur and ammonium sulfate), and four sulfur concentration gradients (0, 30, 90, 150 kg/ha) were conducted to explore the changes in soil available sulfur and pH at different growth stages and between years of corn in the fifth year. The results showed that the interannual variation of effective sulfur content in sandy soil was higher than that in black soil. The effective sulfur content in soil with high concentration sulfur fertilizer increased year by year, and the growth trend began to flatten from the third year. The treatment with low concentration sulfur fertilizer always showed an upward trend. The effective sulfur content in soil decreases rapidly during the nutritional growth period of corn, but slows down in the later stage. The soil pH of low concentration sulfur fertilizer treatment will show a dynamic equilibrium trend through soil buffering regulation, while the soil pH of high concentration sulfur fertilizer treatment will gradually decrease with the year of sulfur application, but the downward trend will gradually slow down from the fourth year onwards. During the nutritional growth period of corn, high concentration treatment will result in a decrease in pH, while an upward trend will occur during the silking stage and reach its maximum value during the filling stage. Corn has a higher absorption of sulfur nutrients during its nutrient growth period, and sulfur fertilizer can be used as a base fertilizer. In terms of sulfur fertilizer selection, sulfur is more suitable for black soil and ammonium sulfate is more suitable for sandy soil.

Key words: Corn; Sulfur application rate; Soil available sulfur; Soil pH

录用日期: 2024-03-28

基金项目: 国家重点研发计划项目“沙土区风蚀防控和高效用水型的梨树模式研发与示范”(2022YFD1500703)

作者简介: 李哲(1994), 男, 硕士, 从事植物营养方向研究。Tel: 15543166338 E-mail: 984822936@qq.com

胡楠为并列第一作者。

高强为本文通信作者。E-mail: Gyt199962@163.com

硫(sulfur)同氮、磷和钾一样,是作物生长必需的、重要的营养元素,对于提高作物产量和改善作物品质具有重要的作用^[1-2]。硫在植物体内的主要功能主要体现在:一是提供作物可以直接吸收利用的营养成分;二是提高其他营养成分的利用效率,特别是氮、磷大量元素和锌、铁、铜、锰、硼等一些微量元素。硫在改善植物对主要营养元素的吸收方面发挥着重要作用,当作物缺硫时,即使其他养分都供给充足,增产潜能也不能充分发挥;三是改善作物品质,增加作物子粒中蛋白质含量和含油量等,如提高粮食作物出粉(米)率、蔬菜和水果营养价值和商品率、烟草质量和牧草的营养成分等^[3-5]。

硫肥在土壤中反应机理包括土壤有机硫的矿化、土壤对硫的吸附、土壤氧化还原反应和土壤酸化、土壤微生物固定作用等。硫肥施入土壤后,会进行一系列的物理、化学、生物及交互作用等过程,对土壤质量产生一定影响,直接结果是土壤酸化^[6]。在前期研究中发现,在施入硫酸铵后,0~60 cm各层土壤pH值降低,施硫量越大,降低的幅度也越大。在东北地区的玉米主产区,风沙土和黑土是两种具

有代表性土壤类型,相同管理措施下春玉米的生长发育和产量形成都存在较大差异^[7]。就产量而言,随施硫量增加,玉米子粒产量显著提高,其中以施硫90 kg/hm²处理表现最佳;当施硫超过90 kg/hm²时,导致玉米子粒产量降低^[8]。因此,高浓度硫肥不利于玉米产量的提升,在玉米的实际种植中,应注意硫肥的合理施用。综上所述,施硫可不同程度地提高土壤中有有效硫含量,实现增产,随着土壤中硫素的逐年积累,增产幅度在降低。本研究通过测定两种类型土壤中有有效硫和pH值的年际变化以及单年完整生育期内的变化规律,综合分析长期施硫及施硫量对玉米田土壤的影响,为硫素养分田间管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在吉林省四平市梨树县玉米大面积种植区,该地区位于吉林省西南部,属北温带半湿润季风大陆性气候,四季分明,雨热同季(表1、图1)。

表1 田间试验土壤基础理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of soil foundation in field experiments

地 点	土壤类型	pH 值	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)
Location	Soil type	pH value	ASN	AP	AK	OM
三棵树村	黑 土	6.83	106.57	48.37	211.29	15.24
付家街村	风沙土	6.77	61.71	24.96	160.92	11.36

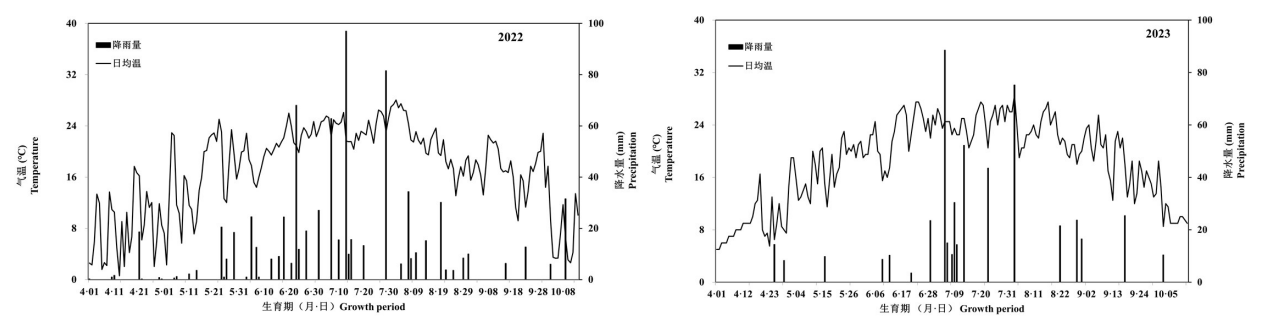


图1 试验地玉米生育期气象条件(2022-2023)
Fig.1 Meteorological conditions during the growth period of corn in the experimental site

1.2 供试材料

供试玉米品种为良玉 99, 种植密度为65 000株/hm²,供试肥料为硫磺、硫酸铵、普通尿素、树脂包膜尿素、磷酸二铵、氯化钾。

1.3 试验设计

定位试验始于2019年,试验共设两种土壤类型(黑土、风沙土)、两种硫肥(硫磺、硫酸铵)、4个硫肥处

理(0、30、90、150 kg/hm²)。硫磺处理为硫0、硫30、硫90、硫150,硫酸铵处理为S0、S30、S90、S150,每个处理设3次重复,随机区组设计。

1.4 测定项目与方法

土壤样品采集,用土钻方式以20 cm为1个土层取3层土壤样品。有效硫含量测定,取10 g风干土样,研磨过筛,采用磷酸二氢钙浸提液浸提,震荡过

滤,在滤液中加入过氧化氢去除有机物,电热板加热沸腾后,加入盐酸与阿拉伯胶,蒸馏水定容,加入氯化钡粉末充分搅拌,采用紫外分光光度计测定吸光值,计算有效硫含量^[9]。

土壤pH值测定:取10 g风干土样,研磨过筛,加入25 mL蒸馏水充分搅拌,使用pH值进行测定。

1.5 数据处理与分析

采用Excel 2020软件计算和处理试验数据,采用SPSS 17.0软件统计分析,采用最小显著差异法(LSD法)检验处理间在 $P<0.05$ 水平的差异显著性,利用GraphPad进行数据分析与制图。

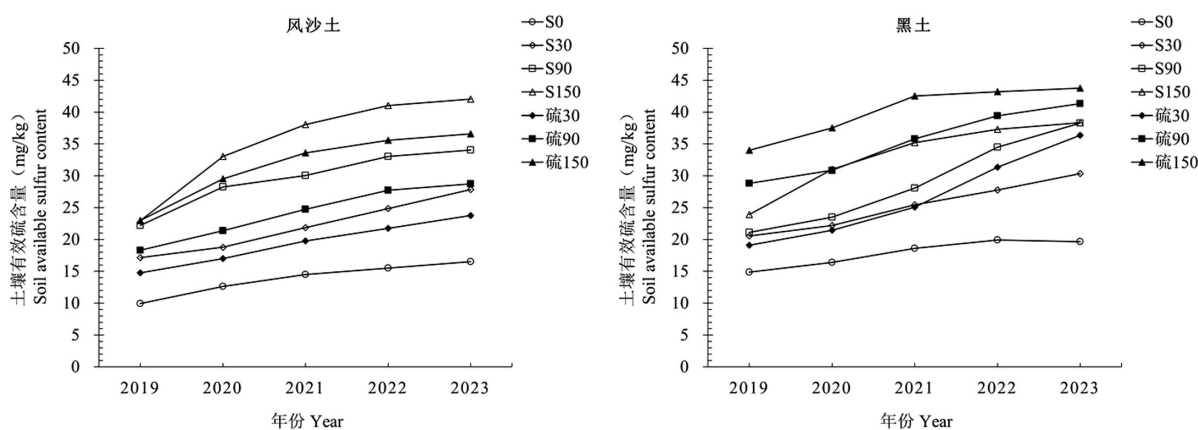


图2 年际间土壤有效硫含量变化

Fig.2 Changes in soil available sulfur between years

2.2 完整生育期内土壤有效硫变化

由图3、图4可知,各处理的有效硫含量变化趋势均呈现出营养生长期下降速率较快,到达灌浆期时下降速率逐渐变缓,说明在这一时期玉米对硫素的摄入量较高;在生殖生长期对硫素的需求已十分微弱。由此可知,硫肥可用作基肥,且后期无需

追肥。

2.3 年际间土壤pH值变化

由图5可知,低浓度硫肥处理的土壤pH值会通过土壤的缓冲性调节,呈动态平衡趋势;高浓度硫肥处理的土壤pH值随着施硫年限逐渐降低,下降趋势逐渐变缓。

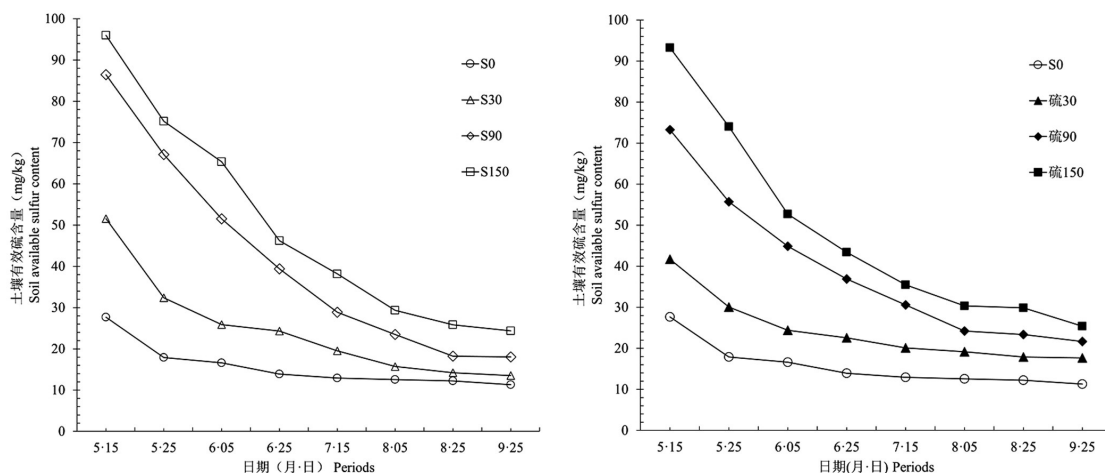


图3 玉米生育期内黑土有效硫含量变化

Fig.3 Changes in black soil available sulfur during corn growth period

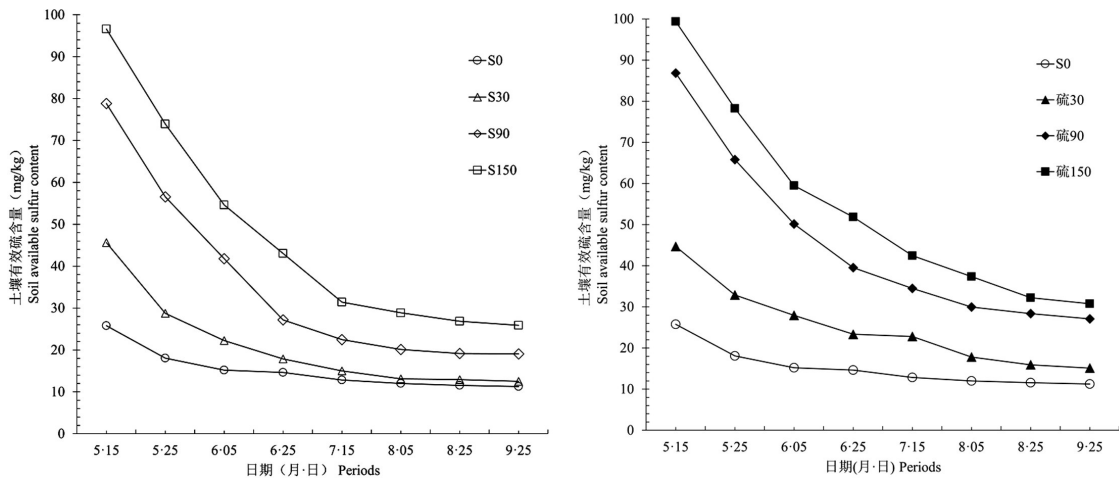


图4 玉米生育期内风沙土有效硫含量变化

Fig.4 Changes in sandy soil available sulfur during corn growth period

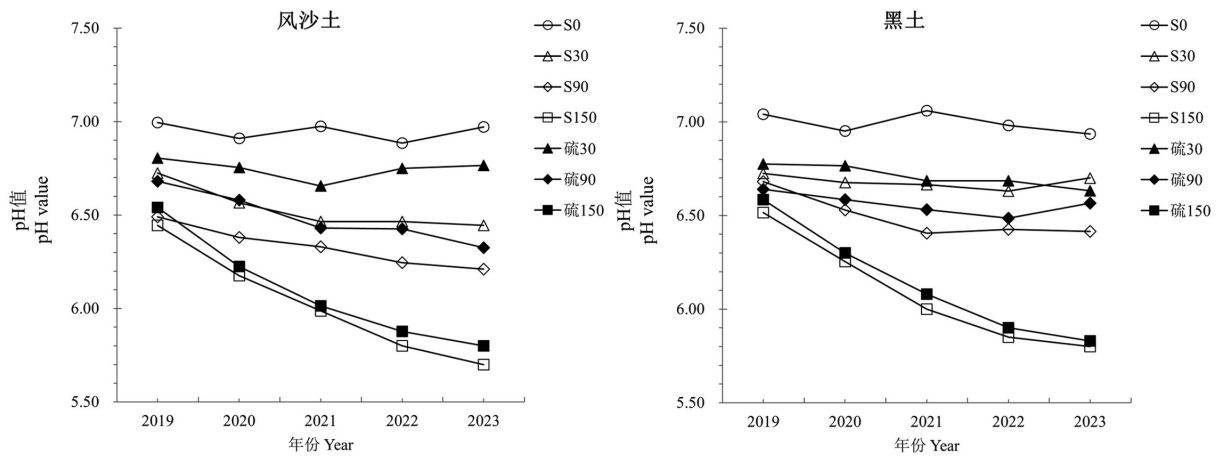


图5 年际间土壤pH值变化

Fig.5 Changes in soil pH between years

2.4 完整生育期内土壤pH值变化

由图6可知,风沙土的pH值普遍低于黑土pH值。在玉米生长前期,高浓度硫肥处理会出现pH值

降低的现象,在吐丝期出现上升趋势,灌浆期达到最大值,随后趋于平缓下降;低浓度硫肥处理的pH值受影响较小,处于动态平衡状态;适量施硫处理的

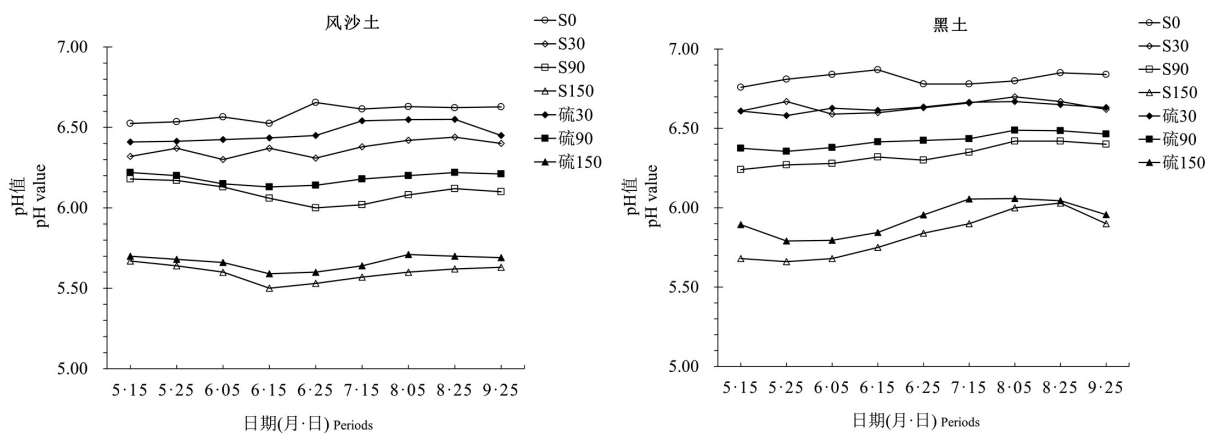


图6 玉米生育期内土壤pH值变化

Fig.6 Changes in soil pH during corn growth period

pH值变化趋势与高浓度硫肥处理相似,变化幅度较小。

2.4 玉米成熟期子粒产量

由图7可知,在两种土壤类型中,玉米子粒产量

均随着施硫量的增加呈先升高后降低趋势。高浓度硫肥并不能促进玉米子粒产量的增加,甚至还会出现抑制作用;在相同硫肥浓度下,黑土玉米子粒产量显著高于风沙土。

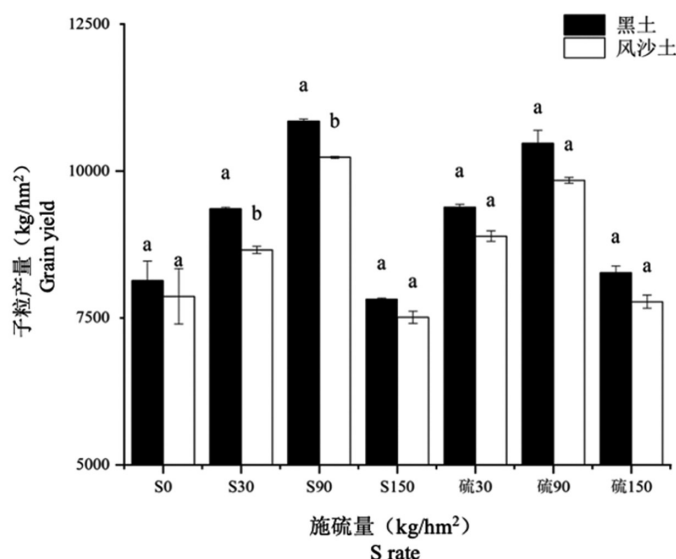


图7 不同施硫情况下黑土与风沙土的地上部干物质量

Fig.7 Dried corn quality of black soil and sandy soil under different sulfur rate

3 结论与讨论

玉米在营养生长期对硫养分摄入量较大,硫肥可作为基肥使用,无需追肥,在连年高投入硫肥条件下,可从第3年开始减少或停止硫肥投入。在硫肥选择上,硫磺更适合黑土,硫酸铵更适合风沙土。

土壤中有有效硫含量随着施硫年份逐年递增,高浓度硫肥处理在第3年出现增幅趋于平缓的现象,并在第5年呈持平趋势;低浓度硫肥处理始终处于缓慢上升趋势,并且风沙土有效硫含量增幅显著高于黑土。相同高浓度下,黑土中硫磺处理有效硫含量高于硫酸铵处理,风沙土中硫酸铵处理高于硫磺处理。在玉米生育期内,土壤有效硫含量在玉米营养生长期下降较快,说明在这一时期玉米对硫素的摄入量较高,到达灌浆期时下降速率逐渐变缓。

长期连续施用含硫化肥会造成土壤pH值下降^[10]。高浓度硫肥处理的土壤pH值随着施硫年份增加逐渐降低,下降趋势会逐渐变缓;低浓度硫肥处理的土壤pH值通过土壤的缓冲性调节,呈动态平衡趋势。此外,由于H⁺与盐基离子的代换作用,使K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺淋失量增加,同时土壤酸化增加了活性铝的质量分数,加剧土壤酸化^[11-12]。由于玉米生长前期土壤中有有效硫含量较高,土壤pH值会随着硫肥在土壤中的释放而降低。当玉米进入灌浆期时,

土壤中有有效硫含量已大幅降低,土壤pH值在这一时期呈上升趋势。

参考文献:

- [1] 刘烁然,应飞宇,崔帅,等.氮硫互作对玉米苗期生长及养分吸收的影响[J].玉米科学,2020,28(5):148-154.
LIU S R, YING Y F, CUI S, et al. Effects of nitrogen and sulfur interaction on growth and nutrient absorption of maize at seedling stage [J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(5): 148-154. (in Chinese)
- [2] 刘存辉,董树亭,胡昌浩.高产夏玉米施用硫肥对矿质元素吸收影响的研究[J].玉米科学,2002,10(3):82-86.
LIU C H, DONG S T, HU C H. Study on the effect of sulfur fertilizer application on mineral element absorption of high yield summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(3): 82-86. (in Chinese)
- [3] 孟赐福,姜培坤,曹志洪,等.硫素与其他营养元素的交互作用对作物养分吸收、产量和质量的影响[J].土壤,2009,41(3):329-334.
MENG C F, JIANG P K, CAO Z H, et al. Effects of interaction between sulfur and other nutrient elements on nutrient uptake, yield and quality of crops[J]. Soil, 2009, 41(3): 329-334. (in Chinese)
- [4] 周丽娟,耿玉辉,曹国军,等.秸秆还田配施硫肥对春玉米产量及硫素积累、分配特性的影响[J].华南农业大学学报,2021,42(4):17-24.
ZHOU L J, GENG Y H, CAO G J, et al. Effects of straw returning combined with sulfur fertilizer on yield, sulfur accumulation and distribution characteristics of spring maize[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(4): 17-24. (in Chinese)
- [5] 李录久,戚士胜,孙礼胜,等.土壤硫肥力与作物硫营养研究进展

- [J]. 安徽农业科学, 2003, 31(2): 188–190.
- LI L J, QI S S, SUN L S, et al. Research progress on soil sulfur fertility and crop sulfur nutrition[J]. Anhui Agricultural Science, 2003, 31(2): 188–190. (in Chinese)
- [6] 郑诗樟, 刘志良. 硫肥对土壤质量和生物有效性的研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2015, 46(5): 688–693.
- ZHENG S Z, LIU Z L. Research progress of sulfur fertilizer on soil quality and bioavailability[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science Edition), 2015, 46(5): 688–693. (in Chinese)
- [7] 崔 帅, 刘烁然, 王 寅, 等. 吉林省旱地土壤有效硫含量及其与土壤有机质和全氮的关系[J]. 中国农业科学, 2022, 55(12): 2372–2383.
- CUI S, LIU S R, WANG Y, et al. Relationship between available sulfur content and soil organic matter and total nitrogen in dryland soil in Jilin Province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(12): 2372–2383. (in Chinese)
- [8] 刘烁然. 施硫提高玉米产量、品质及养分利用效率的生理机制[D]. 长春: 吉林农业大学, 2021.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 王 丽, 吴忠东, 沈新磊. 土壤硫肥研究进展[J]. 河南农业, 2019(13): 20.
- WANG L, WU Z D, SHEN X L. Research progress of soil sulfur fertilizer[J]. Henan Agriculture, 2019(13): 20. (in Chinese)
- [11] SUGIYAMA A, YAMAZAKI Y, YAMASHITA K. Developmental and nutritional regulation of isoflavone secretion from soybean roots[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2016, 80(1): 89–94.
- [12] GUL S, WHALEN J K, THOMAS B W, et al. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2015, 206: 46–59.

(责任编辑: 姜媛媛)

(上接第86页)

- [25] 董宛麟, 张立祯, 于 洋, 等. 向日葵和马铃薯间作模式的生产力及水分利用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 127–133.
- DONG W L, ZHANG L Z, YU Y, et al. Productivity and water use of sunflower and potato intercropping[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(18): 127–133. (in Chinese)
- [26] ZHANG D S, DU G J, SUN Z X, et al. Agroforestry enables high efficiency of light capture, photosynthesis and dry matter production in a semi-arid climate[J]. European Journal of Agronomy, 2018, 94: 1–11.
- [27] 王自奎, 吴普特, 赵西宁, 等. 作物间套作群体光能截获和利用机理研究进展[J]. 自然资源学报, 2015, 30(6): 1057–1066.
- WANG Z K, WU P T, ZHAO X N, et al. Research progress on the mechanism of light energy interception and utilization in intercropping population[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(6): 1057–1066. (in Chinese)
- [28] 赵乾旭, 史 静, 夏运生, 等. AMF与隔根对紫色土上玉米大豆种间氮竞争的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2696–2705.
- ZHAO Q X, SHI J, XIA Y S, et al. AMF and septum II on purple soil effects of interspecific nitrogen competition in soybean[J]. China Agriculture Science, 2017, 50(14): 2696–2705. (in Chinese)
- [29] WANG Q, ZHANG D S, ZHANG L Z, et al. Spatial configuration drives complementary capture of light of the understory cotton in young jujube plantations[J]. Field Crops Research, 2017, 213: 21–28.
- [30] 柴 强, 杨彩红, 黄高宝. 交替灌溉对西北绿洲区小麦间作玉米水分利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(9): 1623–1630.
- CHAI Q, YANG C H, HUANG G B. Effects of alternating irrigation on water use of wheat intercropping maize in Northwest Oasis Area[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(9): 1623–1630. (in Chinese)
- [31] 焦念元, 李亚辉, 杨 潇, 等. 玉米/花生间作行比和施磷对玉米光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2959–2967.
- JIAO N Y, LI Y H, YANG X, et al. Effects of maize/peanut intercropping ratio and phosphorus application on photosynthetic characteristics of maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(9): 2959–2967. (in Chinese)
- [32] 张绪成, 王红丽, 于显枫, 等. 半干旱区全膜覆盖垄沟间作种植马铃薯和豆科作物的水热及产量效应[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 468–481.
- ZHANG X C, WANG H L, YU X F, et al. Hydrothermal and yield effects of full-membrane covered ridge and furrow intercropping for potato and legume crops in semi-arid region[J]. China Agriculture Science, 2016, 49(3): 468–481. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)