

## 硫氮互作对河套灌区向日葵地土壤盐碱性性质与产量的影响

赖黎明<sup>1,2\*</sup>, 张鹏<sup>1,2</sup>, 贾晓雨<sup>1</sup>, 翟钰珏<sup>1</sup>, 林圣博<sup>1</sup>, 金文迪<sup>1</sup>, 董跃龙<sup>1</sup>, 王晓雪<sup>1</sup>

<sup>1</sup>河套学院农学系 内蒙古巴彦淖尔

<sup>2</sup>河套学院河套灌区农业土壤研究中心 内蒙古巴彦淖尔

**【摘要】**单质硫( $S^0$ )与氮(N)素间的交互作用能够大于它们单独的作用之和。本研究通过随机区组田间试验,评估 $S^0$ 与不同施氮量的互作对河套灌区向日葵地碱性土壤的盐碱性与产量的影响。试验处理施氮量包括4个水平[N0(未施氮肥)、N1(35 kg 尿素/667m<sup>2</sup>)、N2(26.25 kg 尿素/667m<sup>2</sup>)、N3(17.5 kg 尿素/667m<sup>2</sup>)],6个重复,2020年未施用硫肥,2021年施用硫肥。结果显示,施用单质硫肥能够分别降低0~20与20~40 cm土壤的pH值0.36与0.31,也可降低土壤碱化度、交换性钠、阳离子交换量。施用单质硫肥能够在N3下使产量达到最大。这些发现预示着,硫氮互作能够改良河套灌区的碱性土壤,并可降低施氮量。

**【关键词】**硫氮互作;向日葵;土壤盐碱性性质;产量;河套灌区

**【基金项目】**内蒙古科技计划项目“河套灌区农业土壤二氧化碳排放与质量提升研究”

**【收稿日期】**2022年11月25日 **【出刊日期】**2022年12月28日 **【DOI】**10.12208/j.jafs.20220061

## Impacts of sulfur-nitrogen interaction on soil saline-alkaline properties and yield of sunflower field in Hetao Irrigation District

Liming Lai<sup>1,2\*</sup>, Peng Zhang<sup>1,2</sup>, Xiaoyu Jia<sup>1</sup>, Yujue Zhai<sup>1</sup>, Shengbo Lin<sup>1</sup>, Wendi Jin<sup>1</sup>, Yuelong Dong<sup>1</sup>, Xiaoxue Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Agronomy, Hetao University

<sup>2</sup>Hetao Irrigation District Agricultural Soil Research Center, Hetao College, Bayannur, Inner Mongolia

**【Abstract】**The interaction between elemental sulfur ( $S^0$ ) and nitrogen (N) element exceeds the sum of their separate effects. In this study, we evaluated the impacts of the interaction of  $S^0$  and different N fertilization rates on the soil saline-alkaline properties and yield of sunflower field in Hetao Irrigation District (HID) by conducting a randomized block field experiment. The experimental treatment included 4 levels [N0 (no N fertilizer), N1 (35 kg urea/667m<sup>2</sup>), N2 (26.25 kg urea/667m<sup>2</sup>), N3 (17.5 kg urea/667m<sup>2</sup>)], 6 replicates. No  $S^0$  was applied in 2020 and  $S^0$  in 2021. The data showed that the  $S^0$  significantly reduced the pH values at the 0-20 and 20-40 cm depths by 0.36 and 0.31, respectively, and reduced the soil exchangeable sodium percentage, exchangeable sodium, and cation exchange capacity. The  $S^0$  can maximize the yield at the N3 among the 4 levels of N fertilization rates. These findings indicated that the sulfur-nitrogen interaction can improve the alkaline soil and reduce the N fertilization rate for the sunflower in the HID.

**【Keywords】**Sulfur-nitrogen interaction; Sunflower; Soil saline-alkaline properties; Yield; Hetao Irrigation District

河套灌区属于内蒙古巴彦淖尔市,耕地总面积约1,020万亩<sup>[1]</sup>。由于该区气候干旱、地下水位高及蒸发量大,其农业土壤具有年际周期性的次生盐碱化<sup>[2]</sup>。向日葵(*Helianthus annuus* L.)由于耐盐碱,

在过去50年里从无到有,成为灌区适应盐碱地的优势作物,约占全灌区耕地面积的39%,占全国面积的四分之一<sup>[3]</sup>。据统计,2000~2018年间,内蒙古向日葵平均产量约158 kg/667m<sup>2</sup>,总体产量偏低,且

\*通讯作者:赖黎明,研究方向为土壤质量评估与改良、农业生产对土壤与环境的影响。

从 2013 年开始, 产量呈下降趋势<sup>[4]</sup>。但是, 化肥施用量居高不下<sup>[5]</sup>。该区农业土壤的 pH 均值 > 8.0 且有增加趋势<sup>[5]</sup>。当 pH 值 > 8 时, 氮硝化作用受到抑制, 氮肥转化成有效氮减少<sup>[6]</sup>, 需增施氮肥量才能满足作物对氮的需要, 导致施氮量增加。高施氮量极易导致氮流失, 进而污染当地水资源, 消耗地球大气臭氧层并导致全球变暖<sup>[7]</sup>。因此, 如何在提高向日葵产量的同时减少施氮量成为目前河套灌区农业生产的现实需求。

单质硫 ( $S^0$ ) 很难溶于水, 是通过微生物缓慢氧化来降低碱化土壤的 pH 值<sup>[8]</sup>。碱化土壤 pH 值降低 (从 > 8 趋向 7) 能够提升土壤氮磷等大量元素和微量元素的有效性<sup>[6,9]</sup>, 并在一定程度上影响土壤微生物的多样性与酶活性<sup>[10,11]</sup>。土壤氮素转化主要过程包括固氮作用、氨化作用、硝化作用和反硝化作用, 均由微生物参与驱动<sup>[12]</sup>。这些预示硫与氮素间的交互作用及其效应方面要超过它单独的营养作用<sup>[8]</sup>。但是, 在河套灌区, 单质硫与氮肥互作对土壤的盐碱性与产量影响的研究却一直缺乏。

因此, 本研究通过田间试验, 评估  $S^0$  与不同施氮量互作对土壤盐碱性指标 (pH 值、碱化度、电导率、硫酸根离子、交换性钠、阳离子交换量) 与产量的影响, 为改良河套灌区的盐碱地与减少施氮肥量提供一个新思路及依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验田位于内蒙古自治区巴彦淖尔市五原县复兴镇 (107°56'38.630" E, 40°57'0.288" N; 海拔: 1031.11 m)。该地为中温带大陆性气候, 气候干燥, 降雨稀少, 1982~2021 年降水量 180.59 mm 且大多集中在夏秋两季, 年平均气温 8.99°C<sup>[13]</sup>。试验地土壤属于灌淤土, 质地为粉砂质粘壤土 (砂粒 20.8%、粉粒 61.3%、黏粒 17.9%)。初始数据结果显示, 0~20 cm 土壤 pH 值为 8.12, 碱化度 30.61%, 电导率 1.01 mS/cm, 有机质为 11.9 g/kg, 全氮 0.83 g/kg, 硝态氮 5.65 mg/kg, 速效磷 29.22 mg/kg, 速效钾 309.18 mg/kg。

### 1.2 试验设计

2020 年的试验为单因素 (施氮量) 随机区组设计, 6 个重复, 共 24 个小区, 每个小区面积为 88.58 m<sup>2</sup>。施氮量 (46%N 尿素, 7 月 19 日穴施追肥) 包括 4 个水平: N0 (未施氮肥, CK); N1 (常规施

氮肥量) 35 kg 尿素/667m<sup>2</sup>; N2 (N1 的 75%) 26.25 kg 尿素/667m<sup>2</sup>; N3 (N1 的 50%) 17.5 kg 尿素/667m<sup>2</sup>。供试作物为向日葵 (品种: 三瑞 361)。5 月 24 日机施底肥重过磷酸钙 (46%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 40 kg/667m<sup>2</sup> 与覆膜 (半覆膜方式)。5 月 26 日进行春灌, 即黄河水大水淹灌。6 月 8 日播种, 10 月 2 日收获。其它耕地管理方式与常规相同。

2021 年的试验是在 2020 年的试验地中施用单质硫肥, 即每个小区全部施用了相同量的单质硫肥 (90% $S^0$ ) (折纯量为 8.4 kg  $S^0$ /667m<sup>2</sup>), 6 月 5 日播种, 10 月 1 日收获。其它管理方式与 2020 年相同。

### 1.3 土壤样品采集与实验室测试

初始土壤样品采集是在 2020 年 4 月 22 日, 第二次采集在 2020 年 10 月 2 日, 第三次采集是在 2021 年 10 月 4 日。每个试验小区每次用土钻采集 1 个混合样, 由 4 个随机采集的样品 (2 个在覆膜中间, 2 个在未覆膜的中间) 混合而成, 取样深度分别为 0~20 cm、20~40 cm, 共采集混合样品 144 个。

采集的样品被带到实验室晾干、研磨、2mm 过筛后进行实验室测试分析土壤 pH 值、碱化度、电导率、硫酸根离子、交换性钠、阳离子交换量。测试方法均采用国家标准化方法: LY/T1251-1999《森林土壤水溶性盐分分析电导率、7.硫酸根的测定》; LY/T1239-1999《森林土壤 pH 的测定》; NY/T112 1.5-2006《土壤检测第 5 部分: 石灰性土壤阳离子交换量的测定》; LY/T1248-1999《碱化土壤交换性钠的测定》; LY/T1249-1999《土壤碱化度的计算》。

### 1.4 向日葵产量测定方法

向日葵成熟时, 在每个小区选取中间一膜 (两行) 进行取样。按照田间植株顺序, 依次采收 10 株葵盘。然后脱粒, 晾晒, 计算产量。

### 1.5 统计分析

运用 SAS9.4 统计软件中的 PROC GLIMMIX 方法 (混合模型方法) 比较不同施氮量下的土壤性质与向日葵产量的差异性。运用 SAS9.4 的 PROC TTEST 中的成对二样本 T 检验比较向日葵生育期前后土壤性质的差异性。显著水平设定为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

不同施氮量下的土壤 pH 值均无显著差异 (表 1a)。在 2020 年 (未施硫肥) 的 0~20 cm 深的向日葵生育期前后的土壤 pH 值无显著差异; 20~40 cm

深的 pH 值在生育期前后具有统计学上的显著差异性 (P 值=0.02), 但是, 其绝对差值仅为 0.05)。在 2021 年 (施用了硫肥) 生育期前后的土壤 pH 均值存在显著差异 (0~20 与 20~40 cm 深的 pH 差值分别是 8.08-7.72=0.36 与 8.10-7.79=0.31) (表 2)。

不同施氮量下的土壤碱化度均无显著差异 (表 1a)。在未施硫肥的 2020 年, 0~20 cm 与 20~40 cm 深的向日葵生育期前的土壤碱化度 (24.68%与 35.93%) 显著低于生育期之后 (39.49%与 53.61%)。但是, 在 2021 年 (施用了硫肥), 生育期前后的土壤碱化度无显著差异 (表 2)。

不同施氮量下的土壤电导率 (0~20 与 20~40 cm) 在 2020 年无显著差异。但是, 在 2021 年, 0~20 cm 深, N2 条件下的电导率 (1.17 mS/cm) 显著高于 N0 (0.61 mS/cm); 20~40 cm 深, 在 N1、N2、N3 下的电导率 (1.08、1.23、1.04 mS/cm) 显著高于 N0 (0.52 mS/cm) (表 1a)。在未施硫肥的 2020 年与施用了硫肥的 2021 年, 0~20 与 20~40 cm 的生育期前后的土壤电导率均无显著差异 (表 2)。

不同施氮量下的土壤硫酸根离子 (0~20 与 20~40 cm) 在 2020 年无显著差异。在 2021 年, 0~20 cm 深的硫酸根离子在不同的施氮量无显著差异; 但是, 在 20~40 cm 深, 在 N1、N2、N3 下的硫酸根离子 (0.86、1.00、1.02 mg/kg) 显著高于 N0 (0.30 mg/kg) (表 1b)。在未施硫肥的 2020 年, 生育期前的土壤样品出现问题, 未能测试硫酸根离子含量。在施用了硫肥的 2021 年, 0~20 cm 的向日葵生育期前后的土壤硫酸根离子无显著差异, 但是, 20~40 cm 深的生育期之前的硫酸根离子 (1.17 mg/kg) 显著高于生育期之后 (0.80 mg/kg) (表 2)。

不同施氮量下的土壤交换性钠均无显著差异 (表 1b)。在未施硫肥的 2020 年, 0~20 cm 与 20~40 cm 深的向日葵生育期前的土壤交换性钠 (3.23 与 4.24 cmol (+)/kg) 显著低于生育期之后 (5.45 与 7.00 cmol (+)/kg)。但是, 在 2021 年 (施用了硫肥), 0~20 与 20~40 cm 的生育期前后的土壤交换性钠均无显著差异 (表 2)。

表 1a 2020 年 (未施硫肥) 与 2021 年 (施硫肥) 不同施氮量下的土壤 pH、碱化度、电导率均值

处理	pH		土壤碱化度		电导率	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
			%		mS/cm	
			<u>0~20 cm</u>			
施氮量 (N) †						
N0	8.07 <sup>a‡</sup>	7.78 <sup>a</sup>	46.37 <sup>a</sup>	34.05 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>	0.61 <sup>b</sup>
N3	8.06 <sup>a</sup>	7.698 <sup>a</sup>	39.52 <sup>a</sup>	41.05 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	0.97 <sup>ab</sup>
N2	8.11 <sup>a</sup>	7.702 <sup>a</sup>	34.55 <sup>a</sup>	41.36 <sup>a</sup>	0.86 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>
N1	8.08 <sup>a</sup>	7.687 <sup>a</sup>	37.52 <sup>a</sup>	36.09 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	0.85 <sup>ab</sup>
			方差分析 (P>F)			
N	0.89	0.49	0.09	0.57	0.72	0.01
			<u>20~40 cm</u>			
施氮量 (N)						
N0	8.11 <sup>a</sup>	7.82 <sup>a</sup>	59.36 <sup>a</sup>	49.08 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>	0.52 <sup>b</sup>
N3	8.097 <sup>a</sup>	7.79 <sup>a</sup>	43.48 <sup>a</sup>	53.98 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	1.04 <sup>a</sup>
N2	8.093 <sup>a</sup>	7.78 <sup>a</sup>	60.86 <sup>a</sup>	54.07 <sup>a</sup>	1.16 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>
N1	8.095 <sup>a</sup>	7.76 <sup>a</sup>	50.75 <sup>a</sup>	50.91 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>	1.08 <sup>a</sup>
			方差分析 (P>F)			
N	0.99	0.3	0.053	0.68	0.34	0.004

注: †N0=0 (未施氮肥); N1=35 kg 尿素/667m<sup>2</sup> (常规施氮肥量); N2=26.25 kg 尿素/667m<sup>2</sup> (N1 的 75%); N3=17.5 kg 尿素/667m<sup>2</sup> (N1 的 50%)。‡不同小写字母表示相同处理下的不同水平之间具有显著差异 (α=0.05)。



2020年的0~20 cm深的土壤中,在N1下的土壤阳离子交换量(14.50 cmol(+)/kg)显著高于N0(13.11 cmol(+)/kg),但是,在20~40 cm的不同施氮量条件下的土壤阳离子交换量无显著差异。在2021年,不同施氮量条件下的土壤阳离子交换量均无显著差异(表1b)。在未施硫肥的2020年,0~20 cm与20~40 cm深的生育期前的土壤阳离子交换量(13.06与11.63 cmol(+)/kg)均显著低于生育期之后(13.91与13.26 cmol(+)/kg)。但是,在施用了硫肥的2021年,0~20 cm深的生育期前的土壤阳离子交换量(13.91 cmol(+)/kg)显著高于生育期之后(13.34 cmol(+)/kg);20~40 cm的生育期前后的土壤阳离子交换量无显著差异(表2)。

在未施硫肥的2020年,在N1下的向日葵产量(283.79 kg/667m<sup>2</sup>)显著高于N3(250.28 kg/667m<sup>2</sup>)与N0(221.49 kg/667m<sup>2</sup>);N2下的产量(259.49 kg/667m<sup>2</sup>)显著高于N0(221.49 kg/667m<sup>2</sup>)。在施硫肥的2021年,不同施氮量下的产量无显著差异;不同施氮量下的产量从高到低排序为:N3(249.01 kg/667m<sup>2</sup>)>N0(246.47 kg/667m<sup>2</sup>)>N1(244.78 kg/667m<sup>2</sup>)>N2(229.53 kg/667m<sup>2</sup>)。

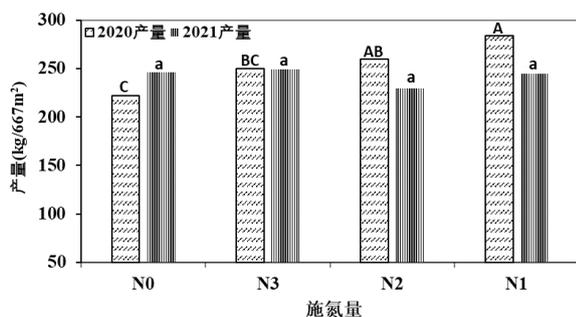


图1 不同施氮量在2020年(未施硫肥)与2021年(施硫肥)下的向日葵产量均值

注: N0=0(未施氮肥); N1=35 kg 尿素/667m<sup>2</sup>(常规施氮肥量); N2=26.25 kg 尿素/667m<sup>2</sup>(N1的75%); N3=17.5 kg 尿素/667m<sup>2</sup>(N1的50%)。

### 3 讨论

#### 3.1 硫肥对不同施氮量下的土壤盐碱特性的影响

前述结果显示,硫肥对不同施氮量下的土壤盐碱特性的最大影响是显著减低土壤pH值(表2),这与之前的研究结果一致<sup>[6,9]</sup>。这主要是因为S<sup>0</sup>被微生物氧化后生成硫酸根离子(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)和氢离子(H<sup>+</sup>),进而降低土壤pH值。而S<sup>0</sup>很难溶于水,微生物氧化过程缓慢<sup>[8,14]</sup>,进而减低土壤pH值比较平稳,降

低后的pH值能够保持较长时间。本研究的降低后的土壤pH值至少可保持一个生育期。

在未施硫肥的2020年,向日葵生育期前的土壤碱化度显著低于生育期后,但是,在施用了硫肥的2021年,生育期前后的土壤碱化度无显著差异(表2)。这预示单质硫肥能够减低土壤碱化度,这与前人的研究相一致<sup>[15]</sup>。其主要原因是随着硫肥的微生物氧化过程,土壤pH值降低,土壤中难溶解的碳酸钙开始溶解并置换部分交换性钠(这也解释了表2中的交换性钠的结果),从而降低土壤碱化度<sup>[15]</sup>。

在施用硫肥的2021年,高施氮量显著增加土壤电导率(0~20与20~40 cm)(表1a);高施氮量也显著增加硫酸根离子(20~40 cm)(表1b)。这预示硫氮互作能够增加土壤盐分,这与前人的研究结果相符<sup>[14]</sup>。其主要原因是增施的氮肥能够增加土壤中的硝酸盐,硫杆菌属在硫氧化过程中起主要作用,其中的脱氢硫杆菌在氧化单质硫成为硫酸盐过程中,既可以从氧化单质硫获得能量,也可利用硝酸盐作电子供体而获得能量氧化单质硫并催化其他硫杆菌对单质硫的氧化反应<sup>[8]</sup>。因此,增加的氮肥与单质硫互作能够增加土壤硫酸盐(即硫酸根离子)的含量,从而使土壤电导率增加。至于在2021年的20~40 cm深的生育期之前的硫酸根离子显著高于生育期之后的结果(表2),其可能的原因是硫氧化产生的较多的硫酸盐较为活跃,随降水(2021年7月25日与9月3日的降雨量均>15 mm)流失到地下水中。

在施用了硫肥的2021年,0~20 cm深的向日葵生育期前的土壤阳离子交换量显著高于生育期之后(表2),其主要原因是pH值能够影响土壤胶体微粒表面的羟基(-OH)的解离,当pH值降低时(表1a),土壤胶体微粒表面所负电荷减少,因此阳离子交换量降低<sup>[16]</sup>。

#### 3.2 硫肥对不同施氮量下的向日葵产量的影响

上述结果表明,在未施硫肥的2020年,施氮量显著影响向日葵产量,不同施氮量下的产量从高到低排序为:N1>N2>N3>N0(图1)。但是,在施硫肥的2021年,不同施氮量下的产量无显著差异,产量从高到低排序为:N3>N0>N1>N2(图1)。这预示着施用单质硫能够在低施氮量(N3)就能够达到最大的产量(这种情况下的施用折纯单质硫肥与折纯氮肥的比例=8.44 kg S<sup>0</sup>/667m<sup>2</sup>: 8.05 kg N/667m<sup>2</sup>),使减少施用氮化肥量成为可能。前人的

研究结果已经表明,在一定条件下,硫氮配施比单独施氮肥的产量高<sup>[17,18]</sup>,但在氮肥不足时施用硫肥反而对作物氮素的吸收利用产生负面影响<sup>[18]</sup>。因此,土壤有效氮与硫需要合适的比例才能促进营养吸收与作物生长。但是,向日葵地土壤中的最佳比例尚不确定,需要进一步研究。

#### 4 结论

在河套灌区向日葵的碱性土壤中施用单质硫肥能够显著减低土壤 pH 值,降低后的 pH 值至少可保持一个生育期,还能够降低土壤碱化度、交换性钠、阳离子交换量,具有改良碱性土壤的作用。硫氮互作能够增加土壤盐分与硫酸根离子,但是,增加的盐分与硫酸根离子能够随降水或灌溉水渗透到地下水中。施用单质硫肥能够在低施氮量下使产量达到最大,从而最佳的折纯硫氮施用量之比为 8.44: 8.05 (kg/667m<sup>2</sup>),这可显著降低氮化肥的施用量。未来的研究是探索河套灌区向日葵地土壤中的有效硫与有效氮的最佳比例以及硫氮长期互作对土壤性质的影响。

#### 参考文献

- [1] ORDOS. Inner Mongolia irrigation structure included in ICID register. Ordos New Media Center, China Daily [N] Available from: htm (accessed 13 November 2019). 2019
- [2] 桑以琳. 内蒙古河套灌区碱化土壤的发生原因和特性[J]. 土壤学报, 1996, 033(004): 398-404.
- [3] 高杰, 高晓龙, 杨晓军. 河套向日葵: 我是巴彦淖尔的亮丽名片[N]. 巴彦淖尔新闻网. (2019年12月17日接入). 2019.
- [4] 内蒙古统计局. 内蒙古统计年鉴 2019[M]. 中国北京: 中国统计出版社, 2019.
- [5] 赖黎明, 美丽, 杨旸. 内蒙古河套灌区农业土壤特征与发展分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(2): 213-218.
- [6] McCauley A, Jones C, Jacobsen J. Nutrient Management Module No. 8: Soil pH and organic matter [E]. A self-study course from the MSU Extension Service Continuing Education Series Minnesota State University (MSU), USA. Available from:(accessed 16 December 2020). 2003
- [7] Lai L, Oh Hong C, Kumar S, et al Soil nitrogen dynamics in switchgrass seeded to a marginal cropland in South Dakota. GCB Bioenergy, 2018, 10(1): 28-38.
- [8] 曹志洪, 孟赐福, 胡正义. 中国农业与环境中的硫[M]. 中国北京: 科学出版社, 2011.
- [9] 梁飞. 水肥一体化实用问答及技术模式、案例分析[M]. 中国北京: 中国农业出版社, 2017.
- [10] Pietri J A, Brookes P. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(7): 1856-1861.
- [11] 郑诗樟. 硫肥对土壤性质, 重金属形态和作物生长的影响[D]. 博士论文, 中国湖北武汉: 华中农业大学, 2012.
- [12] 贺纪正, 张丽梅. 土壤氮素转化的关键微生物过程及机制[J]. 微生物学通报, 2013, 40(01): 98-108.
- [13] WheatA. 气象数据(10 公里精度). 小麦芽-农业气象大数据系统 V1.4.5, 小麦芽大数据信息(宁波)有限公司(浙公网安备 33020902000314 号 | 浙 ICP 备 20200374 73 号-1).2021.
- [14] Slaton NA Norman R J Gilmour J T Oxidation rates of commercial elemental sulfur products applied to an alkaline silt loam from Arkansas [J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65(1): 239-243.
- [15] 刘刚, 李新平, 张永宏, 等. 银北地区硫磺改良盐碱土初探[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(04): 79-82.
- [16] 朱鹤健, 陈健飞, 陈松林. 土壤地理学(第三版). 中国北京: 高等教育出版社, 2019.
- [17] Verma O P, Singh S, Pradhan S, et al. Irrigation, nitrogen and sulphur fertilization response on productivity, water use efficiency and quality of Ethiopian mustard (*Brassica carinata*) in a semi-arid environment [J]. Journal of Applied and Natural Science, 2018, 10(2): 593-600.
- [18] 刘洋, 石慧清, 龚月桦. 硫氮配施对持绿型小麦氮素运转及叶片衰老的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(6): 1206-1213.

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS