

凹凸棒石土壤改良剂对玉米产量及土壤的影响

翟亚娇, 毛森煜, 丁明元
(临泽县农业技术推广中心, 甘肃 临泽 734200)

摘要: 为探索凹凸棒石土壤改良剂对盐碱化土壤改良的有效措施, 于2022—2024年连续3 a分析了混施凹凸棒石土壤改良剂40 kg/hm²+农家肥50 t/hm²、单施凹凸棒石土壤改良剂40 kg/hm²对玉米产量及土壤理化性质的影响。结果表明, 混施凹凸棒石土壤改良剂+农家肥处理在改善玉米农艺性状方面表现最优, 3 a平均株高、茎粗较对常规施肥分别增加8.57%、56.59%, 显著降低了玉米秃顶长, 并增加了穗粒数; 增产效果明显优于其他处理, 3 a平均产量较对常规施肥增产18.45%。从土壤改良效果来看, 土壤改良剂的施用显著改善了土壤质量, 土壤含水量、速效氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾含量均以混施凹凸棒石土壤改良剂+农家肥处理最高, 3 a平均较对常规施肥分别增加4.90%、12.59%、25.00%、46.88%、25.43%、35.78%, 其中土壤速效磷含量增加最为显著; 同时可有效降低土壤pH 8.70%~14.67%。相关性分析发现, 玉米产量与土壤理化性质呈显著正相关, 而与土壤pH呈显著负相关, 随着土壤质量的改善, 土壤微生物数量也呈现明显增加趋势。综上所述, 土壤改良剂的施用不仅能够有效提高玉米产量, 还能显著改善土壤理化性质, 其中凹凸棒石土壤改良剂40 kg/hm²与农家肥50 t/hm²混施的效果尤为显著, 可为盐碱化土地的改良提供理论参考。

关键词: 土地盐碱化; 土壤改良剂; 土壤理化性质; 玉米; 产量

中图分类号: S156.2; S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2025)09-0878-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.09.017

Effects of Attapulgite Soil Amendment on Maize Yield and Soil Improvement

ZHAI Yajiao, MAO Senyu, DING Mingyuan
(Linze Agricultural Technology Extension Centre, Linze Gansu 734200, China)

Abstract: To explore effective measures for improving saline-alkali soil with attapulgite amendment, a continuous 3-year analysis was conducted from 2022 to 2024 to evaluate the effects of applying attapulgite soil amendment at 40 kg/ha combined with farmyard manure at 50 t/ha, as well as applying attapulgite soil amendment alone at 40 kg/ha, on maize yield and soil physicochemical properties. Results showed that the combined treatment of attapulgite soil amendment and farmyard manure performed best in improving maize agronomic traits. Compared with conventional fertilization, the 3-year average plant height and stem diameter increased by 8.57% and 56.59%, respectively, while bald ear length was significantly reduced and the number of kernels per ear increased. The yield-increasing effect was markedly better than other treatments, with a 3-year average yield increase of 18.45% compared to the control of conventional fertilization. Regarding soil improvement, application of soil amendment significantly enhanced soil quality. Soil moisture, available nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, total potassium, and available potassium contents were all highest in the combined treatment, with 3-year average increases of 4.90%, 12.59%, 25.00%, 46.88%, 25.43% and 35.78% compared with conventional fertilization, among which available phosphorus content increased most significantly. Meanwhile, soil pH was effectively reduced by 8.70% to 14.67%. Correlation analysis revealed that maize yield was significantly positively correlated with soil physicochemical properties and significantly negatively correlated with soil pH. With the improvement of soil quality, the number of soil microorganisms also showed an obvious upward trend. In conclusion, application of soil amendment not only effectively enhanced maize yield but also significantly improved soil physicochemical properties, with the combined treatment of attapulgite soil amendment at 40 kg/ha and farmyard manure at 50 t/ha being particularly effective, providing theoretical reference for the improvement of saline-alkali land.

Key words: Soil saline-alkalization; Soil Amendment; Soil physicochemical property; Maize; Yield

土壤作为人类赖以生存的物质基础, 在作物 生长、生态调节等方面具有重要作用^[1]。临泽县

收稿日期: 2025-03-17; 修订日期: 2025-07-08

基金项目: 临泽县科技计划项目(22XLJH03)。

作者简介: 翟亚娇(1994—), 女, 甘肃临泽人, 农艺师, 主要从事农业技术推广及应用工作。Email: 925416404@qq.com。

依靠独特的地理位置, 围绕“4+1+N”产业体系, 持续增强制种玉米产业优势^[2]。随着制种玉米种植面积的逐步扩大, 农业用水呈现短缺态势, 水资源短缺已成为制约我国农业发展的瓶颈^[3]。为解决这一问题, 膜下滴灌、浅埋滴灌等一系列水肥一体化滴灌技术应运而生, 经实际应用表明, 滴灌技术对玉米产量和水肥资源的节约具有显著促进作用^[4]。但随着水肥一体化节水农业的大力发展, 土壤盐渍化程度呈明显上升趋势^[5]。盐渍土由于其特殊的理化性质, 例如土壤板结化、较高的含盐量以及土壤通透性差会对植物造成严重的破坏, 进而严重威胁着我国粮食安全^[6-7]。在内蒙古黄河灌区, 盐渍化耕地玉米产量较非盐渍化耕地低 30% 以上^[8]; 在云南省大棚栽培的洋桔梗, 由于棚内高温高湿及大量施肥, 导致土壤板结, 品质和产量严重下降^[9]。

施用土壤改良剂是改良土壤盐渍化的有效措施之一。土壤改良剂按来源可分为天然改良剂、合成改良剂、天然-合成共聚物改良剂和生物改良剂等^[10]。临泽县凹凸棒石矿产资源丰富, 凹凸棒石为一种天然的含水镁铝硅酸盐, 含有多种矿物质及微量元素, 不含重金属及毒害物质, 具有独特的三维空间链式结构及特殊的针、棒状晶体结构, 能有效防止硫酸铵、尿素等氮肥中氮的损失, 具有固氮作用, 可减少肥料流失, 延缓养分释放期, 提高肥料利用率, 改良土壤活性。此外, 利用凹凸棒石的阳离子交换能力, 使其在土壤中起到保水、保肥、调节 pH 的作用, 并可为植物提供一定的微量元素, 促进植物生长^[11]。土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分, 其数量的丰富度及群落的多样性是土壤代谢过程的主要驱动力^[12]。吴勇等^[13]研究发现, 土壤改良剂的施用显著增加了土壤细菌丰度, 加速了土壤碳氮循环和有机质降解。因此, 采用凹凸棒石土壤改良剂对玉米田土壤进行改良, 探索凹凸棒石土壤改良剂的作用机制, 为缓解土壤盐渍化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022—2024 年在临泽县鸭暖镇古寨村玉米制种五化基地进行。试验区属大陆性荒漠草原气候, 年均降水量 117 mm, 蒸发量 2 091 mm,

年均气温 7.7 °C, 日照时数 3 052 h。试验区地势平坦, 土壤为盐化潮土, 耕层土壤含全氮 0.72 g/kg、速效氮 55.76 mg/kg、全磷 0.53 g/kg、速效磷 46.88 mg/kg、全钾 9.56 g/kg、速效钾 115.05 mg/kg, pH 为 8.60。

1.2 供试材料

指示玉米品种为制种玉米 K199, 由三北种业有限公司提供。供试凹凸棒石土壤改良剂“碱地康”, 由临泽鼎丰源凹土高新技术开发有限公司提供。供试尿素(含 N 46.4%)、碳酸钙(含 C 27%)、磷酸二铵(含 N 18%、P₂O₅ 46%), 均由河北金桥农资有限公司提供。农家肥为发酵后的牛粪, 由临泽县金地富民蔬菜种植专业合作社提供。

1.3 试验方法

试验共设 3 个处理, 分别为 T₁ 处理, 凹凸棒石土壤改良剂 40 kg/hm²、农家肥 50 t/hm²; T₂ 处理, 凹凸棒石土壤改良剂 40 kg/hm²; 以常规施肥为对照(CK), 尿素 300 kg/hm²、碳酸钙 230 kg/hm²、磷酸二铵 370 kg/hm²。T₁、T₂ 处理均基施尿素 300 kg/hm²、碳酸钙 230 kg/hm²、磷酸二铵 370 kg/hm²。各施肥处理分别在玉米拔节期、抽雄期和灌浆期采用水肥一体化进行施肥。试验采用随机区组, 3 次重复, 小区面积 7.68 m²(3.2 m × 2.4 m), 各区以宽 50 cm 的小埂隔离。于每年 4 月初、5 月中旬、6 月初、6 月中旬、7 月初、7 月中旬、7 月末、8 月中旬, 共灌水 8 次, 每次 300 ~ 350 m³/hm²。8 月底收获玉米。其余管理同大田。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 玉米农艺性质与产量 在玉米成熟后, 采用 5 点取样法, 每点取 10 株玉米进行考种, 用游标卡尺测定茎粗、秃顶长, 用卷尺测株高、穗位高度、穗长, 用天平测量百粒鲜重, 记录穗粒数, 并按小区单收计产。

1.4.2 土壤理化性质测定 土壤连续处理 3 a 后, 于 2024 年玉米收获后采用棋盘式取样法进行土壤样品采集, 各处理共取 10 个样点, 每样点取 5 ~ 30 cm 土层的土样 100 g, 去除杂质后混匀。参考王晓媛等^[14]的方法测定土壤全氮(TN)、速效氮(AN)、pH、速效磷(AP)和速效钾(AK); 参考李玉露^[15]的方法测定土壤全钾(TK)、全磷(TP)和土壤含水量。

1.4.3 土壤微生物群落的测定 将 1.4.2 中采集的土样经清洗、振荡离心处理^[16], 收集沉淀送上海生工生物工程股份有限公司进行 Illumina MiSeq 高通量测序。

1.5 数据分析

采用 Excel 2019 软件进行数据统计, 用 SPSS 21.0 软件进行 Duncan's 差异显著性检验($P<0.05$), 同时使用 Mental test 进行土壤理化性质、作物产量与土壤微生物之间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对玉米农艺性状的影响

由表 1 可以看出, T_1 、 T_2 处理下的株高、茎粗、穗长和穗位高均高于 CK 处理, 且随着施肥年限增加而增加。其中玉米株高连续 3 a 均以 T_1 处理最高, 分别较 CK 处理高 7.52%、9.16%、9.02%; 玉米穗位高连续 3 a 以 T_2 处理最高, 分别较 CK 处理高 6.45%、4.78%、8.68%, 平均增加 8.57%; 茎粗 2022 年以 T_1 处理最粗, 较 CK 增加 55.81%; 2023 年 T_1 、 T_2 处理较粗, 较 CK 增加 56.98%; 2024 年以 T_2 处理最粗, 较 CK 增加 58.72%, T_1 处理较粗, 较 CK 增加 56.98%, T_1 处理 3 a 平均增加 56.59%。穗位高和穗长各处理间差异不显著。相对于 CK 处理, T_1 、 T_2 处理连续 3 a 玉米秃顶长降低, 增加了玉米结实率; 2022—2023 年 T_1 、 T_2 处理穗粒数均增加, 2024 年 T_1 处理穗粒数增加, T_2 处理减少。

2.2 不同施肥处理对玉米产量的影响

由表 2 可以看出, 2022—2024 年 T_1 、 T_2 处理下的玉米产量均显著高于 CK 处理, 且处理间差异显著。3 a 均以 T_1 处理产量最高, 其中 2022 年为 8 960.87 kg/hm², 较 CK 增产 18.99%; 2023 年为 8 980.87 kg/hm², 较 CK 增产 17.40%; 2024 年

为 9 000.56 kg/hm², 较 CK 增产 18.97 %; 3 a 平均产量较 CK 处理增产 18.45%。其次是 T_2 处理, 2022 年为 8 390.65 kg/hm², 较 CK 增产 11.42%; 2023 年为 8 600.31 kg/hm², 较 CK 增产 12.42%; 2024 年为 8 010.35 kg/hm², 较 CK 增产 5.88%; 3 a 平均产量较 CK 处理增加 9.92%。随着处理年限的增加, T_1 处理下玉米产量呈逐年增加趋势, 而 T_2 处理下 2024 年的产量较 2022、2023 年有所降低, 究其原因, 可能是土壤改良剂的施用虽然改善了土壤理化性质, 但长时间土壤肥力未得到补充, 影响了土壤结构的改善和养分利用率, 进而使得产量降低。

表 2 不同施肥处理的玉米产量

时间	处理	产量 /(kg/hm ²)	较CK增加 /(kg/hm ²)	增产率 /%
2024 年	T_1	9 000.56±0.06 a	1 435.30	18.97
	T_2	8 010.35±1.22 b	445.09	5.88
	CK	7 565.26±1.13 c		
2023 年	T_1	8 980.87±2.83 a	1 330.82	17.40
	T_2	8 600.31±3.12 b	950.26	12.42
	CK	7 650.05±2.65 c		
2022 年	T_1	8 960.87±3.17 a	1 430.15	18.99
	T_2	8 390.65±3.01 b	859.93	11.42
	CK	7 530.72±5.66 c		

2.3 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

由表 3 可以看出, T_1 、 T_2 处理下土壤含水量、全氮、速效氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾含量均高于或相当于 CK, 且均降低了土壤碱性。其中土壤含水量、速效氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾含量均以 T_1 处理最高, 3 a 平均较 CK 分别增加 4.90%、12.59%、25.00%、46.88%、25.43%、35.78%, 其中土壤速效磷含量增加最为显著。全氮含量各处理间差异不显著。 T_1 、 T_2 处理下土壤 pH 较 CK 有降低趋势, 其中 2024 年分别降低

表 1 不同施肥处理的玉米农艺性状

时间	处理	株高 /cm	茎粗 /cm	穗位高 /cm	穗长 /cm	秃顶长 /cm	穗粒数 /粒
2024 年	T_1	165.66±1.28 a	2.70±0.04 a	109.05±1.34 a	17.55±0.98 a	0.95±0.02 ab	280.75±1.67 a
	T_2	165.63±1.09 a	2.73±0.01 a	115.17±1.89 a	17.57±0.66 a	0.96±0.01 ab	192.50±1.56 b
	CK	151.95±1.20 b	1.72±0.06 b	105.97±0.96 a	17.23±0.44 a	1.90±0.96 a	255.27±2.40 ab
2023 年	T_1	165.04±0.73 a	2.70±0.05 a	109.92±2.38 a	17.76±0.68 a	0.96±0.03 b	280.74±1.88 a
	T_2	164.20±1.06 a	2.70±0.05 a	113.26±0.95 a	17.44±0.27 a	0.95±0.06 b	254.22±7.75 b
	CK	151.19±2.89 b	1.72±0.03 b	108.09±3.74 a	17.20±0.03 a	1.91±0.04 a	192.34±0.97 c
2022 年	T_1	163.37±1.22 a	2.68±0.07 a	108.25±2.21 a	17.76±0.68 a	0.90±0.02 ab	279.07±2.99 a
	T_2	161.93±1.13 a	2.59±0.05 a	112.93±1.47 a	17.44±0.27 a	0.90±0.02 ab	250.22±7.72 b
	CK	151.95±3.79 b	1.72±0.03 b	106.09±5.93 a	17.25±0.15 a	1.89±0.02 b	191.17±0.90 c

表 3 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

时间	处理	含水量 /(g/kg)	全氮 /(g/kg)	速效氮 /(mg/kg)	全磷 /(g/kg)	速效磷 /(mg/kg)	全钾 /(g/kg)	速效钾 /(mg/kg)	pH
2024年	T ₁	201.4±16.6 a	0.73±0.15 a	71.56±4.48 a	0.77±0.16 a	55.06±4.66 a	10.71±0.15 a	261.23±3.87 a	7.87±0.25 b
	T ₂	190.0±9.8 a	0.74±0.17 a	70.73±9.44 a	0.62±0.21 a	41.65±3.24 ab	9.48±0.11 a	242.27±1.30 b	8.13±0.03 a
	CK	184.4±2.2 a	0.70±0.06 a	64.52±7.40 ab	0.61±0.12 a	34.28±5.79 b	8.24±0.18 b	193.62±5.78 c	8.62±0.15 a
2023年	T ₁	199.0±3.1 a	0.71±0.02 a	71.12±0.63 a	0.75±0.01 a	53.82±1.30 a	10.11±0.22 a	260.06±3.34 a	7.51±0.08 bc
	T ₂	196.0±4.7 a	0.71±0.02 a	70.04±0.09 a	0.61±0.02 b	40.11±0.26 b	9.78±0.41 b	247.30±6.77 b	7.57±0.13 bc
	CK	194.5±4.3 a	0.70±0.02 a	62.33±2.20 b	0.61±0.02 b	39.28±0.35 b	8.14±0.11 b	190.96±1.36 c	8.59±0.58 a
2022年	T ₁	196.8±5.5 a	0.69±0.05 a	70.33±0.42 a	0.73±0.02 a	53.71±1.18 a	9.97±0.17 a	259.93±3.26 a	7.62±0.33 b
	T ₂	192.8±2.4 a	0.67±0.05 a	69.58±0.19 a	0.60±0.02 b	40.01±0.42 b	9.24±0.20 b	240.83±2.09 b	8.20±0.19 a
	CK	190.4±0.7 b	0.66±0.04 a	62.33±1.20 b	0.59±0.05 b	37.15±3.05 b	8.15±0.06 c	190.79±1.16 c	8.93±0.09 a

8.70%、5.68%，2023 年幅度最大，降幅为12.57%、11.87%，2022 年降幅为 14.67%、8.17%。

2.4 玉米产量、土壤理化性质与微生物相关性分析
土壤微生物数量既是土壤养分转化与循环的驱动力，又可作为植物有效养分的储备库^[17]。由图 1 可知，土壤真菌数量与全氮、速效氮和速效钾呈显著正相关，玉米产量与土壤含水量、土壤全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量呈显著正相关，与土壤 pH 呈显著负相关。可见凹凸棒石土壤改良剂的施用，土壤理化性质得到有效改善，为土壤微生物的繁殖提供有利条件。

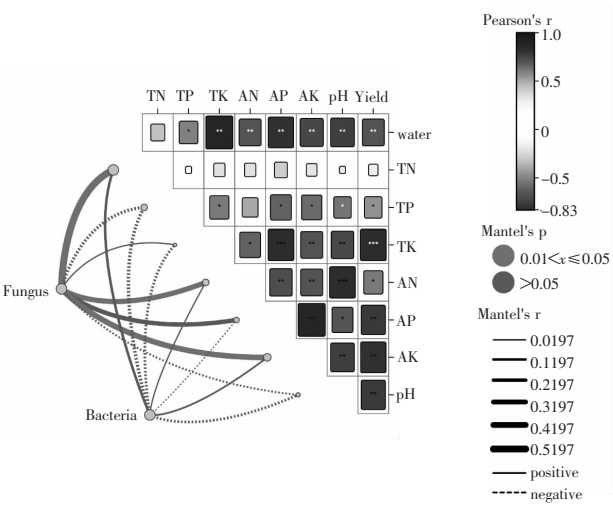


图 1 土壤理化性质与微生物及玉米产量间的相关性分析

3 讨论与结论

土壤改良剂是添加到土壤中以改善其物理、化学和生物特性，最终增强土壤肥力和植物生长的材料。土壤改良剂在农业实践中发挥着至关重要的作用，特别是在解决土壤盐分、养分缺乏和土壤结构不良等问题方面。土壤改良剂的另一个重要作用是能够改善土壤结构和微生物多样性^[18-19]。

氮磷钾是作物生长所需的大量营养元素，土壤中速效氮、速效钾和速效磷含量是土壤肥力状况的直接指标^[20]。本试验表明，土壤微生物数量与土壤氮磷钾含量呈正相关，凹凸棒石土壤改良剂的施用有效增加了土壤氮磷钾含量，为土壤微生物繁殖提供了营养物质。土壤改良剂已被发现可以调节土壤 pH、提高肥力、固定重金属、增加土壤有机质、提高速效氮和磷的水平，同时还能促进有益土壤微生物的生长^[8,10]。而陆海玲^[18]的研究与本试验结果一致，其主要是土壤改良剂可以控制尿素的释放，有效促进各种土壤条件下的植物生长。这种调节剂具有良好的生物降解性，可以改善土壤条件，同时支持农业生产力。土壤盐碱化是限制农业生产的一个严重环境问题，土壤改良剂的使用对于面临土壤盐碱化的地区尤其有益，在改善土壤有机碳组分和微生物群落结构方面有显著作用^[19]。孙娅辉等^[21]在杜果园中施用土壤改良剂后，可提高果实产量、可食率、可溶性糖及维生素 C 等含量。此外，过量施肥常常导致土壤污染和退化，而土壤调理剂的应用可弥补过量施肥带来的不利影响，郭丽琢等^[1]发现，不同土壤改良剂可以在吸收污染物的同时可持续释放养分，从而改善土壤健康并促进作物生长。

本试验于 2022—2024 年连续 3 a 在临泽县鸭暖镇制种玉米五化基地进行凹凸棒石土壤改良剂 + 农家肥配施和单施凹凸棒石土壤改良剂试验，结果表明，混施凹凸棒石土壤改良剂 40 kg/hm²+ 农家肥 50 t/hm² 处理可显著提高玉米产量 18.45%，玉米株高增高 8.57%，茎粗增粗 56.59%，显著降低了玉米秃顶长，并增加了穗粒数。可有效利用的氮、磷、钾养分含量的增加，可以显著提高作

物的产量^[18-19]。从土壤改良效果来看,土壤改良剂的施用显著改善了土壤质量,土壤含水量、速效氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾含量均以混施凹凸棒石土壤改良剂+农家肥处理最高,3 a 平均较对经常规施肥分别增加 4.90%、12.59%、25.00%、46.88%、25.43%、35.78%,其中土壤速效磷含量增加最为显著;此外,凹凸棒石土壤改良剂能有效缓解土壤盐渍化问题,土壤 pH 降低 8.70%~14.67%。单施凹凸棒石土壤改良剂 40 kg/hm² 处理下,连续 3 a 只是增施土壤改良剂,加之玉米种植对土壤肥力的消耗,使得 2024 年的产量比前 2 a 有所降低,原因可能是未及时补充肥料,影响了土壤结构的改善和养分利用率的提高,但具体原因还需要进一步试验验证。相关性分析发现,玉米产量与土壤理化性质呈显著正相关,而与土壤 pH 呈显著负相关,随着土壤质量的改善,土壤微生物数量也将明显增加。

综上所述,凹凸棒石土壤改良剂“碱地康”可显著降低土壤 pH,有效提高玉米产量,且与农家肥混配施用后,即可降低化学肥料的施用,又可改善土壤理化性质,还可以增加土壤微生物数量,为土壤养分转化循环提供驱动力。由此可见,凹凸棒石土壤改良剂 40 kg/hm² 与农家肥 50 t/hm² 混施即可改良土壤实现作物增产,又可减少化学肥料的施用,可为盐碱化土地的改良提供理论参考。

参考文献:

- [1] 郭丽琢,陈文涛,高玉红,等.不同改良剂对土壤盐渍化特性及燕麦生物排盐作用的影响[J].麦类作物学报,2024,44(12):1619-1629.
- [2] 管 渊.临泽县现代农业发展现状及对策[J].寒旱农业科学,2023,2(5):410-415.
- [3] 惠 倩,白 浪.我国旱作节水农业发展的思考[J].寒旱农业科学,2023,2(12):1102-1108.
- [4] 孙和折,崔云玲,张立勤,等.水氮运筹对膜下滴灌制种玉米生长及产量的影响[J].寒旱农业科学,2024,3(11):1025-1031.
- [5] 李晓瑾,郭丽琢,高玉红,等.不同植物对河西盐渍土的改良效果[J].核农学报,2024,38(12):2442-2450.
- [6] 林 兵,赵步洪.水稻耐盐碱生理机制与遗传改良的研究进展[J].江苏农业科学,2022,50(16):37-43;238.
- [7] 韩 笑,马文东,王桂玲,等.水稻耐盐碱生理与遗传机制研究进展[J].黑龙江农业科学,2022(8):62-67.
- [8] 张 皓.深翻秸秆还田对盐碱地玉米生长发育及产量的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.
- [9] 彭 佳,汤俊瑜,王豪吉,等.不同生物有机肥改良次生盐渍化土壤及对洋桔梗生长的影响[J].中国土壤与肥料,2025(2):128-135.
- [10] 刘玉国,谭兰兰,卞 龙,等.盐渍化土壤改良剂的筛选[J].农业科技与信息,2013(20):48-50.
- [11] 吴明昊,朱孔志,杨世才,等.凹凸棒石土壤改良剂在盐碱地水稻上的应用效果研究[J].现代农业科技,2017(24):15;17.
- [12] 陈海生,秦昌鲜,彭 崇,等.甘蔗间作花生对根际土壤微生物种群及酶活性的影响[J].江苏农业科学,2019,47(3):223-226.
- [13] 吴 勇,朱玉祥,陈 越,等.不同土壤改良剂对红美人生长及土壤微生物群落的影响[J].浙江农业科学,2024,65(11):2751-2757.
- [14] 王晓媛,孙 娇.有机肥替代氮肥对银北灌区盐化灌淤土理化性质及玉米生长的影响[J].寒旱农业科学,2024,3(1):51-56.
- [15] 李玉露.不同肥料配施对黄土高原果园土壤理化性质及苹果产量品质的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2024.
- [16] 刘 闯,姜 悦,罗 然,等.有机无机肥配施对紫苏生长及土壤微生物群落的影响[J/OL].北方园艺,1-9 (2025-07-03)[2025-07-05].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1247.S.20250703.1609.002.html>.
- [17] 徐阳春,沈其荣,冉 炜.长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].土壤学报,2002(1):83-90.
- [18] 陆海玲.有机肥配施盐碱土壤改良剂对盐碱地土壤性状及甜菜产量和品质的影响[J].寒旱农业科学,2024,3(10):944-948.
- [19] 黄 楠,刘继培,赵 跃.蚯蚓粪配施不同土壤改良剂对甜瓜产量、品质及土壤理化性质的影响[J].中国土壤与肥料,2024(3):153-158.
- [20] 殷 豪,罗子恩,金泽峰,等.稻-渔共作农田一株优势真菌 LW-1 对土壤碱解氮、有效磷、土壤酶活性及镉生物有效性的影响[J].生物资源,2024,46(2):154-163.
- [21] 孙娅辉,郑中兵,字楠华,等.不同土壤改良剂对杧果果实产量和品质的影响[J].河南农业科学,2024,53(8):118-125.