

硅钙镁土壤调理剂改良酸性土壤及甘蔗增效研究

杨敬之^{1,2}, 兰珊^{1,2}, 王凤霞^{1,2}, 刘飞^{1,2}, 谢如林³, 黄鸿^{1,2}

(1. 瓮福(集团)有限责任公司, 贵州 贵阳 550002; 2. 中低品位磷矿及其共伴生资源高效利用国家重点实验室, 贵州 贵阳 550016; 3. 广西农业科学院 农业资源与环境研究所, 广西 南宁 530007)

[摘要] 广西甘蔗种植面积广, 但长期不科学施肥导致土壤酸化严重。针对广西酸性蔗地, 探究硅钙镁土壤调理剂的应用效果。结果表明: 施用硅钙镁土壤调理剂可显著提高甘蔗产量; 有效促进植株生长, 使株高、茎粗、有效茎均显著增加; 同时可起到改良土壤酸性、提高土壤pH、降低交换性酸含量的作用; 并探明当土壤pH \leq 3.5时, 每667 m²土壤调理剂的最佳施用量为375 kg。综上, 硅钙镁土壤调理剂在酸性蔗地改良和甘蔗增产方面效果显著, 可在土壤条件类似地区推广使用。

[关键词] 甘蔗; 土壤酸化; 土壤调理剂

[中图分类号] S156.2

[文献标志码] B

[文章编号] 2097-4566 (2025) 08-0108-05

Research on the improvement of acidic soil and the enhancement of sugarcane efficiency by silicon calcium magnesium soil conditioner

YANG Jingzhi^{1,2}, LAN Shan^{1,2}, WANG Fengxia^{1,2}, LIU Fei^{1,2}, XIE Rulin³, HUANG Hong^{1,2}

(1. Wengfu (Group) Co., Ltd., Guiyang 550002, China; 2. State Key Laboratory for Efficient Utilization of Medium and Low Grade Phosphate Rock and Its Associated Resources, Guiyang 550016, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: Sugarcane planting area is wide in Guangxi, but long-term unscientific fertilization leads to serious soil acidification. The application effect of silicon calcium magnesium soil conditioner is explored for acid sugarcane land in Guangxi. The results show that the application of silicon calcium magnesium soil conditioner can significantly increase the yield of sugarcane, effectively promote plant growth, so that plant height, stem diameter, effective stems were significantly increased; at the same time, it can improve soil acidity, increase soil pH and reduce exchangeable acid content. It is found that when the soil pH < 3.5, the optimum application amount of soil conditioner was 375 kg/mu. In summary, the silicon calcium magnesium soil conditioner has a significant effect on the improvement of acid sugarcane land and the increase of sugarcane yield, and can be widely used in areas with similar soil conditions.

Key words: sugarcane; soil acidification; soil conditioner

甘蔗的生长速度快且生物生长量大, 为了满足甘蔗的营养需求, 蔗农严重依赖施用化肥^[1]。高氮肥投入和高生物量收获扩大了甘蔗地土壤中钙和镁的损失, 加速了甘蔗地土壤的酸化^[2], 这不仅导致土壤肥力下降, 影响甘蔗对养分的吸收^[3], 还增加土壤中有毒离子的活性, 对甘蔗的生长发育产生直接毒害作用^[4]。

广西的甘蔗种植面积在80万hm²以上, 约占全国甘蔗种植面积的2/3^[5]。据前人研究报道, 广西主要甘蔗种植区土壤酸化趋势明显, 而随着土壤pH下降, 铝离子和重金属离子含量也不断增加, 已经严重影响了广西甘蔗产业的健康发展^[6-8]。在酸性土壤中, 铝离子的溶解度增加, 过量的铝离子会

抑制甘蔗根系的生长和发育^[9], 降低根系对水分和养分的吸收能力, 进而影响甘蔗地上部分的生长, 导致甘蔗产量降低、品质下降^[10]。针对广西甘蔗种植区的土壤酸化问题, 亟须采取有效的改良措施。硅钙镁土壤调理剂作为一种新型土壤改良材料, 含有多种营养元素, 在改良酸性土壤方面具有很大的优势。其中钙、镁离子可以中和土壤酸性, 提高土

[收稿日期] 2025-03-10

[作者简介] 杨敬之(1997-), 男, 贵州铜仁人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为精细化工。

[通信作者] 黄鸿(1979-), 男, 贵州贵阳人, 博士, 研究员, 长期从事新型肥料开发及化工应用拓展相关工作。

[基金项目] 贵州省科技技术项目(黔科合中引地[2023]004)

壤pH,降低土壤中铝离子和其他重金属离子的活性^[11];硅元素不仅能增强甘蔗的抗逆性,还能促进甘蔗的生长发育^[12]。然而,目前关于硅钙镁土壤调理剂在广西甘蔗种植区土壤上的应用效果研究还相对较少,其最佳施用量以及对甘蔗产量、品质和土壤性质的具体影响尚不明确。

笔者旨在研究硅钙镁土壤调理剂对广西甘蔗种植区土壤的改良效果以及对甘蔗产量和品质的影响,通过设置不同的调理剂施用量,探究其最佳施用量,为广西甘蔗种植区合理使用硅钙镁土壤调理剂提供科学依据,研究结果可有效支撑硅钙镁土壤调理剂产品在南方市场上的应用推广。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地属于广西崇左市江州区驮卢镇,位于喀斯特盆地中央的缓坡地(北纬22°37'56",东经107°39'49"),土壤类型为赤红壤。试验地土壤的理化性状见表1。

表1 试验地土壤的理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of experimental field

pH	$w(\text{有机质})/(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{NO}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{NH}_4\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w(\text{有效P})/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	阳离子交换量/($\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)				
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	Al ³⁺
4.75	22.6	53.4	33.8	46.3	0.49	2.36	0.35	6.0	0.8

试验设10个土壤调理剂用量,667 m²土壤调理剂用量分别为0、75、150、225、300、375、450、525、600、675 kg。土壤调理剂中CaO、MgO和SiO₂的质量分数分别为41.35%、3.08%和38.57%。试验前先把试验地犁耙各1次,再划分试验小区,然后撒施土壤调理剂后再旋耕2次,把土壤调理剂与土壤充分混合。试验设3次重复,小区面积为216 m²(9 m×24 m),小区之间设1 m的隔离带,相邻小区之间各留2 m用作缓冲区,缓冲区被排除在采样、调查和产量计算之外,实际小区面积为96 m²。试验地种植了2个甘蔗品种,分别为桂糖44号和桂热2号。试验地按农户的习惯进行施肥管理,种植时每667 m²施用50 kg药肥作基肥,甘蔗拔节期每667 m²施用药肥100 kg和17-17-17复合肥50 kg后进行大培土。

1.2 产量调查及植株样品采集和分析

于甘蔗收获时,调查各小区的甘蔗有效茎,在各小区中间3行各随机选取连续20株甘蔗,调查株高、茎粗、垂度、单茎质量和糖分含量,根据每

667 m²有效茎数和平均单茎质量计算出甘蔗产量。分别采集顶端倒数第3片完全展开叶样品和茎秆样品,在75℃下烘干24 h后,粉碎过0.385 mm(40目)筛后保存。

植株样品在微波消解器中用H₂SO₄-H₂O₂消化,全氮用凯氏定氮法测定,全磷用钼锑抗比色法测定,全钾用火焰光度法测定,全钙和全镁用原子吸收分光光度法测定。

1.3 土壤样品采集分析

甘蔗收获后采集土壤样品,采样时,按网格法布点和等量原则,每个小区用不锈钢铲采集20个点的耕层土壤(0~25 cm),样品采回后在室内晾干,用木槌锤碎,过2 mm筛备用。

采用常规分析方法测定土壤pH和交换性盐基离子含量。土壤pH用电位法测定, $m(\text{土}):m(\text{水})=1:2.5$ 。土壤交换性盐基离子含量用NH₄OAC交换,钾和钠用火焰光度法测定,钙和镁用原子吸收分光光度法测定。土壤交换性酸和交换性H⁺用KCl淋洗法测定。交换性酸减去交换性H⁺被视为交换性Al³⁺。

1.4 数据处理

用Excel 2007软件对数据进行统计和相关性分析,并进行回归曲线的拟合,用决定系数(R²)对回归曲线的显著性进行检验。用SPSS16.0进行多组数据间的差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 土壤调理剂用量对甘蔗产量的影响

土壤调理剂用量对甘蔗产量的影响见图1、图2。在不施用土壤调理剂的情况下,桂糖44号和桂热2号667 m²产量分别为3.2 t和3.0 t,在667 m²土壤调理剂用量为375 kg以下时,随着土壤调理剂施用量增加,甘蔗的产量显著增加。当667 m²土壤调理剂

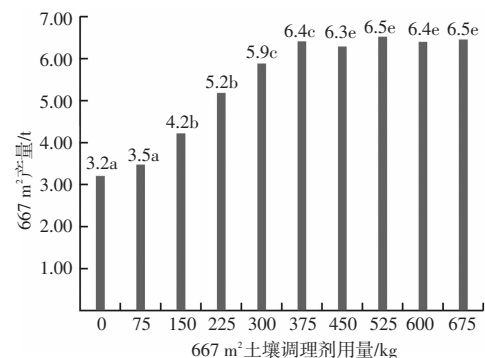


图1 土壤调理剂用量对桂糖44号甘蔗产量的影响

Fig. 1 Effect of soil conditioner dosage on sugarcane yield of Guitang 44

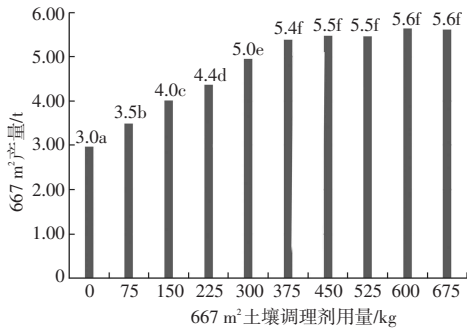


图2 土壤调理剂用量对桂热2号甘蔗产量的影响

Fig. 2 Effects of soil conditioner dosage on yield of Guire No.2
 用量为 375 kg 时，桂糖 44 号甘蔗 667 m² 产量达到 6.4 t，比不施土壤调理剂增产 100.0%；桂热 2 号甘蔗 667 m² 产量为 5.4 t，比不施土壤调理剂增产 81.3%。此后再增加土壤调理剂的用量，桂糖 44 号甘蔗 667 m² 产量维持在 6.4 t 左右，各处理间的差异不显著；桂热 2 号甘蔗 667 m² 产量维持在 5.6 t 左右，各处理间的差异亦不显著。

2.2 土壤调理剂用量对甘蔗糖分含量的影响

土壤调理剂用量对甘蔗糖分含量的影响见图 3。如图 3 所示，施用土壤调理剂对甘蔗糖分含量没有显著影响。桂糖 44 号各处理的 $w(\text{糖分})$ 在 15.03% ~ 15.59%，平均为 15.27%，各处理之间没有显著差异。桂热 2 号各处理的 $w(\text{糖分})$ 在 12.59% ~ 13.30%，平均为 12.82%，且各处理之间亦没有显著差异。

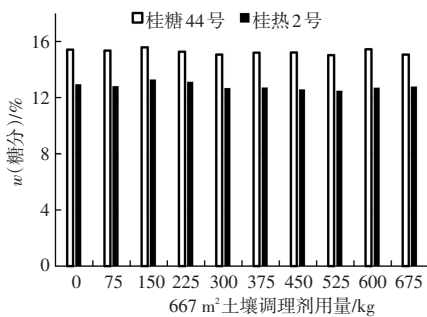


图3 土壤调理剂用量对甘蔗糖分含量的影响

Fig. 3 Effects of soil conditioner dosage on sugar content of sugarcane

2.3 土壤调理剂用量对甘蔗植株生长的影响

土壤调理剂对甘蔗植株生长的影响分别见图 4、图 5、图 6。由图 4 可知，当没有施用土壤调理剂时，桂糖 44 号和桂热 2 号的甘蔗的株高分别为 208.2 cm 和 206.2 cm，在 667 m² 土壤调理剂用量为 375 kg 以下时，随着土壤调理剂用量增加，甘蔗株高快速增加，但当 667 m² 土壤调理剂用量超过 375 kg 后，甘蔗的株高不再增加。667 m² 土壤调理剂用量在 375 kg 时，桂糖 44 号和桂热 2 号的甘蔗的株高

分别为 291.5 cm 和 308.8 cm，比不施土壤调理剂分别增加 40.1% 和 49.7%。

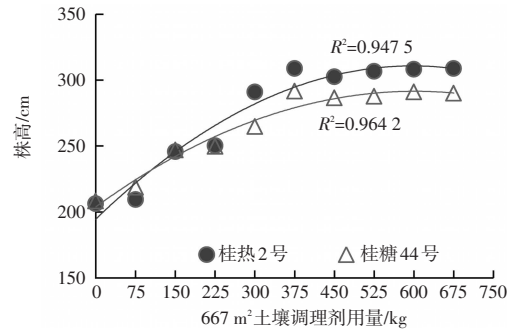


图4 土壤调理剂用量对甘蔗株高的影响

Fig. 4 Effects of soil conditioner dosage on plant height of sugarcane

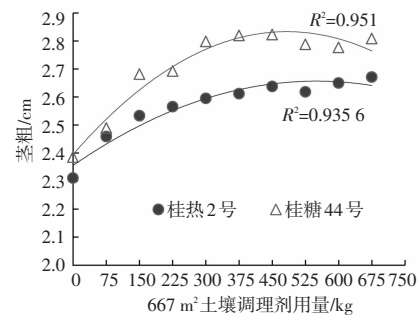


图5 土壤调理剂用量对甘蔗茎粗的影响

Fig. 5 Effects of soil conditioner dosage on stem diameter of sugarcane

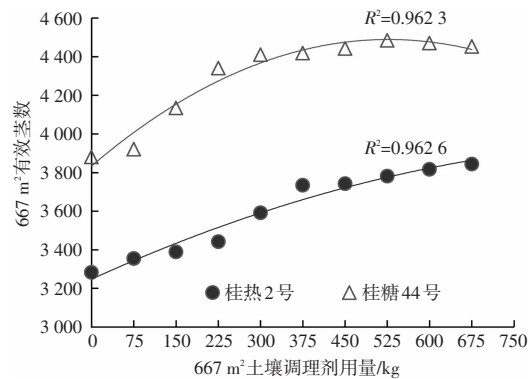


图6 土壤调理剂用量对甘蔗有效茎数的影响

Fig. 6 Effects of soil conditioner dosage on effective stalk of sugarcane

由图 5 可知，施用土壤调理剂对甘蔗茎粗的影响与对株高的影响相似。当没有施用土壤调理剂时，桂糖 44 号和桂热 2 号甘蔗的茎粗分别为 2.39 cm 和 2.31 cm，当 667 m² 土壤调理剂用量为 375 kg 以下时，随着土壤调理剂用量增加，甘蔗植株的茎粗快速增加，但当 667 m² 土壤调理剂用量超过 375 kg 后，甘蔗植株的茎粗不再增加（见图 5）。667 m² 土壤调理剂用量在 375 kg 时，桂糖 44 号和桂热 2 号甘

蔗的茎粗分别为2.82 cm和2.61 cm，比不施土壤调理剂分别增加18.2%和13.0%。

由图6可知，施用土壤调理剂亦影响甘蔗的有效茎数。当没有施用土壤调理剂时，桂糖44号和桂热2号甘蔗667 m²有效茎数分别为3 880和3 389。667 m²土壤调理剂用量在375 kg时，桂糖44号和桂热2号甘蔗667 m²有效茎数分别为4 418和3 734，比不施土壤调理剂分别增加13.9%和13.8%。

2.4 土壤调理剂用量对土壤酸性的改良效果

施用土壤调理剂能提高土壤的pH。当没有施用土壤调理剂时，土壤的pH为3.47，随着土壤调理剂用量增加，土壤pH逐渐增加，当667 m²土壤调理剂用量达到675 kg时，土壤pH可提高至6.01。土壤调理剂用量与土壤pH呈极显著的线性正相关，每667 m²施用100 kg的土壤调理剂，可以平均提高土壤pH 0.37个单位（见图7）。

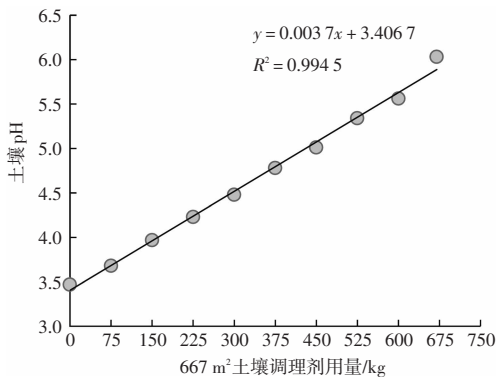


图7 土壤调理剂用量对土壤pH的影响

Fig. 7 Effect of soil conditioner dosage on soil pH

施用土壤调理剂能中和土壤中的交换性酸（见图8）。当没有施用土壤调理剂时，土壤的交换性酸质量摩尔浓度为6.80 cmol/kg，随着土壤调理剂用量增加，土壤交换性酸含量会逐渐降低，当667 m²土

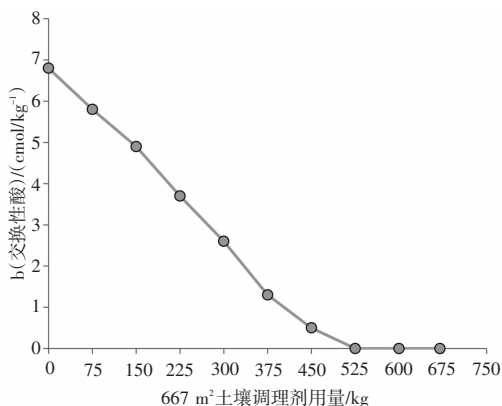


图8 土壤调理剂用量对土壤交换性酸含量的改良效果

Fig. 8 Improvement effect of soil conditioner dosage on soil exchangeable acid content

壤调理剂用量达到525 kg时，土壤的交换性酸被完全清除。

3 讨论

(1) 本研究中，硅钙镁土壤调理剂可显著提升甘蔗产量，每667 m²施用土壤调理剂375 kg时增产效果最佳。前人研究表明，酸性土壤中钙、镁等元素匮乏会制约作物生长^[13]，本研究表明补充钙、镁元素可改善土壤结构，增强保肥保水能力，促进甘蔗增产，与前人结论相符^[14-15]。(2) 本试验显示土壤调理剂对甘蔗糖分含量影响不明显。前人研究表明，甘蔗糖分积累受品种特性、光照、温度和水分等因素综合作用^[16]。本试验中，调理剂主要改善土壤理化性质，对影响糖分合成与积累的关键因素作用有限，所以糖分含量变化不大。(3) 调理剂可有效促进甘蔗株高、茎粗和有效茎数增加。前人研究表明，硅元素可增强植物细胞壁强度，提高抗倒伏能力，促进植株生长^[17]。本试验中，调理剂里的硅元素强化甘蔗茎秆机械组织，利于长高和茎加粗；同时，土壤调理剂改善土壤酸性，降低铝离子等有害离子活性，减轻对根系的毒害，促进根系发育，为植株生长提供充足养分和水分，增加有效茎数量^[18]。(4) 施用调理剂能有效改良土壤酸性，提高pH值、降低交换性酸含量，这与前人研究中土壤调理剂可中和土壤酸性的结论一致^[19-21]。土壤调理剂中的钙、镁离子与土壤中的氢离子发生交换反应，中和酸性，减少铝离子等有害离子的危害^[22]。

4 结论

硅钙镁土壤调理剂在酸性蔗地改良和甘蔗增产方面效果显著。每667 m²施用土壤调理剂375 kg可使桂糖44号和桂热2号产量大幅度提升；虽对甘蔗糖分含量影响不显著，但显著促进植株生长，增加株高、茎粗和有效茎数；同时有效提高土壤pH、降低交换性酸含量。结合前人研究，该调理剂通过补充土壤养分、改善土壤结构和中和土壤酸性等机制发挥作用。在本地块及土壤、气候条件相近区域，可参考667 m² 375 kg的施用量使用该调理剂，以实现酸性蔗地改良和甘蔗增产的目的。

[参考文献]

- [1] 张仲富,王禹童,艾静,等. 钾肥对甘蔗根际微生物多样性和群落构建过程的影响[J]. 应用生态学报, 2025,36(2): 526-536.
ZHANG Z F, WANG Y T, AI J, et al. Effects of potassium fertilizer on rhizosphere microbial diversity and community construction process in sugarcane [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2025,36(2): 526-536.

- [2] 江涛,常再艳,刘思汝,等. 甘蔗渣灰与石灰配施对酸化土壤的改良及玉米植株生长的影响[J]. 现代农业研究,2025,31(1): 1-10.
JIANG T, CHANG Z Y, LIU S R, et al. Effects of Bagasse Ash and Lime Combined Application on Acidified Soil Improvement and Maize Plant Growth [J]. Modern Agriculture Research, 2025, 31(1): 1-10.
- [3] 曾艳,谢如林,彭嘉宇,等. 广西甘蔗主产区土壤酸化特征分析[J]. 南方农业学报, 2024, 55(9): 2623-2631.
ZENG Y, XIE R L, PENG J Y, et al. Acidification characteristics of soil in the main sugarcane planting areas in Guangxi [J]. Journal of Southern Agriculture, 2024, 55 (9) : 2623-2631.
- [4] 战健,张娣,邓科,等. 不同铵硝配比对‘云蔗05-51’苗期生长及氮同化的影响[J]. 植物科学学报, 2023, 41(3): 349-357.
ZHAN J, ZHANG D, DENG K, et al. Effects of different ammonium-nitrate ratios on seedling growth and nitrogen assimilation of ‘Yunzhe 05-51’ [J]. Plant Science Journal, 2023, 41(3): 349-357.
- [5] 冯玉珍,潘明章,梁科,等. 收获工况对甘蔗联合收获机关键机构功耗的影响[J]. 农机化研究, 2025, 47(3): 35-40.
FENG Y Z, PAN M Z, LIANG K, et al. Effects of harvesting conditions on power consumption of key mechanisms of sugarcane combine harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2025, 47(3): 35-40.
- [6] 孟博,周一帆,战健,等. 广西蔗区土壤肥力和叶片养分状况调查研究[J]. 中国土壤与肥料, 2022 (2): 181-188.
MENG B, ZHOU Y F, ZHAN J, et al. Investigation on soil and sugarcane leaf nutrient status in Guangxi [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(2): 181-188.
- [7] 韦德斌,周连芳,吴兰芳,等. 生物有机肥和无机复合肥一次性混施在甘蔗栽培中的效应[J]. 热带农业科学, 2025,45(3):1-7.
WEI D B, ZHOU L F, WU L F, et al. Effects of the Simultaneous One-time Application of Organic and Inorganic Compound Fertilizers on Sugarcane Cultivation [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2025,45(3):1-7.
- [8] CHEN G F, LIU Z, HUANG Y Y, et al. Factors Responsible for Sugarcane Ratoon Chlorosis in Acid Soil and Its Management in Guangxi Province of China [J]. Sugar Tech, 2016, 18(5): 500-504.
- [9] 曹峥英,蔡文伟,武媛丽,等. 26个甘蔗品种苗期耐酸铝性状的综合评价[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(9): 128-135.
CAO Z Y, CAI W W, WU Y L, et al. Comprehensive evaluation of aluminum-acid resistance traits of 26 sugarcane cultivars at seedling stage [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(9): 128-135.
- [10] 刀静梅,毛钧,李如丹,等. 不同生态蔗区气候土壤差异对甘蔗生产的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(12): 102-113.
DAO J M, MAO J, LI R D, et al. Effects of key climate and soil factors on sugarcane production in different ecological regions in China [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022 (12): 102-113.
- [11] BUTTERLY C R, WANG X, SALE P, et al. Liming effect of non-legume residues promotes the biological amelioration of soil acidity via nitrate uptake [J]. Plant and Soil, 2021, 464(1-2): 1-11.
- [12] TEIXEIRA G C M, PRADO R M, ROCHA A M S, et al. Silicon as a Sustainable Option to Increase Biomass With Less Water by Inducing Carbon:Nitrogen:Phosphorus Stoichiometric Homeostasis in Sugarcane and Energy Cane [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 826512.
- [13] 尚怀国,李莉,王克健,等. 甘蔗生产化肥农药减施增效技术研究进展[J]. 西南农业学报, 2020, 33(1): 211-216.
SHANG H G, LI L, WANG K J, et al. Research Progress on Chemical Fertilizer and Pesticide Application Reduction and Efficiency Enhancement Technologies of Sugarcane Production [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33 (1): 211-216.
- [14] 吴刃,经福林,冯学娟,等. 有机无机复混肥配施不同水平镁肥对糖料蔗田间效应的影响[J]. 热带农业科学, 2021, 41(12): 25-29.
WU R, JING F L, FENG X J, et al. Effects of Organic-inorganic Compound Fertilizer Combined with Different Levels of Magnesium Fertilizer on Sugarcane in the Field [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2021, 41(12): 25-29.
- [15] 张赛,陈杭,胡朝华,等. 减氮配施炭基土壤调理剂对甘蔗苗生长生理的影响[J]. 南方农业, 2021, 15(13): 66-68,72.
ZHANG S, CHEN H, HU C H, et al. Effects of reducing nitrogen and applying carbon-based soil conditioners on the growth of sugarcane seedlings [J]. South China Agriculture, 2021, 15(13): 66-68,72.
- [16] LI Y R, ZHANG B Q, SONG X P, et al. Development of Sugar Industry in China: R&D Priorities for Sustainable Sugarcane Production [J]. Sugar Tech, 2024, 26(4): 972-981.
- [17] 王安,吴美玲,李忠元,等. 钢渣应用于土壤修复的研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(4): 1535-1543.
WANG A, WU M L, LI Z Y, et al. Research progress on the application of steel slag for soil remediation [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2023, 13 (4) : 1535-1543.
- [18] 王芷馨. 污泥—甘蔗渣生物炭的制备及其对林地沙化土壤改良效果研究[D]. 沈阳:辽宁大学, 2023.
WANG Z X. Preparation of sludge-sugarcane bagasse biochar and its effects on sandy soil improvement in forest land [D]. Shenyang: Liaoning University, 2023.
- [19] PINTO B C, ALVES A B, FERREIRA O E, et al. Biochar influences the cane fields’ microbiota and the development of pre-sprouted sugarcane seedlings [J]. Waste Disposal & Sustainable Energy, 2023, 5(1): 75-88.
- [20] 张西兴,王明伟,王子浩,等. 磷酸铵镁与化肥配施对酸性土壤的改良研究[J]. 生态产业科学与磷氟工程, 2024, 39(11): 70-74.
ZHANG X X, WANG M W, WANG Z H, et al. Study on the improvement of acidic soil by the combined application of magnesium ammonium phosphate and chemical fertilizer [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39 (11) : 70-74.
- [21] 张赛,陈杭,胡朝华,等. 减氮配施生物炭调理剂对甘蔗苗生长和土壤养分的影响[J]. 农业与技术, 2021, 41(4): 21-23.
- [22] VÁZQUEZ M, LÓPEZ J, DÍAZ S, et al. The Effect of pH on the Kinetics of Intra-and Extracellular Uptake of Al in Fontinalis Antipyrretica: Changes in the Cellular Contents of K, Mg, and Ca [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2000, 39(1): 74-85.