

不同酸土改良剂对玉米产量、干物质积累和土壤 pH 值的影响

孔丽丽¹, 侯云鹏^{1*}, 都 钧², 尹彩侠¹, 张 磊¹, 赵胤凯¹, 李 前¹, 刘志全^{1*}

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所 长春 130033; 2. 长春市农业科学院, 长春 130112)

摘要:为明确不同种类酸土改良剂对玉米生长发育和土壤 pH 值的影响, 2019~2021 年通过田间定位试验, 分析了施用生石灰、腐殖酸和白云石等改良剂对玉米产量及其构成因素、干物质积累及其转运特征和土壤 pH 值的影响。结果表明, 各改良剂处理较不施改良剂处理提高了玉米产量, 其中白云石处理产量最高, 3 年平均产量较对照提高了 10.0%。施用酸土改良剂提高了各生育期干物质积累量、干物质转运量、转运率和转运贡献率, 其中白云石改良剂处理最高。施用改良剂 3 年后, 各处理土壤 pH 值提高幅度为 7.8%~12.3%, 生石灰和白云石改良剂处理效果较好。吉林省东部酸性土壤施用酸土改良剂可有效提高土壤 pH 值, 增加玉米干物质积累量与转运量, 提高玉米产量, 以白云石改良剂效果最佳。

关键词:土壤改良剂; 土壤酸化; 玉米产量; 土壤 pH 值; 干物质积累

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)05-0001-05

Effects of Different Amendments of Acidic Soil on Maize Yield, Dry Matter Accumulation and Soil pH

KONG Lili¹, HOU Yunpeng^{1*}, DU Jun², YIN Caixia¹, ZHANG Lei¹, ZHAO Yinkai¹, LI Qian¹, LIU Zhiquan^{1*}

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. Changchun Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China)

Abstract: To clarify the effects of different amendments on maize growth and soil pH of acidic soil, the field location experiment was conducted to study the maize yield and its components, the characteristics of dry matter accumulation and translocation, and soil pH after applying quicklime, humic acid and dolomite amendments from 2019 to 2021. The results indicated that maize yield after applying amendments was enhanced by increasing spike numbers, spike kernels and 100-kernel weight than no amendment. The highest yield was under dolomite amendment treatment, and it was increased by 10.0% in average three years than that under CK treatment. Compared with no amendment, applying amendment treatments improved accumulation amount, translocation amount, translocation rate and contribution rate of dry matter during each growth period, and the highest values were all under dolomite amendment treatment. As the application time reached the third season, the soil pH under different amendments were increased by 7.8%~12.3%. And the treatment effect of quicklime and dolomite amendment was better. Therefore, the amendments of acidic soil could enhance maize yield by increasing soil pH effectively, the accumulation and translocation amounts of dry matter in the eastern region of Jilin Province, especially the dolomite amendment.

Key words: Soil amendment; Soil acidification; Maize yield; Soil pH; Dry matter accumulation

土壤酸化是指土壤 pH 值在原有基础上逐渐

下降的现象, 是土壤内部产生和外部输入的氢离子引起土壤 pH 值降低和盐基饱和度下降的过程^[1]。我国酸性土壤总面积达 218 万 hm², 约占全国耕地面积的 22.7%^[2]。土壤酸化可导致土壤板结、质地黏重、通气性变差, 改变土壤生物多样性, 降低土壤中养分的有效性, 致使土壤养分失调、肥力下降^[3], 同时还会活化有毒重金属元素毒害作物^[4-5], 导致作物生长发育不良、减产、品质下降^[6]。

吉林省是我国重要的玉米生产基地, 玉米种

收稿日期: 2022-05-18

基金项目: 吉林省农业科技创新工程自由创新项目(CXGC2021ZY116、CXGC2018ZY013); 吉林省科技发展计划项目(20220202024NC)

作者简介: 孔丽丽(1982-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事农业资源高效利用研究。

通讯作者: 侯云鹏, 男, 研究员, E-mail: exceedfhvflha@163.com

刘志全, 男, 硕士, 研究员, E-mail: zhqliu888@sina.com

植面积占全省粮食种植面积的75.6%，人均占有量、出口量居全国首位，对保障国家粮食安全具有举足轻重的作用^[7]。但由于土壤自然酸化和肥料过量施用等人为因素，使吉林省各类土壤pH值逐渐下降，存在土壤酸化的趋势，其中吉林省东部地区土壤酸化问题尤为突出^[8]。土壤酸化会严重影响玉米的生长发育，导致玉米减产及品质下降^[9]。因此，推广酸化土壤改良技术对恢复与提高酸性土壤生产能力、确保农产品数量与质量安全具有重要意义。改良土壤酸化的方法很多，如实施测土配方施肥、增施有机肥、秸秆还田和施用土壤改良剂等^[10]。其中，应用土壤改良剂是在现代化工基础上发展起来的一种新方法，具有技术简单、见效快等特点。土壤改良剂的种类较多，对土壤酸化的修复效果以及对作物生长发育的影响存在较大差异。郑福丽等^[11]研究发现，施用生石灰、轻烧粉和轻烧粉石灰氮各半混合的改良剂可使酸性土壤pH值达到中性，其中轻烧粉改良效果最佳。王宇函等^[12]研究表明，生物炭和生石灰对酸性红壤pH值的提高效果最好。邓小华等^[13]研究发现，在湘西强酸性土壤上，生石灰效果最佳。可见由于作物种类、气候、土壤类型等因素的差异，不同改良剂对酸性土壤的修复效果不同，根据现有的研究结果指导当地作物选用适宜的土壤改良剂有一定的局限性。鉴于此，本研究选用生石灰、腐殖酸和白云石等土壤改良剂，在吉林省东部地区开展连续3年田间定位试验，研究不同种类酸土改良剂对玉米产量、干物质积累及其转运特征、土壤pH值等的影响，以期对吉林省东部地区适宜酸土改良剂的筛选提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于2019~2021年在吉林省梅河口市海龙镇(125°38'E, 42°32'N)进行，该地区位于吉林省东南部，属中温带湿润气候区，年平均气温5.5℃，年日照时数2 200 h，积温2 484.5℃·d，无霜期146 d，年平均降水量620 mm。土壤类型为白浆土，质地为中壤土。试验起始时耕层土壤(0~20 cm)基础养分状况为：有机质16.71 g/kg，全氮1.74 g/kg，水解性氮157.25 mg/kg，有效磷87.52 mg/kg，速效钾153 mg/kg，pH值4.61。

1.2 试验设计

试验共设4个处理：生石灰配制的土壤改良

剂(T₁)、腐殖酸配制的土壤改良剂(T₂)、白云石(碳酸钙镁)配制的土壤改良剂(T₃)、不施任何改良剂(CK)。不同处理土壤改良剂用量均为500 kg/hm²，施用方法为每年整地前在各小区内均匀撒施，整地时将酸土改良剂与耕层土壤混匀。不同处理肥料用量一致，分别为N 210 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm²和K₂O 90 kg/hm²。施用方法为30%氮肥和全部磷、钾肥作基肥于播种前施入，70%氮肥于拔节期进行追施。供试肥料分别为尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P₂O₅ 46%)、氯化钾(K₂O 60%)。小区面积为30 m²，重复3次，随机区组排列。供试玉米品种为先玉335，种植密度为60 000株/hm²。2019年、2020年和2021年播种日期分别为4月29日、5月1日和5月5日，收获日期分别为10月4日、10月7日和10月6日。其他田间管理按常规生产田进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 干物质积累量测定

在玉米苗期、拔节期、大口期、吐丝期、灌浆期和成熟期采集不同处理具有代表性植株5株，105℃杀青40 min，70℃烘干至恒重，称重并计算干物质积累量。

1.3.2 土壤样品采集与测定

玉米收获后用五点采样法采集0~20 cm土壤样品，混合均匀后将样品中根系、石块等杂质去除。自然风干后过20目筛，采用电位法测定土壤pH值。

1.3.3 相关计算方法

收获指数=籽粒产量/地上部生物量

干物质转运量=开花期营养器官干物质积累量-成熟期营养器官干物质积累量

干物质转运率(%)=(干物质转运量/开花期干物质积累量)×100

转运贡献率(%)=(干物质转运量/籽粒干物质积累量)×100

1.4 数据处理与分析

试验数据采用Excel 2016处理，用SAS 9.0软件进行方差分析，处理间多重比较采用LSD-test法；用SigmaPlot 10.0软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同土壤改良剂处理对玉米产量及其构成因素的影响

由表1可知，与CK相比，各土壤改良剂处理均提高了玉米产量，2020年和2021年增幅达显著水平(P<0.05)，而不同处理收获指数无显著差异

表1 不同处理玉米产量及其构成因素

年份	处理	产量(kg/hm ²)	实收穗数(穗/10 m ²)	穗粒数(粒)	百粒重(g)	收获指数
2019	CK	9 930a	55b	512.5b	29.6a	0.49a
	T ₁	10 354a	58ab	539.4ab	30.8a	0.49a
	T ₂	10 278a	56b	533.7ab	30.6a	0.49a
	T ₃	10 560a	59a	542.4a	31.1a	0.49a
2020	CK	9 844b	54b	514.7b	28.7a	0.50a
	T ₁	10 972a	59a	543.9ab	29.3a	0.50a
	T ₂	10 701a	57ab	538.2ab	29.0a	0.50a
	T ₃	11 114a	60a	545.5a	29.6a	0.50a
2021	CK	8 857b	53b	479.7b	27.8a	0.49a
	T ₁	9 657a	58a	511.1ab	28.6a	0.50a
	T ₂	9 402a	55b	507.4ab	28.4a	0.50a
	T ₃	9 812a	58a	515.2a	28.7a	0.50a

注:同列小写字母不同表示在0.05水平上差异显著,下同

($P>0.05$)。各处理中,以T₃处理玉米产量最高,3年平均产量较CK提高了10.0%,其后依次为T₁处理和T₂处理。产量构成因素中,与CK相比,土壤改良剂处理提高了玉米实收穗数、穗粒数和百粒重,以T₃处理最高,其后依次为T₁和T₂处理。可见,施用土壤改良剂增加了玉米收获穗数、穗粒数和百粒重,进而提高玉米产量,其中以白云石处理效果最佳。

2.2 不同土壤改良剂处理对玉米干物质积累量的影响

由表2可知,3年试验结果趋势一致,与CK相比,各土壤改良剂处理提高了玉米各生育时期干物质积累量,2020年和2021年各生育期干物质积累量增幅达显著水平($P<0.05$)。不同土壤改良剂处理中,以T₃处理各生育期干物质积累量最高,其后依次为T₁处理和T₂处理。

表2 不同处理玉米地上部干物质积累量

年份	处理	干物质积累量(kg/hm ²)					
		苗期	拔节期	大口期	开花期	灌浆期	成熟期
2019	CK	21.7a	1 394.8a	4 688.0a	9 824.0a	13 929.0a	16 327.5a
	T ₁	23.0a	1 483.7a	4 892.0a	10 263.0a	14 528.6a	16 837.3a
	T ₂	22.9a	1 438.0a	4 824.0a	9 983.0a	14 355.0a	16 607.2a
	T ₃	23.9a	1 594.2a	4 987.0a	10 358.0a	14 893.1a	17 054.1a
2020	CK	13.9b	1 215.5c	5 128.5b	10 826.8b	14 796.2b	17 124.0b
	T ₁	20.4a	1 482.0b	6 081.8a	11 916.7a	16 055.0a	18 700.4a
	T ₂	19.1a	1 412.7b	5 793.7a	11 617.7a	15 649.8a	18 395.0a
	T ₃	21.5a	1 627.2a	6 123.0a	12 113.8a	16 657.3a	19 022.2a
2021	CK	16.9b	1 157.0c	3 857.8c	9 054.5b	11 888.5c	14 549.1b
	T ₁	24.1a	1 582.8b	4 641.0a	9 964.5a	13 286.0ab	16 017.5a
	T ₂	22.8a	1 456.0b	4 306.9b	9 724.0a	12 844.0b	15 638.9a
	T ₃	24.7a	1 802.5a	4 787.9a	10 127.0a	13 734.5a	16 132.1a

2.3 不同土壤改良剂处理对玉米干物质转运特性的影响

由表3可知,与CK相比,各土壤改良剂处理均提高了干物质转运量、转运率和转运贡献率,2020年和2021年增幅达显著水平($P<0.05$)。不

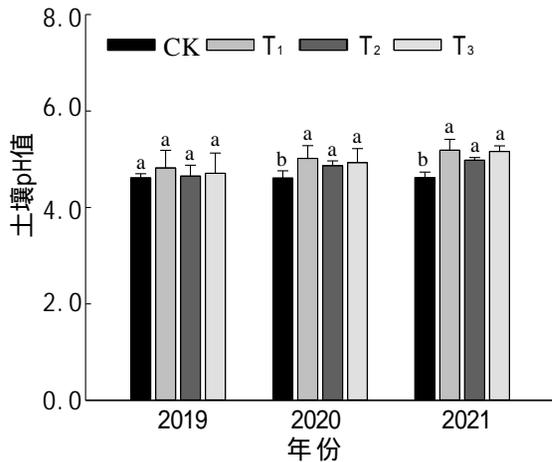
同土壤改良剂处理中,以T₃处理效果最好,其中3年平均干物质转运量较不施改良剂处理提高47.6%、转运率提高32.7%、转运贡献率提高32.5%,其后依次为T₁处理和T₂处理。

表3 不同处理玉米干物质转运特性

年份	处理	开花期干物质 积累量(kg/hm ²)	成熟期干物质 积累量(kg/hm ²)	转运量 (kg/hm ²)	转运率 (%)	转运贡献率 (%)
2019	CK	9 824a	8 687.2a	1 136.8a	11.6a	13.3a
	T ₁	10 263a	9 032.6a	1 230.4a	12.0a	13.8a
	T ₂	9 983a	8 767.9a	1 215.1a	12.2a	13.7a
	T ₃	10 358a	9 122.4a	1 235.6a	11.9a	13.6a
2020	CK	9 568.5c	8 561.5b	1 007.0c	10.5c	10.2c
	T ₁	10 941.7ab	9 381.1a	1 560.6ab	14.3ab	14.2ab
	T ₂	10 442.7b	9 092.0a	1 350.7b	12.9b	12.6b
	T ₃	11 138.8a	9 264.5a	1 874.3a	16.8a	16.9a
2021	CK	9 249.2b	7 735.7a	1 513.5b	16.4c	17.1b
	T ₁	10 049.0a	8 005.4a	2 043.6a	20.3ab	21.2a
	T ₂	9 769.8a	7 878.6a	1 891.2a	19.4b	20.1a
	T ₃	10 224.5a	7 934.4a	2 290.1a	22.4a	23.3a

2.4 不同土壤改良剂处理条件下土壤pH值的变化

由图1可知,与CK相比,各土壤改良剂处理均提高了玉米收获后土壤pH值,并随施用年限的延长提高幅度增大,施用3年后,土壤pH值提高幅度为7.8%~12.3%。在不同改良剂处理中,T₂处理土壤pH值最低,而T₁处理和T₃处理土壤pH值相近。



注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图1 不同处理条件下土壤pH值

3 讨论与结论

土壤酸化加剧了土壤养分和盐基离子(如K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等)的淋失,造成土壤贫瘠^[14],导致作物产量减少。本研究中,与不施土壤改良剂相比,施用生石灰、腐殖酸或白云石等土壤改良剂均提高了玉米产量。施用土壤改良剂可有效提高土壤pH值,降低交换性铝含量,增加土壤酶活性^[15],促进作物生长发育,提高玉米产量,其中白

云石处理增产效果最为明显。主要是白云石在提高土壤pH值的同时,还可以增加土壤中钾、磷、钙、镁、硫、锌等元素的含量。这些元素不仅是植物生长所需的营养元素,可以与土壤中的高活性铝竞争结合位点,降低土壤中铝的活性,缓解酸性土壤中铝的毒害,提高作物产量^[16]。

干物质是作物光合作用产物的最高形式,与作物产量密切相关^[17],营养物质积累与转运率的提高为作物增产奠定了良好的基础^[18]。相关研究表明,施用土壤改良剂可促进作物对氮、磷、钾养分的吸收,提高干物质积累量^[19],本研究结果也表明,各土壤改良剂处理较不施改良剂处理提高了玉米各生育期干物质积累量、干物质转运量、转运率和转运贡献率。这是由于酸化土壤溶液中活性铝的浓度过高,会导致植物铝中毒,最显著的症状就是抑制根系生长,使植物根系吸收、运输功能及活力迅速下降,降低物质生产^[20],施用土壤改良剂可有效降低土壤活性铝含量,促进作物根系对养分的吸收,提高干物质积累量^[21]。但不同土壤改良剂处理间干物质积累量与转运量存在差异,其中以白云石处理玉米干物质积累量和转运量最高。白云石除降低土壤酸度外,还能活化土壤中的有效养分,为玉米根系生长提供良好的土壤环境^[22];生石灰虽然可降低土壤酸度,缓解铝毒害,但生石灰会破坏土壤团粒结构,造成土壤板结和养分流失,肥力下降^[23-24];腐殖酸对酸化土壤的修复作用弱于白云石和生石灰,干物质积累量和转运量最低。

土壤pH值的高低是衡量土壤改良剂效果的

重要指标之一。本研究中,各土壤改良剂处理提高了土壤pH值,其中腐殖酸处理提高幅度最小,生石灰和白云石处理提高幅度较高。相关研究表明,施用生石灰改良酸性土壤主要是生石灰自身的碱性中和土壤中的活性酸和潜性酸,提高土壤pH值,降低土壤中交换性铝的含量,但聚合态羟基铝的含量却是上升的,会进入植物体内产生毒害^[25];白云石土壤改良剂不仅中和土壤中的离子,还含有丰富的交换性盐基离子,施入土壤后这些盐基阳离子与土壤交换性铝发生交换作用,降低土壤中交换性铝含量,缓解作物铝毒害^[26]。

综上所述,在酸性土壤中施用不同种类土壤改良剂可提高土壤pH值,促进玉米干物质积累及其转运,增加玉米穗数、穗粒数和粒重,提高玉米产量。以白云石为原料的酸土改良剂效果最佳。本研究通过3年定位试验分析了不同种类酸土改良剂对玉米生长发育和酸性土壤pH值的影响,关于不同种类酸土改良剂对土壤交换性铝、吸附态羟基铝和毒害性铝的动态影响有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 李丹,王道泽,赵玲玲,等.不同土壤改良剂对设施蔬菜土壤酸化的改良效果研究[J].中国农学通报,2017,33(27):112-116.
- [2] 沈仁芳.铝在土壤:植物中的行为及植物的适应机制[M].北京:科学出版社,2008:5.
- [3] 沈仁芳,赵学强.酸性土壤可持续利用[J].农学学报,2019,9(3):16-20.
- [4] Fox R L, Hue N V, Jones R C, et al. Plant-soil interactions associated with acid, weathered soils[J]. Plant and Soil, 1991, 134(1): 65-72.
- [5] Tang C, Asseng S, Diatloff E, et al. Modelling yield losses of aluminium-resistant and aluminium-sensitive wheat due to sub-surface soil acidity: effects of rainfall, liming and nitrogen application[J]. Plant and soil, 2003, 254(2): 349-360.
- [6] Ulrich B, Mayer R, Khanna P K. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe[J]. Soil Science, 1980, 130(4): 193-199.
- [7] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴2019[K].北京:中国统计出版社,2019:10.
- [8] 王寅,张馨月,高强,等.吉林省农田耕层土壤pH的时空变化特征[J].土壤通报,2017,48(2):387-391.
- [9] 马庆旭,王峻,曹小闯,等.土壤pH对玉米与微生物竞争吸收氨基酸的影响[J].应用生态学报,2017,28(7):2277-2284.
- [10] 王文娟,杨知建,徐华勤.我国土壤酸化研究概述[J].安徽农业科学,2015,43(8):54-56.
- [11] 郑福丽,谭德水,林海涛,等.酸化土壤化学改良剂的筛选[J].山东农业科学,2011(4):56-58.
- [12] 王宇函,吕波,张林,等.不同土壤改良剂对酸性铝富集红壤毒性缓解效应的差异[J].华中农业大学学报,2019,38(2):73-80.
- [13] 邓小华,张龙辉,陈金,等.改良剂对酸性土壤理化特性及烤烟生长和品质的影响[J].中国烟草科学,2018,39(6):14-20.
- [14] 吴甫成,彭世良,王晓燕,等.酸沉降影响下近20年来衡水土壤酸化研究[J].土壤学报,2005,42(2):219-224.
- [15] 黄耀蓉,王强锋,朱彭玲,等.土壤改良剂对酸性土壤改良的影响[J].西南农业学报,2014,27(4):1637-1640.
- [16] 李昂.四种土壤调理剂对酸性土壤铝毒害改良效果研究[D].北京:中国农业科学院,2014.
- [17] 张磊,杨建,侯云鹏,等.控释氮肥与速效氮肥配施对玉米氮素吸收及利用的影响[J].东北农业科学,2017,42(1):24-27.
- [18] 周超,马宝新,刘海燕,等.增密减氮对嫩单18产量和氮素利用率的影响[J].东北农业科学,2019,44(2):7-12.
- [19] 许晓平,冯浩,赵西宁,等.土壤改良剂与氮肥配施对玉米生长及其养分含量的影响[J].西北农业学报,2008,17(3):139-142.
- [20] 田仁生,刘厚田.酸化土壤中铝及其植物毒性[J].环境科学,1990,11(6):41-46.
- [21] 严超.南方酸性坡耕地土壤改良剂应用效果的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2009.
- [22] 林卿,陈乾锦,李小龙.施用白云石粉对烤烟生长发育及产质量的影响[J].海峡科学,2009(12):63-65.
- [23] 徐仁扣.土壤酸化及其调控研究进展[J].土壤,2015,47(2):238-244.
- [24] 胡敏,向永生,鲁剑巍.石灰用量对酸性土壤酸度及大麦幼苗生长的影响[J].中国农业科学,2016,49(20):3896-3903.
- [25] 邱全敏,王伟,吴雪华,等.施用不同pH改良剂对荔枝园酸性土壤性质及荔枝生长的影响[J].热带作物学报,2020,41(2):217-224.
- [26] 阮建云.施用白云石粉对土壤交换性铝的影响[J].中国茶叶,2001(6):26-27.

(责任编辑:范杰英)