

白云石改良酸化农田土壤的研究进展

孙玲丽¹, 陈海宁², 王其选¹, 王巍翰¹

(1. 众德肥料(烟台)有限公司, 山东 烟台 264002; 2. 山东省烟台市农业
科学研究院, 山东 烟台 265500)

摘要: 针对我国农田土壤酸化问题日益凸显的现状, 本文系统阐述了白云石作为一种碱性碳酸盐矿物材料在土壤改良中的重要作用。通过深入剖析白云石的改良机制, 研究发现其能够通过酸碱中和及沉淀作用显著提升土壤 pH 值, 有效降低有毒重金属离子的活性, 并改善土壤养分的有效性。此外, 白云石还对土壤微生物群落结构产生了显著的正面影响, 进一步促进了土壤生态系统的健康与平衡。值得关注的是, 白云石的应用还显著降低了酸化土壤的温室气体排放强度, 为农田生态系统的碳氮循环调控提供了新的思路。经济效益分析表明, 白云石作为一种经济高效、环境友好的土壤改良剂, 具有巨大的应用潜力和市场前景。未来研究可进一步探索白云石与其他改良剂的协同作用, 以及在不同土壤类型和作物种植体系中的应用策略, 以期为农业生产提供更为精准和高效的土壤改良解决方案。

关键词: 土壤修复; 白云石; 酸化土壤; 作物生长; 微生物群落; 经济效益

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.02.017

中图分类号: TD989; S216.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2025) 02-0121-10

引用格式: 孙玲丽, 陈海宁, 王其选, 等. 白云石改良酸化农田土壤的研究进展[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(2): 121-130.

SUN Lingli, CHEN Haining, WANG Qixuan, et al. Research progress on dolomite improving acidified farmland soil[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(2): 121-130.

土壤酸碱度是影响土壤化学和生物学性质的重要因素, 通常以土壤 pH 值来衡量。过酸或过碱都会对土壤养分有效性、微生物群落结构、酶活性以及植物生长发育活动产生重要影响^[1], 进而加剧土壤退化, 降低土壤生产力, 最终危及粮食安全和农田可持续发展^[2-3]。尽管土壤酸碱度在自然状态下变化非常缓慢, 但由于人类活动的高强度影响, 我国农田土壤 pH 值的演变过程明显加速, 出现大面积酸化问题^[4]。与 20 世纪 80 年代全国第二次土壤普查结果相比, 2010 年时我国酸性土壤 (pH<6.5) 面积从 $246.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增加到 $311.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占陆域国土面积的 32.4%, 呈现出分布广、程度高和危害强等特点^[5]。此外, 杨帆等人对比分析了 2005—2014 年测土配方施肥项目时期

全国农田耕层土壤 pH 值变化, 发现有 42.92% 的农田耕层土壤 pH 平均值低于 6.5, 尤以长江中下游和华南区域的浙江、江西、福建、广东和海南等省份农田土壤酸化问题最为严重^[6]。

土壤一旦发生酸化, 将显著抑制土壤有效养分转化、降低阳离子交换能力、加速土壤养分的流失并降低土壤肥力, 同时还会破坏土壤结构, 加剧土壤板结^[7]。此外, 土壤酸化还会使铝 (Pb)、锰 (Mn)、镉 (Cd) 等毒性金属活性增加, 进而影响农作物生长发育和微生物活动, 不利于农业生产^[8]。因此, 迫切需要采取有效措施来减缓土壤酸化进程, 改良和修复酸化土壤, 以维持和提升全国农田土壤质量。目前, 酸化土壤改良方法主要包括酸雨防控、生物法改良、改良剂

收稿日期: 2024-03-07

基金项目: 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2023TSGC0829); 2021 年山东省重点研发计划 (重大科技创新工程) (2021CXGC010602)

作者简介: 孙玲丽 (1982-), 女, 硕士, 主要从事新型肥料研发及其应用等方向的研究。

施用和农艺措施优化等^[9-10]。其中,施用土壤改良剂是缓解土壤酸化的常用且有效的措施,已在国内外得到广泛应用^[11-12]。

传统的土壤改良剂主要为石灰类物质,如生石灰、牡蛎壳粉、石灰石和白云石等,从矿物学角度来看,白云石主要化学成分为 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, 不仅属于石灰类物质,还是一类三方晶系的碳酸盐矿物。其在调节土壤酸碱度的同时,还具有改善土壤其他理化性质的作用,因此被广泛应用于化工、农业、林业和环保等领域^[13]。本文从白云石的资源概况入手,总结了白云石改良酸化土壤的经济效益和应用成果,阐述了白云石对土壤理化性质、植物生理生化 and 微生物活性的主要影响及机制,提出了未来研究方向和重点,以期为我国酸化农田土壤改良、利用和管理提供参考。

1 国内白云石资源概况及农用经济效益

白云石广泛分布在自然界中,是构成白云岩和白云质灰岩的主要矿物成分。天然白云石呈乳白色,通常与菱镁矿、滑石、石灰石、砂岩和方解石等矿物共生,其理论组成为: $\omega(\text{CO}_2)=47.73\%((\text{CaO})=30.41\%((\text{MgO})=21.86\%$,是一种极具经济价值的钙镁资源。根据 CaO 与 MgO 质量比不同,天然白云石可进一步分为白云石 [$\text{m}(\text{CaO})/\text{m}(\text{MgO})=1.39$]、镁质白云石 [$\text{m}(\text{CaO})/\text{m}(\text{MgO})<1.39$] 和钙质白云石 [$\text{m}(\text{CaO})/\text{m}(\text{MgO})>1.39$]^[14]。根据白云石结构中的钙镁离子化学计量,还能分为有序白云石和原白云石,前者晶格有序,完全由 Mg^{2+} 组成的单层和完全由 Ca^{2+} 组成的单层相间排列,而后者晶格有序度很低,晶体相对不稳定,所含钙含量更高^[15]。

我国白云石矿产资源蕴藏丰富,储量巨大,目前已探明的可开采资源储量不低于 200 亿 t,主要分布在山西、河北、宁夏、吉林、河南、辽宁、内蒙等地^[16-17]。与国外白云石矿石相比,我国白云石矿产资源具有质量优、纯度高和开采难度低等优点,具备大规模开发利用的有利条件。此外,我国白云石年消耗量约为 9 000 万 t,其中年出口量约为 174.03 万 t,在建材、农业、涂料和环保等行业的年消耗量约为 200 万 t^[18]。近年来,在农业领域,白云石主要用作改良剂来调节酸化土

壤 pH 值或抵消因使用氮肥而造成的酸性障碍,另外在北欧也有将其作为农药或化肥的应用案例^[14, 18]。当前,国内市场上白云石粉的每千克售价大概在 0.3~0.5 元之间,使用成本低廉但经济效益显著。以武平县世平家庭农场百香果种植基地的实验为例,在施用 3 000 kg/hm² 白云石粉后,每亩地增加纯收入达 1 174.4 元,产投比高达 19.57,综合效益远超过商品氧化镁或主要成分为氧化钙的土壤调理剂^[19]。在三华李酸性果园土壤上施用 900~1 800 kg/hm² 白云石粉后^[20],每亩地增加纯收入 524.7~1 012.8 元,产投比高达 10.7~15.1,增产率最高可达 17.2%。这些实例充分证明了白云石粉在农业生产中的显著经济效益和应用可行性。

2 白云石改良酸化农田土壤的主要机制

白云石的主要成分为 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, 属于碱性碳酸盐矿物材料,在土壤改良中发挥着显著的多重作用。其改良酸化农田土壤的主要机制可概括为以下几个方面:首先,白云石凭借自身碱性能直接与酸化土壤中的 H^+ 反应,有效消耗土壤中的活性酸和交换性酸,进而提高土壤 pH 值^[7]。在该反应过程中会生成氢氧化物或碳酸盐沉淀,有助于降低 Al^{3+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 等有毒重金属离子活性,减轻其对土壤生态系统的潜在威胁^[21]。其次,白云石中含有丰富的交换性盐基离子,如 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等。施入土壤后既补充了养分元素,又促使盐基离子与交换性铝发生交换反应,有效缓解了铝对植物的毒害作用。同时,这一反应有助于降低土壤交换性酸总量,进一步改善土壤的酸化状况^[22-23]。此外,施用白云石还能有效促进土壤有机质的分解,降低土壤对磷、钾等养分的吸附,从而提高土壤养分有效性。这一过程与白云石对脲酶、磷酸酶等土壤酶活性的积极影响有关。酶活性的增强有助于促进作物根系的生长和对土壤中养分的吸收,进而间接提升酸化土壤的改良效果^[24-26]。

最后,白云石的施用显著改善了土壤微生物环境,其机制涉及 pH 值调节、养分补充及微生物群落结构优化等^[27-28]。作为碱性改良剂施用后,白云石直接中和土壤酸性,为细菌、放线菌等微生物提供更适宜的生存环境,促进其数量增加。特别是慢生根瘤菌属,其排泄碱性化合物的能力进

进一步强化了土壤 pH 值的调节效果，同时与植物共生促进养分吸收。此外，白云石释放的钙、镁等矿质元素为微生物生长提供必要营养，激活代谢途径与酶活性，如嗜碱芽孢杆菌的磷酸酶活性增强，显著促进了磷素释放^[29-30]。土壤物理结构亦得改善，孔隙度与通气性提升，有利于需氧微生物活动，减少厌氧有害微生物滋生。放线菌门在残体分解与氮素转化中发挥重要作用，不仅维持养分循环，还通过产生抗生素抑制病原微生物，保障植物健康^[31]。白云石施用后，放线菌门活性增强，进一步巩固了土壤生态系统的稳定性与生产力。

3 白云石改良酸化农田土壤的应用效果

3.1 白云石对酸化农田土壤性质的影响

土壤酸化实质上是由土壤内部产生和外部输入的 H^+ 共同作用，导致土壤 pH 值和盐基离子饱和度下降的过程^[32]，是土壤改良过程中亟待解决的核心问题。在实际生产中，通过简便的撒施或条施方法将白云石直接施用于土壤表层就能显著改善土壤理化性质，增强其酸碱缓冲能力，发挥出明显的降酸改土作用（表 1）。白云石富含交换性盐基离子，可提高土壤 pH 值并促进土壤有机质分解，有效减少土壤对磷的吸附，增加土壤中钙、镁、磷、钾等养分含量^[40]。进一步地，白云石中的盐基阳离子还能与土壤交换性铝发生交换作用，进而降低土壤交换性铝含量，缓解作物铝毒害，并降低土壤交换性酸总量^[45]。

此外，施用白云石能够控制土壤重金属活性，降低土壤重金属污染程度。研究发现，施用白云石可使土壤 pH 值提升 0.46 个单位，同时显著降低土壤有效态 Pb 含量达 21.7%^[41]。在利用铅锌尾矿污染的酸性土壤进行盆栽实验时，施用 10~40 g/kg 白云石使土壤 pH 值提升了 0.87~0.94 个单位，同时使有效态 Cd、Pb、Cu 和 Zn 含量分别降低了 16.8%~27.5%、3.65%~37.9%、77.6%~91.3% 和 5.10%~5.95%，显著提升了土壤质量^[46]。施用白云石还能显著影响土壤酶活性，间接影响土壤氮素和磷素循环。例如，Magdolna 等^[24]研究发现，白云石施用于酸性砂土后，土壤净硝化量显著增加 2.42 mg/kg，同时土壤脲酶、蔗糖酶和脱氢酶活性也显著提升。邱全敏等^[39]研究表明，施

用白云石能显著降低酸性赤红壤中脲酶和酸性磷酸酶活性，进而影响土壤氮磷循环。前者（脲酶）可将尿素分解为二氧化碳和氨，而后者能促进土壤有机磷化合物的分解，提高土壤磷素有效性。

综上，白云石的田间用量通常为 500~3 000 kg/hm²，作用效果一般能维持 1~3 年。白云石对酸化农田土壤性质的主要影响在于提高土壤 pH 值和增加养分含量两方面，具有缓解酸化、提升肥力和钝化重金属等作用。在作物类型上，种植水稻、甘蔗、茶树等作物的土壤往往需要更多的白云石投入。土壤酸化越严重，白云石的改良效果往往越明显。在改良过程中，土壤 pH 值的变化是最关键的指标，会随白云石施用量的增加而增加，并直接关系到土壤交换性酸、交换性铝、活性重金属离子含量和土壤酶活性等参数。

3.2 白云石对酸化农田植物生理生化的影响

将白云石粉引入酸化土壤中能有效改善作物农艺性状，如株高、茎粗和叶面积等，促进农作物的生长发育并提高产量和品质。这一效果在粮食作物（如玉米、水稻、小麦、菜豆等）、经济作物（如烤烟、茶树、百香果、荔枝、三华李等）以及树木（如欧洲山毛榉、夏栎等）上均得到了验证（见表 1）。例如，通过挖大穴施基肥结合施用白云石粉的方法，显著提高了根际土壤 pH 值，进而增加烤烟侧根数量与根系生长^[47]。值得注意的是，土壤酸化往往伴随着重金属活性的增强，导致作物对有害重金属的吸收量增加。然而，施用白云石能够阻控作物对重金属的吸收和转运，降低其生物累积。童文彬等通过田间试验发现^[36]，施用白云石粉能使土壤有效态 Cd 含量和稻米 Cd 含量分别显著降低 54% 和 72%。另一项研究也表明，白云石粉能显著降低黄瓜中总 Pb 含量达 87.6%^[41]。李正强等的研究进一步揭示了白云石粉在减少重金属向植物地上部转移方面的作用。通过抑制铅锌尾矿污染土壤中 Pb、Cd 向光叶紫花苕地上部转移，白云石粉显著降低了重金属在光叶紫花苕植株地上部的积累，从而显著改善了其生长和发育状况^[46]。此外，喻延^[48]研究发现，施用 2 250 kg/hm² 白云石粉不仅能改善土壤酸碱环境，还能有效延迟烟草青枯病的发病时间，提升对烟草青枯病的防治效果，相对防效可达 49.3%。

除了作为改良剂，白云石粉在国内外也有被用作基肥或追肥^[49]，这样不仅能补充农作物所需

表 1 白云石对酸化农田土壤理化性质和植物生理生化的影响

Table 1 Effect of dolomite on physicochemical properties and plant physiology and biochemistry of acidified farmland soils

试验设计	土壤类型	作物类型	用量	用法	主要应用效果		参考文献 Reference
					土壤理化性质	植物生理生化	
田间	白浆土	玉米	500 kg/hm ²	整地前撒施	3年后土壤pH值提高7.8%~12.3%	促进干物质积累, 3年平均产量提高10%	[32]
盆栽	红壤	玉米	0.2%~0.4%	混拌均匀	土壤pH值提高0.12~0.62个单位, 交换性铝和毒性铝分别下降70.5%~92%和40.9%~52.6%	显著提高玉米地上部、地下部的干重、鲜重及地下部的根长和根直径	[33]
田间	黄壤	烤烟	0.2 kg/m ²	基肥条施	土壤pH值提高31.4%, 有机碳和速效磷含量分别增加7.63%、14.30%, 硝态氮减少	株高和茎围等农艺性状明显改善, 长势好	[27]
田间	黄壤	烤烟	2 001 kg/hm ²	基肥条施	土壤pH值显著提高1.46个单位, 有机碳含量明显增加7.63%, 硝态氮含量显著降低54.97%	株高、茎围和叶长等农艺性状明显改善	[28]
田间	黄砂土	柑橘	2 kg/plant	开沟深翻条施	酸碱缓冲容量提升0.06 cmol·kg ⁻¹ ·pH ⁻¹	脐橙果实品质显著改善	[34]
田间	汞污染土	水稻	4 500 kg/hm ²	撒施	土壤pH值提高1.56%, 有效汞含量降低17.86%	水稻产量增加465 kg/hm ² , 稻米汞含量为0.010 mg/kg	[35]
田间	水稻土	水稻	2 250 kg/hm ²	撒施	土壤pH值平均提升0.2个单位, 有机质含量平均提升4.8%, 有效态镉含量降低54%	每穗实粒数、结实率和理论产量提高, 稻米镉含量下降72%	[36]
田间	红壤	三华李	900~1 800 kg/hm ²	沿树冠滴水线挖环形施肥沟	土壤pH值提高0.03-0.42个单位, 交换性镁含量提高0.06-0.88 mg/kg	每亩地产量提高192.90~363.60 kg, 未出现黄化缺镁症状	[20]
田间	茶园土壤	茶树	300 kg/hm ²	行间均匀撒施	连续两年施用后, 土壤pH值平均提高0.94个单位, 交换性钙镁离子含量显著提升	-	[37]
田间	红壤	茶树	375~2 250 kg/hm ²	撒施后旋耕深翻	最高可分别增加0.80和0.33个单位, 0~20 cm土层土壤交换性H ⁺ 和Al ³⁺ 最多可减少40.13%和39.85%	茶叶中水浸出物、咖啡碱、茶多酚和氨基酸等品质状况显著改善, 产量增加	[38]
田间	沙壤	百香果	3 000 kg/hm ²	基肥撒施	土壤pH值提高0.47个单位,	旺果期, 植株叶片未出现缺镁症状, 果实正常, 每亩增产111.2 kg	[19]
盆栽	赤红壤	荔枝	2 g/kg	混拌均匀	土壤pH值显著提高1.65个单位; 土壤碱解氮和速效钾含量显著降低; 有效钙含量显著提高; 土壤脲酶和酸性磷酸酶活性显著降低	荔枝的茎粗、叶片数增加, 叶面积和生物量分别增加9.70%和31.09%	[39]
田间	赤红壤	甘蔗	6 000 kg/hm ²	种植前撒施	土壤pH值提高0.85个单位, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有效钙、有效镁的含量分别提高11.2、68.2、46.0、2156、775.2 mg/kg	甘蔗各部位养分含量提高, 产量提高32.71 t/hm ² , 产糖量提高7.27 t/hm ²	[40]
大棚	乌泥田	黄瓜	1 500 kg/hm ²	随翻耕整地施用	土壤pH值提升0.46个单位。土壤有效Pb含量显著降低21.65%	黄瓜总Pb含量显著降低87.59%	[41]
田间	黄红壤	第1-6季: 小麦、红豆、油菜、玉米、油菜、黄豆	600~2 500 kg/hm ²	第1季小麦播种前基施, 此后不施	第1季小麦收获后, 土壤pH值提升0.47-0.83个单位, 交换性铝含量下降60.9%-92.8%, 交换性钙和镁的含量分别较对照提高1~5倍。此降酸作用可维持3~6季作物以上	第1~6季作物分别增产10.8%~13.4%、21.5%~48.6%、9.4%~16.2%、10.9%~44.6%、7.9%~22.0%、6.6%~29.8%	[42]
盆栽	砂土	菜豆	3 000 kg/hm ²	混拌	土壤pH值显著升高0.46个单位; 土壤净硝化量显著增加2.42 mg/kg; 土壤透水性显著降低; 脲酶、蔗糖酶和脱氢酶活性显著增加	-	[24]
土培	老成土	-	1~2 g/kg	混拌	土壤pH值随白云石施用量的增加而增加, 在第52天时达到最高值7.36	-	[43]
苗圃	45%砂粒 49%粉粒 6%黏粒	欧洲山毛榉、夏栎	2 200 kg/hm ²	撒施	试验第一年, 欧洲山毛榉和夏栎地块土壤pH值分别升高0.15、0.32个单位, 第二年时分别升高0.30、0.38个单位; 土壤酶活性总体上增强	两年内, 欧洲山毛榉和夏栎中N、Mg、K、P平均含量增加, Mn含量显著降低	[44]

注: 主要应用效果的数据是与未施用任何改良剂的对照处理进行比较得出的。

的镁元素，也能有效替代硫酸镁用于酸性土壤^[50]。此外，为了更全面地调整土壤性质并改善植物的生长状况，近年来的研究还探讨了将白云石与其它改良剂复配使用的可能性。例如，通过将1 g/kg白云石与5 g/kg 生物质炭、200 g/kg 粉煤灰、12 g/kg 牛粪等进行复配，能够使盆栽土壤中交换性H⁺和交换性Al³⁺含量较对照显著降低71.1%和46.4%，进而显著促进了白菜生长，极大改善了其品质^[51]。综上所述，白云石对作物生理生化影响主要体现在促生（尤其是粮食作物）和提质（特别是经济作物）两方面。在应用中，不应将白云石粉的使用局限于单一的土壤改良剂，而应基于不同作物类型和土壤质地，合理选择适宜施用量以最大化其改良效果，同时可考虑作为基肥或追肥使用，以求在节约常规肥料的同时达成促生、增产和提质目的。

3.3 白云石对酸化农田土壤中微生物活性的影响

白云石对酸化农田土壤微生物活性的影响见表2。当前，国内外对于白云石如何影响土壤微生物活性的研究相对较少。赵辉等^[28]从固氮微生物的视角揭示了白云石改良酸性植烟土壤的效果，发现施用白云石能显著影响土壤固氮菌的群落结

构，导致土壤固氮菌 *nifH* 基因丰度显著提高3.32倍，且显著提高了α多样性。此外，白云石的施用引发了优势门和属的变化如放线菌门、蓝藻门以及慢生根瘤菌属相对丰度显著提高。Magdolna等的研究进一步证实了白云石对土壤微生物群落结构的影响^[24]。研究表明，在酸化砂土中施加3 000 kg/hm²白云石后，土壤中细菌数量显著增加21.2%，而土壤真菌数量显著减少了22.4%，这与倡国涵^[52]、王文军^[55]等研究结果相吻合。然而，杜瑞英在使用白云石联合红麻修复矿山周边多金属污染酸化土壤的研究中发现，白云石的施用反而降低了土壤微生物活性和多样性，减弱了微生物对木糖、甘露醇、苹果酸等土壤碳源的利用能力^[56]。这提示我们，白云石和红麻联合使用可能不适合修复此类污染类型的酸化土壤。总的来说，白云石在调整酸化土壤微生物群落组成、提高细菌、放线菌的活性与多样性方面具有积极效果，其应用效果会受到土壤和污染物类型以及与其他改良剂联合使用的影响。未来的研究应更加关注土壤、作物、微生物和白云石改良剂之间复杂的相互作用机制，以全面理解白云石在土壤改良中的潜在作用。

表2 白云石对酸化农田土壤微生物活性的影响
Table 2 Effect of dolomite on microbial activity of acidified farmland soils

试验设计	土壤类型	作物	用量	用法	土壤微生物活性	参考文献
田间	黄壤	烤烟	0.2 kg/m ²	基肥条施	细菌丰度增加37.1%；α多样性显著提高；细菌群落组成改变，尤以变形菌门相对丰度增幅最大	[27]
田间	黄壤	烤烟	2 001 kg/hm ²	基肥条施	土壤固氮菌 <i>nifH</i> 基因丰度显著提高3.32倍；α多样性显著提高；固氮菌群落结构显著改变，其中放线菌门和蓝藻门相对丰度，以及慢生根瘤菌属相对丰度显著提高	[28]
3年田间定位	黄棕壤	烤烟	1 950 kg/hm ²	翻耕前撒施	显著提高土壤细菌和放线菌数量，降低土壤真菌数量	[52]
盆栽	砂土	菜豆	3 000 kg/hm ²	混拌	土壤细菌数量显著增加21.21%，而土壤真菌数量显著降低22.39%	[24]
苗圃	砂壤	杉树	4 000 kg/hm ²	撒施	微生物群落结构显著改变，担子菌门相对丰度提高1.7倍，成为优势类群，而被孢霉门相对丰富降低26%	[53]
苗圃	冲积土	毛果杨	0.2%	大桶内与表土混匀	增加土壤渗滤液中耐铜菌比例，丰富了微生物群落，使蓝藻门、变形菌门和浮霉菌门等相对丰度显著增加	[54]
田间	水稻土	水稻	750 kg/hm ²	-	土壤细菌和放线菌数量显著增加，但对真菌数量的增加效果不明显	[55]
田间	矿山周边废弃地	红麻	5%	-	土壤微生物活性和多样性降低，对木糖、甘露醇、苹果酸等各种土壤碳源的利用能力减弱	[56]

注：主要应用效果的数据是与未施用任何改良剂的对照处理进行比较得出的。

3.4 白云石对酸化农田土壤温室气体排放的影响

土壤酸化会影响大气中温室气体的排放与吸收,特别是 N_2O 、 CO_2 、 CH_4 等关键温室气体^[57]。针对这一问题,引入白云石作为改良剂可以有效减轻酸化农田土壤,特别是水稻田土壤的温室气体排放强度^[58]。Shaaban等^[43]研究表明,在酸化稻田土壤中添加 $1\sim 2\text{ g/kg}$ 白云石不仅减缓了土壤酸化进程,而且显著降低了 N_2O 的排放,最终使土壤中 N_2O 的累积排放量减少了 $60\%\sim 73\%$,该发现在另一项研究中得到了佐证^[58]。Wu等^[59]通过土壤培养试验证实,向酸化的老成土中加入 3 g/kg 白云石,在孔隙含水量为 90% 的条件下,土壤中的 CO_2 累积通量相较于 50% 和 130% 孔隙含水量的土壤分别增加了 2.67 倍和 1.11 倍。同时,该处理还使 50% 、 90% 、 130% 孔隙含水量的土壤中 N_2O 的累积排放量分别减少了 21% 、 8% 和 24% 。Muhammad等^[60]的研究关注到白云石对 CH_4 排放和吸收的影响,研究发现,在酸化土壤中施入 $1\sim 2\text{ g/kg}$ 白云石后,土壤在 55% 的湿度条件下对 CH_4 的吸收量增加了 15 倍,而在 90% 的土壤湿度条件下使土壤中 CH_4 累积排放量减少了 39% 。Wang等^[61]基于全球 121 篇文献的 1570 组原位观测数据进行了荟萃(Meta)分析,结果表明,在全球尺度上施用石灰性改良剂(包括白云石)显著提高了 36.3% 的作物产量,同时显著降低了 21.3% 的土壤 N_2O 年排放量以及 19.0% 的稻田 CH_4 年排放量,并使土壤SOC含量增加了 $4.51\%\text{ yr}^{-1}$ 。如果全球酸性农田土壤能够周期性地施用石灰性材料进行改良,预计全球土壤 N_2O 排放量和稻田 CH_4 排放量将分别减少 $0.60\sim 0.67\text{ Tg N}_2\text{O-N yr}^{-1}$ 和 $1.75\sim 2.21\text{ Tg CH}_4\text{ yr}^{-1}$,而土壤SOC含量将增加 $65.7\sim 110\text{ Tg C yr}^{-1}$ 。综上所述,白云石在减轻土壤酸化及减少温室气体排放方面展现出了有益效果,在酸化农田土壤中结合适当的水肥管理措施用白云石改良剂,不仅能有效提高全球农业生产的可持续性,还对减缓气候变化和保障粮食安全具有宝贵的经济和生态效益。

4 结论和展望

本文通过文献调研和案例分析,综述了白云石作为土壤改良剂在缓解农田土壤酸化问题上的研究进展。白云石通过酸碱中和与沉淀作用机

制,直接降低了土壤中的交换性酸和活性酸含量,有效提升了土壤pH值,从而遏制了土壤酸化的进一步加剧。还通过促进土壤养分转化、增强土壤酶活性及调节微生物活性等间接途径,全面发挥了土壤改良的积极作用。田间实际应用案例表明,施用白云石能够显著改善酸化农田土壤的理化特性,补充土壤中钙、镁等养分含量,进而促进作物生长,提高产量和品质,还能阻控有毒重金属的吸收,保障农产品的安全性。同时,还能增加土壤中细菌和放线菌数量,降低真菌的数量,从而优化土壤微生物群落结构,有助于进一步提高土壤肥力。值得关注的是,施用白云石还有助于降低酸化农田土壤的温室气体排放强度(尤其是水稻田),对于减缓全球气候变化具有重要意义。尽管当前研究已揭示了白云石在土壤改良中的多重优势,但仍存在诸多亟待解决的科学问题。建议在未来研究中:(1)加强对白云石在不同土壤类型和作物种类中长期应用效果的监测与评估;(2)运用先进的分子生物学技术,如高通量测序与宏基因组学手段,深入解析白云石对土壤微生物群落结构与功能的复杂影响机制;(3)重点关注白云石改良效果在气候变化背景下的稳定性与适应性,以制定更加灵活有效的土壤改良策略。

参考文献:

- [1] WEIL R R, BRADY N C. The Nature and Properties of Soils. 15th edition [M]. The Nature and Properties of Soils. 15th edition, 2017.
- [2] WU Z, SUN X, SUN Y, et al. Soil acidification and factors controlling topsoil pH shift of cropland in central China from 2008 to 2018[J]. *Geoderma*, 2022, 408:115586.
- [3] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. *土壤*, 2015, 47(2): 238-244.
- XU R K. Research progresses in soil acidification and its control[J]. *Soil*, 2015, 47(4): 238-244.
- [4] ZHANG Y, YE C, SU Y, et al. Soil acidification caused by excessive application of nitrogen fertilizer aggravates soil-borne diseases: Evidence from literature review and field trials[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2022, 340(1): 108176.
- [5] 赵学强, 潘贤章, 马海艺, 等. 中国酸性土壤利用的科学问题与策略[J]. *土壤学报*, 2023, 60(5):1248-1263.

- ZHAO X Q, PAN X Z, MA H Y, et al. Scientific issues and strategies of acid soil use in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2023, 60(5):1248-1263.
- [6] 杨帆, 贾伟, 杨宁, 等. 近30年我国不同地区农田耕层土壤的pH变化特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2023, 29(7): 1213-1227.
- YANG F, JIA W, YANG N, et al. Spatio-temporal variation of surface soil pH of farmland in different regions of China in the past 30 years[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(7):1213-1227.
- [7] GOULDING K W T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom[J]. *Soil Use and Management*, 2016, 32(3):390-399.
- [8] 吴道铭, 傅友强, 于智卫, 等. 我国南方红壤酸化和铝毒现状及防治[J]. *土壤*, 2013, 45(4):577-584.
- WU D M, FU Y Q, YU Z W, et al. Status of red soil acidification and aluminum toxicity in south China and prevention[J]. *Soil*, 2013, 45(4):577-584.
- [9] 徐仁扣, 李九玉, 周世伟, 等. 我国农田土壤酸化调控的科学问题与技术措施[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(2):160-167.
- XU R K, LI J Y, ZHOU S W, et al. Scientific issues and controlling strategies of soil acidification of croplands in China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(2):160-167.
- [10] LIU J X, CUI J, LIU H B, et al. Research progress of soil amelioration of acidified soil by soil amendments[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2022, 12(1):173.
- [11] BABLA M, KATWAL U, YONG M T, et al. Value-added products as soil conditioners for sustainable agriculture[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 178:106079.
- [12] 黄武, 牟海燕, 梁焯, 等. 土壤酸化的防护与治理研究进展[J]. *四川化工*, 2019, 22(5):9-13.
- HUANG W, MOU H Y, LIANG X, et al. Advances in soil acidification prevention and treatment[J]. *Sichuan Chemical Industry*, 2019, 22(5):9-13.
- [13] 张巍. 白云石的应用进展[J]. *矿产保护与利用*, 2018(2):130-144.
- ZHANG W. Application progress of dolomite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral*, 2018(2):130-144.
- [14] 程良管, 卢寿慈, 张垂昌. 白云石资源综合利用的途径[J]. *矿产保护与利用*, 1990(4):33-37+32.
- CHENG L G, LU S C, ZHANG C C. Ways to comprehensively utilize the resources of Baiyunshan[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 1990(4):33-37+32.
- [15] SCHOLLE P A, ULMER-SCHOLLE D S. A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis [M]. American Association of Petroleum Geologists, 2003.
- [16] 刘丽红, 韩淼, 田亚, 等. 白云岩矿特征、成因类型、分布及其开发利用价值[J/OL]. *中国地质*, 1-25[2024-03-13]. <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/11.1167.P.20230704.0937.004.html>
- LIU L H, HAN M, TIAN Y, et al. The characteristics, types, distributions and utilization value of dolomite deposit[J/OL]. *Geology in China*, 1-25[2024-03-13]. <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/11.1167.P.20230704.0937.004.html>
- [17] 班小淇, 顾畔, 印万忠, 等. 菱镁矿浮选体系中 Fe^{3+} 对白云石的选择性活化及机理分析[J]. *矿产综合利用*, 2022(5): 125-129.
- BAN X Q, GU P, YIN W Z, et al. Study on reverse flotation process of magnesite and dolomite in dodecylamine system[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2022(5):125-129.
- [18] 王少阳, 祁欣, 罗旭东, 等. 白云石的应用进展[J]. *耐火材料*, 2022, 56(1):88-92.
- WANG S Y, QI X, LUO X D, et al. Application progress of dolomite[J]. *Refractories*, 2022, 56(1):88-92.
- [19] 朱宏生, 刘玉凡, 王晨. 百香果园施用白云石粉应用效果试验[J]. *农业科技通讯*, 2021(6): 59-61.
- ZHU H S, LIU Y F, WANG C. Experiment on the application effect of dolomite powder applied to passion fruit orchards [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2021, (6): 59-61.
- [20] 钟雄发. 三华李酸性土壤果园施用白云石粉效果探究[J]. *乡村科技*, 2022, 13(4):61-63.
- ZHONG X F. Exploration on the effect of dolomite powder application in the orchard of Sanhua plum with acidic soil[J]. *Rural Technology*, 2022, 13(4):61-63.
- [21] TRAKAL L, NEUBERG M, TLUSTOŠP, et al. Environment dolomite limestone application as a chemical immobilization of metal-contaminated soil[J]. *Plant, Soil and Environment*, 2011, 57(4):173-179.
- [22] 文星. 几种土壤改良剂对酸性水稻土及红壤旱土的改良效果研究[D]. 长沙: 中南大学, 2015.
- WEN X. Study the effects of several soil amendments on acid paddy soil and red soil[D]. Changsha: Central South

University, 2015.

[23] 武际, 郭熙盛, 王文军, 等. 施用白云石粉对黄红壤酸度和油菜产量的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2006(1):55-58.

WU J, GUO X S, WANG W J, et al. Effect of dolomite application on soil acidity and yield of rapeseed on yellow-red soil[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2006(1):55-58.

[24] MAGDOLNA T, KOVÁCS A, OLÁH Z, et al. Dolomite and calcite treatments applying in melioration of an acidic sandy soil[J]. *Natural Resources and Sustainable Development*, 2019, 9:174-181.

[25] LUBIS K S, HANUM H, AULIA G. The effect of biofertilizer, chicken manure and dolomite on chemical soil and the growth of soybean at potential acid sulphate soils[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 782(4):042035.

[26] S D, NS R, SWADIGA O. Acidity and nutrient management practices for enhancing soil nutrient availability, nutrient uptake and grain yield of rice in Vaikom kari soils in Kuttanad, Kerala[J]. *ORYZA- An International Journal on Rice*, 2023, 60:426-441.

[27] 谭智勇, 王喜英, 赵辉, 等. 改良剂对酸性植烟土壤化学性质、细菌群落结构和丰度的影响[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(16):240-246.

TAN Z Y, WANG X Y, ZHAO H, et al. Impacts of amendments on chemical properties and bacterial community structure and abundance in acid tobacco-planting soils[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(16):240-246.

[28] 赵辉, 王喜英, 谭智勇, 等. 改良剂对酸性植烟土壤固氮菌群落结构和丰度的影响[J]. *南方农业学报*, 2022, 53(9):2435-2443.

ZHAO H, WANG X Y, TAN Z Y, et al. Effects of amendment application on structure and abundance of nitrogen fixing microbial community in acidic tobacco-planting soil[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2022, 53(9):2435-2443.

[29] JING Y D, HE Z L, YANG X E. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils[J]. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 2007, 8(3):192-207.

[30] HARTMANN M, SIX J. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2023, 4(1):4-18.

[31] 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.

LI D, WANG D Z, ZHAO L L, et al. Improvement effects of different soil conditioners on acidity of greenhouse vegetable[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(27):112-116.

[32] 孔丽丽, 侯云鹏, 都钧, 等. 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[J]. *东北农业科学*, 2023, 48(5):1-5.

KONG L L, HOU Y P, DU J, et al. Effects of different amendments of acidic soil on maize yield, dry matter accumulation and soil pH[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2023, 48(5):1-5.

[33] 李昂, 王旭, 范洪黎. 4 种土壤调理剂改良红壤铝毒害的效果研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(4):7-11.

LI ANG, WANG X, FAN H L. Effects of four soil conditioners on alleviating aluminum toxicity in acid red soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2014(4):7-11.

[34] 曹胜, 曾斌, 龚碧涯, 等. 碱性物料与有机物料配施对柑橘园土壤酸碱缓冲性能和果实品质的影响[J]. *中国果树*, 2023(1):57-63+71.

CAO S, ZENG B, GONG B Y, et al. Effects of combined application of alkaline materials and organic materials on soil acid-base buffering and fruit quality in citrus orchard[J]. *China Fruits*, 2023(1):57-63+71.

[35] 余臻. 不同土壤改良剂对汞污染水稻-蔬菜轮作耕地安全利用效果的研究[J]. *农业与技术*, 2022, 42(20):91-94.

YU Z. Study on the effect of different soil conditioners on the safe utilization of mercury-contaminated rice-vegetable rotation cropland[J]. *Agriculture and Technology*, 2022, 42(20):91-94.

[36] 童文彬, 江建锋, 杨海峻, 等. 南方典型酸化土壤改良与水稻安全种植同步应用技术[J]. *浙江农业科学*, 2022, 63(6):1154-1156+1160.

TONG W B, JIANG J F, YANG H J, et al. Synchronization application of typical acidified soil improvement and safer rice growth in South China[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(6):1154-1156+1160.

[37] 杨文俪. 福建省安溪县茶园土壤酸化速率与改良技术[J]. *茶叶学报*, 2021, 62(2):89-93.

YANG W L. Remedy for soil acidification at tea plantations in Anxi, Fujian[J]. *Acta Tea Sinica*, 2021, 62(2):89-93.

[38] 余跑兰, 孙永明, 李小飞, 等. 施用白云石粉对茶园土壤酸化及茶叶品质与产量的影响[J]. *茶叶通讯*, 2020, 47(1):46-51.

YU P L, SUN Y M, LI X F, et al. Effects of dolomite powder application on tea garden soil acidification, tea quality and

- yield[J]. *Journal of Tea Communication*, 2020, 47(1):46-51.
- [39] 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.
- QIU Q M, WANG W, WU X H, et al. Effects of soil pH conditioners on soil properties of acid litchi orchards and litchi growth[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(2):217-224.
- [40] 单翔宇, 黄语娇, 谢如林, 等. 施用白云石粉对酸性土壤 pH 和有效养分及甘蔗生长的影响[J]. *广西农学报*, 2019, 34(5):20-24+29.
- SHAN X Y, HUANG Y J, XIE R L, et al. Effects of applying dolomite powder on acid soil pH and available nutrients as well as sugarcane growth[J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2019, 34(5):20-24+29.
- [41] 陈清海. 不同用量钝化剂对土壤及黄瓜 Pb 含量的影响[J]. *东南园艺*, 2022, 10(4):266-270.
- CHEN Q H. Effect of different dosages of passivators on Pb content in soil and cucumber[J]. *Southeast Horticulture*, 2022, 10(4):266-270.
- [42] 王文军, 郭熙盛, 武际, 等. 施用白云石对酸性黄红壤作物产量及化学性质的影响[J]. *土壤通报*, 2006(4):723-726.
- WANG W J, GUO X S, WU J, et al. Effects of applying dolomite on crop yield and soil chemical properties in acid yellow-red soils areas[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006(4):723-726.
- [43] SHAABAN M, PENG Q A, HU R, et al. Dolomite application to acidic soils: a promising option for mitigating N₂O emissions[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22(24):19961-19970.
- [44] LASOTA J, KEMPF M, KEMPF P, et al. Effect of dolomite fertilization on nutritional status of seedlings and soil properties in forest nursery[J]. *Soil science annual*, 2021, 72(1):1-8.
- [45] 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.
- LI A. Remediate effects on aluminum toxicity by using four soil conditioners in acid soils[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [46] 李正强, 熊俊芬, 马琼芳, 等. 4 种改良剂对铅锌尾矿污染土壤中光叶紫花苜蓿生长及重金属吸收特性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(1):158-163.
- LI Z Q, XIONG J F, MA Q F, et al. Effect of different amendments on growth and heavy metal accumulation in *Vicia villosa* Roth var *glabrescens* cv *Yunguangzao* in soils polluted with lead/zinc mine tailings[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(1):158-163.
- [47] 李旭华, 张海伟, 叶为民, 等. 基肥施用方式对烤烟根系生长及根际微生态环境的影响[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(10):2284-2289.
- LI X H, ZHANG H W, YE W M, et al. Effects of different basal-dressing application methods on flue-cured root growth and rhizosphere microenvironment[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(10):2284-2289.
- [48] 喻延. 土壤 pH 值及不同调控措施对烟草青枯病发生情况的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- YU Y. Effects of soil pH and different control measures on tobacco bacterial wilt status[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [49] 刘阳, 张西兴, 庞世花. 利用白云石和钾长石制备钾钙肥的研究[J]. *磷肥与复肥*, 2015, 30(11):9-10+12.
- LIU Y, ZHANG X X, PANG S H. Study on preparation of potassium-calcium fertilizer from dolomite and potash feldspar[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2015, 30(11):9-10+12.
- [50] 钟菊文. 白云石镁肥的加工与应用推广[J]. *江西农业*, 2017(9):40.
- ZHONG J W. Processing and application promotion of dolomite magnesium fertilizer[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017(9):40.
- [51] 王鹏飞, 田滔, 张应华, 等. 复配改良剂对设施酸化土壤及团聚体的影响[J]. *环境科学与技术*, 2021, 44(12):167-176.
- WANG P F, TIAN T, ZHANG Y H, et al. Effect of compound amendments on acidified soil and aggregate in greenhouse[J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 44(12):167-176.
- [52] 倡国涵, 王毅, 徐大兵, 等. 不同施肥结构对酸性黄棕壤修复效果研究[J]. *土壤*, 2016, 48(4):714-719.
- SI G H, WANG Y, XU D B, et al. Amelioration effects of different fertilization structure on acid yellow brown[J]. *Soil*, 2016, 48(4):714-719.
- [53] MALEK S, WAZNY R, BLOŃSKA E, et al. Soil fungal diversity and biological activity as indicators of fertilization strategies in a forest ecosystem after spruce disintegration in the Karpaty Mountains[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 751:142335.
- [54] GIAGNONI L, DOS ANJOS BORGES L G, GIONGO A, et al. Dolomite and compost amendments enhance Cu phytostabilization and increase microbiota of the leachates

from a Cu-contaminated soil[J]. *Agronomy*, 2020, 10(5):719.

[55] 王文军, 张祥明, 凌国宏, 等. 皖南山区潜育性水稻土剖面性状及无机改良剂改良效果[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(1):237-241.

WANG W J, ZHANG X M, LING G H, et al. Soil profile properties of gleyed paddy soils and improvement effects of inorganic amendment in south Anhui mountainous areas[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(1):237-241.

[56] 杜瑞英. 土壤改良剂和红麻联合修复对多金属污染土壤中微生物群落功能的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2013, 29(1):70-75.

DU R Y. Effects of application of soil amendment and cultivation of red ramie in remedying multi-metal contaminated soils on functions of soil microbia community[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29(1):70-75.

[57] 欧阳学军, 周国逸, 黄忠良, 等. 土壤酸化对温室气体排放影响的培育实验研究[J]. *中国环境科学*, 2005(4):465-470.

OUYANG X J, ZHOU G Y, HUANG Z L, et al. The

incubation experiment studies on the influence of soil acidification on greenhouse gases emission[J]. *China Environmental Science*, 2005(4):465-470.

[58] SHAABAN M, WU Y, PENG Q, et al. The interactive effects of dolomite application and straw incorporation on soil N₂O emissions[J]. *European Journal of Soil Science*, 2018, 69(3):502-511.

[59] WU H, HAO X, XU P, et al. CO₂ and N₂O emissions in response to dolomite application are moisture dependent in an acidic paddy soil[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2020, 20(8):3136-3147.

[60] SHAABAN M, PENG Q A, LIN S, et al. Dolomite application enhances CH₄ uptake in an acidic soil[J]. *Catena*, 2016, 140:9-14.

[61] WANG Y, YAO Z, ZHAN Y, et al. Potential benefits of liming to acid soils on climate change mitigation and food security[J]. *Global Change Biology*, 2021, 27(12):2807-2821.

Research Progress on Dolomite Improving Acidified Farmland Soil

SUN Lingli¹, CHEN Haining², WANG Qixuan¹, WANG Weihai¹

(1.Zhongde Fertilizer (Yantai) Co., Ltd., Yantai 264002, Shandong, China; 2.Yantai Academy of Agricultural Sciences, Yantai 265500, Shandong, China)

Abstract: This article pertains to the field of agricultural science, with the focus on the application and effectiveness of dolomite in ameliorating acidified farmland soils. Addressing the increasingly prominent issue of soil acidification in Chinese farmlands, this study systematically elucidates the significant role played by dolomite, an alkaline carbonate mineral material, in soil improvement. Through a comprehensive analysis of dolomite's mechanisms for enhancement, the research findings demonstrate its ability to significantly increase soil pH value through acid-base neutralization and precipitation processes, effectively reduce toxic heavy metal ion activity, and enhance soil nutrient availability. Moreover, dolomite exerts a notable positive influence on the structure of soil microbial communities, thereby further promoting the health and balance of the soil ecosystem. Importantly, applying dolomite also leads to a substantial reduction in greenhouse gas emission intensity from acidified soils, offering a novel approach for regulating carbon and nitrogen cycles within farmland ecosystems. Economic benefit analysis indicates that as a cost-effective and environmentally friendly soil amendment option, dolomite holds tremendous potential for practical applications and market prospects. Future research can explore synergistic effects between dolomite and other soil amendments as well as develop application strategies tailored to different types of soils and cropping systems with an aim to provide more precise and efficient solutions for improving agricultural production.

Keywords: Soil remediation; Dolomite; Acidified Soil; Crop Growth; Microbial Community; Economic Benefits