

于俊峰, 郭心怡, 李忠意, 付登伟, 王远鹏, 周佳, 王帅. 市售酸性土壤调理剂的信息统计与性质分析[J]. 土壤学报, 2025, YU Junfeng, GUO Xinyi, LI Zhongyi, FU Dengwei, WANG Yuanpeng, ZHOU Jia, WANG Shuai. Information Statistics and Property Analysis of Commercially Acidic Soil Amendments[J]. Acta Pedologica Sinica, 2025,

市售酸性土壤调理剂的信息统计与性质分析^{*}

于俊峰¹, 郭心怡¹, 李忠意^{1†}, 付登伟², 王远鹏², 周佳³, 王帅³

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市南川区农业技术推广中心, 重庆 408400; 3. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401121)

摘要: 直接施用调理剂是改良酸性土壤的重要方法。为了深入了解我国市售酸性土壤调理剂的性质特征, 本研究对我国酸性土壤调理剂的产品登记情况和发明专利申请信息进行了系统整理与分析, 并针对24种市售酸性土壤调理剂包装上标注的形态特征和主要有效成分进行了测定、匹配和验证。通过X射线衍射(XRD)和傅里叶变换红外光谱(FTIR)分析, 进一步明确了这些商品化酸性土壤调理剂的主要化学组分。结果显示, 我国酸性土壤调理剂产品种类丰富, 在各类土壤调理剂中占比高达78%。受市场需求、原料产地以及农业发展特点等因素影响, 酸性土壤调理剂的生产厂商主要集中于广东和山东地区。我国酸性土壤调理剂产品的发明专利授权率较低, 不足10%, 其中已授权专利所涉及的原材料以有机物料和工农业副产品为主, 天然矿物和化工产品次之。在产品登记信息中, 碳酸盐矿物和牡蛎壳是最常用的原材料。与专利申请相比, 实际生产中选择的原材料更加廉价且易获取。我国酸性土壤调理剂的形态主要包括粉剂和颗粒态, 其产品登记比例约为2:1。 pH 、CaO和MgO三个碱度指标是衡量酸性土壤调理剂改善土壤酸度及补充盐基养分效果的关键参数。然而, 部分商品化酸性土壤调理剂在包装上未完全标明这三项重要参数。通过对24种市售酸性土壤调理剂的测定发现, 所有样品均具有较高的pH和CaO含量, 大部分产品还含有少量MgO, 绝大多数调理剂产品的碱度测定值与其标明值或标明范围相符。XRD和FTIR分析结果表明, 我国市售酸性土壤调理剂的主要成分为 CaCO_3 。此外, 因原材料和加工工艺的不同, 部分产品还含有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CaO、 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 、MgO等快速调节土壤酸度的碱性物质。除上述碱性物质外, 大多数酸性土壤调理剂中还含有硅酸盐矿物或 SiO_2 等含硅物质。综上所述, 当前我国酸性土壤调理剂的主要功能集中于调节土壤酸度。然而, 由于产品功能较为单一, 市场推广面临一定挑战。为满足农业生产多样化的实际需求, 亟需进一步研发既能调节土壤酸度, 又兼具培肥功能的多功效调理剂产品, 以提升产品实用性和市场竞争力。此外, 酸化土壤改良是一项系统工程。除了加强新产品的研发, 还需同步推进土壤酸化监测与预警、酸化土壤改良技术与模式集成等相关工作, 从而切实推动我国酸性耕地的改良进程及其可持续利用。

关键词: 土壤酸化; 土壤调理剂; 产品信息; 生产原料; 化学成分

中图分类号: S153.4 **文献标志码:** A

Information Statistics and Property Analysis of Commercially Acidic Soil Amendments

YU Junfeng¹, GUO Xinyi¹, LI Zhongyi^{1†}, FU Dengwei², WANG Yuanpeng², ZHOU Jia³, WANG Shuai³

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Agricultural Technology Extension Station of Nanchuan District, Chongqing 408400, China; 3. Chongqing General Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 401121, China)

Abstract: 【Objective】Direct application of soil amendments represents a crucial approach for ameliorating acidic soils. Grasping the fundamental properties of commercially available acidic soil amendments is vital for developing strategies to improve acidic soils in China. 【Method】In this study, detailed information regarding product registration and patent applications for acidic soil amendments in China was gathered and

* 国家自然科学基金项目(41701256)和西南大学本科生创新基金项目(202110635097)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41701256) and the Undergraduate Innovation Fund of Southwest University (No. 202110635097)

†通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhongyili@swu.edu.cn

作者简介: 于俊峰(1999—), 男, 北京人, 硕士研究生, 主要从事酸化土壤改良研究。E-mail: 1900472380@qq.com

收稿日期: 2025-03-29; 收到修改稿日期: 2025-06-21; 网络首发日期(www.cnki.net):

systematically organized. Subsequently, the basic properties; including particle size distribution, pH, contents of CaO and MgO, crystalline minerals, and functional groups, of 24 randomly selected commercial soil amendments were determined. The crystalline minerals and functional groups of soil amendments were identified by X-ray diffraction (XRD) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) analyses. 【Result】The results indicate that a substantial number of acidic soil amendments exist in China, accounting for 78% of all types of soil amendments. Driven by market demand, raw material availability, and agricultural development characteristics, the manufacturers of acidic soil amendments are predominantly located in Guangdong and Shandong provinces. The authorization rate of patents for acidic soil amendments in China is less than 10%. Among the authorized patents, the primary raw materials are organic matter and by-products from industry and agriculture, followed by natural minerals and chemical products. Specifically, the main raw materials listed in product registrations were carbonate minerals and oyster shells and most of the amendments were available in powder and granular forms, with a product registration ratio of approximately 2:1. However, the adoption of the powder products face challenges in promotion due to dust generation during application. The pH value, CaO content, and MgO content are the core indicators that most effectively reflect the ability of acidic soil amendments to mitigate soil acidity and replenish soil base nutrients. Even though some of the soil amendments did not fully disclose these three parameters on their packaging, the experimental evidence indicated that they were highly alkaline and exhibited high pH values and CaO contents, and most products also contained small amounts of MgO. These measured indicators aligned with their labeled values or ranges and the XRD and FTIR analyses further demonstrated that the predominant component in the commercially available amendments was CaCO₃. In addition, other alkaline constituents such as Ca(OH)₂, CaO, CaMg(CO₃)₂, and MgO were also present in some of the soil amendments, depending on their raw materials and production technologies. Moreover, most of the amendments also contained silicate minerals or SiO₂. 【Conclusion】The results of this study revealed that the primary function of the commercially available amendments for acidic soils in China is the amelioration of soil acidity. However, due to the single functionality of these products, there are significant challenges in market promotion. To meet the diversified needs of agricultural production, it is necessary to further develop multi-functional acidic soil amendment products that can both regulate soil acidity and enhance soil fertility, thereby improving product practicability and market competitiveness. In addition, acidified soil amelioration is a systematic project. Besides strengthening the development of new products, it is also necessary to simultaneously advance various aspects of work such as soil acidification monitoring and early warning, and integration of acidified soil improvement technologies and models, in order to effectively promote the improvement and sustainable utilization of China's acidic cultivated land.

Key words: Soil acidification; Soil amendments; Product information; Raw material; Chemical composition

我国土壤酸化呈现出全国普遍发生的趋势，对作物产量、农产品品质和生物多样性造成不利影响^[1]。当前，土壤酸化已经成为我国中低产田面临的主要障碍因素之一^[2-3]。在此背景下，施用酸性土壤调理剂被认为是缓解土壤酸化进程、治理酸性土壤的有效策略之一^[4]。然而，土壤调理剂的推广及创新在当前仍面临众多困难与挑战。首先是种植从业者对于土壤酸化问题的认知不足是一个重要因素，常将土壤酸化引起的作物减产、欠收或绝收归咎于土壤供肥不足，从而选择提高化肥施用量作为解决方案^[5]。但这种做法不仅无助于从根本上解决土壤酸化问题，反而可能加剧土壤酸化进程^[2,6]。此外，即使种植户意识到土壤可能存在酸化问题，但无廉价有效的土壤调酸应对措施^[7]。事实上，除文献资料外，我国各级政府部门已出台了一些酸性土壤改良的技术方法与指南，如国家层面出台了《农产品产地土壤改良剂使用技术规范（GB/T 42817-2023）》，部级层面制定了《石灰质改良酸化土壤技术规范（NY/T 3443-2019）》。各省市还制定了针对特定区域的酸性土壤改良技术规范，如江西省的《酸性土壤改良与评价技术规范（DB36/T 1517-2021）》，重庆市的《酸化土壤改良技术规范（DB 50/T 1146-2021）》，江苏省地方标准《气候过渡地带土壤酸化防治技术规范（DB32/T 3345-2017）》等。这些标准或技术规范均强调采用多种措施改良酸性土壤，其中最为核心的是施用富含碱性物质的酸性土壤调理剂。尽管我国目前市场上销售的土壤调理剂产品众多，但缺乏针对酸性土壤调理剂产品的标准和规范，各调理剂生产所执行的标准均为企业标准，各产品包装所标识的功效不一，导致种植户对调理剂的性质不了解，不敢盲目使用^[4]。鉴于此，本研究从酸性土壤调理剂登记信息和专利信息，酸性土壤调理剂碱度标识与吻合度，酸性土壤调理剂化学成分特征三个方面对我国酸性土壤调理剂的特征和特点进行分析，期望为我国酸性土壤调理剂产品的进一步发展与创新提供理论依据与支持。

1 材料与方法

1.1 调理剂登记信息检索

土壤调理剂产品登记信息收集自农业农村部种植业管理司网站 (<https://flyw.agri.cn/publicvue>)。根据规定，土壤调理剂属于部级登记产品，故检索范围选择“部级登记产品查询”，企业名称不选择，产品通用名称选择“土壤调理剂”，产品形态选择“全部种类”，登记证号不选择，检索时间范围为2015年1月1日至2022年12月31日。共检索到土壤调理剂产品223个，随后收集网站上关于这些样品的更多详细商品信息，用于后续的计量分析。

1.2 调理剂专利信息检索

调理剂专利信息收集自万方数据 (<https://g.wanfangdata.com>)。在网站主页选择“高级检索”下的“专业检索-专利”功能，输入逻辑检索指令“主题：土壤调理剂and土壤改良剂and改良土壤and土壤调酸剂and土壤钝化剂and调理土壤”，发表时间选择“全部”，国家选择“中国”。检索时间范围为2013年1月1日至2023年12月31日。共检索到904项相关专利信息，剔除19项实用新型专利后，剩余发明专利885项，其中已授权发明专利仅38项。随后通过阅读专利标题和摘要，从885项专利中筛选出明确包含酸性土壤调理剂新产品的专利，去除其他类型土壤调理剂，以及针对装置、工艺和方法系统进行发明创新的专利。最后，得到土壤调理剂产品相关专利293项，其中授权专利仅22项。在对专利申请信息的分析中，仅对已授权专利的原料特征进行分析。

1.3 调理剂产品性质表征

通过从网络平台购买、农户处收集和肥料经销商处购买的途径，得到 24 件酸性土壤调理剂产品。商品信息如表 1。为便于书写和规避潜在的法律风险，本文将 19 种粉剂产品随机命名为 DP1~DP19，将 5 种颗粒剂产品随机命名为 GR1~GR5。后文中非特殊说明均使用该编号代指。

表 1 供试 24 种酸性土壤调理剂产品的基本信息

Table 1 Basic information of 24 acidic soil amendments

序号 Number	商品名称 Product name	生产企业 Manufacturer	包装标识主要原料 Raw materials labeled on the package	产品形态 Product form
1	金葵子土壤调理剂	佛山金葵子植物营养有限公司	标识不明	粉剂
2	海村土壤调理剂	山东地宝土壤修复科技有限公司	牡蛎壳	粉剂
3	植宝土壤调理剂	佛山市植宝生态科技有限公司	牡蛎壳、白云石、腐植酸、生物质炭等	粉剂
4	万植土壤调理剂	重庆市万植巨丰生态肥业有限公司	钾长石、磷矿石、石灰石	粉剂
5	致发牡蛎钙土壤调理剂	福建玛塔生态科技有限公司	牡蛎壳	粉剂
6	楚戈土壤调理剂	环保桥生态环境工程股份有限公司	标识不明	粉剂
7	阿姆斯土调 1 号土壤调理剂	北京世纪阿姆斯生物技术有限公司	白云石、石灰石、石英石	粉剂
8	维地康土壤调理剂	广东维特农业科技有限公司	牡蛎壳、石灰石、矿源腐植酸、甜叶菊渣等	粉剂
9	丰收延土壤调理剂	西部环保有限公司	标识不明	粉剂
10	诺地康土壤调理剂	河南诺赛德生物科技有限公司	标识不明	粉剂
11	草木禾牡蛎钙土壤调理剂	安徽国祯生态科技有限公司	标识不明	粉剂
12	格林豪斯 1 号土壤调理剂	天脊煤化工集团股份有限公司	标识不明	粉剂

13	特贝钙土壤调理剂	福建玛塔生态科技有限公司	牡蛎壳	粉剂
14	根望土壤调理剂	成都天杰有机农业发展有限公司	钾长石、石灰石或白云石	粉剂
15	双藻双宝土壤调理剂	青岛海大生物集团有限公司	牡蛎壳、浒苔	粉剂
16	天象土壤调理剂	江苏天象生物科技有限公司	标识不明	粉剂
17	YH 重金属钝化剂	成都天杰有机农业发展有限公司	标识不明	粉剂
18	水猴土壤调理剂	岳阳市康源邦尔生物技术有限公司	标识不明	粉剂
19	湘润邦土壤调理剂	湖南润邦生物工程有限公司	标识不明	粉剂
20	特贝钙土壤调理剂	福建玛塔生态科技有限公司	牡蛎壳	颗粒
21	海村土壤调理剂	山东地宝土壤修复科技有限公司	牡蛎壳	颗粒
22	优嘉速牡蛎钙土壤调理剂	广东拉多美化肥有限公司	牡蛎壳	颗粒
23	致发牡蛎钙土壤调理剂	福建玛塔生态科技有限公司	牡蛎壳	颗粒
24	回力地天然海洋钙型土壤调理剂	法国缔马农业股份有限公司	标识不明	颗粒

按照农业行业标准《水溶肥料 水不溶物含量和 pH 的测定 (NY/T 1973-2021)》，采用电位法测定调理剂的 pH (固液比 1:250)。按照农业行业标准《土壤调理剂 钙、镁、硅含量的测定 (NY/T 2272-2012)》，采用 $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl 浸提—原子吸收分光光度法 (Z-500, 日本日立) 测得调理剂的 CaO 和 MgO 含量。采用筛分法测定土壤调理剂产品的粒径分布，具体步骤参考国家标准《固体肥料和土壤调理剂 筛分试验 (GB/T 20781-2006)》进行。土壤调理剂产品的矿物组成使用 X 射线衍射法 (XRD) 测定。具体方法为先使用玛瑙研钵将经干燥的调理剂样品研磨至全部通过 100 目筛，然后将磨细的调理剂粉末压片制样后使用 X 射线衍射仪 (XD-3, 北京普析) 进行扫描。X 射线仪使用 Cu 靶，工作电压为 36 kV，工作电流为 20 mA，扫描角度为 5~60°，扫描步长为 0.02°，扫描速度为 $2(\text{°})\cdot\text{min}^{-1}$ 。采用傅里叶变换红外光谱仪 (FTIR, Nicolet-iS10, 美国赛默飞) 测定土壤调理剂产品的官能团特征，具体测定方法为取 2 mg 左右样品与 200 mg 干燥的 KBr 粉末在玛瑙研钵中混匀并研细，之后取适量样品放入压片模具中，用 108 Pa 的压力将样品压成透明薄片，然后在 $400\text{--}4\,000 \text{ cm}^{-1}$ 的波数范围内进行红外吸收光谱扫描。

1.4 数据统计

使用 MDI Jade 6.0 对 XRD 图谱进行物相分析，使用 Microsoft Excel 2016 和 Origin 2021 进行数据处理与可视化展示。

2 结果与讨论

2.1 调理剂的产品登记信息

在种植业管理司网站检索到的 223 种土壤调理剂产品中，登记的适宜范围共有 6 类，分别为适用于砂土、黏土、污染场地修复、砷/镉重金属污染水稻土、盐碱土壤、结构障碍土壤和酸性土壤 (图 1)。其中，218 种产品仅登记了 1 类适宜范围，5 种产品登记了 2 类及 2 类以上的适宜范围。从图 1 中可知，适宜范围包含“酸性土壤”的产品占比最多，达到了全部产品的 78%，超过所有其余适宜范围产品的总和。一方面证明了土壤酸化是目前我国耕地土壤退化面临的主要挑战，是抑制我国农业生产发展潜力进一步释放的主要障碍与阻力；另一方面也说明，酸性土壤调理剂是经市场验证和认可的可应对土壤酸化问题的解决方案之一。此外，从图中还可知，2018 年登记的针对酸性土壤的调理剂产品数量最多，达到了 74 件，远超往年平均的 13.6 件。这是因为 2017 年农业部第 8 号部令取消了肥料临时登记证制度，因此部分 2017 年及更早之前的临时登记产品被并入了 2018 年登记的产品中一并公示^[5]。此外，该部令也在一定程度上促进了包括土壤调理剂在内的肥料行业的发展，刺激了相关企业的生产与研发积极性，为相关市场注入了新的

发展活力。总之，我国严重存在且亟需解决的土壤酸化问题是驱动酸性土壤调理剂产品登记数量占比较大的主要原因。

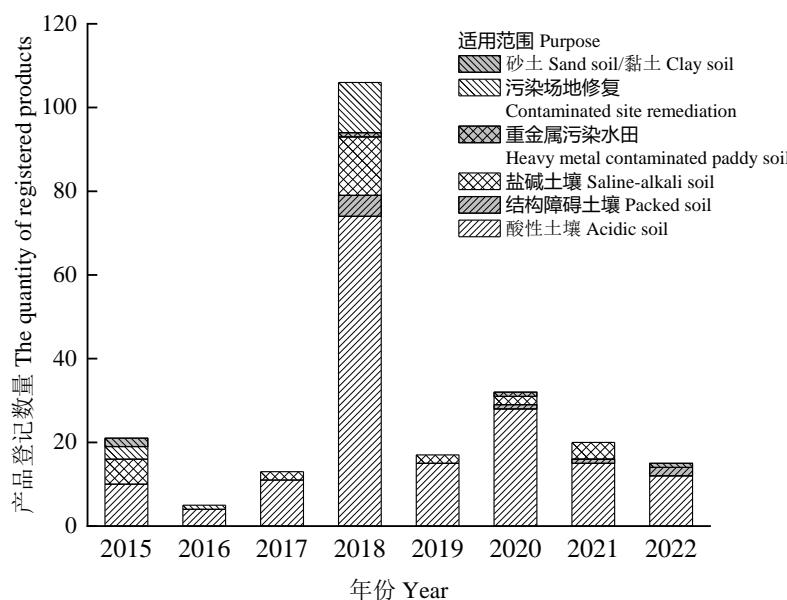
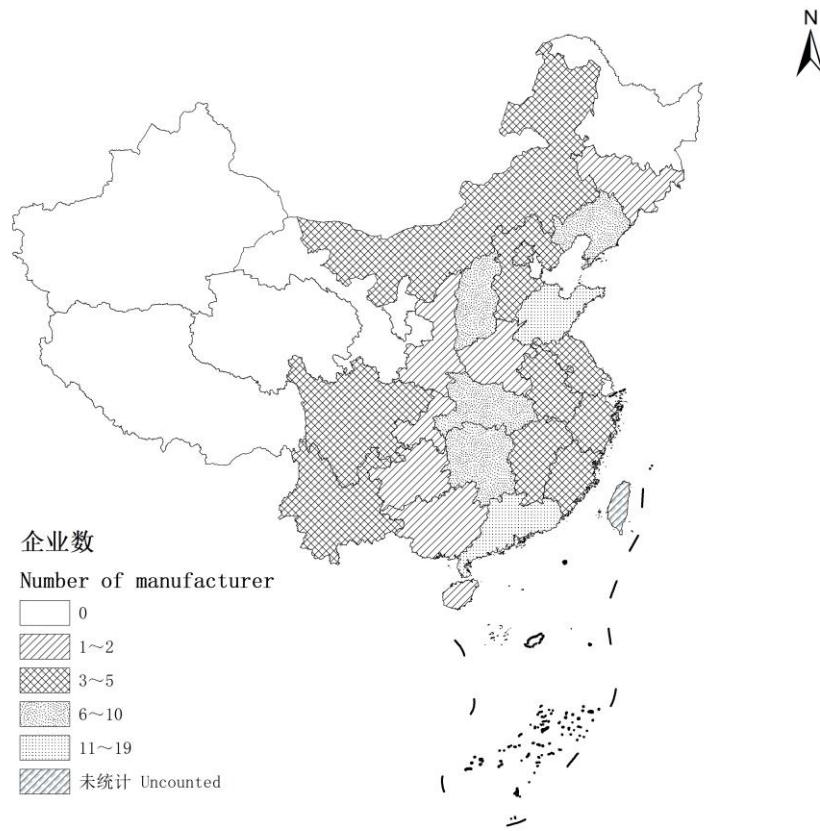


图 1 2015—2022 年间农业农村部登记的土壤调理剂产品的适用范围

Fig. 1 The application of soil amendments registered by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China between 2015 and 2022

从图 2 中可以发现，我国的酸性土壤调理剂生产厂家存在两个明显的省份集群，分别为山东省和广东省，两省的相关企业数量分别达到了 19 家（山东省）和 14 家（广东省）。山东省是我国的农业大省，尤其蔬菜产业格外突出，不论是种植面积、产量还是产值均位列全国第一。近年来，农业开发伴随大量的水肥投入，导致越来越多的土壤酸化问题被报道，影响了当地农业的可持续发展^[8]。此外山东省历来肥料产业发达，拥有行业龙头企业，交通运输业发达，因此兼具了土壤调理剂产业聚集的市场需求、产业背景和硬件设施等客观条件。广东省地处华南地区，受自然气候和成土母质的影响，其土壤酸化问题历来十分严重^[9]。加之珠三角地区是改革开放以来最早开启工业化且工业化成效显著的地区之一，早期工业发展期间因忽视环境影响而引发的酸雨问题更使华南地区的土壤酸化雪上加霜^[10]。因此，广东省及其所代表的华南地区对能抑制土壤酸化问题的土壤调理剂产品有更大的市场需求，这是广东省形成相关产业聚集背后的客观成因。此外，湖南、湖北、山西、辽宁四省也拥有较多相关企业。湖南省和湖北省地处亚热带季风气候区域，也长期存在较为严重的土壤酸化问题^[11]；山西省矿产资源丰富，矿产开采和冶炼过程中大量产生副产品，其中部分可作为调理剂生产的廉价原料；辽宁省与山东省隔渤海相望，种植业发展情况与山东省类似，近年来土壤酸化问题亦逐渐浮现并引起了重视^[12]。从图中还可以发现，除了未统计在内的港澳台地区外，地处我国东北的黑龙江省以及西部的西藏自治区、新疆维吾尔自治区、青海省、甘肃省和宁夏回族自治区均无酸性土壤调理剂生产厂家。其中部分省级行政区受自然条件所限，种植业不发达，如西藏自治区；另一部分地区受气候和成土母质影响，主要受其他土壤退化因素所制约^[13]。因此受市场分布、原料来源、农业发展条件等因素的影响，酸性土壤调理剂生产厂家在我国分布不均。



注：该图基于自然资源部标准地图服务下载的审图号为 GS(2019)1822 号的标准地图制作，底图无修改。

图 2 我国酸性土壤调理剂生产厂家的分布情况

Fig. 2 Distribution of the manufacturers of acidic soil amendments in China

2.2 调理剂产品的原料特征

表 2 是通过检索获得的酸性土壤调理剂产品登记信息中的原料信息。可以发现，市售酸性土壤调理剂产品使用的原料种类可分为五大类，分别是天然矿物、工农业副产品、有机物料、化工产品和来源不明的成分。其中“来源不明”是由于公示信息中其仅以化学本质（如 CaO）进行登记，而不能获知其具体来源于何种原料。天然矿石是其中出现次数最多的原料，合计 226 次，占全部原料登记次数的 68.9%。其中，又可细分为碳酸盐矿物（如白云石、石灰石、菱镁矿等）、硅酸盐矿物（钾长石、麦饭石、海泡石等）、硅质矿物（硅藻土、硅砂、石英石）、磷酸盐矿物（磷矿石）和其他（含钾矿石）。碳酸盐矿物是天然矿石中登记应用频次最高的一类，但其核心本质是钙镁的碳酸盐，主要涉及 4 种原料（白云石、石灰石、菱镁矿、方解石）。与之对应的是应用频次第二高的硅酸盐矿物，虽然其应用次数仅为碳酸盐矿物的六成左右，但硅酸盐矿物种类繁多，共有 10 种原料被登记。硅质矿物区别于硅酸盐矿物，即主要以 SiO₂ 为化学本质的矿物原料。在本研究所收集到的调理剂原料信息中，磷矿石和含钾岩石的登记应用频次均很低，且分别集中于单一（品牌）产品。

表 2 我国农业农村部登记的酸性土壤调理剂的原料信息

Table 2 Raw material information of acidic soil amendments registered by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China

原料种类 Main type of raw materials	按成分分类 Component class	常用原料 Specific raw materials	登记数量 Registered quantity	合计 Total
天然矿物	碳酸盐矿物	白云石、石灰石、菱镁矿、方解石	132	226

Natural minerals				
	硅酸盐矿物	钾长石、麦饭石、海泡石、沸石、膨润土、凹凸棒土、蒙脱石、蛇纹石、硅灰石、珍珠岩	78	
	硅质矿物	硅藻土、硅砂、石英石	11	
	磷酸盐矿物	磷矿石	4	
	其他	含钾岩石	1	
工农业副产品		碱渣、硝酸磷肥副产品、生物质发电灰、电石渣、钼尾矿、钢渣	10	
Byproducts of industry and agriculture	工业副产品			68
	农业副产品	牡蛎壳、贝壳(粉)、珊瑚	58	
	天然有机物料	海带、浒苔	2	
有机物料	工农业副产品			5
Organic materials		甜叶菊渣、统糠	2	
	来源不明	有机物料	1	
化工产品	/	生石灰、轻烧镁、熟石灰、钙镁磷肥	24	24
Chemical products				
来源不明	/	硅酸钙、硫酸钙、氢氧化铝、碳酸钙	5	5
Unidentified				

工农业副产品也是被市售酸性土壤调理剂所普遍采用的一类原料，以主要来源将其分为“工业副产品”和“农业副产品”两类。工业副产品来源多样，在 10 次的应用中记录了 6 种不同的原料。这是因为工业副产品的应用往往具有地域和行业的局限性。若一家调理剂生产厂商毗邻炼钢厂，则钢渣或可作为其生产调理剂产品的原料选择之一，这样既可以节约成本，还能协助处理废料。但对于另一家远离炼钢厂的调理剂生产厂家而言，使用钢渣则意味着需要更高的运输成本，此时面对更具经济性和价格优势的原材料，钢渣很可能便不在该厂家的原料选择之列了。从全部原料种类的二级分类来看，农业副产品出现的频次仅低于碳酸盐矿物和硅酸盐矿物，位居第三，主要原料来源为牡蛎壳、贝壳和珊瑚，其中又以牡蛎壳为最多。牡蛎作为近年来我国近海养殖的热门海产品，养殖规模迅速扩大，与牡蛎相关的深加工产品也蓬勃发展，大量牡蛎壳废物随之产生。牡蛎壳的质量占牡蛎鲜重的 60% 以上，具有获取易、价格低、环境友好等优点。牡蛎壳的碳酸钙含量大于 90%，除钙外还含有铜、铁、锌、钼等 20 余种微量元素以及氨基多糖和天冬氨酸。且牡蛎壳在高温煅烧后具纳米级微孔结构，这些微孔既可以增强对肥料的吸附能力，发挥一定的缓释作用，还能为土壤微生物提供附着场所^[14]。因此，将牡蛎壳收集起来制成酸性土壤调理剂，既可以帮助缓解困扰我国农业发展的土壤酸化问题，又可以实现废物回收利用，可谓一举两得。这也是表 1 中所列商品土壤调理剂包装袋所标识的最主要原料。

有机物料在登记产品中的出现频次并不高，按来源又分为天然有机物料、工农业副产品和来源不明三类。天然有机物料登记有海带和浒苔，其中浒苔是一种近海分布的石莼科植物，在我国沿海的近海区域广泛分布。近些年由于全球变暖和近海水体富营养化等原因，浒苔爆发导致的“绿潮”在我国沿海地区频发，大量浒苔会被潮水带至岸边并腐烂，绿潮的发生会同时威胁区域渔业、航运业和旅游业发展。因此，将浒苔开发作为调理剂产品的原料是一种兼具生态保护和可持续发展的选择^[15]。甜叶菊渣则是从甜叶菊的根、茎、叶中提取甜叶菊糖苷后的废料；统糠则是稻或麦加工过程中生成的副产品，过去主要被用作粗饲料，因其蛋白质含量较低，饲喂牲畜时仍需配合精饲料搭配使用。有机物料中的“来源不明”一类同样是由于产

品登记信息中仅说明使用了“有机物料”而未进行具体说明，故无法参与分类。另外还有一部分调理剂产品中添加了一些化工产品，如生石灰、熟石灰和轻烧镁等，此类原料均是一些相对初级且低成本的大宗化学品，满足土壤调理剂需在大规模使用下控制成本的需要。

表3是通过专利检索收集到的已授权专利中的酸性土壤调理剂原材料信息。相比于申请数量，酸性土壤调理剂产品的授权量占比极低，说明酸性土壤调理剂原料创新是较困难的。尽管如此，与表2中的原料对比可以发现，专利中工农业副产品的频次自登记信息中的20.7%上升至25.5%；有机物料的频次提升更为明显，从1.5%提升至34.5%。这说明在专利申请时，申请人更偏好于在产品配方中增加较多的工农业副产品和有机物料。一方面，是因为可使用的天然矿石原料种类有限且已有大量应用先例，继续采用无法体现其创新性；另一方面，工农业副产品和有机物料可选择的空间巨大，采纳更多的工农业副产品可以为专利产品增加更大的社会效益与环保价值，有利于专利的申请。除此之外，专利原料中更多样的化工产品也可以成为调理剂实际生产中的新参考与新选择。所以，从表1~表3可以看出，酸性土壤调理剂从专利申请到产品登记，再到商品包装袋上所标识的原料信息，其种类的多样性在降低，说明从科技创新到科研成果转化落地是一个不断经历市场检验的过程，一些低成本高效果的产品才会最终脱颖而出。目前，酸性土壤调理剂应用最广泛的原料就是碱度大且廉价易得的碳酸盐矿物和牡蛎壳。

表3 我国关于酸性土壤调理剂的已授权专利的原料信息

Table 3 Raw material information of China's granted patents for acidic soil amendments

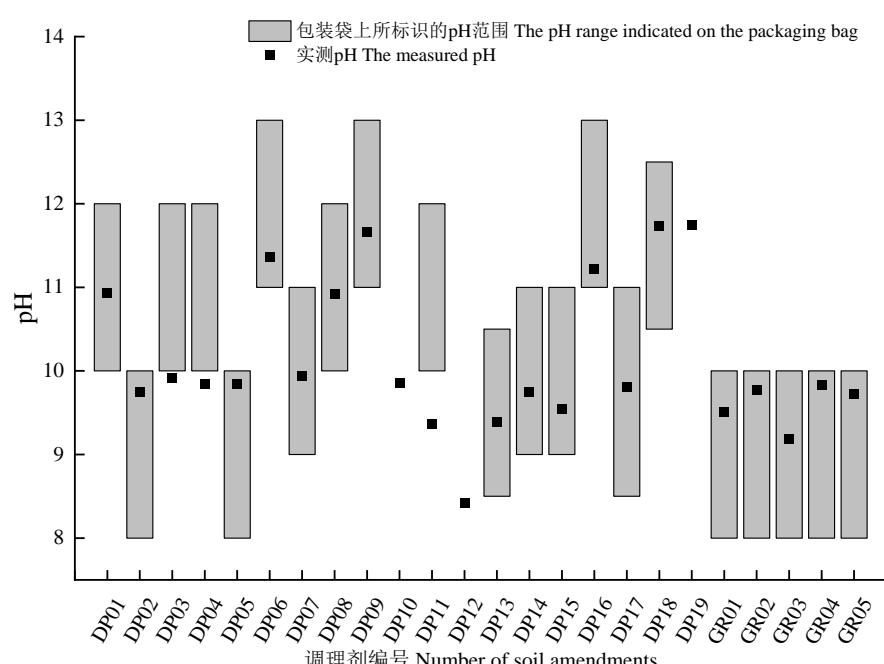
原料种类 Main type of raw materials	按成分分类 Component class	常用原料 Specific raw materials	应用数量 Registered quantity	合计 Total
天然矿物 Natural minerals	碳酸盐矿物	白云石、石灰石	4	
	硅酸盐矿物	膨润土、黏土、海泡石、沸石	5	12
	其它	褐煤、红泥、铁矿石	3	
工农业副产品 Byproducts of industry and agriculture	工业副产品	气化渣、锅炉灰、碱渣、水泥熟料	4	
	农业副产品	草木灰、牡蛎壳、鸡蛋壳、贝壳、生物炭	10	14
有机物料 Organic materials	天然有机物料	泥炭土、蚯蚓粪、红藻渣	4	
	工农业副产品	食物残渣固废物、废菌棒、农副产品发酵液、木醋液	5	19
	来源不明	腐植酸、氨基酸、聚天门冬氨酸、海藻酸、甲壳素	10	
化工产品 Chemical products	/	纳米氧化物、尿素、钾肥、硅钙肥、活性炭、硼肥、钙镁磷肥、氯胺化钙	8	8
	/	偏硅酸钠、二氧化硅	2	
来源不明 Unidentified	/			2

2.3 商品调理剂包装标识的关键属性

商品土壤调理剂的包装袋标识信息能够直观地为用户展示产品的基本性质特征。对于酸性土壤调理剂而言，pH、CaO 和 MgO 含量是最能体现调理剂碱度的核心指标。此外，调理剂粒度对施用效果和施用方式有较大影响。所以，本文中所选用的24种商品土壤调理剂包装袋上所标识的pH范围和产品实测pH，包装袋所标识的调理剂最低的和产品实测的CaO 和 MgO 含量，土壤调理剂的粒径分布分别如图3~图5所示。按照我国农业行业标准《土壤调理剂 通用要求 (NY/T 3034-2016)》，调理剂产品一旦在其产品包装上对其指标属性进行载明后，其产品测定值应符合其标明值或标明值范围要求。图3中，24种酸性土壤调理剂除有2种产品(DP10和DP19)未在其包装上标识产品pH范围，剩下22个产品中，有3款产

品（DP03、DP04 和 DP11）的实测 pH 略低于标识 pH 范围，其余产品的实测 pH 均在包装标识 pH 范围内。测得所有 24 种调理剂产品 pH 均为强碱性，除 DP12 的 pH 为 8.4 外，其余 23 种调理剂产品的 pH 均在 9.2 以上。调理剂产品较高的 pH 有利于快速降低土壤酸度，提高土壤 pH。24 种调理剂产品的包装袋均对 CaO 含量的最低值进行了标识，各产品的 CaO 最低含量介于 10%~40%。对产品的钙含量进行测定后发现，各调理剂产品的 CaO 实测值均远大于包装袋上的标识值，说明酸性土壤调理剂中钙元素是其主要组分。这也是源于这些调理剂产品的主要原料为石灰岩和牡蛎壳，其主要化学成分为 CaCO_3 。钙镁元素均是土壤中的主要盐基离子，也是植物必需的中量元素，土壤酸化可能造成钙镁元素的缺乏。为在调节土壤酸度的同时保持土壤盐基离子平衡，部分酸性土壤调理剂中会添加含镁物质。24 种调理剂产品中有 8 个产品标识了 MgO 最低含量，数值范围为 1%~8%。实际测得 24 种调理剂中有 15 种产品 MgO 含量大于 1%，调理剂产品中 MgO 的实测值与包装袋的标明值差异不大。整体而言，测得的调理剂产品碱度指标均符合甚至是远高于其标明值要求，说明商品土壤调理剂的包装标明值是可信的，酸性土壤调理剂具有高 pH 和高含钙物质的特征。但部分商品土壤调理剂包装袋的标识信息不够完整，未能充分反映产品的属性特征，不利于使用者选购。

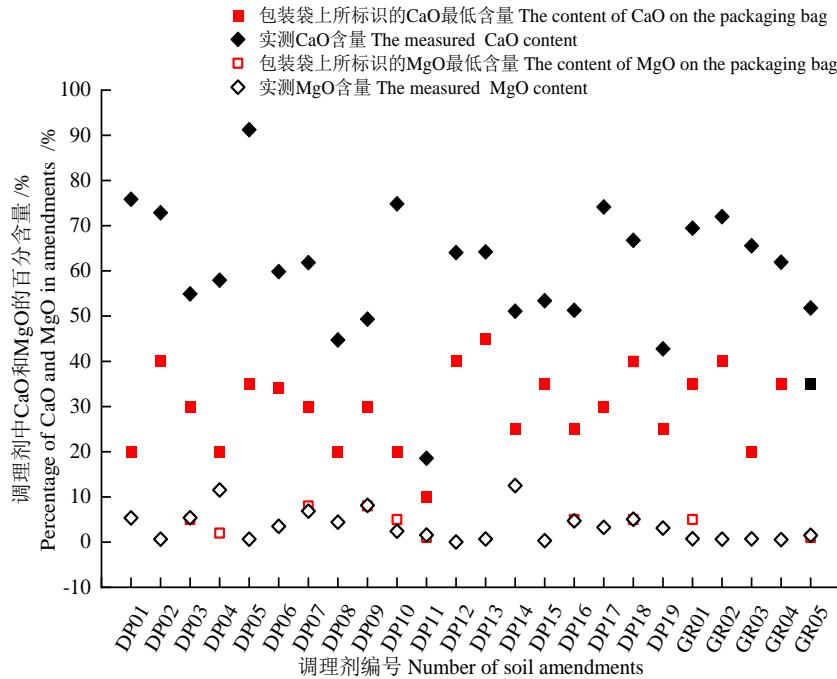
在种植业管理司网站检索到的酸性土壤调理剂产品中，粉剂占比达到了 65.3%，颗粒剂的占比则为 34.7%。说明此类产品中粉剂为主流，占绝大多数，其次为颗粒剂，尚不存在水剂型酸性土壤调理剂。采用筛分法测得所收集到的 24 种市售土壤调理剂的粒径分级如图 5 所示，分析发现 5 种颗粒剂的细度较为均一，绝大多数粒径落在 2~5 mm 区间。19 种粉剂产品间的细度差异则相对较大。除 DP5 外，其余所有粉剂产品均有超过半数的粒径不大于 0.25 mm，这印证了粉剂以粉末为主要产品形态，较小的粒度可提高调理剂与土壤接触的表面积，加快反应进程。值得注意的是，有一些产品，筛分得到的不同细度组分展现出明显不同的形态外观。结合相关资料可知，这是由于此类产品使用了不同组分粉碎后混合复配的工艺，不同组分粉碎的细度不一致。需要注意的是，肥料及调理剂产品的形态对其商业推广影响极大。目前酸性土壤调理剂主要以粉剂为主，部分调理剂形似“水泥”粉末，种植户施用时扬尘极大，防护不当易进入口鼻，危害人体健康，不利于产品推广。



注：DP10 和 DP19 两个产品的包装袋上未标识 pH 范围。Note: The packages of products P10 and P19 do not specify a pH range.

图 3 24 种商品土壤调理剂包装袋上所标识的 pH 范围和样品实测 pH

Fig. 3 The pH ranges indicated on the package of the 24 types of acidic soil amendments and the measured pH of these amendments



注：部分样品的包装袋上未标识最低 MgO 含量。Note: Among these, the packages of some amendments do not indicate the minimum content of MgO.

图 4 24 种商品土壤调理剂包装袋上所标识的最低 CaO 和 MgO 含量和样品实测的 CaO 和 MgO 含量

Fig. 4 The minimum contents of CaO and MgO indicated on the package of the 24 types of acidic soil amendments and the measured CaO and MgO contents of these amendments

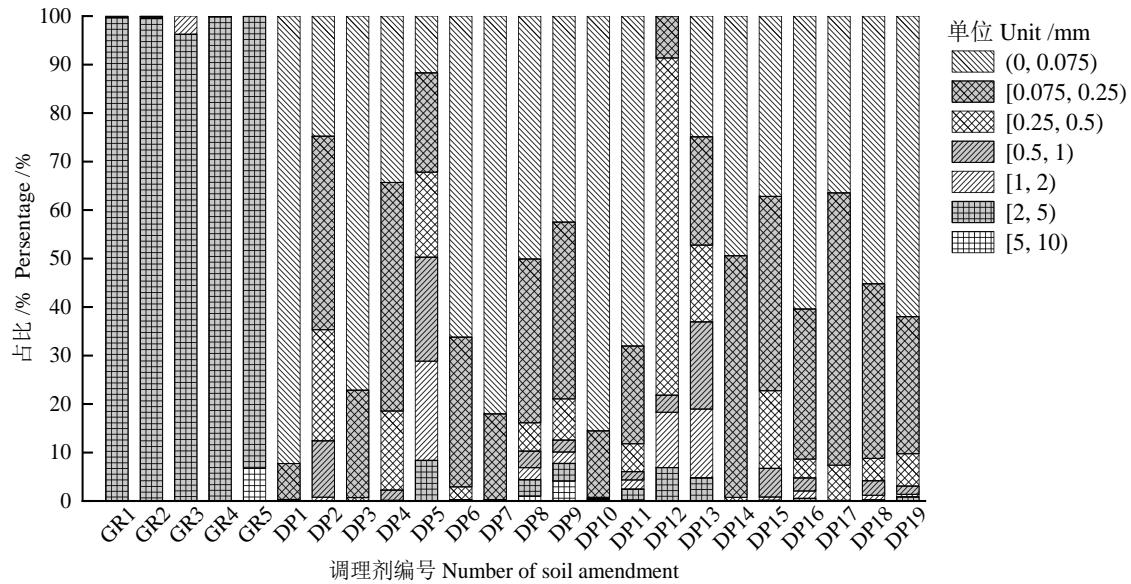


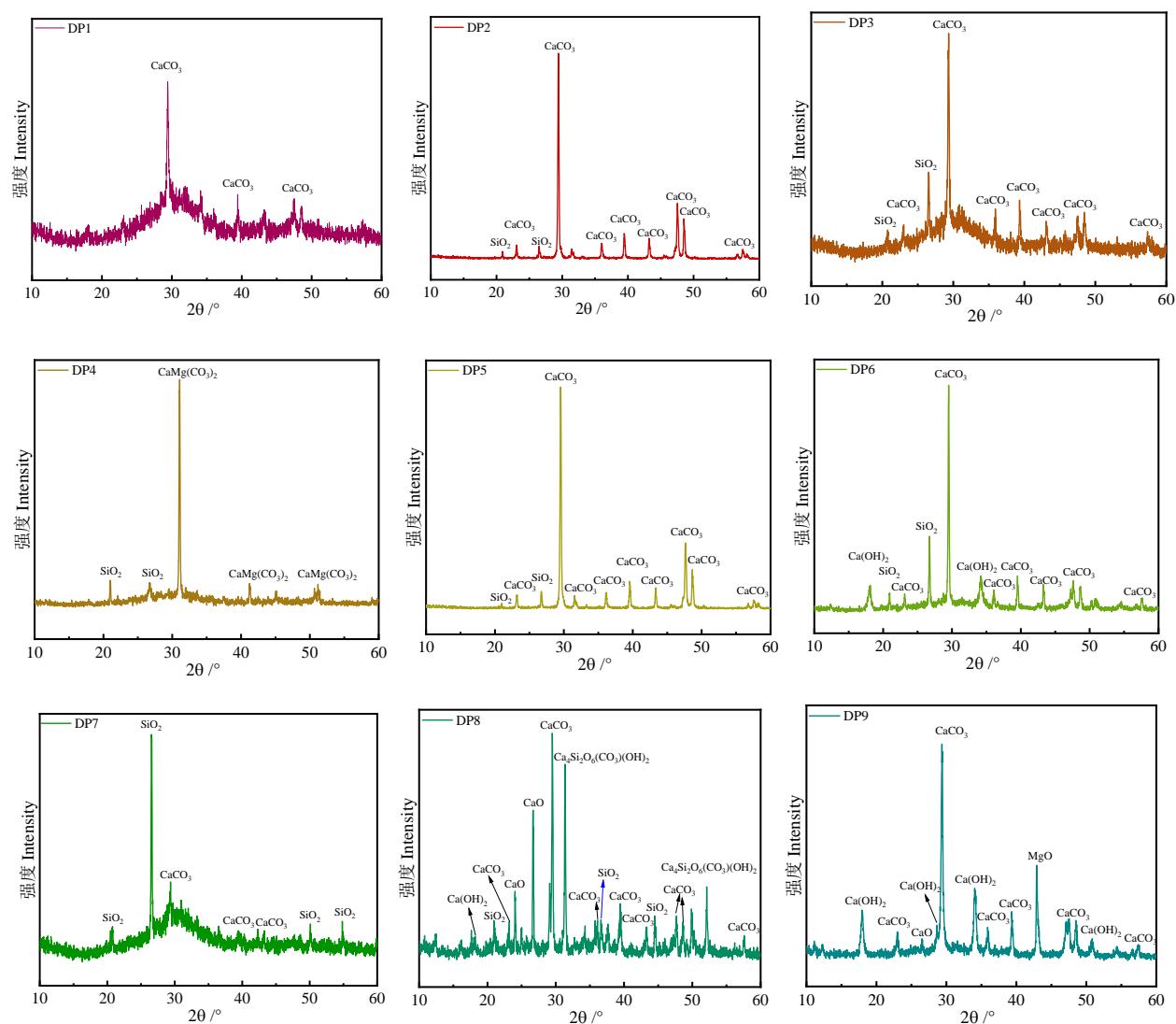
图 5 24 种酸性土壤调理剂产品颗粒粒径分布

Fig. 5 The particle size distribution of 24 acidic soil amendments

2.4 商品调理剂的化学本质特征

本研究中供试的 24 种商品土壤调理剂的 XRD 图谱如图 6 所示，其有 2 个样品仅显示出 1 种物相，13 个样品显示出 2 种物相，4 个样品显示出 3 种物相，5 个样品显示 4 种及以上的物相，说明目前市售商品调理剂的成分是比较单一的。供试的 24 种市售调理剂中均检索出方解石主要成分 CaCO_3 的 X 射线衍射峰，另外在 DP6、DP8、DP9、DP16、DP18、DP19 共 6 种产品检测出熟石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，在 DP8、DP9、DP14、DP17 存在生石灰 CaO ，在 DP4、DP14、DP16、DP17 和 DP19 中检索出自白云石的主要成分 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 。

在 DP9 中检测出 MgO 。这些钙镁的氧化物、氢氧化物及碳酸盐是可直接中和土壤酸度的碱性物质，也可及时补充酸性土壤所缺乏的钙镁盐基离子。此外这些物质廉价易得，可通过直接采集或进一步煅烧石灰岩、白云岩或牡蛎壳等富含碳酸盐的岩石矿物或农副产品加工制得。所以无论商品土壤调理剂的原材料和加工工艺如何，对土壤调酸起直接作用的是钙镁的（氢）氧化物及碳酸盐，其中以含钙物质的使用最为广泛。除含有调酸物质外，部分商品土壤调理剂还在包装袋上标识了含有少量氮、钾以及其他中微量元素。如在 DP14 中检索出 K_2SO_4 的衍射峰，说明该产品还富含钾素。这也说明了土壤的调酸和培肥是密不可分的，在酸性土壤调理剂中如果添加一些养分元素，使产品兼具调酸和培肥的效果，种植户施用后对作物生长的促进作用更好，更有利于酸性土壤调理剂的市场推广。此外，绝大部分调理剂中均含有硅元素，15 种市售调理剂产品中的含硅物质主要以 SiO_2 的形态存在，少量产品的含硅物质以硅酸盐形态存在。硅对部分作物而言是有益元素，对水稻等禾本科作物更是必需元素，但是以 SiO_2 形态存在的硅是无法被植物吸收利用的，土壤调理剂中添加的 SiO_2 对植物生长无促进作用。



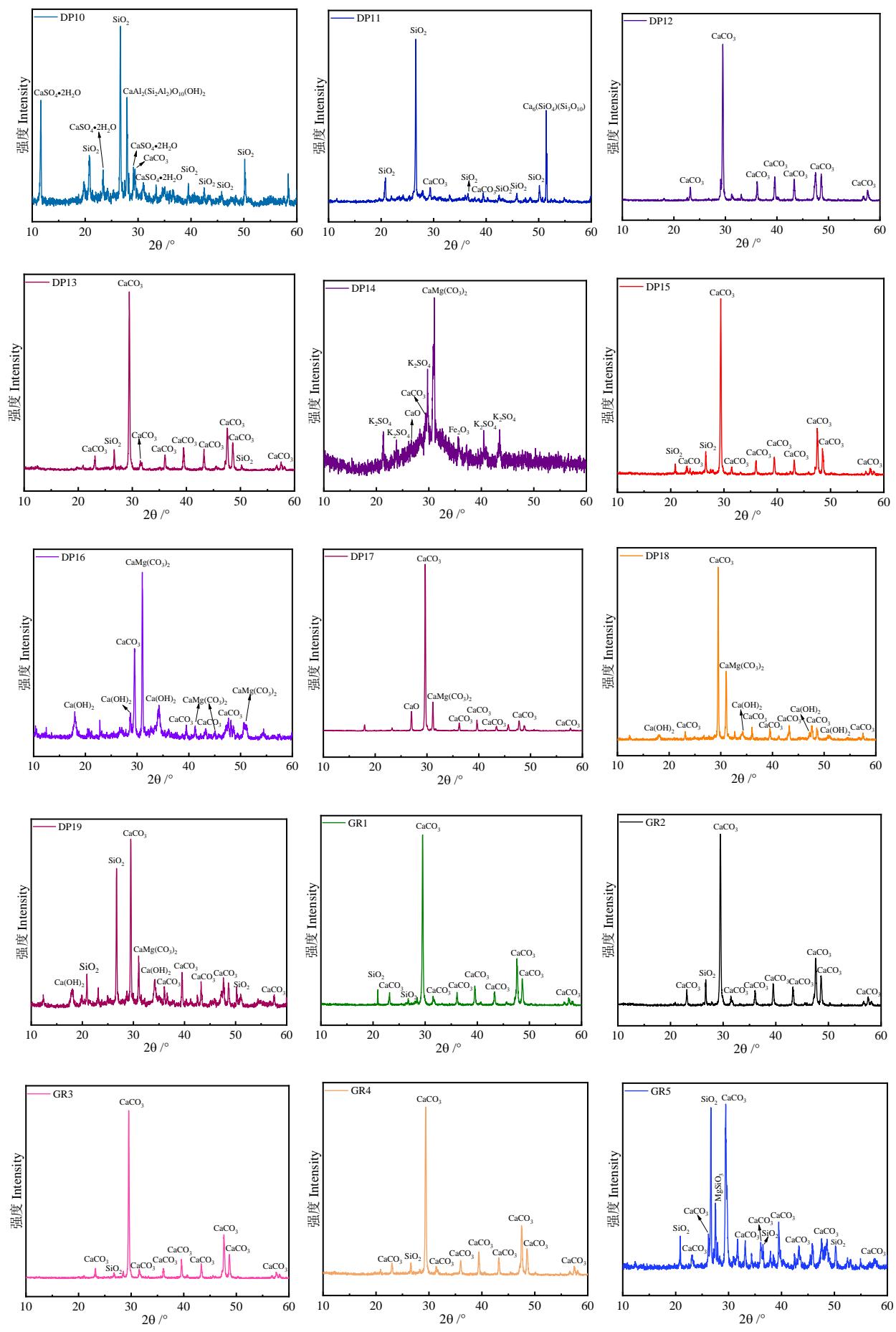


图 6 24 种酸性土壤调理剂产品的 XRD 图谱

Fig. 6 X-ray diffraction (XRD) spectra of the 24 types of acidic soil amendments

从红外光谱图中可见（图 7），DP6、DP8、DP9、DP16、DB18 和 DP19 在波数 3624 cm^{-1} 左右出现峰值，该峰代表羟基（OH）的伸缩振动^[16]。这一结果与该 6 种调理剂的矿物组成均含有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的结果相吻合，调理剂中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 中的-OH 使红外光谱图具有一定的吸收峰。在 1430 cm^{-1} 左右，除 DP7、DP10、DP11 和 DP14 四种调理剂的峰值较弱外，其余产品的吸收峰均特别明显。此外，除 P7、DP10、DP11 和 DP14 外，其余调理剂产品在 870 cm^{-1} 有尖锐的吸收峰。该两处波数的峰分别为碳酸盐（ CO_3^{2-} ）的伸缩振动吸收峰^[17]和弯曲振动吸收峰^[18]，进一步说明了土壤调理剂中均有碳酸盐的存在。DP7、DP10、DP11 和 DP14 四种调理剂的 XRD 图谱中 CaCO_3 的衍射峰较弱，这也恰好和这些产品较低的红外吸收峰对应，波数 1410 cm^{-1} 处的红外吸收峰再次验证了来自矿物或生物源的碳酸盐是酸性土壤调理剂的常用原料。此外，绝大多数调理剂产品在 1040 cm^{-1} 处存在不同强弱程度的吸收峰，该峰为 Si-O 键的伸缩震动，说明调理剂产品中含有 SiO_2 或硅酸盐矿物。结合市售商品土壤调理剂的原料特征和加工工艺，土壤调理剂的红外光谱结果进一步佐证了其主要成分包含氢氧化物、碳酸盐、硅酸盐和二氧化硅。

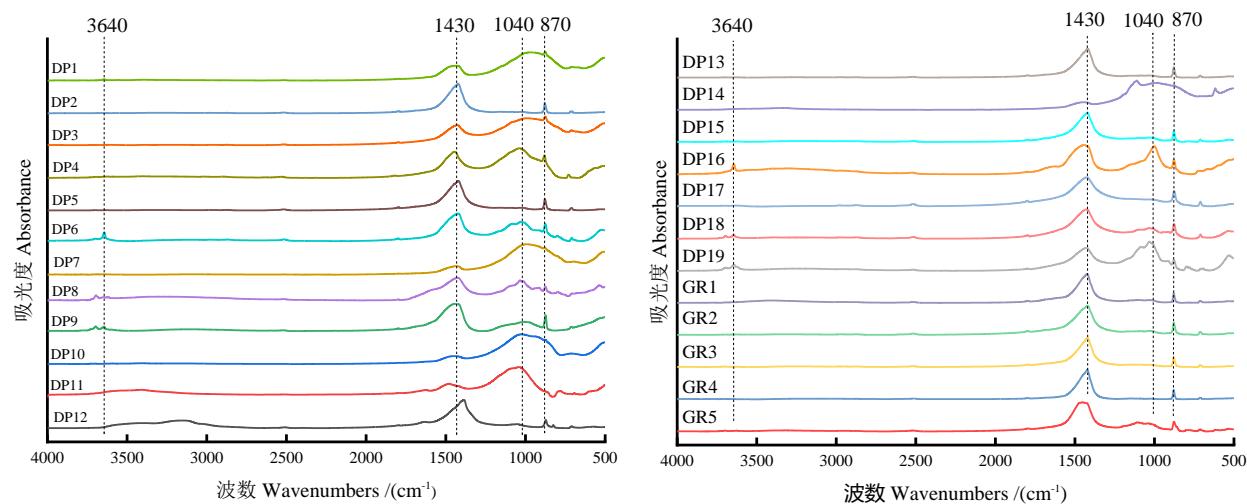


图 7 24 种酸性土壤调理剂产品的 FTIR 图谱

Fig. 7 The FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) spectra of the 24 types of acidic soil amendments

3 结 论

酸性土壤调理剂是目前我国市场上产品数量最多的土壤调理剂类型，占比达 78%。相关生产厂家在广东省和山东省最多，湖南、湖北、山西、辽宁四省次之。土壤调理剂生产企业在国内的分布受市场需求、原料产地、农业发展特征等因素所影响。我国酸性土壤调理剂的原料组成较为固定，发明专利的授权率较低。已授权发明专利中所使用的原材料以有机物料和工农业副产品为主，天然矿物和化工产品次之。而产品登记信息中的原材料又以碱度大、成本低的碳酸盐矿物和牡蛎壳为主。我国市售酸性土壤调理剂的包装袋标识信息能较为真实地反映产品特征，商品土壤调理剂具有较高 pH 和较高的 CaO 含量，大部分产品还含有少量的 MgO。商品土壤调理剂形态以粉剂为主，细度集中于小于 0.25 mm 的区间，粉剂产品更易于与土壤混匀，但因扬尘较大而使种植户接受程度较低。XRD 和 FTIR 分析结果揭示了我国市售酸性土壤调理剂的主要成分为 CaCO_3 。各产品因原材料和加工工艺不同，还含有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaO 、 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 、 MgO 中的一种或多种，这些均是能对土壤酸度产生快速调节的有效物质。此外，因矿质原料的添加，大多数酸性调理剂中还含有硅酸盐矿物或 SiO_2 等含硅物质。可以看出，酸性土壤调理剂成分较单一、原料简单、加工工艺并不复杂。尽管我国已有众多的酸性土壤调理剂产品在售，但面临的土壤酸化问题仍然存在。所以，除继续开展新型产品研发外，耕地土壤酸化监测与诊断技术、种植户改酸培肥土壤的意识、酸化土壤改良的技术与模式集成需同步加强。

参考文献 References

- [1] 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. [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.]
- [2] Tian D S, Niu S L. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition[J]. *Environmental Research Letters*, 2015, 10(2): 024019.
- [3] Chen X H, Yu W H, Cai Y Y, et al. How to identify and adopt cleaner strategies to improve the continuous acidification in orchard soils [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 330: 129826.
- [4] Fan B B, Peng Y T, Zhang R, et al. Trend of soil conditioner in China based on bibliometric analysis on patents[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(6):141-149. [范贝贝, 彭宇涛, 张冉, 等. 基于专利文献计量来看我国土壤调理剂发展趋势[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(6):141-149.]
- [5] Ren T Y, Wang P S, Yuan S H, et al. Bibliometric analysis of acid soil conditioners based on patents and products database[J]. *Soils*, 2023, 55(4): 860-870. [任韬宇, 王朋顺, 袁水含, 等. 基于专利和产品登记的酸性土壤调理剂创新计量分析[J]. 土壤, 2023, 55(4): 860-870.]
- [6] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [7] Chen J J, Guo X Y, Li Z Y, et al. Amelioration of acidic purple soil with calcareous purple mudstones[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2025, 62(3): 766-778. [陈晶晶, 郭心怡, 李忠意, 等. 钙质紫色泥岩对酸性紫色土的改良效果研究[J]. 土壤学报, 2025, 62(3): 766-778.]
- [8] Li T, Yu L, Wan G H, et al. Spatio-temporal variation of farmland soil pH and associated affecting factors in the past 30 years of Shandong Province, China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2021, 58(1):180-190. [李涛, 于蕾, 万广华, 等. 近30年山东省耕地土壤pH时空变化特征及影响因素[J]. 土壤学报, 2021, 58(1): 180-190.]
- [9] Zhang Q, Zhang Y C, Zheng C, et al. Temporal-spatial changes of soil pH value in the grain production functional areas of Guangdong Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2020, 51(4): 775-783. [张桥, 张育灿, 郑超, 等. 广东粮食生产功能区土壤pH值的时空变化特征[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 775-783.]
- [10]Chen X, Zhang J E, Xiang H M, et al. Study on the changing trend of acid rain in Guangdong Province from 2008 to 2018[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(6): 1198-1204. [陈璇, 章家恩, 向慧敏, 等. 2008—2018年广东省酸雨的变化趋势研究[J]. 生态环境学报, 2020, 29(6): 1198-1204.]
- [11]Zhou H Y, Xu M G, Cai Z J, et al. Quantitative analysis of driving-factors of soil acidification in Qiyang County, Hunan Province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(8): 1400-1412. [周海燕, 徐明岗, 蔡泽江, 等. 湖南祁阳县土壤酸化主要驱动因素贡献解析[J]. 中国农业科学, 2019, 52(8): 1400-1412.]
- [12]Liu L, Zhang Y L, Yu N, et al. Soil acidification characteristics and causes analysis in Changtu region in Liaoning Province [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2012, 43(2): 173-178. [刘丽, 张玉龙, 虞娜, 等. 基于GIS的辽宁北部地区土壤酸化特征及其原因分析——以昌图县为例[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(2): 173-178.]
- [13]Zhao Q G, Luo Y M, Teng Y. Strategic thinking on soil protection in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(6): 1140-1145. [赵其国, 骆永明, 滕应. 中国土壤保护宏观战略思考[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 1140-1145.]
- [14] Lu J S, Cong X Q, Li Y D, et al. Scalable recycling of oyster shells into high purity calcite powders by the mechanochemical and hydrothermal treatments[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172: 1978-1985.
- [15]Hua Y T, Yu J M, Ji B L, et al. Effects and mechanisms of biochars derived from co-pyrolyzing municipal sewage sludge and *Enteromorpha prolifera* on microbial necromass carbon in coastal wetland soil[J]. *Soils*, 2025, 57(1): 95-106. [花玉婷, 于纪民, 纪滨玲, 等. 城市污水污泥-浒苔共热解生物质炭对滨海湿地土壤微生物残体碳的影响及其机制. 土壤, 2025, 57(1): 95-106.]
- [16] Rasuli F, Owliaie H, Najafi-Ghiri M, et al. Effect of biochar on potassium fractions and plant-available P, Fe, Zn, Mn and Cu concentrations of calcareous soils[J]. *Arid Land Research and Management*, 2022, 36(1): 1-26.
- [17] Chen J J, Yu J F, Li Z Y, et al. Ameliorating effects of biochar, sheep manure and chicken manure on acidified purple soil[J]. *Agronomy*, 2023, 13(4): 1142.
- [18] Yuan J H, Xu R K, Zhang H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures[J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102(3): 3488-3497.

(责任编辑: 檀满枝)