

矿物质调理剂用量对酸性土壤养分状况和油菜生长的影响

周昊文, 王香琪, 齐永波, 张 晨, 曹 维, 章力干*

(农田生态保育与污染防控安徽省重点实验室, 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘 要: 铁尾矿和副产品云母、白云石经煅烧制备的矿物质调理剂呈碱性, 且富含植物生长所需的钾钙镁硅等有益元素, 具有改良酸性土壤的潜在作用。为探究矿物质调理剂在酸性土壤地区的应用效果, 通过一年两地田间小区试验, 研究了推荐施肥配施不同用量矿物质调理剂对土壤 pH 和碱解氮、有效磷、速效钾等有效养分含量及油菜生长和产量的影响。田间试验设有 5 个处理, 分别为空白对照 (T1)、当地推荐施肥 (T2)、当地推荐施肥配施 750 kg/hm² 调理剂 (T3)、当地推荐施肥配施 1500 kg/hm² 调理剂 (T4) 和当地推荐施肥配施 2250 kg/hm² 调理剂 (T5)。两地试验结果均表明: (1) 与推荐施肥相比, 配施矿物质调理剂油菜各生育期土壤 pH、有效磷和速效钾含量显著增加 ($P<0.05$), 且随着施用量的增加呈增加趋势; 而土壤碱解氮含量变化无显著差异。(2) 与推荐施肥相比, 配施矿物质调理剂能促进油菜生长, 有利于产量构成要素一级分枝数、单株角果数和千粒重的形成, 进而提高籽粒产量, 且当施用量为 1500 kg/hm² 时籽粒产量显著增加 ($P<0.05$)。(3) 综合考虑改善土壤和作物产量及成本, 当矿物质调理剂施用量为 1500 kg/hm² 时, 较 750 kg/hm² 施用量效果好, 较 2250 kg/hm² 施用量效果也较好且更经济, 可作为最佳推荐施用量。由此可见, 铁尾矿及副产品云母、白云石制备的矿物质调理剂在酸性土壤地区施用, 可以改善土壤酸化状况、补充土壤有效养分、实现作物增产。

关键词: 矿物质调理剂; 酸性土壤; 有效养分; 油菜; 产量

自然条件下的土壤酸化较为缓慢, 但近几十年来, 受高强度人为活动的影响, 我国农田土壤酸化加速发展, 在酸度和酸化面积上均呈扩大趋势^[1-3]。土壤酸化会导致钾、钙、镁等多种矿质营养元素流失以及铝毒和重金属毒害等多种胁迫, 进而影响农作物生产潜力和品质, 已成为一些地区农业生产的限制因子^[3-5]。因此, 采取有效措施减缓土壤酸化进程并对酸化土壤进行酸度改良和肥力提升, 实现酸性土壤可持续利用, 对于农业生产和生态环境保护均具有重要意义。

施用多功能调理剂是改良土壤酸化的一种有效措施^[6]。与传统施用石灰相比, 酸化土壤多功能调理剂的主要作用除了调节土壤酸度外, 还能在一定程度上改善土壤养分状况和土壤结构、增强作物抗病抗旱能力, 进而改善作物产量和品质^[5, 7-8]。目前, 国内外对酸化土壤调理剂的开发与应用进行了

广泛的研究, 应用到农业生产中的酸化土壤调理剂的种类和数量日益增加。不同调理剂因原料组成、理化性质的差异, 在不同类型土壤上的施用效果有很大的差别^[9-11]。选择合适的酸化土壤调理剂, 要兼顾土壤的酸性改良和肥力提升。将富含养分, 而有害物质含量非常有限的碱性工业废弃物或副产品, 加工成酸化土壤调理剂, 可以在中和土壤酸度的同时提高土壤养分含量^[5, 12-13]。冀建华等^[5]研究表明, 磷石膏、钾长石在高温下煅烧而制得的碱性物料, 含有磷、钾、钙、镁、硅等营养元素, 在酸性水稻土中施用培肥增产效应显著。Shi 等^[12-13]研究表明碱渣与骨渣配合施用, 不仅能够显著提高酸性土壤 pH 和磷、钾、钙、镁等养分的含量, 还可促进小麦对养分的吸收, 并提高产量。本研究采用的矿物质调理剂由铁尾矿和副产品云母、白云石经煅烧后制得, 呈碱性且富含植物生长所需的钾、钙、镁、硅等有益元素, 具有既能中和土壤酸性又可增加植物所需养分的双重作用^[14]。然而, 土壤调理剂的田间施用要考虑添加量如何优化的问题, 如果添加量过少, 土壤改良效果不明显, 反之添加量过大, 成本高, 造成浪费。适宜添加量的确定要综合考虑土壤、作物及调理剂的特性^[8]。安徽省地

收稿日期: 2020-03-14; 录用日期: 2020-06-02

基金项目: 安徽省重点研发计划项目 (1804g07020169; 1804a07020113); 安徽农业大学人才基金项目 (yj2018-30)。

作者简介: 周昊文 (1993-), 男, 安徽寿县人, 硕士研究生, 主要从事土壤培肥相关研究。E-mail: 1044844216@qq.com。

通讯作者: 章力干, E-mail: zhligan@ahau.edu.cn。

处长江流域油菜优势区域带,而安徽省沿江及皖南油菜适宜区广泛分布着酸性土壤,近年来,皖南部分地区土壤酸化日益加重,已成为制约油菜种植的土壤障碍因子之一^[15]。鉴于此,本研究以安徽省黄山市典型酸性土壤进行油菜田间试验,探索由铁尾矿和副产品云母、白云石制备的矿物质调理剂在酸性土壤油菜栽培上的施用效果及适宜用量,以期为其推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于安徽省黄山市,该地区酸性土壤广泛分布。试验于2017年9月到2018年5月分别依托黄山市黟县有农生态农业有限公司宏村基地(29°55′41.82″N, 117°54′30.04″E)和黄山市农业科学研究所休宁县基地(29°39′32.77″N, 118°14′19.36″E)进行。黟县试验小区长8 m,宽2.5 m,面积20 m²;休宁试验小区长9 m,宽3.6 m,面积32.4 m²。供试土壤均为酸性水稻土,土壤基本理化性质如表1所示。

表2 供试矿物质调理剂主要活性成分和重金属含量

pH	总氮 (g/kg)	活性成分含量(g/kg)					重金属含量(mg/kg)				
		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂	Hg	As	Cd	Pb	Cr
调理剂	10.80	—	21.7	163.3	129.0	180.4	—	0.57	0.04	11.32	107

注:“—”表示未检出。

1.3 试验设计

试验共设5个处理,分别为:空白对照(T1)、当地推荐施肥(T2)、当地推荐施肥配施750 kg/hm²调理剂(T3)、当地推荐施肥配施1500 kg/hm²调理剂(T4)和当地推荐施肥配施2250 kg/hm²调理剂(T5),每个处理设置3个重复,按照完全随机区组排列。

1.4 样品测定方法

采用随机取样法,分别在苗期、抽苔期、盛花期、成熟期采集0~20 cm耕作层土壤,取回的土壤样品,经风干、研磨、过筛后,进行土壤pH(水土比2.5:1)、土壤碱解氮(碱解扩散法)、土壤有效磷(NaHCO₃浸提-钼蓝比色法)、土壤速效钾(NH₄OAc浸提-火焰光度法)测定^[16]。

在油菜成熟期随机选取植株,统计株高,记录一级分枝数、单株角果数、每角粒数、千粒重,理

表1 土壤基本理化性质

试验地	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
黟县	4.42	27.17	1.27	100.8	38.76	59.63
休宁	4.94	32.77	1.20	124.4	43.21	128.0

1.2 试验材料

两地供试油菜品种均为中油杂19号。试验所采用的矿物质调理剂由安徽金日盛矿业有限责任公司提供,在1100℃条件下,将铁尾矿、云母和白云石按质量比1.0:1.5:2.5进行煅烧活化,获得的矿物质调理剂呈碱性,且富含农作物生长所必需的钾、钙、镁、硅等有益元素^[14]。根据《土壤调理剂 通用要求》(NY/T 3034—2016),供试调理剂pH按照NY/T 1973—2010标准测定,总氮含量按照NY/T 2542—2014标准测定,磷、钾含量按照NY/T 2273—2012标准测定,钙、镁、硅含量按照NY/T 2272—2012标准测定,汞、砷、镉、铅、铬含量按照NY/T 1978—2010标准测定。其主要活性成分和重金属含量见表2。

论产量计算公式为:理论产量=单位面积有效株×单株角果数×角果粒数×千粒重×10⁻⁶。

1.5 数据分析

试验数据用Excel 2010软件进行计算,采用SPSS 19.0软件进行数据统计分析,采用LSD多重比较进行不同处理间的差异显著性检验(P<0.05),Origin 8.0软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 矿物质调理剂对土壤pH的影响

不同用量的矿物质调理剂对土壤pH的影响如图1所示。黟县试验地中,施用矿物质调理剂可以显著提高油菜各生育期土壤pH(P<0.05),随矿物质调理剂用量的增加而显著提高(P<0.05),在整个油菜生育期内土壤pH增幅呈增大趋势,与T2处理相比,T3、T4和T5处理苗期土壤pH分别增

加 0.49、0.58 和 0.98 个单位, 成熟期土壤 pH 分别增加 0.56、0.79 和 1.14 个单位。休宁试验地中, 施用矿物质调理剂可以显著提高油菜各生育期土壤 pH ($P<0.05$), 随矿物质调理剂用量的增加呈增加趋势, 在整个油菜生育期内土壤 pH 增幅呈减小趋势, 与 T2 处理相比, T3、T4 和 T5 处理苗期土壤

pH 分别增加 0.35、0.67 和 0.75 个单位, 成熟期土壤 pH 分别增加 0.18、0.48 和 0.50 个单位。矿物质调理剂在同一地区两块试验地施用后对土壤 pH 均表现出显著提升作用, 且随矿物质调理剂用量的增加呈增加趋势, 而随着油菜生育时期的推移, 土壤 pH 增幅表现出一定的差异。

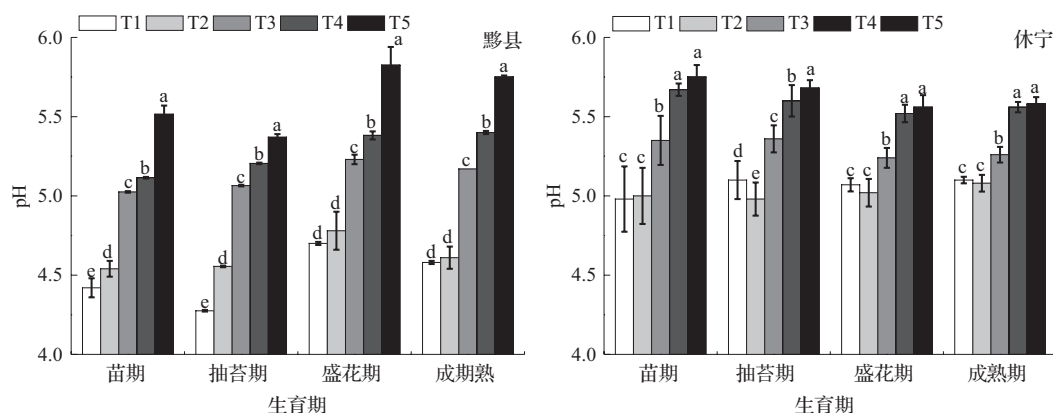


图 1 矿物质调理剂施用对土壤 pH 的影响

注: 图中不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平 ($n=5$)。下图表同。

2.2 矿物质调理剂对土壤速效养分含量的影响

不同用量的矿物质调理剂对土壤碱解氮含量的影响如图 2 所示。矿物质调理剂施用后土壤碱解氮含量无显著增加, 随矿物质调理剂用量的增加未表现出明显的变化规律。在整个油菜生育期内, 黟县试验地土壤中的碱解氮含量呈先增加后降

低趋势, 抽苔期施用矿物质调理剂处理土壤碱解氮含量较高, 较苗期相同处理增加 1.87% ~ 14.7%, 且显著高于 T2 处理 ($P<0.05$); 休宁试验地土壤中碱解氮含量呈降低趋势, 苗期施用矿物质调理剂处理土壤碱解氮含量较高, 但与 T2 处理无显著差异。

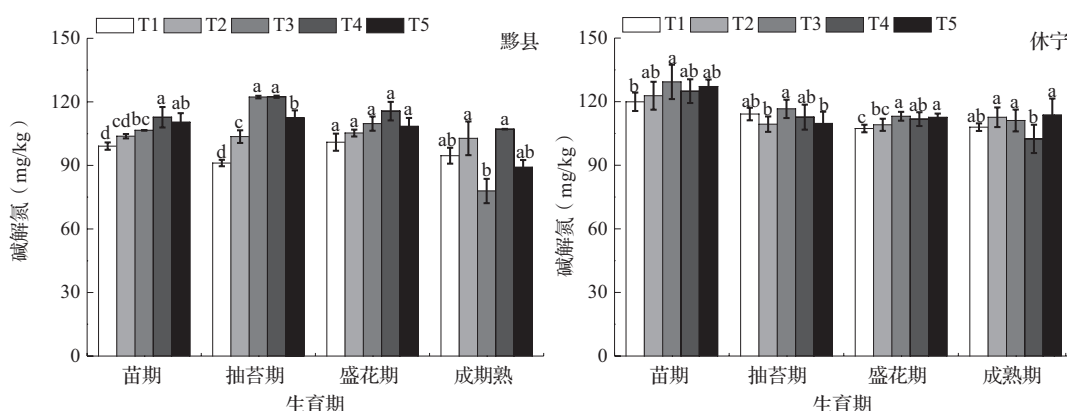


图 2 矿物质调理剂施用对土壤碱解氮含量的影响

不同用量的矿物质调理剂对土壤有效磷含量的影响如图 3 所示。两试验地中, 配施矿物质调理剂可以增加油菜各生育期土壤有效磷含量, 随矿物质调理剂用量的增加而明显增加, T4 和 T5 处理土壤有效磷含量较其他处理显著增加 ($P<0.05$)。在整个油菜生育期内, 黟县试验地土壤有效磷含量呈增加趋势, 各处

理成熟期土壤有效磷含量最高, 其中 T4 和 T5 处理土壤有效磷含量显著高于其他处理 ($P<0.05$), 分别较 T2 处理增加 7.29% 和 11.1%; 休宁试验地土壤中有效磷含量呈降低趋势, 各处理成熟期土壤有效磷含量最低, 其中 T4 和 T5 处理土壤有效磷含量显著高于推荐施肥处理 ($P<0.05$), 分别较 T2 处理高出 16.8% 和 51.3%。

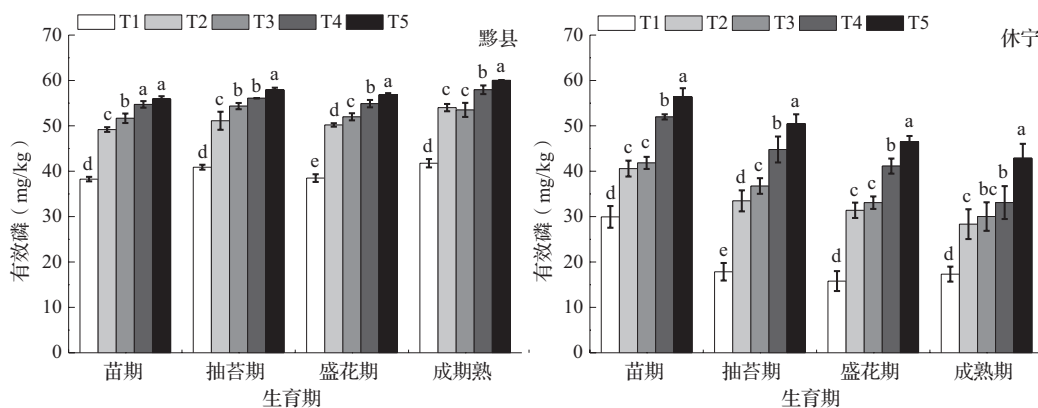


图3 矿物质调理剂施用对土壤有效磷含量的影响

不同用量的矿物质调理剂对土壤速效钾含量的影响如图4所示。两试验地中,施用矿物质调理剂可以显著增加油菜各生育期土壤速效钾含量 ($P<0.05$),除盛花期外,土壤速效钾含量随矿物质调理剂用量的增加而显著增加 ($P<0.05$)。在整个油菜生育期内,黟县试验地土壤中速效钾含量呈增加趋势,各处理成

熟期土壤速效钾含量差异显著 ($P<0.05$), T3、T4和T5处理土壤速效钾含量分别较T2处理高出28.5%、37.3%和79.1%;休宁试验地土壤中速效钾含量呈先降低后增加趋势,各处理成熟期土壤速效钾含量差异显著 ($P<0.05$), T3、T4和T5处理土壤速效钾含量分别较T2处理高出21.3%、56.7%和99.4%。

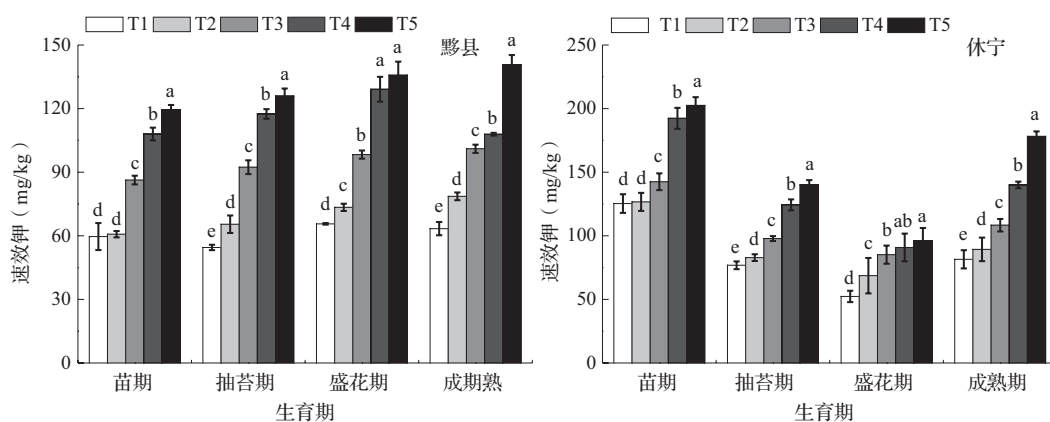


图4 矿物质调理剂施用对土壤速效钾含量的影响

2.3 矿物质调理剂对油菜生长及产量的影响

由表3可以看出,两试验地施用矿物质调理剂后,均表现出有效促进油菜的生长发育,有利于成熟期油菜的一级分枝数、单株角果数、每角粒数以及千粒重等产量构成因子的形成。与推荐施肥处理相比,施用矿物质调理剂处理油菜成熟期株高明显增加。黟县试验地中, T4和T5处理显著高于其他处理 ($P<0.05$);休宁试验地中,施用矿物质调理剂处理均显著高于T2和T1处理 ($P<0.05$)。此外,施用矿物质调理剂对油菜产量构成因子形成也有一定的促进作用,黟县试验地, T4和T5处理单株角果数和千粒重显著高于T2处理 ($P<0.05$),较T2处理分别增加14.6%、18.7%和6.59%、6.34%;

休宁试验地, T4和T5处理一级分枝数和千粒重显著高于T2处理 ($P<0.05$),较T2处理分别增加12.9%、9.68%和6.32%、4.21%。受产量构成因子尤其是单株角果数、一级分枝数和千粒重的影响,黟县试验地中, T3、T4和T5处理油菜产量与T2处理相比分别提高了13.3%、15.2%和24.0%;休宁试验地油菜发生根肿病,各处理根肿病发病率分别为17.7%、17.3%、12.0%、8.3%和4.8%,休宁试验地油菜产量低于黟县试验地,与T2处理相比, T3处理油菜产量减少了0.87%, T4和T5处理油菜产量分别提高了31.5%和18.6%。说明施用矿物质调理剂对油菜增产效果明显。

表 3 矿物质调理剂施用对油菜产量及其构成因子的影响

试验地	处理	株高 (cm)	一级分枝数 (个)	单株角果数 (个)	每角粒数 (粒)	千粒重 (g)	理论产量 (kg/hm ²)	增产率 (%)
黟县	T1	150.3b	6.6b	208.0c	20.7b	4.08b	2669	—
	T2	165.3b	6.8ab	243.4b	22.3ab	4.10b	3035	—
	T3	169.3b	7.4ab	259.8ab	21.5ab	4.15b	3438	13.3
	T4	173.7a	7.2ab	279.0a	23.6a	4.37a	3497	15.2
	T5	182.3a	7.6a	289.0a	24.0a	4.36a	3764	24.0
休宁	T1	153.7b	3.0b	80.5c	19.6b	4.73b	896	—
	T2	169.0b	6.2b	205.7b	22.1a	4.75b	2592	—
	T3	188.3a	7.2a	220.1b	20.4b	4.77b	2570	-0.87
	T4	186.3a	7.0a	293.0a	19.2b	5.05a	3410	31.5
	T5	195.3a	6.8a	228.1b	22.7a	4.95a	3075	18.6

3 讨论

本研究两试验地结果均表明,施用矿物质调理剂能够有效改良土壤的酸度,且土壤 pH 的增加随矿物质调理剂用量的增加呈增加趋势,这与其他矿物质碱性物料在酸性土壤上施用效果的研究结果一致^[5, 11, 17-18]。其主要原因,一方面可能是矿物质调理剂本身呈碱性, pH 值达到 10.80,施用后其水解出来的 OH⁻ 能与土壤溶液中的 H⁺ 或 Al³⁺ 相结合成为 H₂O 或 Al(OH)₃,从而降低土壤中的 H⁺ 和 Al³⁺ 含量^[10-11]; 另一方面可能与矿物质调理剂含有活性 K₂O、CaO、MgO、SiO₂ 等组分有关, K₂O、CaO、MgO、SiO₂ 含量分别为 2.17%、16.33%、12.90%、18.04%,施用后直接向土壤中引入 Si⁴⁺ 和 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 等盐基离子,增加土壤中交换性阳离子含量,从而降低了土壤酸度^[5, 17]。然而,随着油菜生育时期的推移,黟县试验地土壤 pH 增幅呈增大趋势,而休宁试验地土壤 pH 增幅呈减小趋势,这一差异可能与两试验地土壤背景 pH 和土壤酸碱缓冲能力及油菜生长过程中养分吸收、根系分泌物释放等因素有关。

从矿物质调理剂对土壤速效养分含量的影响来看,两试验地施用矿物质调理剂处理均表现出明显增加油菜各生育期土壤有效磷和速效钾含量的效果,而对土壤碱解氮含量影响不大。试验所用的矿物质调理剂未检出氮(表 2),不能为土壤直接补充氮素,但施用后会引引起土壤 pH、土壤微生物活性、作物生长及根系活性等发生变化,可能会导致土壤碱解氮含量有所波动。矿物质调理剂未检

出磷(表 2),而土壤有效磷含量显著增加,一方面可能是土壤 pH 提升后有利于促进土壤磷素有效化,如土壤中无机磷的溶解、吸附态磷的解吸以及磷与其他土壤组分的反应等,降低磷肥施入土壤后的固定速率,提高土壤的供磷水平^[19]; 另一方面可能是由于硅、磷具有相似的结构与化学性质,在土壤胶体表面会产生竞争吸附,调理剂施入后释放的 SiO₄⁴⁻ 会占据部分磷的吸附点位或区域,甚至将部分土壤吸附态磷取代下来,从而降低土壤对磷素的吸附固定,增加土壤有效磷含量,且随着 pH 和硅含量的升高,硅对磷的竞争吸附能力增强^[20-21]。土壤速效钾含量在低量调理剂(750 kg/hm²)施用下都达到显著水平,主要是由于施用的为供钾型调理剂,其活性 K₂O 含量达 2.17%; 此外,土壤酸碱度的变化、离子拮抗作用也可能成为影响土壤速效钾含量的重要因素^[12-13, 22]。

已有研究表明将富含养分,而有害物质含量非常有限的碱性工业废弃物或副产品,加工成矿物质酸化土壤调理剂,可以在中和土壤酸度的同时提高土壤养分含量,从而有效改善土壤物理、化学和生物性质,进而使其更适宜于作物生长^[5, 13, 22-24]。本研究两试验地施用矿物质调理剂均表现出有效促进油菜的生长发育,有利于油菜产量构成因子的形成,施用量为 1500 和 2250 kg/hm² 时表现出较好增产效果,这一结果与以往施用含有矿质营养元素碱性物料的研究相一致。范文静等^[24]将工业副产品制备的硅钙镁磷钾酸性土壤调理剂应用于油菜种

植,发现调理剂施用使油菜产量和品质显著提高。李敏等^[25]研究表明,磷石膏、钾长石经高温煅烧后制得的碱性肥料硅钙钾镁肥,含有水稻所需要的磷、钾、钙、镁、硅大中量营养元素,可以有效提高水稻产量。本研究所用的矿物质调理剂一方面可调理土壤酸碱度,改良酸性土壤,活化土壤中的磷;另一方面其含有的活性钾、钙、镁、硅可作为油菜生长发育的养分来源,在调节土壤酸度、改善土壤肥力方面表现出很好的互补性。此外,休宁试验点还表现出减少油菜根肿病发生的效果,可能是由于适量钙、镁、硅有利于提高植物叶绿素含量,减轻铝毒害,达到改善作物营养、提高作物抗性和生物适应性的目的^[19, 26]。

矿物质调理剂施用可以改善土壤 pH 和养分状况并促进油菜生长,但内含的有毒有害物质经长期效应和累积效应可能造成的潜在生态安全风险,仍是其实现农业安全利用不可忽视的问题。目前农业生产中,施用无害化处理的废弃物最关注其对农田土壤重金属积累的影响。研究表明,长期施用含重金属的物料对土壤重金属的积累随施用时间总体呈上升趋势^[27]。现阶段我国土壤调理剂尚无单独的重金属限量国家标准,参照《水溶肥料汞、砷、镉、铅、铬的限量及其含量测定》(NY 1110—2006),供试矿物质调理剂砷、镉、铅均满足标准限量要求,铬含量超出标准值(50 mg/kg)的1.14倍(表2)。两处试验地采集的土壤中重金属含量普遍较低且均未超标,油菜植株地上部和地下部均未检测出重金属,说明供试调理剂短期施用并未引起土壤重金属含量变化,而长期累积效应还有待进一步探究。为有效降低土壤重金属累积带来的环境风险,供试矿物质调理剂在进一步推广应用,除进一步优化原料配比外,还应根据不同土壤类型和作物种类来确定施用量、施用年限和施用方式等的控制标准,并监测长期大量施用是否会引起土壤中重金属的累积环境风险。

4 结论

与推荐施肥相比,施加矿物质调理剂可以显著增加土壤 pH、有效磷和速效钾含量,且随着施用量的增加呈增加趋势。

与推荐施肥相比,配施矿物质调理剂能促进油菜生长,有利于产量构成要素一级分枝数、单株角果数和千粒重的形成,进而提高籽粒产量。综合考

虑改善土壤和作物产量及成本,矿物质调理剂施用量为 1500 kg/hm² 时,较 750 kg/hm² 施用量效果好,较 2250 kg/hm² 施用量效果也较好且更经济,可作为最佳推荐施用量。

参考文献:

- [1] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. *Science*, 2010, 327 (5968): 1008-1010.
- [2] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展 [J]. *土壤*, 2015, 47 (2): 238-244.
- [3] 张玲玉, 赵学强, 沈仁芳. 土壤酸化及其生态效应 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38 (6): 1900-1908.
- [4] 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.
- [5] 冀建华, 李絮花, 刘秀梅, 等. 硅钙钾镁肥对南方稻田土壤酸性和盐基离子动态变化的影响 [J]. *应用生态学报*, 2019, 30 (2): 583-592.
- [6] 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.
- [7] 李岚涛, 鲁剑巍, 任涛, 等. 酸化土壤调理剂在油菜上的应用效果 [J]. *华中农业大学学报*, 2014, 33 (5): 57-60.
- [8] 栗方亮, 张青, 王利民, 等. 连续施用土壤调理剂对茄子品质及土壤性状的影响 [J]. *福建农业学报*, 2017, 32 (7): 768-773.
- [9] 解开治, 徐培智, 严超, 等. 不同土壤改良剂对南方酸性土壤的改良效果研究 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25 (20): 160-165.
- [10] 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.
- [11] 胡敏, 向永生, 鲁剑巍. 不同调理剂对酸性土壤降酸效果及大麦幼苗生长的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017 (3): 118-124.
- [12] Shi R Y, Li J Y, Xu R K, et al. Ameliorating effects of individual and combined application of biomass ash, bone meal and alkaline slag on acid soils [J]. *Soil and Tillage Research*, 2016, 162: 41-45.
- [13] Shi R Y, Li J Y, Ni N, et al. Effects of biomass ash, bone meal, and alkaline slag applied alone and combined on soil acidity and wheat growth [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, 17 (8): 2116-2126.
- [14] 孙希乐, 安卫东, 张韬, 等. 利用铁尾矿和副产品云母粉、白云石制备土壤调理剂试验研究 [J]. *金属矿山*, 2018 (6): 192-196.
- [15] 周可金. “十三五”安徽省油菜产业技术创新与展望 [J]. *安徽科技学院学报*, 2017, 31 (4): 18-21.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 陶志慧, 章力干, 崔健, 等. 生物质电厂灰等材料对红壤酸

- 度和养分的改良效应 [J]. 土壤通报, 2015, 46 (4): 899–904.
- [18] 谷健云, 崔健, 周静, 等. 生物质灰渣等对红壤性状的影响 [J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43 (2): 258–265.
- [19] 龚玲婷, 石林, 蔡如梦. 矿物质调理剂对土壤养分含量及植物营养吸收的影响 [J]. 土壤, 2019, 51 (5): 916–922.
- [20] 胡克伟, 颜丽, 关连珠. 土壤硅磷元素交互作用研究进展 [J]. 土壤通报, 2004 (2): 230–233.
- [21] Yan X D, Shi L, Gong L T. Mechanism analysis of soil amelioration and phosphorus recovery by using a mineral soil conditioner in southern China [J]. Journal of Soils and Sediments, 2018, 18 (5): 1884–1895.
- [22] 孙蓓蓓. 几种矿物源土壤调理剂对土壤养分、酶活性及微生物特性的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [23] 杜玉凤, 吕乐福, 何振全, 等. 矿物土壤改良剂对酸性红壤改良的影响 [J]. 水土保持学报, 2016, 30 (3): 351–354.
- [24] 范文静, 杨力, 林海涛, 等. 土壤调理剂对油菜产量、品质及酸性土壤改良的影响 [J]. 山东农业科学, 2017, 49 (9): 114–117.
- [25] 李敏, 叶舒娅, 刘枫, 等. 硅钙镁磷钾肥不同用量对超级稻产量及磷钾吸收利用的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (30): 122–126.
- [26] 蒙园园, 石林. 矿物质调理剂中铝的稳定性及其对酸性土壤的改良作用 [J]. 土壤, 2017, 49 (2): 345–349.
- [27] 曾希柏, 苏世鸣, 马世铭, 等. 我国农田生态系统重金属的循环与调控 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (9): 2418–2426.

Effects of amounts of mineral conditioner on the nutrient status in acid soil and the yield of oilseed rape

ZHOU Hao-wen, WANG Xiang-qi, QI Yong-bo, ZHANG Chen, CAO Wei, ZHANG Li-gan* (Anhui Province Key Lab of Farmland Ecological Conservation and Pollution Prevention, School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui 230036)

Abstract: A potential acidic soil conditioner, which produced by calcination of iron mine tailings and by-product mica and dolomite, was alkaline and contains a considerable amount of beneficial elements required by plant growth such as potassium, calcium, magnesium and silicon. To investigate the application effects of the mineral conditioner in acidic soil area, an one-year field plot experiment was conducted in two locations. The soil pH, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, available potassium and the growth and yield of oilseed rape were analyzed after application of different amounts of the mineral conditioner. Five treatments were evaluated: no fertilization and no conditioner (T1), recommended fertilization (T2), and recommended fertilization with application of 750, 1500 and 2250 kg/hm² conditioner respectively for T3, T4 and T5. Both experiments showed that: (1) in the treatments of the mineral conditioner application, the soil pH and the concentrations of available phosphorus and potassium in soil at different growth stages of oilseed rape were significantly increased compared with the treatment of recommended fertilization ($P<0.05$). And the differences had a tendency of increase with the increased amount of the mineral conditioner. While the concentrations of alkali-hydrolyzable nitrogen in soil had no obvious changes after the application of the mineral conditioner. (2) The mineral conditioner application promoted the growth and increased the yield of oilseed rape compared with the treatment of recommended fertilization, especially the yield components such as the number of first-order branches, number of siliques per plant and thousand grain weight. And the yield of oilseed rape increased significantly when the dosage of the mineral conditioner was 1500 kg/hm² ($P<0.05$). (3) Considering the benefits of the mineral conditioner application on soil nutrition, crop yields and its cost, the application dosage of 1500 kg/hm² showed more effective and more economical than the other two application dosages of 750 and 2250 kg/hm², respectively. It can be seen that the calcination product of the iron mine tailings and by-product mica and dolomite, can be utilized as an efficient conditioner to improve soil acidification, supplement soil available nutrients and increase crop yield in acidic soil area.

Key words: mineral conditioner; acidic soil; available nutrients; oilseed rape; yield