

凹凸棒复合土壤调理剂对苦荞产量及重金属吸收量的影响

陈馨^{1,2}, 蔺海明^{1,2}, 刘恬³, 汤超⁴, 王玉鹏^{5,6}, 杜松⁷, 魏公河⁶
 (1. 甘肃西部凹凸棒石应用研究院, 甘肃 白银 730900; 2. 甘肃省凹凸棒石工程技术研究中心, 甘肃 白银 730900; 3. 北京化工大学化工资源有效利用国家重点实验室, 北京市 100029; 4. 甘肃省生态环境科学设计研究院, 甘肃 兰州 730000, 5. 甘肃萃华生态农业科技有限责任公司, 甘肃 白银 730900; 6. 甘肃省凹凸棒石矿产资源综合利用工程研究中心, 甘肃 白银 730900; 7. 山东万新威纳材料科技有限公司, 山东 临沂 276000)

摘要: 研究了凹凸棒石、土壤修复调理剂 LC-L01 对苦荞产量及根、茎和籽粒中重金属吸收量的影响。结果表明, 施凹凸棒石粉(3 000 kg/hm²)+土壤修复调理剂 LC-L01(1 500 kg/hm²) 苦荞产量较不施添加剂提高 36.65%, 苦荞籽粒中 Zn、Cd、Pb 的吸收量分别较不施添加剂降低 20.78%、57.89%、48.66%, 具有修复土壤重金属污染的积极效应。

关键词: 凹凸棒石; 土壤调理剂; 苦荞; 产量; 重金属

中图分类号: S152.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)07-0028-04

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2020.07.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2020.07.008)

Effect of Attapulgite Compound Soil Conditioner on Tartary Buckwheat Yield and Heavy Metal Absorption

CHEN Xin^{1,2}, LIN Haiming^{1,2}, LIU Tian³, TANG Chao⁴, WANG Yupeng^{5,6}, DU Song⁷, WEI Gonghe⁶
 (1. Gansu Western Attapulgite Application Research Institute, Baiyin Gansu 730900, China; 2. Gansu Attapulgite Engineering Technology Research Center, Baiyin Gansu 730900, China; 3. State Key Laboratory for Effective Utilization of Chemical Resources, Beijing University of Chemical Technology, Chaoyang District, Beijing 100029, China; 4. Gansu Institute of Ecological and Environmental Science, Lanzhou Gansu 730000, China; 5. Gansu Cuihua Ecological Agriculture Technology Co., LTD., Baiyin Gansu 730900, China; 6. Gansu Attapulgite Mineral Resources Comprehensive Utilization Engineering Research Center, Baiyin Gansu 730900, China; 7. Shandong Wanxin Weina Material Science and Technology Co. Ltd., Linyi Shandong 276000, China)

Abstract: The effects of attapulgite and soil remediation regulator LC-L01 on the yield of Tartary buckwheat and heavy metal uptake in roots, stems and grains of tested crops were studied. The results showed that the yield of tartary buckwheat increased by 36.65% when applied attapulgite powder (3 000 kg/hm²)+ soil remediation regulator LC-L01(1 500 kg/hm²), and the absorption of Zn, Cd and Pb in tartary buckwheat seeds decreased by 20.78%, 57.89% and 48.66%, respectively, compared with that without additives, which had a positive effects on remediation of soil heavy metal pollution.

Key words: Attapulgite; Soil conditioner; Tartary buckwheat; Yield; Heavy metals

收稿日期: 2020-04-08

基金项目: 2019 年中央土壤污染防治专项资金投资计划项目“农用地土壤污染治理与修复试点项目”。

作者简介: 陈馨(1975—), 女, 甘肃皋兰人, 研究员, 主要从事凹凸棒石产业的研究和管理工作。
 Email: 1042293255@qq.com。

通信作者: 蔺海明(1953—), 男, 甘肃甘谷人, 教授, 主要从事农业生态、旱地农业及中药材栽培领域的研究与教学工作。Email: linhm888666@126.com。

20 世纪 70 年代至 21 世纪初, 白银市东大沟重金属污染废水的排放严重影响了两岸农民的正常生产和生活, 污水灌溉导致部分耕地成为重金属污染的重灾区。重金属元素不能进一步降解, 并且可以通过植物、微生物等生物体吸收进入食物链, 长期积聚将危及人体健康^[1], 寻求合适的、有效的、环保的土壤重金属污染修复技术已刻不容缓。凹凸棒石(Attapulgite)是一种富含镁铝的黏土矿物, 本身具有良好的吸附性和离子交换性^[2-3]。凹凸棒石晶体直径一般为几十纳米, 长度短数百纳米, 长约几微米。理论化学式为 $Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2(OH_2)_4 \cdot 4H_2O$, 富含金属阳离子(如 Si、Al、Mg 等), 有较大的离子交换容量, 可以与土壤中的重金属离子发生交换; 且单晶体内部为蜂窝状内孔道, 单晶纤维以平行排列的形式存在, 并且单晶纤维之间存在很多空隙, 可以有效吸附重金属离子^[4]。使用凹凸棒石复合土壤修复调理剂可以有效修复重金属污染农田土壤, 调理土壤, 增加土壤生物量, 有助于作物增产。我们以白银区四龙镇双合村重金属污染农田种植的苦荞麦为指示作物, 采用凹凸棒石和土壤修复调理剂 LC-L01 为试验材料, 对指示作物苦荞的产量及根、茎和籽粒中重金属吸收量进行了研究。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

土壤修复调理剂 LC-L01, 由江苏隆昌化工有限公司/北京化工大学提供; 改性凹凸棒石粉(PAL), 由甘肃萃华生态农业科技有限责任公司提供。指示作物为苦荞麦。

1.2 试验地概况

试验地位于白银区四龙镇双合村, 地势平坦, 灌溉渠系配套, 西侧为东大沟。东大沟地区作为白银市的主要工业区之一, 流域内分布着以资源开发、加工为主的有色金属、化工行业企业, 流域周边企业排放的废水和废渣中含有大量重金属。重金属具有高

度迁移性, 长期堆置不仅造成大量有价金属流失, 而且对土壤、地下水等周边环境构成潜在污染威胁^[5]。因此选择东大沟的农田作为试验地具有很强的代表性。

1.3 试验方法

试验采用单因子随机排列, 共设置 4 个处理。处理 1 为施土壤修复调理剂 LC-L01 3 000 kg/hm², 处理 2 为施土壤修复调理剂 LC-L01 3 000 kg/hm² + 凹凸棒石 1 500 kg/hm², 处理 3 为施凹凸棒石 3 000 kg/hm², 处理 4 (CK) 为不施土壤调理剂。3 次重复。小区面积为 17.5 m²(3.5 m × 5.0 m), 小区间设 0.5 m 的隔离带。试验于 2019 年 7 月 24 日条播, 行距 20 cm, 播种量 128.6 kg/hm², 播种深度 5 cm, 种植前底肥为史丹利复合肥(N-P₂O₅-K₂O 为 18-18-18)750 kg/hm²。其他田间管理同当地大田。10 月 12 日收获, 在苦荞收获前, 挑选完整的苦荞植株分根、茎、籽粒进行重金属含量检测, 每个小区取 1 m² 苦荞植株测产。分别于 2019 年 8 月 20 日、9 月 17 日、10 月 12 日在每个小区中间位置取土, 混合取得土样后采用四分法减量并标记。重金属吸收量由北京化工大学测定。

2 结果与分析

2.1 产量

通过表 1 可以看出, 增施土壤调理剂的各项处理均能提高苦荞产量。其中以处理 2 产量最高, 为 1 491.4 kg/hm², 较处理 4(CK)增产 400.0 kg/hm², 增产率 36.65%; 其次是处理 3, 为 1 211.4 kg/hm², 较处理 4 (CK)增产 120.0 kg/hm², 增产率 11.00%; 处理 1 为 1 142.9 kg/hm², 较处理 4 (CK)增产 4.72%。对苦荞产量进行方差分析表明, 处理 2 与其余各处理差异极显著; 处理 3 与处理 1 差异不显著, 与处理 4(CK)差异显著; 处理 1 与处理 4(CK)差异不显著。进一步分析认为, 处理 2 能显著提高苦荞的产量, 其主要原因是凹凸棒石本身含有植物所需的营养物质, 发挥了调节土壤养分供给能力; 处理 1、处

理 3 均可增加苦荞产量, 但处理 3 增产的幅度较处理 1 高 6.28 百分点, 充分印证了凹凸棒石的增产作用。施用土壤修复调理剂 LC-L01 能增加产量, 原因可能是对土壤中重金属起到钝化作用, 降低了苦荞对重金属的吸收量, 继而达到增产的效果。

表 1 不同处理苦荞的产量

处理	小区平均产量 /(kg/17.5 m ²)	折合产量 /(kg/hm ²)	较CK增产 /(kg/hm ²)	增产率 /%
1	2.00	1 142.9 bcB	51.5	4.72
2	2.61	1 491.4 aA	400.0	36.65
3	2.12	1 211.4 bB	120.0	11.00
4(CK)	1.91	1 091.4 cB		

2.2 苦荞茎重金属吸收量

从表 2 可以看出, 苦荞茎中的 Cu 含量以处理 1 最少, 为 6.09 mg/kg, 较 CK 减少 23.20%; 其次是处理 3, 为 6.97 mg/kg, 较 CK 减少 12.10%; Cu 含量处理 1 低于处理 3, 说明处理 1 对土壤中 Cu 离子有较好的钝化效应。Zn 含量处理 1、处理 3、处理 2 分别较处理 4(CK)降低 28.40%、13.26%、4.13%。Cd 含量处理 1、处理 2、处理 3 较处理 4(CK)分别降低 48.27%、36.22%和 33.15%, 均表现出较理想的效果, 可望成为治理土壤 Cd 污染的有效材料。Pb 含量变化趋势与 Cu 相似, 处理 1、处理 3 较处理 4(CK)分别降低 23.36%、6.15%, 处理 2 的 Pb 含量不降反升。由此可得, 处理 1 可显著降低苦荞茎

中各种重金属离子的吸收量, 各处理对 Cd 离子吸收量的影响均超过 30%。

2.3 苦荞根重金属含量

从表 3 可以看出, 处理 1 苦荞根中的 Cu、Pb 含量分别较处理 4(CK)增加 5.13%、11.35%, 而 Zn、Cd 含量分别较 T4(CK)减少 8.88%、5.36%。处理 3 苦荞根中的 Cu、Zn、Cd、Pb 含量均较处理 4(CK)减少, 分别减少 21.91%、5.42%、10.61%、1.51%, 其中 Cu 最敏感, Cd 次之。处理 2 促进了苦荞根对各种重金属的吸收, 但根系是栽培作物的非食用部分, 积累在根系中的重金属在收获时会被带出土壤, 反而有利于修复污染土壤。

2.4 苦荞籽粒中重的金属含量

从表 4 可以看出, 处理 1、处理 2 与处理 4(CK)相比, 苦荞籽粒中 Cu 的含量分别降低 12.77%、24.02%, Zn 含量分别降低 24.50%、14.33%, Cd 含量分别降低 45.56%、26.39%, Pb 含量分别增加 15.96%、16.22%。处理 2 与处理 4(CK)比较, 苦荞籽粒中的 Zn、Cd、Pb 含量分别降低 20.78%、57.89%、48.66%, 而 Cu 增加了 98.89%, 各处理对 Cd 均有较为理想的降低效果。从植物学的角度进一步分析, 土壤被重金属污染后, 离子态的重金属首先会被根系吸收, 然后传导给茎叶, 最后传导到籽粒, 积聚在籽粒中重金属量应比茎叶和根中的少, 本试验的结果印证了这一观点。

表 2 不同处理苦荞茎中重金属的含量

处理	重金属含量/(mg/kg)				较CK±/%			
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
1	6.09	65.181	3.118	5.48	-23.20	-28.40	-48.27	-23.36
2	8.16	87.279	3.844	7.97	2.90	-4.13	-36.22	11.47
3	6.97	78.975	4.029	6.71	-12.10	-13.26	-33.15	-6.15
4(CK)	7.93	91.045	6.027	7.15				

表 3 苦荞根中重金属的含量

处理	重金属含量/(mg/kg)				较 CK±/%			
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
1	65.575	278.56	8.919	102.126	5.13	-8.88	-5.36	11.35
2	97.651	602.09	14.437	168.275	56.56	96.95	53.19	83.48
3	48.710	289.13	8.424	90.333	-21.91	-5.42	-10.61	-1.51
4 (CK)	62.374	305.71	9.424	91.715				

表 4 苦荞籽粒中重金属的含量

处理	重金属含量/(mg/kg)				较 CK±/%			
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
1	7.100	38.449	0.852	3.625	-12.77	-24.50	-45.56	15.96
2	16.188	40.343	0.659	1.605	98.89	-20.78	-57.89	-48.66
3	6.184	43.628	1.152	3.633	-24.02	-14.33	-26.39	16.22
4(CK)	8.139	50.927	1.565	3.126				

3 小结与讨论

试验表明,无论土壤修复调理剂 LC-L01 单施、凹凸棒石单施,还是土壤修复调理剂 LC-L01 和凹凸棒石复合施用均有提高苦荞产量的效果。其中凹凸棒石粉(3 000 kg/hm²) + 土壤修复调理剂 LC-L01(1 500 kg/hm²)复合施用时长苦荞产量较不施添加剂提高 36.65%;施土壤修复调理剂 LC-L01(3 000 kg/hm²)、凹凸棒石(3 000 kg/hm²)分别较不施添加剂增产 11.00%、4.72%。凹凸棒石 + 土壤修复调理剂 LC-L01 复合施用时可有效减少苦荞籽粒中重金属离子 Zn、Cd、Pb 的吸收量,分别较不施添加剂降低 20.78%、57.89%、48.66%;单施土壤修复调理剂 LC-L01 可显著降低苦荞茎中重金属离子的吸收量,Cu、Zn、Cd、Pb 的吸收量较不施添加剂分别降低 23.20%、28.40%、48.27%、23.36%。凹凸棒石复合土壤修复调理剂 LC-L01 可显著降低苦荞籽粒中的重金属含量。这是由于凹凸棒石本身含有植物所需的多种微量元素,可有效补充作物生长对营养元素的需求,这与前人凹凸棒石可保持并调节土壤肥力进而促进作物生长的结论一致^[6]。可见,凹凸棒石与土壤修复调理剂 LC-L01 可促进作物的生长。

凹凸棒石在重金属污染土壤修复中能够有效地降低重金属的生物有效性和迁移性,最终阻碍重金属转移到植物体内。但天然凹凸棒石吸附重金属污染物的选择性及其产物的稳定性均不够强^[7],而凹凸棒石复合土壤修复调理剂 LC-L01,通过其结构与功能调节,可用于选择性吸附钝化土壤中的重金属离子,长效性和稳定性非常高,大大减少环境风险和健康风险。土壤修复调理剂 LC-L01 的结构中含有高活性的碱性中心,

对土壤重金属污染物有极强的吸附钝化作用,通过表面矿化固定后的重金属很难再被释放到土壤中,从而保证作物不再大量吸收有害的重金属离子。

凹凸棒石复合土壤修复调理剂 LC-L01 对减少苦荞根中重金属吸收量的效果不是很理想,这需要进一步研究。本研究主要检测了 Cu、Zn、Cd 和 Pb 重金属离子,而未对其他重金属离子以及其他复合重金属离子进行研究,尚需要进一步拓展研究。重金属离子钝化过程的影响条件、凹凸棒石与土壤修复调理剂 LC-L01 更佳配比等仍需进一步探究,以接近实际应用。

参考文献:

- [1] 薛嘉乐. 广东某污染土壤修复工程实例及总结[J]. 广东化工, 2017, 44(11): 230-231.
- [2] 柴宗越, 陈馨, 强浩然, 等. 凹凸棒石添加量对草莓栽培基质及果实品质产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(4):
- [3] 王永斌, 李文东, 陈馨, 等. 日粮中添加凹凸棒石粉对鸡蛋品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2014(12): 21-23.
- [4] 王爱勤, 王文波, 郑易安, 等. 凹凸棒石晶束解离及其纳米功能复合材料[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [5] 北京大学. 黄河中上游白银段东大沟流域重金属污染整治及生态修复规划[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- [6] 刘左军, 陈正宏, 袁惠君, 等. 凹凸棒石黏土对土壤团粒结构及小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 142-144.
- [7] 陈展祥. 凹凸棒石改性材料制备及其对镉污染土壤修复效果研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.

(本文责编: 陈伟)