

# 凹凸棒石复配土壤修复剂对土壤重金属钝化效果的研究

蔺海明<sup>1, 2</sup>, 陈馨<sup>1, 2</sup>, 刘恬<sup>3</sup>, 马建源<sup>4</sup>, 王玉鹏<sup>5</sup>, 杜松<sup>6</sup>, 魏公河<sup>5</sup>

(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 100029; 4. 甘肃省生态环境科学设计研究院, 甘肃 兰州 730000; 5. 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; 6. 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(PAL)与 LC-S01 不同配比材料对土壤重金属钝化和降低作物吸收量的影响。结果表明, 施 PAL 4 500.0 kg/hm<sup>2</sup> 时能有效提高苦荞产量, 比对照增加 20.4%。施 LC-S01 1 500.0 kg/hm<sup>2</sup> + 凹凸棒石 3 000.0 kg/hm<sup>2</sup> 时, 苦荞根、茎、籽粒对重金属的吸收量不同程度地降低, 籽粒中 Cu、Zn、Cd 和 Pb 的吸收量分别降低了 23.5%、23.3%、43.9% 和 61.0%, 具有修复重金属污染的积极作用。

**关键词:** 凹凸棒石; 土壤修复调理剂; 重金属; 耕地; 荞麦; 钝化

**中图分类号:** S517 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)07-0019-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2020.07.006

## Passivation Effect of Attapulgite Combined with Soil Remediation Agent on Soil Heavy Metals

LIN Haiming<sup>1,2</sup>, CHEN Xin<sup>1,2</sup>, LIU Tian<sup>3</sup>, MA Jianyuan<sup>4</sup>, WANG Yupeng<sup>5</sup>, DU Song<sup>5</sup>, WEI Gonghe<sup>5</sup>  
(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 Attapulgite Mineral Resources Comprehensive Utilization Engineering Research Center, Baiyin Gansu 730900, China; 6. Shandong Wanxin Weina Material Science and Technology Co. Ltd., Linyi Shandong 276000, China)

**Abstract:** The effects of different ratio of attapulgite (PAL) and LC-S01 on soil heavy metal passivation and reduce crop absorption were studied. The results showed that PAL could effectively increase the yield of Tartary buckwheat at 4 500.0 kg/hm<sup>2</sup>, which was 20.4% more than the control. When LC-S01 was applied with 1 500.0 kg/hm<sup>2</sup> + attapulgite 3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>, the uptake of heavy metals in Tartary buckwheat roots, stems and grains decreased to different degrees, and the uptake of Cu, Zn, Cd and Pb in grains decreased by 23.5%, 23.3%, 43.9% and 61.0%, respectively, which had a positive effect on remediation of heavy metal pollution.

**收稿日期:** 2020-04-20

**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”。

**作者简介:** 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。

**通信作者:** 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。

**Key words:** Attapulgite; Soil remediation conditioner; Heavy metals; Cultivated land; Buckwheat; Passivation

20 多年来,我国粮食主产区耕地土壤重金属污染呈上升趋势,污染物以铅、汞、镉、钴为主。随着我国工业化、城市化、农业集约化快速发展,农田土壤重金属污染和食品安全问题日渐突出。重金属的开采、冶炼、加工过程易造成耕地、环境的严重污染,由于大气、地表径流的传播导致不少重金属如铅、汞、镉、钴等进入食物链浓缩,从而对人类健康造成危害。重金属进入人体内能和蛋白质及各种酶发生强烈的化学反应,使其失去活性,也可能在人体器官中富集,超过限度时,会造成人体中毒危害。

白银市是国家重要的有色金属工业和化工基地。历史上东大沟上游的白银公司露天矿、小铁山矿、选矿厂等排放大量含重金属粉尘、尾砂、废渣、废水等污染物,东大沟河道底泥中重金属污染物逐年沉积,主要有砷、镉、铅、铜等,底泥中各类重金属超过背景值最高达上千倍。张钊熔<sup>[1]</sup>的研究表明,东大沟水体主要的重金属污染为 Cd、Hg、Pb、Cu 不同程度的复合污染,其生态危害风险程度  $Cd > Hg > Pb > Cu > Zn > Cr$ ,东大沟大部分河段底泥潜在生态风险指数为严重。吕浩阳等<sup>[2]</sup>的研究表明,水泥在重金属污染场地修复工程中具有良好的优势。刘白林等<sup>[3]</sup>对甘肃白银东大沟流域农田土壤重金属污染现状及其在土壤—作物—人体系统中的迁移转化规律进行了研究。

凹凸棒石(Attapulgite)也叫坡缕石,是一种层链状过渡结构的以含水富镁硅酸盐为主的黏土矿。中国的凹凸棒石矿产量居世界第一。甘肃白银、张掖等地发现大量凹凸棒石矿带,以其分布广泛、交通便利引起各界广泛关注<sup>[4]</sup>。甘肃的凹凸棒石因海相沉积的原因富含植物生长所需的铜、锌、钒、钼、硒、碘、铁、硼等多种有益微量元素,且其微观空间结构具有较大的比表面积,

使其具有较强吸附性和缓释性<sup>[5]</sup>。陈馨、蔺海明等<sup>[6]</sup>的研究表明,凹凸棒石可有效吸附土壤重金属。

我国农田土壤污染日益严重,已经成为亟待解决的民生问题之一。随着社会经济的发展,人们对食品安全表现出很大的重视,因此开展对新常态下农田土壤污染防治关键问题的研究十分重要。农田土壤是人们赖以生活的物质基本保障,随着人们对土壤污染危害认识的深入,加强土壤污染防治已逐步成为社会共识<sup>[7]</sup>。杜韶光等<sup>[8]</sup>指出,我国目前土壤污染很不乐观,需结合土壤的具体情况制定出合理的改良方案,以达到土壤污染治理的目的。我们研究的目的是利用甘肃丰富的凹凸棒石矿产资源与 LC-S01 高分子材料通过恰当复配,使土壤中重金属钝化并降低作物吸收量。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验设在甘肃省白银市白银区四龙镇双合村东大沟,距离白银市区 23 km,距离黄河 8 km。东大沟沿途分布着大小 20 多家工业企业,在生产过程中将大量含有铜、铅、锌、镉和砷等重金属的废水直接通过东大沟排入黄河。试验地为东大沟沿岸的耕地。

### 1.2 供试材料

指示作物为苦荞麦。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),由甘肃良兴凹凸棒石应用有限公司提供。

### 1.3 试验设计与方法

试验共设 3 个处理,处理 T1, LC-S01 (1 500.0 kg/hm<sup>2</sup>) + PAL(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>); 处理 T2, PAL(4 500.0 kg/hm<sup>2</sup>); 处理 T3, 空白(CK)。试验采用单因子随机排列,3 次重复,小区面积 17.5 m<sup>2</sup>(5.0 m × 3.5 m),小区间设 0.5 m 的隔离带。

在苦荞生长期内每隔 12 d 采样 1 次, 测定苦荞株高、根长、单株鲜(干)重、茎粗等性状指标, 共测定 5 次, 收获时测定苦荞产量, 用微波消解法测定荞麦的根、茎、籽粒中重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 的含量。重金属吸收量由北京化工大学测定。

测定仪器为原子吸收光谱仪、游标卡尺、直尺、微波消解——电感耦合等离子发射光谱仪、电子秤等。

#### 1.4 数据处理

所有数据使用 SPSS19.0 统计软件进行分析, 采用 Duncan 对各处理之间进行差异显著性分析。采用 Excel 2010 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 荞麦生长性状及产量对 PAL 与 LC-S01 材料的响应

2.1.1 苦荞生长性状 从表 1 可知, 10 月 12 日的处理 T1 和处理 T2, 苦荞株高比对照分别增高 18.26、7.94 cm, 增长率分别为 44.7%、19.4%, 2 种材料均能促进荞麦株高增加。根长处理 T1 和处理 T2 与对照差异均不显著。与对照相比, 单株鲜重、单株干重和茎粗处理 T1 分别增长 109.9%、59.4%和 28.2%, 处理 T2 分别增长 71.0%、13.2%和 7.22%。表明 2 种土壤调节剂均有促进荞麦

生长发育和物质积累的作用, 这种趋势在荞麦的整个生长季节基本一致。

2.1.2 苦荞产量 由图 1 可以看出, 处理 T1 和处理 T2 均较对照增产, 增产率分别为 8.05%、20.44%。说明施用凹凸棒石(PAL)复配 LC-S01 修复材料和单施 PAL 均对苦荞产量的提高具有促进作用, 并且在施用 PAL (4 500.0 kg/hm<sup>2</sup>) 时增产差异显著 ( $P < 0.05$ )。增产的主要原因是凹凸棒石本身的超大空间结构以及其含有植物所需的营养物质, 另一方面可能是高分子材料 LC-S01 对土壤中的重金属有一定的钝化效果, 从而促进苦荞产量提高。

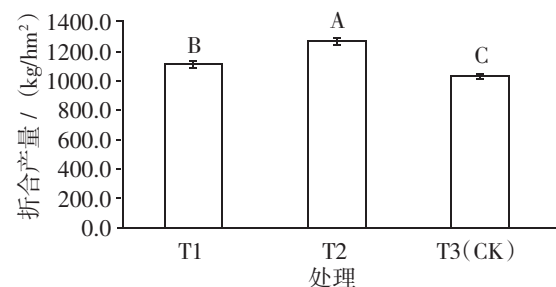


图 1 各处理的产量及差异显著性分析

2.1.3 不同处理的苦荞性状指标间相关性分析 对苦荞各性状指标进行 Pearson 相关性分析的结果(表 2)表明, 处理 T1 的根长与单株鲜重、单株干重显著相关; 处理 T2 的株

表 1 不同采样时期各处理的荞麦生长性状

| 测定时间 / (日/月) | 处理     | 株高 / cm      | 根长 / cm     | 鲜重 / (g/株)   | 干重 / (g/株)  | 茎粗 / mm    |
|--------------|--------|--------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| 21/8         | T1     | 4.30±0.29b   | 6.25±1.02a  | 0.40±0.11a   | 0.05±0.01a  | 1.51±0.18a |
|              | T2     | 5.27±0.56a   | 6.05±0.93a  | 0.29±0.05b   | 0.04±0.01b  | 1.37±0.06a |
|              | T3(CK) | 5.07±0.49a   | 8.60±0.88b  | 0.29±0.05b   | 0.04±0.01b  | 1.46±0.05a |
| 3/9          | T1     | 22.43±1.30a  | 7.37±0.32a  | 1.58±0.23a   | 0.24±0.04a  | 2.53±0.13a |
|              | T2     | 13.90±0.89c  | 6.50±1.11b  | 0.85±0.10c   | 0.14±0.03c  | 1.97±0.28c |
|              | T3(CK) | 17.13±0.66b  | 7.42±0.31a  | 1.07±0.04b   | 0.20±0.03b  | 2.27±0.12b |
| 16/9         | T1     | 41.18±4.89a  | 8.82±1.69a  | 4.40±0.51a   | 0.64±0.11a  | 3.22±0.22a |
|              | T2     | 22.70±4.21b  | 6.58±1.54b  | 2.20±1.24b   | 0.31±0.16b  | 2.57±0.48b |
|              | T3(CK) | 23.71±2.10b  | 7.89±1.00ab | 1.70±0.64b   | 0.22±0.11b  | 2.46±0.33b |
| 29/9         | T1     | 54.97±2.74a  | 6.80±0.99a  | 10.29±0.96a  | 2.51±0.18a  | 3.61±0.13a |
|              | T2     | 53.57±1.51ab | 6.73±0.58a  | 6.01±0.96bc  | 1.51±0.38c  | 3.20±0.06b |
|              | T3(CK) | 36.08±1.00b  | 7.17±0.44a  | 5.34±0.64c   | 1.29±0.32c  | 3.11±0.16b |
| 12/10        | T1     | 59.23±15.51a | 9.33±3.13a  | 15.62±8.63a  | 4.72±3.23a  | 3.73±0.69a |
|              | T2     | 48.91±5.06ab | 8.97±2.23a  | 12.72±2.59ab | 3.35±0.83ab | 3.12±0.32b |
|              | T3(CK) | 40.97±0.85b  | 11.13±2.01a | 7.44±0.68b   | 2.96±0.20b  | 2.91±0.16b |

高与根长、单株干重、茎粗，根长与单株干重，单株干重与茎粗显著相关；处理 T3 的株高与单株鲜重、茎粗，根长与茎粗，单株鲜重与茎粗显著相关。说明在不同处理下，苦荞各性状指标间显著相关( $P < 0.01$ ，或  $P < 0.05$ )。

## 2.2 苦荞主要器官重金属吸收量对 PAL 与 LC-S01 材料的响应

### 2.2.1 苦荞根对重金属的吸收量

对成熟期苦荞各组织中 Cu、Zn、Cd 和 Pb 吸收量的测定结果(表3)表明，处理 T1、处理 T2 的荞麦根对 Cu 的吸收量比对照分别降低 74.99%、25.82%，对 Zn 的吸收量比对照分别降低 64.33%、22.54%，对 Cd 的吸收量比对照分别降低 15.25%、12.07%，对 Pb 的吸收量比对照分别降低 89.10%、23.82%。表明：施用 LC-S01(1 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)+PAL(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)对苦荞根吸收 Cu、Zn、Cd 和 Pb 离子均有明显的抑制效果，施用 PAL(4 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)的抑制效果次之。

### 2.2.2 苦荞茎对重金属的吸收量

从表 4 可知，与 CK 相比，处理 T1、处理 T2 的荞麦茎对重金属的吸收量没有显示出规律性，如 Cu 在施用 PAL(4 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)处理的吸收量为 14.97 mg/kg，较对照增加 17.41%；而施用 LC-S01(1 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)+PAL(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)处理的吸收量仅为 6.11 mg/kg，较对照降低 52.08%。施用 LC-S01(1 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)+PAL(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)和 PAL(4 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)处理的 Zn 的吸收量分别下降 49.72%和 15.60%，Cd 吸收量下降 65.95%和 11.16%；Pb 只在施用 LC-S01(1 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)+PAL(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)的处理中降低，下降率为 41.07%。综合分析表明，施用 LC-S01(1 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)+PAL(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)时苦荞茎叶对 Cu、Zn、Cd 和 Pb 的吸收量具有明显的抑制效果，但 PAL(4 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)处理对其他重金属吸收的抑制作用没有规律性，其原因有待进一步研究。

### 2.2.3 苦荞籽粒对重金属的吸收量

从表 5

表 2 施用不同材料配比的苦荞各性状指标相关性

| 处理     | 性状   | 株高 | 根长       | 单株鲜重     | 单株干重     | 茎粗       |
|--------|------|----|----------|----------|----------|----------|
| T1     | 株高   | 1  | 0.051    | 0.964**  | 0.950**  | 0.932**  |
|        | 根长   |    | 1        | -0.903*  | 0.926*   | -0.246   |
|        | 整株鲜重 |    |          | 1        | 0.977**  | 0.987**  |
|        | 整株干重 |    |          |          | 1        | 0.956**  |
|        | 茎粗   |    |          |          |          | 1        |
| T2     | 株高   | 1  | 0.913*   | -0.961** | 0.902*   | 0.918*   |
|        | 根长   |    | 1        | 0.959**  | 0.935*   | 0.406    |
|        | 整株鲜重 |    |          | 1        | 0.970**  | 0.767    |
|        | 整株干重 |    |          |          | 1        | 0.901*   |
|        | 茎粗   |    |          |          |          | 1        |
| T3(CK) | 株高   | 1  | -0.931** | 0.909*   | -0.923** | -0.902*  |
|        | 根长   |    | 1        | 0.932**  | 0.944**  | 0.927*   |
|        | 整株鲜重 |    |          | 1        | 0.874    | -0.919*  |
|        | 整株干重 |    |          |          | 1        | -0.967** |
|        | 茎粗   |    |          |          |          | 1        |

表 3 苦荞根对重金属的吸收量

| 处理     | Cu              |             | Zn              |             | Cd              |             | Pb              |             |
|--------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|        | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% |
| T1     | 21.13           | -74.99      | 144.36          | -64.33      | 8.78            | -15.25      | 18.95           | -89.10      |
| T2     | 62.67           | -25.82      | 313.51          | -22.54      | 9.11            | -12.07      | 132.43          | -23.82      |
| T3(CK) | 84.48           |             | 404.76          |             | 10.36           |             | 173.84          |             |

表 4 苦荞茎对重金属的吸收量

| 处理     | Cu              |             | Zn              |             | Cd              |             | Pb              |             |
|--------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|        | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% |
| T1     | 6.11            | -52.08      | 57.40           | -49.72      | 2.38            | -65.95      | 8.94            | -41.07      |
| T2     | 14.97           | 17.41       | 96.35           | -15.60      | 6.21            | -11.16      | 16.23           | 6.99        |
| T3(CK) | 12.75           |             | 114.16          |             | 6.99            |             | 15.17           |             |

表 5 苦荞籽粒对重金属的吸收量

| 处理     | Cu              |             | Zn              |             | Cd              |             | Pb              |             |
|--------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|        | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% | 吸收量<br>/(mg/kg) | 较CK增加<br>/% |
| T1     | 5.30            | -23.52      | 33.56           | -23.31      | 0.78            | -43.88      | 2.35            | -60.96      |
| T2     | 7.33            | 5.77        | 49.51           | 13.14       | 1.41            | 1.44        | 5.82            | -3.32       |
| T3(CK) | 6.93            |             | 43.76           |             | 1.39            |             | 6.02            |             |

可以看出, 处理 T1 的苦荞籽粒中, Cu、Zn、Cd、Pb 的吸收量比对照分别降低 23.52%、23.31%、43.88%、60.96%; 处理 T2 的苦荞籽粒中, 只有 Pb 的吸收量比对照降低 3.32%, Cu、Zn、Cd 的吸收量均比对照增加。总体来看, 施用 LC-S01(1 500.0 kg/hm<sup>2</sup>)+PAL(3 000.0 kg/hm<sup>2</sup>)时, 对苦荞籽粒中 Cu、Zn、Cd 和 Pb 的吸收量具有明显的抑制作用。

### 3 结论与讨论

研究了凹凸棒石(PAL)与 LC-S01 的不同配比材料对土地重金属钝化和降低作物的吸收量的影响。结果表明: 施 PAL 4 500.0 kg/hm<sup>2</sup> 时, 能有效提高苦荞产量, 比对照增产 20.4%。施 LC-S01 1 500.0 kg/hm<sup>2</sup> + 凹凸棒石 3 000.0 kg/hm<sup>2</sup> 时, 根、茎、籽粒对重金属吸收量不同程度地降低, 籽粒对 Cu、Zn、Cd 和 Pb 的吸收量分别降低了 23.5%、23.3%、43.9%和 61.0%, 具有修复重金属污染的积极作用。

无论土壤调理剂 LC-S01 和凹凸棒石(PAL)复配施用, 还是凹凸棒石(PAL)单施均有提高荞麦产量的作用, 并影响荞麦的生长性状变化, 而且多数为积极效应。分析原因, 一是凹凸棒石本身富含多种营养元素, 可增加土壤中呈短板的元素物质; 二是影响了土壤中重金属的有效态。刘骐华等<sup>[9]</sup>的

研究表明, 铜、镉、铅在胁迫程度加大情况下, 可以抑制作物的生长。我们应用凹凸棒石粉(PAL)复配 LC-S01 土壤复合材料, 主要目的减少土壤中的重金属进入作物, 从而保障食品健康安全。

凹凸棒石粉(PAL)复配 LC-S01 土壤修复材料可有效降低苦荞的根、茎、籽粒对重金属的吸收量, 且富集量减少, 符合植物生理学原理。刘骐华等<sup>[9]</sup>、王欣若等<sup>[10]</sup>研究表明, 铜、镉、铅在随着胁迫程度的加剧, 各项指标均呈下降趋势而受到抑制; 低浓度镉、铅胁迫会有促进作用。我们的研究结果与前人结论一致。

凹凸棒石纳米级多孔结构的特性、吸附性、缓释性, 以及甘肃的凹凸棒石本身含有植物需要的各类微量元素, 对于作物增产有显著的促进作用; 高分子材料 LC-S01 可利用自身化学特性通过化学反应将土壤中的重金属钝化, 将游离态转化成化合态。二者复配施用可有效钝化土壤中重金属, 降低作物对重金属的吸收。

### 参考文献:

- [1] 张钊熔, 段星星, 夏明哲. 白银东大沟水体和底泥中重金属污染评价[J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 649-657.
- [2] 吕浩阳, 费杨, 王爱勤, 等. 甘肃白银东大沟铅锌镉复合污染场地水泥固化稳定化原

# 有机肥氮替代部分化肥氮对马铃薯产量及其构成因素的影响

陈自雄, 杨荣洲, 张娟宁, 何万春

(定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000)

**摘要:** 在定西地区试验观察了有机肥氮替代部分化肥氮对马铃薯生长发育和产量的影响。结果表明, 施用有机肥能够显著提高马铃薯地上部生物量和块茎产量, 在定西地区, 施肥量为 N 180 kg/hm<sup>2</sup>, N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 质量比为 4:3:3 时, 有机肥氮替代化肥氮的比例为 30%, 是最佳施肥方案。

**关键词:** 马铃薯; 有机肥; 氮肥; 产量; 产量构成因素; 定西地区

**中图分类号:** S532 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)07-0024-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2020.07.007

## Effect of Nitrogen of Organic Fertilizer Replaces Partial Nitrogen of Chemical Fertilizer on Potato Yield and Yield Component Factors

CHEN Zixiong, YANG Rongzhou, ZHANG Juanning, HE Wanchun

(Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi Gansu 743000, China)

**Abstract:** The effect of nitrogen of organic fertilizer replaces partial nitrogen of chemical fertilizer on potato growth and yield was studied in Dingxi area. The results showed that the biomass and tuber yield of potato above ground could be significantly increased by applying organic fertilizer. In Dingxi area, when the fertilizer amount was N 180 kg/hm<sup>2</sup> and the mass ratio of nitrogen, phosphorus and potassium was N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O was 4:3:3, the best fertilization method was to replace nitrogen with organic fertilizer by 30%.

**Key words:** Potato; Organic fertilizer; Nitrogenous fertilizer; Yield; Yield component factors; Dingxi area

收稿日期: 2020-06-01

基金项目: 甘肃省新型肥料创制工程实验室开放基金(GSXFL-2018-02)。

作者简介: 陈自雄(1978—), 男, 甘肃陇西人, 助理研究员, 主要从事马铃薯栽培技术研究。Email: 2974543826@qq.com。

通信作者: 杨荣洲(1983—), 男, 甘肃定西人, 主要从事马铃薯栽培工作。Email: 714631793@qq.com。

- 位修复[J]. 环境科学, 2017, 38(9): 3897-3906.
- [3] 刘白林. 甘肃白银东大沟流域农田土壤重金属污染现状及其在土壤—作物—人体系统中的迁移转化规律[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [4] 任 珺, 刘丽莉, 陶 玲, 等. 甘肃地区凹凸棒石的矿物组成分析[J]. 硅酸盐通报, 2013, 32(11): 2362-2365.
- [5] 柴宗越, 陈 馨, 强浩然, 等. 凹凸棒石对草莓栽培基质营养及果实品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(4): 47-52.
- [6] 陈 馨, 蔺海明. 凹凸棒石新型材料必将在现代生态农业中发挥重要作用[J]. 甘肃农业, 2019, 8: 95-98.
- [7] 郑培楷. 我国土壤污染现状与防治管理措施的探讨[J]. 节能, 2019, 38(4): 134-135.
- [8] 杜韶光. 我国土壤污染防治的重点与难点[J]. 中国新技术新产品, 2019(14): 101-102.
- [9] 刘骐华, 王慧慧, 刘 璐, 等. 铜、镉、铅对高羊茅种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草原与草坪, 2019, 39(4): 10-18.
- [10] 王欣若. 土壤重金属 Pb、Cd 污染对植物的影响[J]. 四川水泥, 2015(6): 133.

(本文责编: 陈 珩)