

# 保水剂改良铅污染土壤对小白菜养分利用与生长的影响

王 俪 睿<sup>1,2</sup>, 寇 太 记<sup>1</sup>, 黄 玉 波<sup>3</sup>

(1. 河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003; 2. 濮阳职业技术学院 生物工程系, 河南 濮阳 457000;

3. 周口市农业科学院, 河南 周口 466000)

**摘 要:**以“上海青”小白菜为研究对象,利用田间模拟试验,研究了铅污染不同程度土壤施用不同保水剂用量对小白菜生长与物质产量、氮磷钾养分吸收与利用效率的差异。结果表明:土壤铅污染加重不利于蔬菜生长与养分吸收利用,施用保水剂改良污染土壤能够影响蔬菜的生长和吸收利用氮磷钾养分,但影响程度受污染程度和保水剂用量综合制约。铅污染土壤上施用保水剂可增加蔬菜生物量 10.0%~23.3%,在铅污染较轻土壤上加大保水剂用量和污染较重土壤上施用较小剂量保水剂更有利于蔬菜生长。适宜的保水剂用量促进氮磷钾养分吸收积累,且随生长天数增加而表现愈明显;保水剂施用提高了养分利用率,但不同养分种类间有所差异。铅污染较轻土壤施用较大剂量和污染较重土壤上施用较小剂量保水剂改良铅污染土壤能综合提高氮磷钾养分利用效率。保水剂 1.2 g/kg 干土用量相对 2.4 g/kg 干土用量改良铅污染土壤,实现蔬菜提产增效。

**关键词:**保水剂;土壤改良;蔬菜;土壤污染;养分利用效率

**中图分类号:**S 156.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)19-0160-05

当前农业土壤遭受重金属污染日趋加重。统计资料表明,我国受 Pb、Cd、As、Cr 等重金属污染的耕地面积

**第一作者简介:**王俪睿(1987-),女,河南鹤壁人,硕士研究生,现主要从事逆境植物营养等研究工作。E-mail: liruiwangkeda@126.com.

**责任作者:**寇太记(1975-),男,河南新乡人,博士,副教授,现主要从事气候环境变化与物质循环及逆境植物营养与农田生态等研究工作。E-mail: tjkou@aliyun.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(41003030);土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金资助项目(Y052010030);河南科技大学人才基金资助项目(09001266)。

**收稿日期:**2014-05-27

近 2 000 万 hm<sup>2</sup>,约占耕地总面积的 1/5<sup>[1]</sup>。长江三角洲地区约有 10%的耕地因重金属污染基本丧失生产力<sup>[1]</sup>。因此如何有效地控制及治理土壤重金属的污染,改良土壤质量,已成为农业生态环境保护研究中一项十分重要的内容。重金属危害农作物生长、造成减产甚至绝收,被农作物吸收后进入食物链危害人畜健康。改良污染土壤、抑制重金属活性减轻其危害是当前治理污染土壤的主要途径。保水剂可改善土壤结构<sup>[2]</sup>、保贮水分<sup>[3-5]</sup>,减少水土流失<sup>[6]</sup>,能促进作物出苗、成活及存活率<sup>[3,7]</sup>,增加干物质积累和粮食生产<sup>[7-9]</sup>,调控水肥,影响粮食作物与药用植物田的土壤养分转化与供应<sup>[8,10-12]</sup>。然而,针对保水剂的改良污染土壤效应及其对植物生长与养

permanganate titration, respectively, the effect of different cultivated years on rhizosphere soil enzyme activities from cultivated *Panax ginseng* fields were studied. The results showed that the urease, invertase and catalase activity of rhizosphere soil from cultivated *Panax ginseng* fields had different distributing characteristics. The urease activity of rhizosphere soil from *P. ginseng* fields in different cultivated years was the maximum in the July, except that the urease activity of R<sub>2</sub> (rhizosphere soil of 2-year-old *Panax ginseng*) in 15~25 cm deceased in three seasons. The invertase activity of R<sub>1</sub> (rhizosphere soil of 1-year-old *Panax ginseng*) increased in May, July and September, and the invertase and catalase activity of R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> (rhizosphere soil of 3-year-old *Panax ginseng*) had different dynamic change in different soil layer, which were related to the difference of absorption nutrients in the different period of growth and development of *Panax ginseng*. The cultivation management measures should be applies in the different period of growth and development of *Panax ginseng* in order to provide enough nutrients according the change of enzyme activity, this knowledge was essential for high-yield cultivation of *Panax ginseng* in Jilin province.

**Keywords:** *Panax ginseng*; season; rhizosphere soil; enzyme

分吸收利用规律的研究鲜见报道。污染土壤应用保水剂改良及其相关研究的尚缺失不利于污染土壤改良和发展节水农业蔬菜栽培技术,该试验针对此问题进行了深入研究,以期污染土壤改良中保水剂的合理应用、节水高产栽培提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤为褐土,取自农场大田耕层,土壤经自然风干后,拣去植物未腐烂残体后混匀备用。其基础理化性状为:pH 8.3、有机质 13.6 g/kg、碱解氮 74 mg/kg、有效磷 12.5 mg/kg、速效钾 123 mg/kg。氮、磷、钾肥分别为尿素、过磷酸钙、硫酸钾;供试保水剂购置于市场,“上海青”小白菜种子购置于洛阳市洛龙种子公司。

### 1.2 试验方法

试验于 2011 年在河南科技大学试验农场网室进行。按土壤污染程度(2 水平)×改良剂添加量(3 水平)双因素设计,通过盆栽试验进行。供试土壤污染剂选用醋酸铅,改良剂选用保水剂;其中,醋酸铅分 Q(轻微污染土壤,按纯铅量 0.02 g/kg 干土添加)和 Z(较重污染土壤,纯铅量 0.04 g/kg 干土添加)2 个水平,保水剂分 CK(对照,不施保水剂)、G1(小剂量,施用保水剂 1.2 g/kg 干土)和 G2(大剂量,施用保水剂 2.4 g/kg 干土)3 个水平。组合成 QCK、QG1、QG2、ZCK、ZG1、ZG2 共 6 个处理,随机区组排列,9 次重复。试验盆皿为市售 PVC 大桶(高 60 cm,直径 50 cm),每盆装干土 35 kg。氮(N)用量每盆 2.1 g(折合约 135 kg N/hm<sup>2</sup>),磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和钾(K<sub>2</sub>O)肥用量分别为每盆 1.4 g(约合 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 或 K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>),氮磷钾肥分别选用尿素、过磷酸钙、氯化钾。准确称量保水剂改良剂、醋酸铅污染剂与供试土壤充分混均后装盆。每盆栽植 65 株“上海青”,幼苗高 1 cm 时疏苗至 50 株。分别于出苗后第 25、40、60 天,每处理随机选取生长均匀一致的 3 盆进行测定。

### 1.3 项目测定

种植前 45 d 装盆以确保土壤自然压实,试验盆埋入地下 0.5 m,底部均匀打直径为 1 cm 的 6 个孔,覆盖以 300 目尼龙网布以利桶内水分与土体自由交换。2011 年 6 月 25 日播种,6 月 28 日出苗。种植前 2 d 向盆施入肥料并灌水 2 L,所有肥料均作基肥溶于水中施用。整个测定期除施肥、特旱时保苗灌等量水外,其它时期均依靠自然降水。

收获时测定完土壤容重后,将“上海青”小白菜植株从盆中完整取出,用自来水洗净根系泥土将植株放入烘箱中在 105℃ 条件下杀青 30 min,80℃ 条件下经过 48 h 烘至恒重,称量干重。样品经粉碎,过 60 目筛后待测 N、P、K 含量。

全 N 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-开氏法测定;全 P 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-钒钼黄比色法测定;全 K 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮-火焰光度计法测定;具体操作详见文献<sup>[6]</sup>。养分积累量(g/盆)=干物质重(g/盆)×养分含量(g/kg)/1000;农学养分利用效率(%)=某养分干物质积累总量/施肥纯养分量×100%。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 软件进行方差分析和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 保水剂与醋酸铅用量对蔬菜生物量的影响

从表 1 可以看出,各处理生物量随生育进程均增加,但保水剂施用量对植物生长的影响因土壤铅污染程度而异。ZCK 相比 QCK 处理,蔬菜生物量随生育进程呈降低趋势,并在第 60 天显著降低 9.7%,表明污染加重将抑制蔬菜生长。相比未施改良剂 CK 处理,轻微污染土壤上,保水剂施用增加了蔬菜的生物产量,增幅随保水剂用量的增加而增大;QG2 比 QG1 处理在第 25、40、60 天分别显著增加了 7.4%、14.5%、12.1%,表明利用保水剂改良轻微铅污染土壤促进了蔬菜生长且促进效应与施用量呈正相关。相比 CK 处理,较重污染土壤上,施用小剂量保水剂有助于蔬菜生长,而施用大剂量保水剂则不利于蔬菜生长;ZG1 比 ZCK 处理在第 40、60 天分别显著增加蔬菜生物量 24.7%、11.3%,ZG2 相比 ZCK 处理差异均未达到显著水平,ZG2 相比 ZG1 处理在第 25、40、60 天显著降低 4.2%~19.5%,表明改良较重铅污染土壤施用小剂量保水剂能促进蔬菜生长,而施用大剂量保水剂无增产效应。

表 1 不同保水剂和铅污染处理蔬菜的生物产量

Table 1 Vegetable biomass under different water retaining agent and Pb pollution treatments			
处理 Treatment	干物重 Dry weight/(g·(50 株) <sup>-1</sup> )		
	25 d	40 d	60 d
QCK	2.86±0.07 bcd	5.14±0.05 c	26.85±0.73 c
QG1	2.97±0.06 b	5.43±0.17 b	29.53±0.91 b
QG2	3.19±0.12 a	6.22±0.16 a	33.11±0.50 a
ZCK	2.81±0.03 cd	5.02±0.09 cd	24.25±0.82 d
ZG1	2.86±0.01 c	6.26±0.15 a	27.00±0.07 c
ZG2	2.74±0.07 d	5.04±0.04 d	23.15±1.20 d

注:同列数字后不同字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。

Note: Different letters in the same column show significant difference at 0.05 level.

The same below.

### 2.2 保水剂与醋酸铅用量对植株养分吸收积累的影响

2.2.1 氮素 从表 2 可以看出,随着生长进程,所有处理蔬菜植株氮素含量与总吸氮量分别呈下降与增加趋势。ZCK 相比 QCK 处理,随土壤铅污染而加重,第 25 天蔬菜中氮含量减少 6.2%和总吸收氮量显著降低 8.0%( $P<0.05$ ),但第 40、60 天蔬菜中氮含量则显著增加 7.2%、22.4%( $P<0.05$ )和氮素积累量则分别略增

3.9%和显著增加 12.4% ( $P<0.05$ )。保水剂用量对植株吸收积累氮素的趋势明显受土壤铅污染程度影响。轻微铅污染土壤上,施用小剂量保水剂在第 25 天显著降低蔬菜中氮素含量 8.3%,而第 40、60 天则显著增加 12.0%、58.5%,相应的氮素积累量分别降低 5.2%和显著增加 18.3%、74.0%;施用大剂量保水剂则增加蔬菜中氮素含量与积累量,并在第 40 天和第 60 天分别显著增加 18.5%、23.0%和 43.1%、52.4%。较重铅污染

土壤上,施用小剂量与大剂量保水剂均降低了第 25 天蔬菜中氮素含量与积累量,在第 40 天大剂量显著增加蔬菜中氮素含量 9.7%和积累量 11.5%,小剂量不影响氮含量但显著增加了氮素积累量的 26.5%;在第 60 天施用保水剂对蔬菜中氮素含量与积累量均无显著影响。总之,调控铅污染土壤上植株体内的氮素吸收与积累,需根据铅污染程度选择合适保水剂用量。

表 2 不同保水剂和铅污染处理植株氮素含量与积累量

Table 2 Nitrogen concentration and accumulation of vegetable plant under different water retaining agent and Pb pollution treatments

处理 Treatment	氮含量 Nitrogen content/(g·kg <sup>-1</sup> )			氮积累量 Nitrogen accumulation/(g·盆 <sup>-1</sup> )		
	25 d	40 d	60 d	25 d	40 d	60 d
QCK	40.6±1.3 a	24.9±0.5 c	18.3±2.4 c	116.2±2.2 ab	127.8±2.6 d	488.6±2.2 d
QG1	37.2±2.0 bc	27.9±1.7 ab	29.0±1.4 a	110.1±3.9 bc	151.2±5.4 c	850.1±13.1 a
QG2	37.2±2.1 abc	29.5±1.8 a	22.5±1.9 b	119.0±3.5 a	183.1±7.1 a	744.7±6.0 b
ZCK	38.1±2.4 ab	26.7±1.0 b	22.4±1.7 b	106.9±5.8 cd	132.8±6.0 d	549.1±13.6 c
ZG1	34.5±1.0 c	26.9±1.1 b	20.7±1.8 bc	98.9±3.1 de	168.1±5.5 b	559.6±9.3 c
ZG2	34.2±1.7 bc	29.3±1.2 a	22.7±0.3 b	93.9±3.4 e	145.3±5.6 c	524.9±28.5 c

2.2.2 磷素 由表 3 可知,随生长进程,所有处理植物体内磷素积累量呈上升趋势。ZCK 相比 QCK 处理,土壤铅污染加重显著降低了第 25 天蔬菜中磷素含量和积累量 32.3%、34.8%,第 60 天磷素积累量 15.8%,其它未达到显著水平。轻微和重铅污染土壤施用保水剂在第 25 天均降低了蔬菜磷素含量,在重污染土壤上施用大剂量保水剂在第 40 天显著降低磷素含量 11.1%,第 60 天无显著影响。轻微铅污染土壤上,施用保水剂显著降低第 25 天蔬菜中磷素积累量 40.4%~41.5%,在第 40、

60 天施用小剂量保水剂具有增加磷素积累量趋势,而施用大剂量保水剂则显著增加磷素积累量 13.7%、20.6%。较重铅污染土壤上,施用小剂量保水剂在第 40、60 天显著增加磷素积累量 22.6%、25.2%,而施用大剂量保水剂在第 25、40 天均降低了磷素积累量,在第 60 天则显著增加 9.4%。综合来说,调控铅污染土壤上植株体内的磷素积累,需要根据铅污染程度、生长时间等因素来选择适宜的保水剂用量。

表 3 不同保水剂和铅污染处理植株磷素含量与积累量

Table 3 Phosphorus concentration and accumulation of vegetable plant under different water retaining agent and Pb pollution treatments

处理 Treatment	磷含量 Phosphorus content/(g·kg <sup>-1</sup> )			磷积累量 Accumulation of phosphorus/(g·盆 <sup>-1</sup> )		
	25 d	40 d	60 d	25 d	40 d	60 d
QCK	3.1±0.1 a	2.7±0.1 a	2.5±0.2 ab	8.9±0.4 a	13.9±0.3 c	67.0±2.2 b
QG1	2.1±0.4 b	2.7±0.2 a	2.5±0.1 ab	6.3±1.3 b	14.6±0.9 bc	75.3±5.1 ab
QG2	1.9±0.2 bc	2.6±0.1 a	2.4±0.1 ab	6.2±0.7 b	15.8±0.5 ab	80.8±4.6 a
ZCK	2.1±0.2 b	2.7±0.1 a	2.3±0.2 b	5.8±0.4 b	13.7±0.7 cd	56.4±2.0 d
ZG1	1.9±0.2 bc	2.7±0.1 a	2.6±0.1 ab	5.3±0.4 bc	16.8±0.7 a	70.6±2.4 b
ZG2	1.8±0.1 c	2.4±0.1 c	2.6±0.2 ab	4.9±0.1 c	12.2±1.0 d	61.7±2.8 c

2.2.3 钾素 由表 4 可知,随生长进程,植株体内的钾素含量除较重铅污染土壤呈持续降低趋势以外均呈先增加后降低趋势,而积累量则均呈增加态势。相比 CK 处理,施用保水剂处理在第 60 天显著增加了轻微铅污染土壤上和在第 40、60 天较重铅污染土壤上生长的蔬菜中钾素含量;轻微铅污染土壤上,随保水剂用量增大在 40 d 前具有降低蔬菜中钾素含量态势,而钾积累量在第 60 天显著增加 12.8%;较重铅污染土壤上,随保水剂用量增大蔬菜中的钾素含量仅在第 60 天显著增加 13.2%,其它 2 个测定时段均未达显著差异水平,但钾素积累量在第 40 天显著降低 24.9%。综上,轻微铅污染土壤上施用较大剂量保水剂一定程度上有利于钾素积

累,而较重铅污染土壤上施用较小剂量保水剂有利于钾素积累。

## 2.3 保水剂与醋酸铅用量对肥料利用率的影响

从图 1 可以看出,氮、磷、钾肥的农学利用效率与肥料种类、保水剂用量水平、土壤遭受铅污染的程度密切相关。ZCK 相比 QCK 处理,氮肥利用效率略有提高,但磷、钾肥利用效率显著下降 15.9%、21.9%。施用保水剂后,氮、磷、钾肥的农学利用效率随土壤铅污染程度的增加均降低。相比 CK 处理,轻微铅污染土壤上,施用小剂量和大剂量保水剂均显著增加了氮、磷、钾肥的养分利用效率;较重铅污染土壤上,施用保水剂未显著影响氮肥的农学利用效率,而施用小剂量、大剂量保水剂则

表 4

不同保水剂和铅污染处理植株钾素含量与积累量

Table 4 Potassium concentration and accumulation of vegetable plant under different water retaining agent and Pb pollution treatments

处理 Treatment	钾含量 Potassium content/(g · kg <sup>-1</sup> )			钾积累量 Accumulation of potassium/(g · 盆 <sup>-1</sup> )		
	25 d	40 d	60 d	25 d	40 d	60 d
QCK	18.0±1.0 a	19.2±1.2 ab	15.5±0.2 b	51.7±1.1 b	98.8±5.5 c	414.0±6.8 c
QG1	18.8±0.9 a	19.0±1.1 ab	16.5±0.7 a	55.7±1.8 a	103.6±9.6 bc	486.4±26.0 b
QG2	17.5±1.1 a	18.2±0.5 b	16.6±0.4 a	55.8±1.7 a	113.0±1.6 b	548.7±23.7 a
ZCK	18.1±0.6 a	15.1±1.2 c	13.4±0.6 c	50.8±1.0 b	75.7±1.4 d	323.5±30.0 d
ZG1	17.4±1.4 a	20.0±0.8 a	15.1±0.6 b	49.7±2.0 b	125.4±6.3 a	408.9±9.4 c
ZG2	18.2±1.6 a	19.1±1.3 ab	17.1±0.5 a	49.9±1.5 b	94.1±7.5 c	401.7±13.8 c

显著增加了磷、钾肥的农学利用效率。保水剂施用在轻微铅污染土壤上随用量增加具有降低氮肥和增加磷钾肥农学利用效率的趋势;在较重铅污染土壤上随保水剂用量水平的增加显著降低了磷肥的利用效率 12.6%,对氮钾肥的利用效率影响不大。表明施用保水剂改良土壤影响肥料利用率,影响程度受综合因素制约。

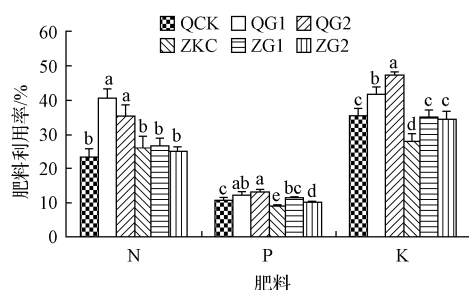


图 1 不同保水剂和铅污染处理蔬菜的营养利用效率

Fig. 1 Nutrient use efficiency of vegetable under different water retaining agent and Pb pollution treatments

### 3 讨论与结论

自 20 世纪末,土壤遭受重金属污染形势日益严峻<sup>[1,13]</sup>,改良污染土壤是减少重金属危害,促进植物生长遏制土壤退化的重要措施<sup>[14]</sup>,高聚物保水剂是功能多样优质的土壤改良剂<sup>[7,9]</sup>。该研究发现,重金属铅污染土壤程度愈重则对蔬菜生长抑制程度越大。在其它作物上也获得了类似结果<sup>[5,7,11]</sup>。该研究表明,铅污染较轻土壤上施用保水剂将显著增加蔬菜生物量,增幅随着保水剂用量的增加而增大,而在污染较重的土壤上施用小剂量的保水剂有助于增产、施用大剂量的则不利于蔬菜生长。由于保水剂具有丰富的活性功能基团,能与重金属发生多种形式结合,将土壤重金属固定钝化来减轻重金属的危害<sup>[7]</sup>,保水剂用量越大则解除土壤中重金属的生物毒害能力愈强<sup>[15]</sup>,越能减少污染危害促进植物生长。然而,在较重铅污染土壤上施用大剂量保水剂降低了蔬菜生物量,这与保水剂钝化固定重金属减少污染危害促进植物生长作用相矛盾。由于保水剂具有强大的水分吸持能力<sup>[12]</sup>,保水剂施入土壤后将与植物竞争水分,造成土壤中植物可利于水分减少,该研究中在铅污染较重

土壤上加入的大剂量保水剂可能偏大,吸持了过多土壤水分并限制蔬菜生长对土壤水分的需求,进而不利蔬菜生长并导致减产。

保水剂除吸持水分和固定重金属功能外<sup>[7,12]</sup>,也吸持固定氮磷钾等可溶性养分且释放缓慢<sup>[11]</sup>,一定时间内降低了土壤中植物可吸收养分数量,减少了植物吸收数量。该研究发现,相比 CK 处理,施用保水剂后在第 25 天甚至到第 40 天仍抑制了蔬菜中养分含量及积累量,但影响程度受土壤污染程度、保水剂用量和养分类型制约。保水剂施用量越大则在前期抑制植物对养分吸收程度表现越明显,万惠娥等<sup>[16]</sup>基于非污染土壤的农作物保水剂应用研究也发现了类似的结果。该研究发现,在铅污染土壤上施用保水剂不同程度显著增加了钾、氮、磷素积累量和肥料的农学利用效率。

该研究中,施用保水剂提高了植株体内养分积累量,但前期效果不如后期明显,这主要是由于保水剂缓慢释放固持的速效养分及蔬菜生物量较小共同作用的原因。施用保水剂处理氮、磷、钾主要养分呈生长中期含量较高而生长后期又下降趋势,但积累量随生育进程持续增加。这表明一方面保水剂对养分的释放可能使 40 d 左右土壤中养分供应量较大,后期降低除养分供应原因外,还应与植物生长的“稀释效应”有关,但随着植株体的增大,养分积累量呈增大趋势。铅污染土壤上,施用保水剂能提高肥料的利用率,在污染较轻土壤上施用较大用量保水剂提高磷钾肥利用率的幅度更大,这与刘世亮等<sup>[10]</sup>研究结果一致;而较小剂量的保水剂提高污染较轻土壤上氮素利用效率幅度比大剂量更大,而且在污染较重土壤上小剂量比大剂量更能提高氮磷钾肥的利用效率,这与刘世亮等<sup>[10]</sup>研究结果不一致。刘世亮等<sup>[10]</sup>将保水剂应用于非污染土壤上种植的玉米上发现施用保水剂能提高氮磷钾肥料的利用率,较大的保水剂用量改土提高肥效作用更好。表明除植物类型差异原因外,土壤污染因素将会影响保水剂用量及其促控肥效作用<sup>[11]</sup>。此外,保水剂用量对蔬菜重金属铅的吸收与积累的影响,事关蔬菜生产安全,应作为下一步研究的重点。

保水剂改良铅污染土壤影响蔬菜生长与氮磷钾肥

利用效率。土壤铅污染加重不利于蔬菜生长与吸收利用氮磷钾养分,铅污染较轻土壤上增加保水剂用量和污染较重土壤上施用小剂量保水剂有助于蔬菜增产;随土壤铅污染加重,较小的保水剂用量有利于养分的吸收利用,但存在氮磷钾养分种类差异。改良铅污染土壤保水剂用量适宜范围为 1.2~2.4 g/kg 干土,污染较轻可加大保水剂用量,而污染较重易降低保水剂用量。

### 参考文献

- [1] 赵其国. 谈净土洁食问题[N]. 科学时报, 2003-06-19.
- [2] 员学锋, 吴普特, 冯浩. 聚丙烯酰胺(PAM)的改土及增产效应[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 55-58.
- [3] 蔡典雄, 王小彬, Keith S. 土壤保水剂对土壤持水特性及作物出苗的影响[J]. 土壤肥料, 1999(1): 13-16.
- [4] Ben H M, Faris J, Malik M, et al. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigation and rainfall[J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 53: 73-77.
- [5] 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 保水剂对冬小麦不同生育阶段土壤水分及利用的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 19-26.
- [6] Sepaskhah A R, Bazrafashan-Jahromi A R. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator[J]. Biosystems Engineering, 2006, 93(4): 469-474.
- [7] 黄占斌, 张国桢, 李秧秧, 等. 保水剂特性测定及其在农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 22-26.
- [8] 寇太记, 张雅丽, 马继红, 等. 保水剂施用对丹参物质形成与养分利用的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 64-67.
- [9] 黄占斌, 张玲春, 董莉, 等. 不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 140-143, 163.
- [10] 刘世亮, 寇太记, 介晓磊, 等. 保水剂对玉米生长和土壤养分转化供应的影响研究[J]. 河南农业大学学报, 2005, 39(2): 146-150.
- [11] 李世坤, 毛小云, 廖宗文. 复合保水剂的水肥调控模型及其肥效研究[J]. 水土保持学报, 2007, 8(4): 112-116.
- [12] 黄占斌, 夏春良. 农用保水剂作用原理与发展趋势分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 104-106.
- [13] 马永刚. 铅污染现状、原因及对策[J]. 中国资源综合利用, 2001(2): 26-28.
- [14] Udawatta R P, Garrett H E, Kallenbach R. Agroforestry buffers for nonpoint source pollution reductions from agricultural watersheds[J]. Journal of Environmental Quality, 2011, 40(3): 800-806.
- [15] 黄凤球, 杨光立, 黄承武, 等. 化学节水技术在农业上的应用效果研究[J]. 水土保持研究, 1996(3): 118-124.
- [16] 万惠娥, 黄占斌. 保水剂对旱区农作物保水效应的研究[J]. 宁夏农林科技, 2000(5): 38-39.

## Effect of Water Retaining Agent Improving Soil Polluted by Lead on Nutrient Use and Growth of Chinese Cabbage

WANG Li-ru<sup>1,2</sup>, KOU Tai-ji<sup>1</sup>, HUANG Yu-bo<sup>3</sup>

(1. College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003; 2. Puyang Vocational and Technical College, Puyang, Henan 457000; 3. Zhoukou Academy of Agriculture Sciences, Zhoukou, Henan 466000)

**Abstract:** Taking 'Shanghai Qing' Chinese cabbage as material, the effect of different levels of water retaining agents (WRA) applied to different degrees of soil polluted by lead (SPL) on the growth and biomass of Chinese cabbage were studied. The absorbability of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) and their utilization efficiencies by simulated field experiment were determined. The results showed that adding SPL was disadvantaged with the growth of vegetable and absorption and utilization of nutrients. Effect of WRA application in improvement of polluted soil on vegetable growth and absorption and utilization of N, P and K nutrients were controlled by pollution degree and level of WRA application together. WRA applied to soil polluted by lead could promote the growth of vegetable and increase its biomass by 10.0%~23.3%. Moreover, larger level of WRA application in lower SPL and smaller application level of WRA in SPL were advantaged with the growth of vegetable. Moderate level of WRA promoted the uptake and utilization of vegetable plant to N, P and K nutrients, which was more obvious with growth development; WRA application improved the utilization efficiencies of fertilizer N, P and K, which was different within different nutrient sort. Lager level of WRA application in lower SPL and smaller that in higher SPL applied to improve SPL could generally increase utilization efficiency of N, P and K nutrients. The increases of utilization efficiencies of N, P and K nutrients and vegetable biomass together were better with level of WRA application with 1.2 g/kg dry soil in SPL improvement compared with 2.4 g/kg dry soil.

**Keywords:** water retaining agent; soil improvement; vegetable; soil pollution; nutrient utilization efficiency