

用幼苗表示土壤 Cd 污染临界值的可行性研究^①

杨林书^② 吴玲姪 王宏康
(农业生态和环境科学系)

摘 要 盆栽试验,以小麦、油菜、大豆为对象,研究用作物幼苗含 Cd 量替代成熟期可食部位含 Cd 量表示土壤污染临界值。结果表明,3 种作物幼苗含 Cd 量均高于成熟期可食部位含 Cd 量,且均与土壤投 Cd 量、以及与各自成熟期作物可食部位含 Cd 量呈极显著正相关,表示苗 Cd 不仅可以指示土壤污染,还可以通过苗 Cd 与成熟期可食部位 Cd 的相关回归方程计算相当于达标临界值的苗 Cd 污染临界值。

关键词 小麦; 油菜; 大豆; 幼苗含 Cd 量; 土壤 Cd 污染; 污染临界值

中图分类号 X53; X825

Study on the Feasibility for the Pollution Critical Concentration of Cd in Soil by Plant Seedling

Yang Linshu Wu Lingzhen Wang Hongkang
(Dept. of Ecology and Environment Science)

Abstract Pot experiments were conducted to study the feasibility for the pollution critical concentration of Cd in soil indicated by the concentration of Cd in seedling instead of those of harvested parts of wheat, soybean and rape. The results showed that concentration of Cd in three plant seedlings were not only highly positively correlated to it both in soil and those in their harvest parts but also higher than those in their harvest parts. The concentration of Cd in seedling can be used to indicate the pollution critical concentration of Cd in soil. The pollution critical concentration of Cd in seedling equivalent to the standard critical concentration can be calculated by the regression equation between the concentration of Cd in the seedlings and it in the harvested parts.

Key words wheat; soybean; rape; concentration of Cd in seedling; Cd pollution in soil; pollution critical concentration

“七五”期间我国土壤环境容量研究提出,北方石灰性土壤盆栽小麦含 Cd 量达食品卫生标准 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,盆土的含 Cd 全量,即达标临界值为 $0.6 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[1]。上述土壤污染临界值依赖作物成熟期指标,一年一次,试验周期较长。因而不断报道新方法。英国学者 Macamical 于 1985 年提出用作物幼苗指示污染,他收集了 3 000 多篇文献,归纳了 15 种元素(含 Cd),发现作物幼苗或嫩叶的组织浓度,或幼苗的生物量不仅可以指示单元素污染,还能指示复合污染,他用数学模型检验,认为比用有效态更可靠^[2]。Lehn 等作了用幼苗

收稿日期: 1996-02-04

①国家自然科学基金资助(39370473)及日本新事业技术团资助

②杨林书,北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区),100094

预测成熟植物含 Cd 量的可行性研究^[3]。国内未有关研究报告,但有评价^[4,5]。

笔者选用小麦、油菜、大豆三种作物做盆栽试验,用幼苗地上部分含 Cd 量对应可食部位达标时的苗 Cd 量表示土壤污染临界值,并与成熟期比较,发现三种作物幼苗的含 Cd 量都与土壤投 Cd 量呈极显著正相关,又与成熟期可食部位含 Cd 量呈极显著正相关,且幼苗期吸收 Cd 比成熟期高,幼苗对土壤污染比成熟期更敏感,证明该三种幼苗含 Cd 表示土壤污染临界值是可行的。同时表明,用幼苗有试验周期短的优点。

1 试验方法

供试作物 小麦(*Triticum aestivum* L.),品种为 87051。油菜(*Brassica chinensis* L.),品种为五月慢。大豆(*Glycine max* L.),品种为科丰 6 号。

供试土壤取自东北旺农场原菜地表土和农大 268 科学园区表土,混匀过筛,质地为砂壤,其 pH7.71,有机质为 1%,含氮为 0.1%,速效磷为 $15.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全镉 $0.068 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,DTPA-Cd 为 0.033%。

盆栽试验的小麦和大豆用瓷盆 $25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$,每盆土 8 kg;油菜用瓷盆 $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$,每盆土 4 kg。Cd 处理水平:土壤净投 Cd 为 0,0.5,1,3,6,10,20,50(小麦最大浓度为 20) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。每个浓度设多个平行,供不同生长期采样。

小麦于三叶期、返青期、拔节期、抽穗期、成熟期采样,每期平行采完 3 盆,拔节期和抽穗期各平行采半盆;油菜分苗期和常规采收期,苗期采 4 叶 1 心苗;大豆苗期采二片单叶一复叶苗及成熟期作物。

各种样品只取地上部分。所采样品先后用自来水、去离子水洗净、控干,65℃烘干,550℃灰化,1:30 硝酸定容,Z-8000 原子吸收仪、石墨炉测定。

2 试验结果

2.1 小麦苗含 Cd 量与达标临界值

小麦各生长期含 Cd 量与土壤投 Cd 量的关系(表 1)有如下规律:①小麦苗的三段苗期,即三叶期、返青期、拔节期的含 Cd 量随土壤投 Cd 量增加而增加,两者呈极显著正相关($r > 0.96, P = 0.01$),表明小麦苗含 Cd 量可以指示土壤污染;②三段苗期的含 Cd 量与籽粒含 Cd 量均极显著正相关($r > 0.99, P = 0.01$),说明可以用任何一段幼苗含 Cd 量代替籽粒含 Cd 量表示污染临界值,简称当标临界值;③三段苗期的苗 Cd 均大于籽粒 Cd,表明小麦苗比籽粒对土壤 Cd 污染的反应更敏感,更适用于指示污染;④三段苗期的吸 Cd 量以三叶期较少,然而吸收率(植物 Cd/土壤 Cd)与土壤 Cd 的相关性比另两段苗期好(表 2)。三叶期呈极显著负相关($r = -0.8807, P = 0.01$),而返青期 $r = -0.6607$,拔节期 $r = -0.5227$,都不相关。同时,三叶期的试验期最短。综合衡量,暂定三叶期为最佳采样期,用来计算当标临界值,即把食品卫生标准 0.2 代入三叶期苗 Cd 与籽粒 Cd 的相关方程: $Y_{\text{籽}} = -0.3505 + 0.767X_{\text{苗}}$ ($r = -0.9962, P = 0.01$),所计算的幼苗 Cd 的当标临界值为 $0.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.2 油菜含 Cd 量与达标临界值

油菜苗期、成熟期含 Cd 与土壤投 Cd 量之间的关系见表 3。①苗 Cd 与土壤投 Cd 的相关系数 $r = 0.9981$,成熟期与土壤投 Cd 的相关系数 $r = 0.9975$,苗 Cd 与成熟期 Cd 的回归

表 1 小麦各生长期地上部含 Cd 量

mg·kg⁻¹

| 投 Cd 量 | 三叶 | 返青 | 拔节 | 抽穗叶 | 籽粒 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CK | 0.15 | 0.52 | 0.10 | 0.08 | 0.06 |
| 0.5 | 1.54 | 2.27 | 1.96 | 0.54 | 0.72 |
| 1 | 2.55 | 3.14 | 3.40 | 0.99 | 0.81 |
| 3 | 6.17 | 8.33 | 8.32 | 3.02 | 4.86 |
| 6 | 10.30 | 12.09 | 14.08 | 6.53 | 8.35 |
| 10 | 16.75 | 17.94 | 16.96 | 7.86 | 11.64 |
| 20 | 25.68 | 24.10 | 33.84 | 18.00 | 19.58 |

表 2 小麦各生长期吸收率(植物 Cd/土壤 Cd)

%

| 土壤 Cd 浓度(mg·kg ⁻¹) | 三叶 | 返青 | 拔节 | 籽粒 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 0.068 | 2.20 | 7.65 | 1.47 | 0.88 |
| 0.568 | 2.71 | 3.99 | 3.45 | 1.27 |
| 1.068 | 2.39 | 2.94 | 3.18 | 0.76 |
| 3.068 | 2.01 | 2.71 | 2.71 | 1.58 |
| 6.068 | 1.70 | 1.99 | 2.32 | 1.37 |
| 10.068 | 1.66 | 1.78 | 1.68 | 1.16 |
| 20.068 | 1.28 | 1.20 | 1.68 | 0.98 |
| 吸收率与土 Cd 的相关系数 | -0.880 7 | -0.660 7 | -0.522 7 | -0.058 4 |

方程为: $Y_{\text{苗}} = -0.488 + 0.774X_{\text{土}}$ ($r=0.9854, P=0.01$) 上述三种二元回归分析彼此都呈极显著正相关, 说明油菜苗 Cd 可以指示土壤污染, 并可代替其成熟期 Cd 确定当标临界值。其方法为计算与蔬菜食品卫生标准($0.05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}, \text{fw}$)所对应的幼苗 Cd。代入上述回归方程, 所得结果 $0.70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 即为油菜幼苗 Cd 的当标临界值。②苗 Cd 含量都高于成熟期 Cd, 除最大的处理 $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 外, 其余几乎都为成熟期的 3 倍(表 3), 说明油菜对土壤 Cd 吸收苗期强于成熟期, 与小麦一样, 油菜幼苗比成熟期更适宜指示 Cd 污染。

表 3 油菜苗期和成熟期含 Cd 量

mg·kg⁻¹, fw

| 项 目 | 处 理 浓 度, mg·kg ⁻¹ | | | | | | | |
|-----|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | CK | 0.5 | 1 | 3 | 6 | 10 | 20 | 50 |
| 苗期 | 0.04 | 0.16 | 0.29 | 0.85 | 1.45 | 2.44 | 4.54 | 13.28 |
| 成熟期 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.31 | 0.51 | 0.81 | 1.83 | 10.30 |

2.3 大豆吸 Cd 量与达标临界值

大豆幼苗 Cd、籽粒 Cd 与土壤投 Cd 见表 4。可见: ①土壤 Cd 在 $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下时, 大豆苗 Cd 与土壤投 Cd 呈极显著正相关($r=0.9708, P=0.01$), 说明在此浓度范围大豆苗可以指示土壤污染。投 Cd 量增加后, 如 $0\sim 20$ 或 $0\sim 50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 范围, 大豆苗 Cd 与土壤 Cd 皆不相关($r=0.5971$ 和 0.5611), 说明大豆苗比小麦苗或油菜苗忍受 Cd 污染的能力更

差;②到成熟期,大豆籽粒吸 Cd 能力有所增强,在投 $0\sim 20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 范围,与籽粒的相关系数为 $r=0.9901$, $P=0.01$,呈极显著正相关。但在 $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理水平,大豆的生长、发育皆不能忍受,出现变异,不结粒;③大豆苗 Cd 与籽粒 Cd,在 Cd 处理 $0\sim 10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 内呈极显著正相关,故可用幼苗 Cd 计算当标临界值。回归方程为 $Y_{\text{籽}}=0.662+0.637X_{\text{苗}}$ ($r=0.9992$, $P=0.01$),将食品卫生标准(大豆尚无,借用粮食标准的 2 倍)代入方程,计算出大豆苗的当标临界值为 $0.53\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (因豆类摄入量比粮食少,用粮食标准的 2 倍是合理的)。

表 4 大豆苗及籽粒含 Cd 量 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

| 项 目 | 处 理 浓 度, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | | | | | | | |
|-----|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | CK | 0.5 | 1 | 3 | 6 | 10 | 20 | 50 |
| 苗 | 0.20 | 0.67 | 1.74 | 5.15 | 7.31 | 9.52 | 5.41 | 8.01 |
| 籽粒 | 0.14 | 0.37 | 1.35 | 3.32 | 4.81 | 6.04 | 11.81 | — |

3 讨论

3.1 当标临界值的应用前景

当标临界值与达标临界值不一样,它不是土壤的含 Cd 全量,而是幼苗含 Cd 量,即作物成熟期可食部位含量达到食品卫生标准时,该植株的幼苗含 Cd 量。而苗 Cd 量都比成熟期高。本试验结果为:幼苗 Cd/食品卫生标准($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)为,小麦 $0.72/0.20$,油菜 $0.16/0.05$,大豆 $0.42/0.4$ (借用粮食标准的 2 倍)。三种作物幼苗 Cd 又都与土壤投 Cd、成熟期含 Cd 量呈极显著正相关。说明,在技术上用当标临界值代替达标临界值可行,只因此种成果并无前人报告,本试验只是可行性探索,仅供鉴别,还需要更多的研究去验证才更可靠。但这种试验方法具有周期短、可回避使用土壤全量,和更敏感于成熟作物表示土壤污染的诱人前景。

3.2 关于幼苗的最佳采样期

从本试验的三种作物看,幼苗对 Cd 的吸收率和生长状况在各生长期都不一样,因而不同采样期所测结果就缺少可比性。本文小麦幼苗分三段采样,三段吸 Cd 率都比籽粒高,都可作采样期。其中三叶期吸 Cd 率略小于其他两苗期,但转移率(苗 Cd/土 Cd)与土壤 Cd 的相关性以三叶期为好,且三叶期试验期最短,综合衡量,笔者认为小麦采样以三叶期最佳。油菜和大豆没有作比较工作,无从定论。但无论如何,如果要提高结果的可比性,采样期需要多作工作,并加以规范为宜。

参 考 文 献

- 1 夏增禄. 中国土壤环境容量. 北京:地震出版社,1992
- 2 Macnicol R D, Backett P H T. Critical tissue concentration of potentially toxix elements. *Plant and Soil*, 1985,85:107~129
- 3 Lehn L, Bopp M. Prediction of heavy metal concentration in mature plants by chemical analysis of seedlings. *Plant and soil*,1987,101:9~14
- 4 青长乐,牟树森,蒲富永. 论重金属毒性临界值. *农业环境保护*,1992,11(2):51~56
- 5 杨卓雅,王宏康. 污泥施肥铅对作物污染的研究. *环境科学*,1993,14(6):8~11