

研究简报

镉对农作物生长发育的影响与吸收累积的关系

董克虞 陈家梅¹⁾

(北京市农科院农业环境保护研究所)

1961 年日本发现“骨痛病”，于 1968 年认定系食用含镉大米中毒所致。十多年来镉对人体和动物的毒性已有不少报道。但对植物，特别是对农作物的危害，报道尚不多。1978 年以来我们进行了研究，发现镉对作物生长发育和吸收累积有一定的相关性。

材 料 和 方 法

此项实验进行了三年，共种植作物 336 盆，供试作物及处理设计见表 1。试验采用 $\phi 27 \times 27$ 与 30×30 厘米带釉盆钵，各装土 12 与 20 公斤。土壤采自本院及双桥公社农田。土质为粉质沙壤土，pH7.8—8.2，肥力中等，含镉量 0.04—0.06ppm。各处理组内装土施肥等田间管理都相同。

表 1 实验处理设计*

组别	作物名称	种植方式及天数	投加化合物种类及浓度
1	小麦	种子直播 260 天	CdS CdI ₂
2	水稻	幼苗移栽 120 天	0、0.1、0.5、1、2、4、6、8、10
3	心里美萝卜	种子直播 100 天	
4	玉米	种子直播 95 天	CdS CdI ₂
5	小水萝卜	种子直播 55 天	0、1、6、10
6	花生	种子直播 140 天	CdSO ₄
7	甘薯	茎叶扦插 160 天	0、1、10
8	马铃薯	茎块直播 80 天	
9	白菜	幼苗移栽 100 天	
10	水稻	幼苗移栽 120 天	CdS CdSO ₄
11	小麦	种子直播 120 天	0、10、20、50、100、200

* 每处理三重复

在作物的不同生育期观察记载作物生长状况，可食部位成熟时收获、考种、测定植株各部位干重和含镉量。测定方法：土壤用王水-高氯酸法、植物样品用硝酸-王水湿法消化；AA-610S 型(日产)原子吸收分光光度计测定。

结 果 与 讨 论

一、在 0—10ppm 的投加量下，镉对 9 种农作物生长发育的影响与吸收累积的关系在此投加量（即投加浓度——近于土壤总镉量）下 9 种作物种子发芽、生长、开花和结实都正常。从表 2 可见，随着 CdS 投加量的增加，作物可食部位干重有下降的趋势，含镉量有增加的趋势。在 1—6ppm 的投加量下，CdI₂ 对作物生长还有一定刺激作用。花生、甘薯、马铃薯、白菜投加的化合物为 CdSO₄，干重和含镉量的变化趋势与投加 CdS 和 CdI₂ 大体相似。

分析统计土壤投加量与小麦、水稻、萝卜各部位干重与含镉量的相关性(见表 3)。结果表明，在 0—10ppm 的投加量下，随着投加量的增加，干重有下降的趋势(r 为负值)，但 $P > 0.05$ ，说明负相关不明显。而投加量与作物可食部位和茎叶含镉量成显著性正相关($p < 0.01$)。上述表明：0—10ppm 的投加量对作物生长发育的影响虽不显著，但农作

1) 参加实验工作的还有邓小莹、邢策华、李国安同志。

表 2 土壤投加量与作物可食部位干重(克/株)和含镉量(ppm)的关系

土壤投加量 (ppm)		籽 粒				糙 米		块 根			
		小 麦		玉 米		水 稻		心里美萝卜		小水萝卜	
		干重	含量	干重	含量	干重	含量	干重	含量	干重	含量
CdS	0	1.56	0.03	79.0	0.008	1.26	0.012	36.1	0.05	2.59	0.15
	1	1.53	0.15	74.0	0.008	1.21	0.013	29.6	0.20		
	6	1.48	1.11	60.9	0.008	1.09	0.015	22.8	2.1	2.48	2.4
	10	1.39	1.73	54.0	0.009	1.19	0.015	28.7	2.4	2.26	3.6
CdCl ₂	0	1.56	0.03	79.0	0.008	1.26	0.012	36.1	0.05	2.59	0.15
	1	1.26	0.32	84.4	0.010	1.33	0.012	47.3	0.52		
	6	1.56	1.70	84.0	0.011	1.15	0.024	22.8	2.8	2.83	3.8
	10	1.41	3.16	40.0	0.011	0.21	0.030	32.0	3.3	2.65	6.0

表 3 土壤投加量与作物各部位干重和含镉量的相关系数(r)

投加化合物 种类	小 麦			水 稻			萝 卜		
	籽 粒		茎叶含量	糙 米		茎叶含量	块 根		茎叶含量
	干重	含量		干重	含量		干重	含量	
CdS	-0.410	0.988**	0.993**	-0.630	0.996**	0.980**	-0.553	0.994**	0.987**
CdCl ₂	-0.391	0.980**	0.782*	-0.657	0.997**	0.982**	-0.647	0.968**	0.997**

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

物食用部位含镉量可达到和超过日本规定的 0.4ppm (大米)的食用卫生标准。

二、在高剂量的投加量下,小麦、水稻生长发育与吸收累积量的关系

1. 水稻

从实验观测得知, 0—200ppm 的投加量对水稻生长发育无显著影响。分析统计土壤投加量与地上各部位干重和含镉量的相关性(见表 4), 结果表明: 投加量与地上部干重负相关不明显 ($p > 0.05$), 与植株各部位含镉量成显著性 ($p < 0.01$) 正相关。以上说明, CdS 与 CdSO₄ 的投加量在 200ppm 时, 水稻虽有吸收, 但累积量还不会对水稻产生显著性危害。

投加 CdCl₂ 与投加 CdSO₄ 和 CdS 相似, 因投加量较大 (0—1000ppm), 投加量与干重成显著性负相关。当糙米干重减少 10% 时,

通过相关方程式 (见表 4) 计算, CdCl₂ 的投加量为 87.6ppm, 此时糙米含镉量为 0.53ppm, 与投加 CdSO₄ 165ppm 时糙米含镉量相等, 为投加 CdS 200ppm 时糙米含镉量的 1.54 倍。因此可以认为, CdS 与 CdSO₄ 的投加量在 200ppm 以下, 投加量与植株各部位干重相关性不明显是因为在此投加量下水稻植株吸收太少, 体内累积量还不足以对作物产生显著性危害。当 CdCl₂ 的投加量为 100ppm 时, 水稻出现受害症状: 叶色失绿, 叶尖干枯, 叶脉上出现褐色斑点和条纹。随投加量增加而受害加剧, 700ppm 时出现整株死亡现象。

以上是水稻淹水栽培的实验结果, 如改用湿润法 (不保持水层) 栽培, 米镉量要增加 8—12 倍^[2,3,5]。在此情况下, CdCl₂、CdSO₄、CdS 的投加量分别为 6.6、12、23ppm 就可出现平均含镉量为 0.4ppm 的镉米。

表 4 土壤投加量 (X) 与水稻各部位干重(克/盆)及含镉量 (ppm) 的相关性

投加化合物种类及投加量	y	相 关 性	
		r	方 程 式
CdS 0—200ppm	地上部干重	-0.830*	
	籽粒干重	-0.287	
	根含镉量	+0.992**	$y = 2.2 + 0.35x$
	茎叶含镉量	+0.979**	$y = 0.2 + 0.0231x$
	颖壳含镉量	+0.977**	$y = 0.02 + 0.00238x$
CdSO ₄ 0—200ppm	地上部干重	-0.531	
	籽粒干重	-0.719	
	根含镉量	+0.999**	$y = 0.6 + 1.06x$
	茎叶含镉量	+0.982**	$y = 0.2 + 0.060x$
	颖壳含镉量	+0.996**	$y = 0.02 + 0.0052x$
CdCl ₂ 0—1000ppm	地上部干重	-0.973**	$y = 180 - 0.106x$
	糙米干重	-0.971**	$y = 68.3 - 0.078x$
	根含镉量	+0.756	
	茎叶含镉量	+0.910**	$y = 0.84 + 0.0550x$
	糙米含镉量	+0.981**	$y = 0.002 + 0.006x$

* P<0.05 ** P<0.01

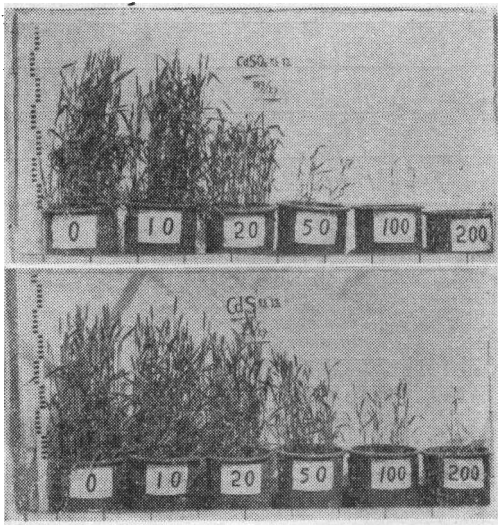


图 1 小麦在镉不同投加量下生长状况

2. 小麦

同样处理浓度,如种植小麦,CdSO₄、CdS的投加量分别为10与20ppm时,小麦就出现受害症状:叶色发黄、叶尖干枯,分蘖减少,生长迟缓。投加量再增加受害加剧:叶

脉发白,叶片枯干,不开花不结实,直至死亡(见图1)。

统计结果表明:投加量与小麦株高、地上部和籽粒干重成显著性负相关,与植株各部位含镉量成显著性正相关(见表5)。

从表6可见,小麦不结实时,CdS与CdSO₄投加量为85.7与44.6ppm。从方程式推算:麦粒含镉量每增加0.1ppm,干重下降0.7%(CdS)与1.0%(CdSO₄);CdS与CdSO₄的投加量为1.2与1.5ppm可出现平均含镉量为0.4ppm的“镉麦”,此时麦粒干重较对照减少2.8%与4.7%。

实验结果表明,制定灌区土壤镉污染容量主要依据土壤所种植作物可食部位(麦粒)含镉量是否能达到卫生标准来确定,而不单根据农作物生长发育是否会受到影响来决定。

小 结

实验表明,土壤投加量与作物含镉量成

表 5 土壤投加量(X)与小麦株高(厘米)各部位干重(克/株)和含镉量(ppm)的相关性

投加化合物种类	y	相 关 性	
		r	方 程 式
CdS 0—200 ppm	株 高	-0.993**	$y = 58.0 - 0.293x$
	地上部干重	-0.856*	$y = 2.60 - 0.016x$
	籽 粒 重	-0.924*	$y = 1.20 - 0.014x$
	茎叶含镉量	0.9997**	$y = 0.7 + 0.558x$
	籽粒含镉量	0.9995**	$y = 0.04 + 0.263x$
CdSO ₄ 0—200 ppm	株 高	-0.984**	$y = 58.9 - 0.618x$
	地上部干重	-0.856*	$y = 2.57 - 0.031x$
	籽 粒 重	-0.940*	$y = 1.25 - 0.028x$
	茎叶含镉量	0.9941**	$y = 1.89 + 0.789x$
	麦粒含镉量	0.9992**	$y = 0 + 0.354x$

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

表 6 麦粒、糙米含镉量为 0.4ppm* 及减产 10% 直至死亡时土壤投加量 (ppm)

作 物	投加化合物种类	*	减 产		不结实	死 亡
			10%	50%		
水稻 糙米	CdS	233	>200			
	CdSO ₄	123	≥200			
	CdCl ₂	66.5	87.6	438		790
小麦 籽粒	CdS	1.5	8.6	44	85.7	161
	CdSO ₄	1.2	4.5	22.3	44.6	83

显著性正相关。当吸收累积量达到一定数值后土壤投加量与作物各部位干重成显著性负相关。CdCl₂的投加量为 87.6ppm 时,糙米减产 10%。CdS 与 CdSO₄的投加量为 8.6 与 4.5ppm 时,小麦减产 10%。投加量为 1.5 与 1.2ppm 时,出现平均含镉量为 0.4ppm 的麦粒。制定镉的土壤环境容量、农用污泥含镉量的限量标准和农用污水排放标准要以小麦籽粒含镉量是否达到卫生标准为根据。为防止镉对粮食的污染,对遭到镉污染的农田要

种植水稻而不种植小麦。

参 考 文 献

- [1] 陈铨荣等,环境科学, 3, 4(1978).
- [2] 陈 涛等,环境科学, 1(5), 7(1980).
- [3] 辽宁林业土壤研究所,环境污染与生物净化, pp. 70—71, 74—76, 科学出版社, 1976 年.
- [4] Bingkam, F. T. et al. Journal of Environmental Quality, 5(1), 57—60 (1976).
- [5] John, Matt k., Environmental Pollution, 4(1), 7—16(1973).
- [6] 董克虞等,环境科学, 2(3), 6—12(1981).