

用^{115m}镅研究水稻对镅的吸收和分配规律

陈铨荣 石 英

(中国科学院林业土壤研究所)

镅是一种具白色光泽而富有延性的重金属。它与锌具有相类似的特性,因此,镅常以硫化物锌伴随生成闪锌矿。所以,在开采和冶炼锌矿时,有可能使大量的含镅废水造成外界环境的污染^[1]。同时,镅在工业上的用途也较广泛,如镀镅、易融镅合金、镅颜料等。特别是近年来,它的用量愈来愈大。在使用镅的过程中,也能使含镅废水污染外界环境。

在自然界中,一般地壳的含镅量为 0.18 ppm,土壤为 0.5—1.0 ppm,植物为 0.2—0.8 ppm。人们都认为镅不是植物生长必须元素。当含镅废水长期不适当的灌溉稻田时,除了稻的产量直接受到影响外,植株还能吸收土壤中的镅并在大米中积累。根据国外报导,如人们长期食用含镅 1 ppm 以上的大米,就会造成骨痛病。

为了对含镅废水的排放标准提供科学依据,我们利用放射性镅进行了水稻的吸收和运转规律的研究。

试验材料与方法

本实验是在温室盆栽条件下进行的。土壤采自林土所植物园的草甸土,含速效性镅为 0.05 ppm。每盆均装 6 公斤风干土。放射性同位素^{115+115m}镅是由中国科学院原子能所供给的金属镅片,用 1N 盐酸溶解成氯化镅。实验水稻品种为京引 177,每盆三穴,每穴四株。每个处理重复三次。测量时,每个实验植株除水培外,均进行灰化,然后称取一定量灰分于玻璃碟中,在低窗钟罩型计数器上进

行测量。

试验结果

一、水稻不同生育期对镅的吸收和分配

(一) 苗期对水培液中镅的吸收速度

据报导,重金属元素如镅、铅等不是植物生理上的必须元素,但是,植物能从外界环境中吸收和积累它们,以致达到一定的程度。但它们的吸收速度如何,分配情况如何,还不是很清楚的。为此,我们进行了稻苗吸收水培液中镅的试验。该营养液为 ASPINO 混合液,每个处理的水培液为 25 毫升,放射性镅为 0.93 微居(含稳定性镅 70.1 微克),水培液的 pH 为 6 左右。实验前,使试验稻苗先在营养液中生长 5 天,然后再进行实验。实验结束后,用稳定性镅溶液冲洗实验稻苗根系,烘干、称重、测量。结果列于表 1。

表 1 稻苗吸收培养液中镅的速度状况

单位: 脉冲/分/50 毫克干物质

处理时间	地上部	地下部
8 小时	6*	236
24 小时	28	570
3 天	210	2017
5 天	315	2715

* 未超过本底

从表 1 结果看出,稻苗在水培液中经过 8 小时后,植株根系积累了镅,而植株地上部其量极微。随着处理时间的增加,植株地上部能积累一定量的镅。但是,经过 5 天后,绝

大部分的镭(约 86%)仍然积累在根部。

(二) 不同生育期水稻对土壤中镭的吸收作用

本试验是把放射性镭溶液与土壤均匀搅拌装盆。每个处理为 180 微居(比强 30 微居/公斤干土),含稳定性镭 13.72 毫克。插秧后,于不同生育期取样,分析测量(见表 2)。在水稻采样的各个生育期中,从外表观察,植株

表 2 水稻不同生育期对土壤镭的吸收

生育期	吸收镭总量 (微克/盆)	相对比较 (以成熟期为100)	回收率 (%)
分蘖期	0.23	0.1	0.002
抽穗开花期	32.00	91.1	0.23
灌浆期	33.13	94.2	0.25
成熟时	35.11	100	0.26

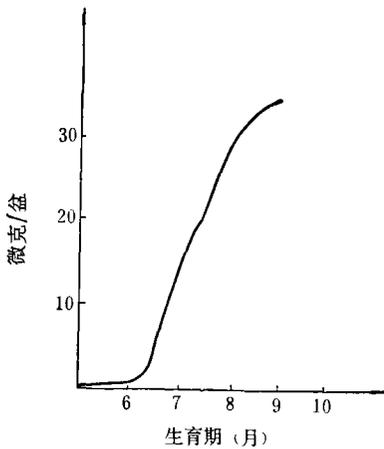


图 1 水稻植株对土壤中镭的吸收曲线

生育正常,没有表现出镭的毒害反映。

从表 2 和图 1 明显的看出,从插秧到分蘖期的 36 天中,由于植株的营养生长比较缓慢,干物质积累较少,植株吸收土壤中的镭仅为 0.23 微克/盆。随着植株营养生长的加速,干物质积累的增多,植株对土壤中镭的吸收达到最高量。例如图 1 中,植株由分蘖期到抽穗开花期的 89 天中,每盆植株吸收的总镭量就达到了 32 微克,占镭回收率的 0.23%。如以成熟期每盆植株吸收的总镭量为 100 的话,则在抽穗开花期以前吸收的镭量就占整个生育期吸收总镭的 91%。抽穗开花期以后,也就是在植株的生殖生长期以后,虽然植株还能吸收土壤中一定量的镭,但其吸收速度极缓慢,只占整个生育期吸收总镭量的 9%。试验结果表明,水稻植株对土壤中镭的吸收,绝大部分是在营养生长期。

水稻植株对土壤中镭的吸收很少,在植株的成熟期,其镭的回收率也仅有 0.26%。为了探明这一原因,我们在分蘖期和成熟期取完植株样品后,对盆栽土壤进行了速效性镭的测定,用 0.1N 盐酸的浸提镭来反映植株的吸收作用:测得在分蘖期速效镭占总镭的 93%,成熟期占 99%。试验表明,在人为条件下,盆栽土壤中的镭,经过水稻的整个生长季,土壤并没有对镭固定。

(三) 镭在水稻植株各部位的分配状况

从上述实验可知,水稻植株从土壤中吸

表 3 成熟期水稻各部位镭的分配状况

植株部位	吸收镭总量 (微克/盆)	放射性计数 (脉冲/分/1克干物)	含镭量 (微克/1克干物)	含镭 (%)
叶和叶鞘		148	0.67	3.7
茎杆		375	1.70	8.9
穗轴		44	0.20	1.1
穗壳		37	0.16	0.9
糙米		35	0.15	0.8
植株地上部	35.11 (17.5%)			
植株根系	164.00 (82.5%)	3540	16.12	84.5

收了一定量的镉。那么,被吸收的镉在植株中是怎样分配的呢?我们按植株的各个部位,分别测定了放射性镉。

从表 3 明显地看出,在整株水稻中镉的分配规律来看,地下部分比地上部分积累的镉要多得多。水稻根部积累的镉为164微克,占植株吸收总镉量的 82%,地上部只积累镉 35.11 微克,占总镉量的 17%,和苗期的水培试验结果相类似。

在植株地上部各个部位镉的分配次序为:根>茎秆>叶和叶鞘>穗轴>稻壳=糙米。

同时,对糙米进行去糠,分别测量精米和米糠中含镉量(10%的去糠率),从单位干物质中镉的含量来看,米糠要比精米高 20% 左右。

(四) 植株各叶片(包括叶鞘)中含镉量

单位物质中的含镉量分析结果看出,植株的下部叶(第五叶)含镉量最多,占镉量 49.2%,越向上着生的叶片,含镉量越少,呈一梯度逐步向上递减。植株的这种分配规律,在水稻孕穗以后,即在植株顶部的剑叶形成后,就很明显地反映出来了。镉在植株中这种分配情况,与⁴⁵钙、⁹⁰锶试验有类似之处。

二、水稻不同生育期,污灌放射性镉对糙米含镉量的作用

由于水稻在各个生育期有不同的生长中心,它们由外界环境中吸收的营养物质也是不一样的。为了找到含镉污水灌溉后使大

米含镉量最少的生育期,我们在水稻不同生育期分别进行了污灌放射性镉试验。在各期试验中,所用的放射性镉是以稳定性镉为载体(均为 15.28 毫克的溶液),只加一次。水稻成熟后,取其糙米,灰化,测量(见表 4)。

从表 4 明显地看出,在水稻的不同生育期灌溉放射性镉时,糙米中的含镉量很不一样。越到生育后期,糙米中含镉量越多,如以苗期为 100,灌浆期则为 151,也就是说,糙米中的镉增加了 50%。

这个试验充分说明了,因生育的需要,在水稻生殖生长后期,必须由土壤中吸收大量的无机物质,其中也包括了金属镉。因此,在生产实践上,在水稻抽穗开花后,必须停灌含镉污水。

另外,我们把盆栽土壤进行分层取样测量,发现在 18 厘米厚的土层中,镉集中分布于表土层的 0—2 厘米范围内。这表明含镉废水污灌水稻时,只有水稻表层根系吸收少量的镉,水稻籽实的含镉状况主要取决于整个耕作土层中镉的污染状况。

三、土壤中不同镉剂量对水稻糙米中镉含量的作用

(一) 不同放射性镉剂量对糙米镉含量的作用

米中的含镉量,通常为 0.1ppm 或 0.1ppm 以下。一般情况下,米中的含镉量随着土壤中含镉量的增加而增加。但是,土壤中含镉量与糙米中含镉量之间是否呈相关性?是否有可能再从已知土壤的含镉量推算和估计米

表 4 水稻不同生育期,污灌放射性镉在糙米中的分配

污灌时期	糙米含镉量 (pph)	相对比较 (以苗期为 100)
苗期	102	100
抽穗期	114	120
开花期	139	136
灌浆期	154	151

表 5 不同放射性镉剂量对糙米中含镉量的作用

^{115m} Cd 剂量 (微居/公斤土)	土壤应含载体镉 (ppm)	产量 (克/盆)	糙米镉含量 (pph)
20	1.53	45.4	130
60	4.58	45.2	329
180	13.75	43.2	812
对照	0	47.0	0

中的含镉情况? 为此, 我们进行了放射性镉的不同剂量试验。

从表 5 结果看出, 含镉废水灌溉水田后, 镉对水稻的产量有影响。随着土壤含镉量的增加, 则对水稻的减产作用越明显。土壤中含镉量增加到 13.75 ppm 时, 籽实产量就减少 8% 左右。水稻的镉临界浓度为 10 ppm^[2]。镉对植物的毒害作用主要是镉干扰磷的代谢所造成。

从土壤中含镉量对籽实糙米含镉影响来看, 土壤含镉量增加, 糙米的含镉量也随之增加, 但它们之间不是正比关系, 即糙米含镉量和土壤含镉量的比值是随着土壤含镉量的增加而下降的。如当土壤中含镉量为 1.53 ppm 时, 糙米的含镉量为 0.13 ppm。糙米: 土壤为 1:12; 当土壤含镉量增加到 13.75 ppm 时, 糙米的含镉量为 0.812 ppm, 糙米: 土壤为 1:16。

(二) 不同稳定性镉剂量对糙米含镉的影响

我们用放射性镉进行水稻的剂量试验的同时, 还做了稳定性镉的剂量盆栽试验。把氯化镉溶液以不同剂量与土壤混合拌匀, 水稻成熟期取其糙米, 用 AA-1 型原子吸收分光光度计测定糙米中的含镉量。试验结果(表 6)表明, 糙米中含镉量和放射性镉剂量试验一样, 土壤中镉浓度增加时, 糙米的含镉量也随之增加, 但它们之间也不是正比关系。不过, 放射性镉剂量试验中, 糙米的含镉量比稳定性镉试验要高得多。

四、水稻叶面对镉的吸收作用

镉可能污染水稻籽实的另一条途径是水稻的叶面镉污染。因此, 我们进行了水稻叶面对镉的吸收和转移试验。在水稻开花期和灌浆期分别选取大小相似的 6 株水稻, 在剑叶的中央部位, 捆上一面积为 2 平方厘米的湿润棉花条, 将 pH 约为 6 的放射性同位素 ¹¹⁵镉溶液 1 滴置于棉花条上, 镉的放射强度

为 0.38 微居(含载体 29 微克)。然后, 将盆置于通常的自然条件下, 一个月以后收获, 测量籽实。

结果证明, 在水稻的开花期和灌浆期, 水稻叶面吸收了放射性镉, 并转移到糙米中, 其总镉量分别为 0.14 和 0.15 微克, 约有 0.5% 的镉运转到了籽实。这种吸收速度远比根系的吸收能力要强。这就说明, 叶面能吸收镉, 并能转移, 再分配。因此, 在空气污染比较严重的地区, 应该考虑到空气中镉灰颗粒沉降于植物叶面而引起农作物籽实的污染问题。

小 结

从放射镉示踪的水稻吸收和分配试验, 我们初步得出如下结论:

1. 在水稻生长发育的各时期中, 水稻对土壤中镉的吸收主要是在抽穗开花以前的营养生长期, 它占整个生育期吸收总镉的 91%。到了成熟期, 水稻地上部对土壤中镉的回收率为 0.26%。

2. 镉在水稻各部位的分配规律为: 根占植株吸收总镉量的 82%, 地上部占 17%。地上部单位干物质镉含量的分配规律为: 茎秆(1.70) > 叶加叶鞘(0.67) > 穗轴(0.20) > 稻壳(0.16) > 糙米(0.15)。在植株的各层叶片中, 下层叶片含镉最多, 向上逐步递减。

3. 加于土壤中的镉, 经过一个水稻生长季, 用 0.1N 盐酸浸提, 94% 以上的镉都能提取出来。

4. 在水稻的不同生育期, 用含镉污水灌溉水稻时, 越到生育后期, 进入糙米中的镉则越多。盆栽条件下, 污灌于表土层的放射性镉, 集中分布于 0—2 厘米的表土层, 极难向下移动。

5. 糙米中的含镉量与土壤中的含镉量有相关性, 但它们之间不是正比的关系。

6. 在水稻的开花期后, 在剑叶的叶面施镉时, 镉被叶片吸收而能再分配到籽实中去。

(下转第 32 页)

令,指令间最小时间间隔为1秒。周期最长可达9999秒,每个周期最多可贮存256个程序数码。显然,这样的程控能力远超过其它类型的程控器,用以控制一台色谱仪,其能力是有富裕的。F2301型程序器和仪器联接可以连续运转七天七夜以上,动作正常,检测可靠。其可取的优点是更换程序简便,只需更改一下所编排的程序数码。如ST01仪器从五组分监测状态改为三组分(CO、CH₄、TCH)监测时仅需改变部分程序数码。

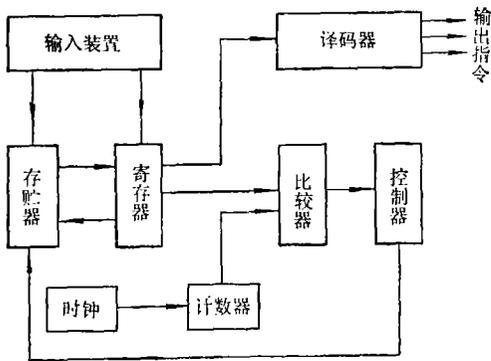


图10 F2301方块组成图

ST01仪器随大气污染监测车已多次在现场进行连续监测,取得城市大气中CO、总烃等污染的大量数据。图11为仪器于某交通路口实测CO污染数据图。图12为仪器于某石油化工厂周围实测总烃污染数据图。均由小时平均值绘制。随车携带了标定气经

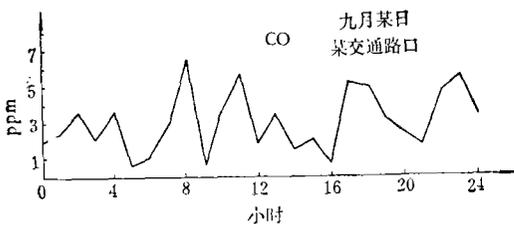


图11 实测CO污染数据图

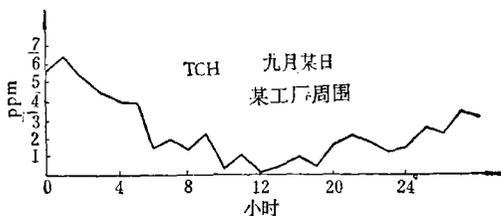


图12 实测总烃污染数据图

常对仪器作定量标定,以保证监测数据的可靠性,其中总烃标定是以甲烷为基准。

除此,ST01仪器可用于大气监测研究,如更变色谱条件亦能在工厂实验室中测定流程中微量气体。如仪器改用电子捕获检测器可以自动监测大气中剧毒的有机氟气体(全氟异丁烯、全氟丙烯)。如改用火焰光度检测器也可以自动监测大气中二氧化硫、硫化氢等硫化物污染。

参 考 资 料

- [1] Villalobos, R. et al. JSA Transaction 15, 2 (1976).
- [2] Colket, M. B., et al. Environ. Sci. Technol. 8, 43 (1974).
- [3] Tesarik, K. and Krejci, M., J. Chromatogr. 91, 539 (1974).
- [4] Ghosh, A. K. and Rajwar, D. K., J. Chromatogr. 117, 29 (1976).
- [5] Eaton, H. G., et al., J. Chromato. Sci. 11, 275 (1973).
- [6] New Products, Chromatographia, 11, 593 (1976).
- [7] 户室美智男,化学经济, 21, 70 (1974).
- [8] Williams, F. W. and Eaton, H. G., Anal. Chem., 46, 179 (1974).
- [9] Martin, F. D., Instru. Technology, 21, p. 51 (1976).
- [10] 中国科学院化学研究所色谱组,分析化学, 3, 188 (1975).
- [11] David, D. J., Gas Chromatographic Detectors, p. 51 (1974).

(上接第7页)

参 考 资 料

- [1] 松山良三等《土壤污染,公害と防止对策》环境厅水质保全局,白亚书房,昭和48年。
- [2] Iwao Dnai Tetsuo Haza and Yoji Sonoda, Soil Science and Plant Nutrient, 21 (1), 37-40, (1975).