

# 镉胁迫下小麦根系分泌物的变化

张 玲<sup>1</sup>, 王焕校<sup>2</sup>

(1. 北京大学城市与环境学系, 北京 100871; 2. 云南大学生物系, 昆明 650091)

**摘要:**通过水培和砂培两种方法, 研究了镉胁迫下小麦(*Triticum aestivum* L.) 根系分泌物变化。通过研究镉对小麦根系分泌氨基酸和糖, 根系分泌其它一些次生代谢物质等的影响, 以及根系分泌物对蔬菜种子萌发的影响, 探讨镉胁迫下植物根系的生理生态效应。研究结果表明: 镉胁迫下, 小麦根系分泌物无论在量上还是质上都有变化。镉胁迫下根系分泌的电解质、糖类、氨基酸以及其它一些次生代谢物质都有所变化, 但变化情况有差异。电解质外渗率、糖类随  $Cd^{2+}$  浓度升高而增加, 在低浓度  $Cd^{2+}$  作用下 (0.5 mg/L), 随处理浓度的升高, 氨基酸分泌量增加; 当处理浓度高于相应浓度时, 氨基酸分泌量随浓度升高而减少。随  $Cd^{2+}$  浓度升高, 次生代谢物分泌种类减少。这说明小麦通过改变根分泌作用而缓解镉危害。由于根系分泌次生代谢物的活动比较复杂, 因而根系的分泌作用有待于进一步研究。根系分泌物中可能含有某些物质抑制萝卜、白菜种子萌发, 这是涉及到植物他感作用的问题, 值得并有待于进一步研究。初步分析小麦根系在不同的环境中对镉胁迫的响应方式, 为以后根分泌物的深入研究提供了一定的思路, 也为镉污染区农作物的合理栽培提供新的参考资料。

**关键词:**小麦根系; 镉; 根系分泌物; 生理生态

## Changes of Root Exudates to Cadmium Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.)

ZHANG Ling<sup>1</sup>, WANG Huan-Xiao<sup>2</sup> (1. Department of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing 100871; 2. Department of Biology, Yunnan University, Kunming 650091, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 496~502.

**Abstract:** Most of the areas in farmlands is polluted by cadmium (Cd). It will be harmful to human being by food cycles. It is important to study the effects of Cd on crops. The aim of the study presented here was to determine the effects of Cd on wheat (*Triticum aestivum* L.), a common crop planted in China. The study was carried out in the laboratory. Two culturing modes, water-culture medium and sand-culture medium, were used to investigate the physiological and ecological responses of wheat root exudates to cadmium pollution stress. Wheat seedlings were planted in man-made culturing apparatus. Five concentration levels of Cd, 0, 0.5, 5, 15, 50 mg/L, used in the experiment. Exudation of electrolyte,  $H^+$ , sugar, amino acids and other secondary metabolism products in the root were measured. Effects of the exudates on vegetable seed germination were also investigated. The results showed that Cd could affect root exudation. There were the same trends as in changes of root exudates to cadmium stress in wheat in the two culturing modes. Under the stress of Cd, root exudation in wheat changed quantitatively and qualitatively with different Cd concentration. Cd affected the exudation of electrolyte,  $H^+$ , sugar, amino acids and secondary metabolism. It showed promotive effects on the exudation of electrolyte and sugar. It showed promotive effects on the ex-

**基金项目:** 云南省自然科学基金资助项目 (2001C003Q)

感谢云南大学试验中心的王光灿老师、朱光辉老师、杨明攀老师以及云南省微生物发酵重点实验室的李蕾老师在本研究中给我的指导与帮助。本试验根中矿质元素的含量承蒙王老师帮我精心测定; 根系分泌物中的氨基酸含量承蒙杨老师帮我精心测定; 根系分泌物中的次生代谢产物承蒙李蕾老师帮助检测。

收稿日期: 2000-12-20

作者简介: 张 玲 (1974~), 女, 湖北恩施人, 博士生。主要从事植物生理生态、生物多样性研究

udation of  $H^+$  and amino acids when the cd concetration was lower than 0.5mg/L,while inhibition effects were showed when the concentration went up. The classes of components of secondary metabolism decreased when the concentration went up. Because components of the secondary metabolism were very complicated,and the changes of different classes of secondary metabolism were different,suggesting further study on the changes of its products under the stress of Cd pollution was necessary. It showed that the root exudates inhibit the germination of radish and cabbage seeds. Some components of root exudates might inhibit the germination of radish and cabbage seeds,their mechanisms were not very clear yet;this linked with allelopathy issue. Also,it is worthy to be studied further. This paper primarily provides some information on root exudation with a clue and some new references on appropriately culturing in areas polluted by Cd.

**Key words:**wheat roots;Cd;root exudates;physiological-ecology  
文章编号:1000-0933(2002)04-0496-07 中图分类号:Q948.11,S661 文献标识码:A

重金属污染对生态系统,尤其是对陆地生态系统的影响是近年来人们所关注的一个重要的环境污染问题。镉是广泛存在于自然界的一种重金属微量元素。在重金属污染中,镉污染很突出。它不参与生物的结构和代谢活动,但生物体内过量积累  $Cd^{2+}$ ,对生物将产生严重毒害<sup>[1]</sup>。

国内外有关镉对植物影响的研究多是集中在研究镉对植物地上部分的影响方面,如抑制植物光合作用和蒸腾作用,干扰植物的代谢进程,降低植物产品的产量和质量,加速植物衰老等<sup>[2~5]</sup>。但对根系生态效应研究报道不多,由于根系生长在地下,研究起来较为困难。而根系直接与土壤接触,是植物与土壤环境接触的重要界面,对土壤环境更为敏感,更易对土壤环境作出反应。土壤中镉对植物的危害首先会表现在根系的变化上。为了探讨镉胁迫对植物根系统生态效应,本文以小麦为试验材料,采用砂培和水培方法,研究了不同镉浓度对小麦根系分泌氨基酸和糖等方面的影响,以期反映镉胁迫下根系的生理变化,为污染生态学的研究提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用的试验材料为小麦,品种为凤麦 24 号(FM24),购自云南省开远市鸡街镇,是未经任何重金属污染的品种。

1.2 试验方法

1.2.1 培养方法 以长期生长于云南鸡街镇非污染的凤麦 24 为材料。选择均一、饱满的小麦种籽,用 75%乙醇消毒 10min 后,再用自来水冲洗 20min,然后用蒸馏水冲洗干净。用蒸馏水浸种 12h,再催芽 12h。选取露白一致的种子,播于塑料盆中培养。采用两种培养方法:一种是砂培方法,一种是水培方法。砂培方法是塑料盆内装有石英砂,石英砂用 HCl 脱钙并洗去过量的 HCl,然后灭菌处理。露白后的种子播于其上。水培方法是:露白的种子直接播于塑料盆中。每盆 100 粒,放于 LRH-250-G 光照培养箱中培养。用去离子水先培养 2d,待主根长到 2cm 以上,再分别用含不同  $Cd^{2+}$  浓度的营养液培养。每隔 12h 添加 20ml 培养液。每天 12h 的光照(40W 日光灯),光照时培养温度为 25℃;每天 12h 的无光照培养,其培养温度为 14.5℃。每处理重复 6 次,时间 10d。本试验为短期培养,因而暂忽略微生物的作用。

1.2.2 试验设计 营养液配制 利用改良 Hoagland 溶液配方<sup>[6]</sup>。

重金属试剂为  $CdCl_2 \cdot 2H_2O$ ,培养液中 Cd 的含量分别为 0mg/L, 0.5mg/L, 5mg/L, 15mg/L, 50mg/L,以不加镉的为对照。配制好的营养液经过高压灭菌处理。

对试验材料进行处理,将露白的种子放入塑料盆中,用以上含不同  $Cd^{2+}$  浓度的营养液培养。试验组 1 为水培,试验组 2 为砂培。

光照培养箱内数据紫外光消毒灭菌。  
1.2.3 根系分泌物溶液的处理 根系分泌物溶液的收集<sup>[7~9]</sup> 用去离子水处理根。塑料盆中加入 100ml

去离子水,浸泡根 1h,然后再用 100ml 去离子水冲洗根。石英砂培的小麦样品,石英砂与根一起浸泡与冲洗。每 200 株为 1 个处理。一式两份,一份待测电导率;另一份用旋转蒸发仪浓缩至 25ml,用来测糖类和氨基酸。

溶液的电导率 用 DDS-11A 型电导仪测定根系分泌物溶液电导率。再将浸泡有麦苗根系的溶液在沸水浴上加热 20min 后,再测定溶液的电导率<sup>[10]</sup>,以计算根系电解质外渗百分率。

根系泌出物溶液中的糖类和氨基酸 糖类的测定 采用改良蒽酮比色法<sup>[11]</sup>测定可溶性糖和还原性糖的含量。单位为  $\mu\text{g/g}$  根干重。

氨基酸的测定 采用 PICO-TAG 水解氨基酸分析方法。取样 100ml,干燥处理;然后用 6mol/L 盐酸水解 24h,再干燥;然后加三乙胺:乙醇:水=2:2:1 的混合液,又干燥;再加异硫氰酸苯酯:乙醇:三乙胺:水=7:1:1:1 混合液衍生 20min,抽干干燥;最后加样品稀释到 50ml,上样 10 $\mu\text{l}$ 。

色谱柱 PICO-TAG™ 水解氨基酸分析柱

柱温 38℃ 梯度洗脱

根系分泌物溶液对萝卜、白菜种子萌发的影响实验 两种培养方法中,各个处理均收集分泌物溶液,总共 10 个样品液,对萝卜(品种为云南白萝卜)和白菜(品种为小杂 55 号)种子进行萌发实验。每种样品液实验 100 粒种子,种子均匀摆放在垫有滤纸的、直径为 15cm 培养皿中,加入收集的样品液 5ml,用蒸馏水作对照;在恒温箱内萌发,温度控制在 25℃,3d 后,测其萌发率。

2 结果

2.1 镉对小麦根系分泌活动的影响

2.1.1 镉胁迫条件下小麦根系电解质的外渗 对不同  $\text{Cd}^{2+}$  浓度处理的小麦,在两种培养条件下,分别收集其根系分泌物,测定根系分泌物溶液的电导率。从图 1 中,可以看出对照中,水培的小麦根系分泌物溶液电导率大于砂培。两种培养方法中,小麦根系分泌物溶液电导率变化趋势一致,随营养液中  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的增加,小麦根系分泌物的电导率逐渐增加。将浸泡有麦苗根系的分泌物收集溶液在沸水浴上加热 20min 后,再收集测定溶液的电导率<sup>[10]</sup>。计算电解质外渗百分率发现,两种培养方法中,加镉处理的小麦根系分泌物溶液的电解质外渗百分率大于对照。而且,随着  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的升高,小麦根系分泌物溶液的电解质外渗百分率逐渐增大,水培中的小麦根系分泌物溶液的电解质外渗百分率依次为 14.5%、30.3%、38.7%、44.3%、57.2%。砂培中的小麦根系分泌物溶液的电解质外渗百分率依次为 16.3%、18.1%、27.0%、32.2%、42.2%。试验结果表明,镉影响小麦根系电解质的分泌,其分泌量随  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的升高而增加。

2.1.2 镉胁迫下小麦根系分泌物溶液 pH 值的变化

从图 2 中可以看出:小麦的根系分泌溶液的 pH 值,砂培方法中收集的要小于水培方法中收集的。两种培养方法中,根系分泌物溶液的 pH 值变化都有相同的趋势:加镉处理的值都要小于对照。随  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的增加 pH 值增加率减小。数据表中,加镉处理的小麦根系分泌物溶液 pH 值比对照依次增加了 9.5%、7.4%、6.9%、

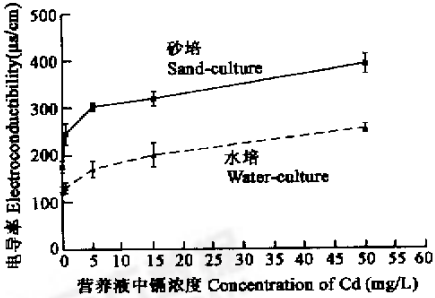


图 1 镉对小麦根系分泌物溶液电导率的影响  
Fig. 1 Effects of Cd on electroconductibility of exudates solution of wheat root

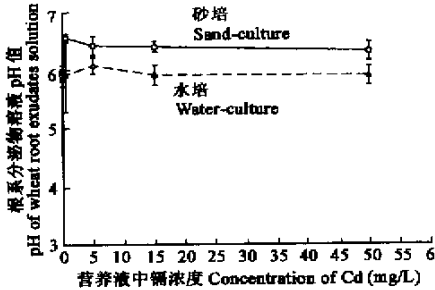


图 2 镉对小麦根系分泌物溶液 pH 值的影响  
Fig. 2 Effects of Cd on pH of wheat root exudates solution

5.4%。其中,当加  $\text{Cd}^{2+}$  浓度为 0.5mg/L 处理时,小麦根系分泌物溶液 pH 值最大。砂培中,加镉处理的小麦根系分泌物溶液 pH 值比对照增加了 9.7%、3.9%、1.0%、0.7%,同样,增加幅度依次减小;在加  $\text{Cd}^{2+}$  浓度为 0.5mg/L 处理中,小麦根系分泌物溶液 pH 值最大。图 2 说明镉影响小麦根系分泌  $\text{H}^{+}$  的活动。随着  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的升高,小麦根系分泌  $\text{H}^{+}$  的活动减弱。

2.1.3 镉胁迫下小麦根系分泌糖类的状况 图 3 反映了镉胁迫下小麦根系分泌糖类的情况。试验表明,随着镉离子的加入,小麦根系分泌的可溶性糖和还原性糖都逐渐增加。无论是砂培,还是水培,对照中根系分泌的可溶性糖量要多于还原性糖的分泌量。对照中水培根系分泌的可溶性糖量大于砂培,还原性糖的分泌量差别不大。但随着  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的升高,水培根系分泌的还原性糖量大于砂培。在水培中,4 种加镉处理的根系分泌的可溶性糖比对照分别增加了 18.6%、41.9%、78.6%、86.8%;还原性糖比不加镉处理时分别增加了 1.4%、9.1%、28.9%、38.6%。在砂培中,4 种加镉处理的根系分泌的可溶性糖比对照分别增加了 12.4%、26.8%、27.5%、51.0%,还原性糖比对照分别增加了 0.6%、4.9%、16.9%、29.4%,水培中糖分泌的变化幅度大于砂培。在水培中,镉对根系分泌可溶性糖和还原性糖的刺激作用大于砂培中的。从图 3 中可以看出,镉对小麦根系糖类的分泌有刺激作用。随着  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的升高,刺激作用增大。水培中的刺激作用大于砂培。

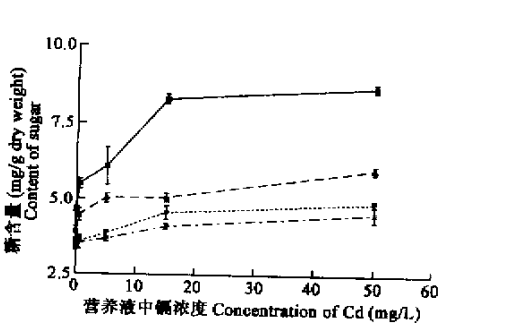


图3 镉对小麦根系分泌糖量的影响

Fig. 3 Effects of Cd on exudates of sugar by wheat root

■水培中可溶性糖含量 Content of soluble sugar(water-culture) △砂培中可溶性糖含量 Content of soluble sugar(sand-culture) ▼水培中还原性糖含量 Content of reducing sugar(water-culture) ▼砂培中还原性糖含量 Content of reducing sugar(sand-culture)

表 1 镉对小麦根系分泌氨基酸的影响

Table 1 Effects of cadmium on amino acid excreted by wheat root

培养方法 Culturing mode		水培 Water-culture					砂培 Sand-culture				
营养液中含量(mg/L) Concentration of Cd		0	0.5	5	15	50	0	0.5	4	15	50
根系分泌物收集溶液中氨基酸的含量(mol/ml) Content of amino acid excreted by wheat root	Asp	2.54	4.06	2.90	2.58	Tr	0.56	3.47	2.05	1.01	Tr
	Glu	7.91	13.34	5.09	3.23	Tr	1.01	6.49	4.34	1.14	Tr
	Ser	10.51	17.10	7.17	8.71	2.01	3.53	6.66	2.41	4.67	4.75
	Gly	16.28	33.14	12.75	13.58	2.02	3.31	9.33	2.33	3.00	7.06
	Arg	3.98	11.79	2.24	1.59	1.51	0.35	6.53	3.20	2.00	1.06
	Thr	10.52	18.15	10.17	7.96	2.20	4.64	6.58	3.00	1.80	0.67
	Ala	19.89	37.81	22.07	13.08	2.19	7.78	9.27	5.38	3.58	5.19
	Pro	5.59	14.58	13.99	7.64	11.72	1.64	2.27	1.95	0.78	1.66
	Tyr	5.40	10.62	9.35	4.45	5.30	2.15	3.76	3.12	2.21	2.15
	Val	12.78	26.85	22.20	10.26	15.16	6.73	3.68	5.65	3.93	5.90
	Met	5.33	6.74	5.09	2.21	8.23	2.31	4.30	1.44	3.41	2.38
	Cys	Tr	2.40	3.39	3.28	3.41	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
	Ile	6.66	14.76	14.36	5.65	7.42	3.15	2.78	2.14	1.99	2.81
	Leu	10.55	22.64	20.64	8.26	10.20	5.33	5.00	3.25	3.38	4.86
	Phe	5.93	11.50	9.48	4.68	6.87	2.78	2.31	1.97	2.02	2.59
	Lys	4.25	10.30	5.02	5.00	5.86	0.16	1.04	1.17	2.65	2.93
	His	Tr	Tr	Tr	Tr	1.81	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr

注:Tr 为未检出

2.1.4 镉胁迫下小麦根系分泌的氨基酸 对 17 种氨基酸的分析结果表明,镉处理对根分泌氨基酸种类

的影响不太大,而对各氨基酸分泌量的变化幅度影响较大。从表 1 中可以看出,水培中各氨基酸分泌量大于砂培。由表 1 可见,营养液中  $\text{Cd}^{2+}$  浓度不同,小麦根系分泌的 17 种氨基酸量的变化趋势一致,在低  $\text{Cd}^{2+}$  浓度作用下,随着  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的升高各氨基酸分泌量增加,超过一定浓度(高于 0.5mg/L)时分泌量减少。 $\text{Cd}^{2+}$  浓度升高到 50mg/L 时,天门冬氨酸(Asp)和谷氨酸(Glu)未检测到。在水培中,对照未检测到半胱氨酸(Cys),而砂培中所有的处理均未检测到半胱氨酸(Cys)。值得注意的是,组氨酸(His)只在水培中镉浓度为 50mg/L 时检测到,在其它所有处理中均未检测到。在水培条件下,半胱氨酸(Cys)的泌出随着镉的加入从无到有。试验中加镉处理的小麦根系分泌的脯氨酸(Pro)比未加镉处理的小麦根系分泌的脯氨酸(Pro)要高。试验说明,镉胁迫下小麦根系分泌氨基酸活动受到影响,一定量的镉刺激根系分泌氨基酸超过一定值后,使分泌量减少。

2.1.5 镉胁迫下小麦根系分泌的次生代谢物的变化 两种培养方法中,镉胁迫下小麦根系分泌的次生代谢物差异很大。从表 2 可以看出,随着  $\text{Cd}^{2+}$  浓度的升高,检测出来的次生代谢物种类数目减少了。对照中检测出来的次生代谢物种类数目最多。对照中砂培中检测出的小麦根系分泌的次生代谢物质种类数目少于水培中的。水培中,5 种不同  $\text{Cd}^{2+}$  浓度(0,0.5,5,15,50mg/L)的营养液处理的小麦根系分泌的次生代谢物已检测出来的种类数目分别为 16 种、11 种、10 种、1 种和 3 种;砂培中,5 种不同  $\text{Cd}^{2+}$  浓度(0,0.5,5,15,50mg/L)的营养液处理的小麦根系分泌的次生代谢物已检测出来的种类数目分别为 12 种、8 种、8 种、2 种和 4 种。从表 2 还可以看出,不加镉处理的小麦根系分泌的次生代谢物,在加镉处理后,有的未检测到了。

表 2 镉对小麦根系分泌次生代谢物质的影响

Table 2 Effects of cadmium on secondary metabolism products excreted by wheat root		
营养液中 Cd 含量(mg/L)	根系分泌物中检测出的次生代谢物质 Secondary metabolism products excreted by wheat root	
Concentration of Cd	水培 Water-culture	砂培 Sand-culture
0	环己醇,环己酮,4-乙基-1,2-二甲苯,1-乙基-3,5-二甲苯,2-乙基-1,4-二甲苯,1-乙基-2,4-二甲苯,1',2,3,5-四甲苯,1-甲基-2,3-二氢化茚,萘,1-甲萘,2-甲萘,正十二醛,十六烯-1-醇,正十四醛,正十八醛,1,13-十三碳二醇二乙酸酯	环己醇,环己酮,2-乙基-1,3-二甲苯,1-甲基-4(1-甲基萘基)苯,1,2,3,4-四甲苯,萘,6-甲基-2-甲基-双环(3.1-1)庚烷,1-甲萘,2,6-二叔丁基苯酚, $\beta$ -倍半水芹烯,10-甲基-十一烷甲酯,三十二烷
0.5	环己醇,环己酮,4-乙基-1,2-二甲苯,2-乙基-1,4-二甲苯,1-乙基-2,3-二甲苯,1-甲-乙-(1-甲基乙基)苯,1,2,3,5-四甲苯,1-甲基-4-(1-甲基乙基)苯,萘,七氯化苯并环庚烯,柠檬酸	环己醇,环己酮,1-己基-3,5-二甲苯,4-乙基-1,2-二甲苯,1,2,3,5-四甲苯,3-甲基-呋喃二酮-(2,5),草酸,N,N'-乙基双甘氨酸
5	环己醇,环己酮,1-乙基-2,4-二甲苯,1-甲基-4-(1-甲基乙基)苯,1,2,3,4-四甲苯,1,2,3,5-四甲苯,萘,柠檬酸,十八酸乙酯,三十六烷	戊二烯-(1,4),草酸,3-甲基-呋喃二酮-(2,5),3-硝基吡唑,5-硝基噻唑,环丁醇 6-甲庚酸-2,戊醛
15	N-甲基乙胺	3-甲基-呋喃二酮-(2,5),草酸
50	环己醇,环己酮,N-甲基-苯乙胺	环己醇,环己酮,草酸,2-硝基-1-癸烯-4-炔

而加镉处理后,又检测到了一些不加镉处理时未检测到的物质。这说明,镉胁迫抑制根系分泌某些物质,而根系对损害发生响应,又分泌出一些物质,这些物质可能会促使根在镉胁迫下继续生长。至于具体是什么样的作用机制,尚待研究。水培和砂培中,相同营养液处理的小麦根系分泌的已检测出的次生代谢物种类也很有差异。这可能与根系所处的环境条件有关。值得注意的是,在一定量镉胁迫下,根系分泌物中检测出有机酸。但是,水培和砂培中检测的有机酸种类不一样。水培中,在  $\text{Cd}^{2+}$  浓度为 5mg/L 和 15mg/L 的处理中检测出柠檬酸。砂培中,在  $\text{Cd}^{2+}$  浓度为 0.5mg/L 和 5mg/L 的处理中检测出草酸。其原因还不清楚。还有,环己醇和环己酮在试验中的变化值得注意。在质谱图上可以看出,水培中  $\text{Cd}^{2+}$  浓度分别为 0mg/L、0.5mg/L、5mg/L 和 50mg/L 的营养液处理下的环己醇峰面积比率分别为 4.41%、5.09%、3.32%和 0.48%,环己酮的峰面积比率分别为 3.77%、3.49%、3.50%和 0.44%,而  $\text{Cd}^{2+}$  浓度为 15mg/L 的营养液处理的没



有检测出环己醇和环己酮。砂培中,Cd<sup>2+</sup>浓度分别为 0mg/L、0.5mg/L 和 50mg/L 的营养液处理下的小麦根系分泌物中检测出的环己醇峰面积分别为 0.89%、0.40%和 0.46%,环己酮的峰面积比率分别为 0.82%、0.48%和 0.36%;也只有这 3 种处理情况检测出了环己醇和环己酮。从总体上来看,无论是砂培还是水培,环己醇和环己酮的分泌量随着镉的加入而减少了。小麦根系分泌物中检测出的苯、酚类物质较多。水培中苯类物质普遍多于砂培中的。对于胁迫下小麦根系分泌物中检测出的而对照中未检测出的物质,如 3-甲基-咪喃二酮-(2,5),戊二烯-(1,4),N-甲基乙胺,3-硝基吡唑,5-硝基噻唑等,值得进一步深入研究。小麦根系分泌物中检测出的物质有很多是有毒的,如环己醇、环己酮、甲苯、草酸等等。

2.2 小麦根系分泌物溶液对萝卜、白菜种子萌发的影响

用小麦根分泌物收集液对蔬菜萝卜、白菜种子进行萌发试验,其中设蒸馏水萌发作为对照。从图 4 可以看出,所有的根系分泌物溶液处理的蔬菜种子萌发率都降低了。水培中的根系分泌物溶液处理的种子发芽率最低是出现在 Cd<sup>2+</sup>浓度为 5mg/L 的营养液培养的小麦根系分泌物溶液中,而砂培中的根系分泌物溶液处理的种子发芽率最低是出现在 Cd<sup>2+</sup>浓度为 0.5mg/L 的营养液培养的小麦根系分泌物溶液中。镉胁迫下,小麦根系分泌物溶液抑制萝卜、白菜种子的萌发。试验说明小麦根系分泌物在一定程度上抑制蔬菜种子的萌发。

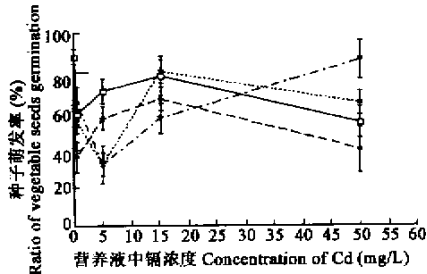


图 4 小麦根系分泌物对萝卜、白菜种子萌发的影响  
Fig.4 Effects of wheat root wxudates solution on vegetable seeds germination

□ 萝卜(砂培) radish (sand-culture) × 萝卜(水培) radish (water-culture) ▼ 白菜(水培) cabbage (water-culture) ○白菜(砂培)cabbage(sand-culture)

3 结论与讨论

3.1 营养液和无菌砂是在控制的环境中研究植物变化所最常采用的两种培养基物,而用这两种培养基物时,会取得有差异的结果<sup>[12]</sup>。两种培养方法中镉胁迫下根系的活动变化规律是一致的,但在变化幅度上是有差异的。在控制试验条件的情况下,培养植物的方法本身对试验结果是有一定的影响的。因而,在比较数据时,有必要对所采用的方法予以认真的考虑。同时,要根据具体的研究目的选取合适的培养方法,以期得出科学的结果。

3.2 根分泌物是根对土壤环境生化适应的产物,它在生物与生物,生物与环境的相互作用中充当着重要角色,是植物产生异种克生作用(Allelopathy)的重要途径<sup>[12]</sup>。植物在生长过程中,根系从环境中摄取养分和水分,同时,也向环境中溢泌质子和离子,并释放大量的有机物质。任何影响植物生长和生理的过程均会影响根分泌物的数量和种类<sup>[13]</sup>。小麦根对镉胁迫也可通过根分泌物来缓解。

(1)镉影响小麦根系分泌活动,小麦根系分泌物发生变化,变化方式比较复杂。根分泌物的释放与细胞膜的选择透性有关<sup>[13]</sup>。膜完整性和选择性受损时,透性增加,有机物从活体大量释放,引起不正常的泄漏<sup>[14、15]</sup>。钙影响细胞膜的透性,而膜透性的变化是与根分泌作用的机制相关的<sup>[12]</sup>。镉胁迫下,小麦根系分泌糖量增加。这可能与钙的作用有关。不同镉浓度,小麦根系分泌的氨基酸的种类和量的变化情况不太一样。糖类、氨基酸和有机酸等的分泌作用受水势变化的影响。

(2)根系分泌次生代谢物质的情况比较复杂,特别是在胁迫条件下。这些物质的作用是很大的。因而有必要对这些物质进行深入地研究,研究它们的分泌机理和规律,研究它们的形态结构以及作用等等。随着对这些物质的深入了解,就会很好地了解根系与胁迫环境是如何相互作用的,更好地了解根际效应。

3.3 在镉污染地区,小麦收割后,人们会种上萝卜、白菜等一些蔬菜。本试验中发现,镉胁迫下小麦根系分泌物溶液抑制蔬菜种子的萌发。镉胁迫下,小麦根系可能产生某些有害物质,从而抑制萝卜、白菜等种子的萌发。究竟是哪些物质在起毒害作用,值得深入研究,这也给植物他感作用的研究提供了一定的思路。

[1] Leapo G W. Technique of controlling heavy metals in cropland(in Chinese). Beijing: Science Press,1987.

[ 2 ] Bazzaz F A, Rolfe G L, Garlson R W. The effect of cadmium on photosynthesis and transpiration of excised leaves of corn and sunflower. *Physiol. Plant*, 1974,**34**:373~377.

[ 3 ] Lee K C, Cuningham B A, Paulsen G M, *et al.* Effects of cadmium on respiration rate and activities of several enzymes in soybean seedlings. *Physiol. Plant*, 1976,**36**:1~6.

[ 4 ] Lakshamn K C, Virinder K G, Surinder K S. Effect of cadmium on enzyme of nitrogen metabolism in pea seedling. *Phytochemistry*, 1992,**31**(2):395~400.

[ 5 ] Qin T C(秦天才), Wu Y S(吴玉树), Wang H X(王焕校), *et al.* Effect of cadmium, lead and their interactions on the physiological and ecological characteristics of root system of *Brassica chinensis*. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1998,**18**(3):320~325.

[ 6 ] Pan R Z(潘瑞炽), Dong Y D(董愚得). *Plant Physiology*(in Chinese). Beijing: Higher Education Press, 1993. 33~34.

[ 7 ] Weerasuriya Y, Siame B A, Hess D, *et al.* Influence of conditions and Genotype or the Amount of Striga Germination Stimulants Exudated by Root of several Host Crops. *J. Agric. Food Chem.*, 1993,**41**:1492~1496.

[ 8 ] Anna M S, Ken C J, Van R, *et al.* Determination of low Molecular Weight Dicarboxylic Acids in Root Exudates by Gas Chromatography. *J. Agric. Food Chem.*, 1995,**43**:956~959.

[ 9 ] Boeuf-Tremblay W, Plantureux S, Guckerux A, *et al.* Influence of mechanical impedance or root exudation of maize seedlings at two development stages. *Plant and Soil*, 1995, **172**:279~287.

[ 10 ] Hu H Q(胡红青), Huang Q Y(黄巧云), Li X Y(李学垣). Effects of Al on aminoacid and sugar excreted by wheat roots. *Chinese Journal of Soil Science*(in Chinese)(土壤通报), 1995,**26**(1):15~17.

[ 11 ] Zhang Z L(张志良). Guidance to plant physiological experiments(in Chinese). Beijing: Higher Education Press, 1997.

[ 12 ] Beijing Agricultural University, Plant Protection Department, Plant Ecology and Pathology Research Staff(北京农业大学植保系植物生态病理教研室编译). The rhizosphere and the process of bio-prevention for root pathological changes(in Chinese). Beijing: Renmin University of China Press, 1991. 41~95.

[ 13 ] Gao Z Q(高子勤), Zhang S X(张淑香). Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology I. Root exudates and their ecological effects. *J Appl. Ecol.* (in Chinese)(应用生态学报), 1998,**9**(5):549~554.

[ 14 ] Prikryl Z. Root exudates of plants. *Plant and Soil*, 1980,**57**(69):121~127.

[ 15 ] Jiang Y H(蒋延惠), Zheng S J(郑绍健), Hu A T(胡霭堂). Causes of plant root excreting  $H^{+}$  increasing with deficient in P, Fe and Zn. *Plant Physiology Communications*(in Chinese)(植物生理学通讯), 1994,**30**(2):135~139.