

镉对小麦生长发育的影响及其基因型间差异^{*}

蔡保松^{1, 2}, 曹林奎²

(1 浙江大学 农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310029; 2 上海交通大学 农学院, 上海 201101)

[摘 要] 研究了镉污染下不同基因型小麦生长的差异, 结果发现, 小麦生长发育品种间差异很大; 根的长度、单株地上部重量、地下部重量、每株分蘖数是反应比较敏感的指标; 小麦对镉的吸收和分配由根部特性决定, 不同品种根部吸收镉的能力比对照高 100 倍以上, 而地上部吸收镉的能力仅是对照的 10 倍左右; 同时, 根部吸收镉的总量约是茎部 10 倍。

[关键词] 小麦; 镉吸收; 基因型

[中图分类号] S512.103.4; X503.231

[文献标识码] A **[文章编号]** 1671-9387(2003)01-0062-05

近年来, 由于农业生产中施用含镉的肥料、灌溉含镉的污水及大气中漂浮的镉在作物和土壤表面发生沉积^[1, 2], 农作物镉毒害现象在有些地方时有发生。当植物受到的镉毒害达到一定程度, 就会表现出生长迟缓、植株矮小、褪绿等中毒症状, 严重影响产量。研究^[3]发现, 大麦受镉污染后, 种子的萌发率和根生长速率下降, 且随处理浓度增大和时间延长而加剧, 当镉浓度为 10 mmol/L 时, 种子萌发率小于 45%, 根停止生长。小麦、玉米、西葫芦、黄瓜、番茄等植物在浓度为 1 μ mol/L 的镉营养液中生长也表现出明显的中毒性状; 即使较低浓度的镉毒害, 也会对植物生长发育产生影响, 引起小麦幼苗生物产量降低, 出叶滞后, 光合能力下降(未发表, 2001)。此外, 镉还能在植物体内大量累积, 特别是在经济产量部分^[4]。镉在作物中, 特别是在可食部位的大量积累, 可以通过食物链危害人和动物^[5, 6]。人体也有长期积累镉的特性, 而且镉在人体降解周期很长, 长期食用高镉含量的食物, 可以引起人体多种疾病^[7, 8]。所以, 世界卫生组织(WHO)制定了人们的饮食最低日限量标准是: 成人每天最大采食上限是 60~70 μ g。同时, FAO/WHO 的 Codex Alimentary Commisino 也确定在国际粮食市场上交易的粮食镉含量不得超过 0.1 μ g/g。因此, 最近的研究多集中在镉对主要粮食作物的生理效应方面^[9]。基于植物品种间和同一品种各个基因型间对镉毒害的反应变化较大^[10, 11], 本研究通过对现有品种的筛选, 以期为培育对低浓度镉毒害反应不敏感且在可食部分积累少的粮食作物品种提供依据。

1 材料与方法

试验选用我国各大气候类型的 16 个有代表性的小麦主栽品种, 其中抗镉性较强的品种有华北 45-4, 宁 8931, 华北 56-4, 宁 9158, 浙麦 1, E81513; 中等抗性品种有扬麦 5 号, 扬麦 4 号, 赣谷 534, Li 667, Ailuyuang, 扬 158; 敏感品种有 Een 6, 锦州 4, YanXuan 238, Bakang 48。

试验采用营养液栽培, 种子首先用体积分数 1% 的次氯酸钠处理 20 min, 再用 500 mL 蒸馏水清洗干净后, 放入培养箱中培养, 培养箱光密度为 350 μ mol/(m² · s), 光周期为白天 16 h, 暗期 8 h, 相对湿度控制在 65%。

当小麦幼苗生长到两叶一心时(14 d 左右), 将其移入用于营养液栽培的容器中。溶液培养的容器放置在温室内, 模拟自然生长条件。培养容器为 4.8 L, 装入营养液 4 L, 每个容器有一个工程塑料制作的盖子, 盖子上均匀分布 7 个小孔, 移栽时每个小孔移入 2 株小麦幼苗。营养液采用 Hoagland 营养液。小麦移栽后, 用通气泵连续 24 h 通气以保证小麦根系有足够的氧气供应。镉采用 CdCl₂ 的形式, 试验设 2 个处理浓度(0 和 5 μ mol/L), 为使幼苗在移栽后有一个短的恢复期, 镉在小麦幼苗移栽后 7 d 加入。镉加入后, 所有处理每天用 NaOH 或 HCl 调整 1 次, 保持 pH 值在 6.0 左右。营养液每周更换 1 次。试验采用随机设计, 重复 4 次。

当小麦分蘖开始时, 每个处理每周统计 1 次分蘖数, 7 周后采样称植物的干、鲜重并分析营养成分。

^{*} [收稿日期] 2002-02-25

[基金项目] 英国文化委员会DFID项目(SHA/992/310)

[作者简介] 蔡保松(1971-), 男, 陕西杨陵人, 讲师, 现为浙江大学在读博士研究生。

分。叶片叶绿素含量的测定在采收前 1 天进行, 采用叶绿素计 (SPAD-502, M inolta Co. L td , Japan) 测定, 每个处理的叶绿素测定定位在刚刚充分展开叶片的 2/3 处(从茎基部)。每个植物样品分成地上部(茎和叶片)和地下部两部分。鲜样称重后放入烘箱 105 ℃杀青 10 m in, 在 85 ℃下烘干至恒重, 然后再称重, 记录地上部和地下部干重。测定营养成分的材料烘干后研成粉末状, 然后用 HNO₃-HClO₄ (2 : 1) 消煮, 制成 25 mL 溶液待测定。镉含量利用原子吸收光谱仪 (PE-100 Perkin) 测定。数据的方差和回归分析采用 DPS 数据处理系统进行。

2 结果与分析

2.1 镉对小麦生长的影响

镉处理下小麦品种的生长状况见表 1。对表 1 中的数据进行统计分析后表明, 镉与基因型互作均达到显著水平, 并且根长、茎重、根重和单株分蘖达到了极显著水平; 镉处理显著减少了植株高度、根长、地下部和地上部的干重和鲜重; 镉对地下部和地上部的抑制能力不同, 对根长的抑制作用大于茎高。

由表 1 还可以看出, 与对照相比, 所有品种平均茎高降低了 32.96%, 根长降低了 52.59%, 地上部

干重降低了 56.55%, 地下部干重降低了 44.72%。茎/根降低了 25.99%。相对而言, 在较长时间镉胁迫下, 根长、地上部与地下部干重比、茎高下降的幅度更大。对镉处理植株不同生长阶段的观察显示, 镉处理植株根系的侧根和小根比对照明显减少。

由表 1 还可看出, 镉对不同基因型小麦的生长抑制在品种间差异很大, 宁 8931 和华北 45-4 在对照中根长和茎高几乎是一样的, 然而在镉处理下, 宁 8931 的茎高比华北 45-4 下降了 58%。宁 8931 在镉处理下茎高和根长下降幅度最大, 同时华北 45-4 这两项指标却下降最少。有些品种间的差异就更加明显, 如在无镉处理下, 浙麦 1 号地上部和地下部干物质积累显著高于 E81513, 但在镉处理下, E81513 地上部和地下部干物质积累反而高于浙麦 1 号。这一结果表明, 植物抗镉性有明显的基因型差异。在同样镉处理水平下, 有的品种受伤害程度很小, 这预示着该基因型抗镉性较强, 可以作为抗镉育种的目标来研究。可以此为突破, 研究培育轻度镉污染水平下安全生产型的粮食作物品种。从茎根比来看, 对照处理的茎根比始终大于镉处理的植株, 这说明镉对茎的抑制作用大于根, 由此也显示, 植物根更能耐受镉的毒害。

表 1 镉浓度对小麦生物学性状的影响

Table 1 The effects of cadmium levels in culture solution on growth of different wheat species

品种 Genotype	茎高/cm Shoot length		根长/cm Root length		茎重/(g·株 ⁻¹) Shoot weight		根重/(g·株 ⁻¹) Root weight		茎/根 Shoot/Root	
	0 μmol/L	5 μmol/L	0 μmol/L	5 μmol/L	0 μmol/L	5 μmol/L	0 μmol/L	5 μmol/L	0 μmol/L	5 μmol/L
Een 6	29.5	21.8	38.0	11.6	0.667	0.360	0.222	0.158	3.05	2.33
扬麦 5 Yangmai 5	37.7	22.8	51.2	20.4	0.810	0.330	0.282	0.133	2.88	2.53
扬 158 Yang 158	34.8	25.7	43.3	15.7	0.613	0.358	0.150	0.120	4.09	3.02
华北 45-4 Huabei 45-4	36.5	27.8	38.8	36.4	1.240	0.430	0.287	0.160	4.29	2.68
宁 8931 Ning 8931	38.0	23.7	39.3	15.7	0.887	0.370	0.267	0.133	3.34	2.76
赣谷 534 Gangu 534	34.7	21.1	33.4	14.6	0.697	0.323	0.190	0.120	3.67	2.74
扬麦 4 Yangmai 4	44.7	25.3	42.7	25.2	0.997	0.327	0.263	0.110	3.83	3.08
华北 56-4 Huabei 56-4	34.8	22.7	44.3	13.2	0.803	0.300	0.213	0.107	3.82	2.86
Li 667	37.8	24.2	34.0	17.7	0.713	0.327	0.203	0.123	3.61	2.67
E81513	32.3	23.2	36.0	18.6	0.689	0.435	0.223	0.115	3.09	2.87
浙麦 1 Zhenmai 1	40.3	30.8	39.3	22.0	1.057	0.327	0.280	0.115	3.86	2.91
宁 9158 Ning 9158	36.2	21.7	38.8	13.8	0.803	0.310	0.253	0.098	3.18	3.17
锦州 4 Jinzhou 4	33.3	23.7	31.7	15.2	0.827	0.370	0.237	0.142	3.54	2.61
Yanxuan 238	36.0	22.8	41.7	13.7	0.805	0.407	0.257	0.133	3.16	3.06
A iluyuang	36.7	28.2	39.0	26.8	0.853	0.417	0.257	0.150	3.37	2.80
Bakang 48	29.3	19.2	41.3	18.0	0.663	0.313	0.210	0.133	3.13	2.34
平均 Mean	35.8	24.0	39.6	18.8	0.820	0.356	0.237	0.131	3.49	2.77
显著水平 Significance level	显著 Significant		极显著 Very significant		极显著 Very significant		极显著 Very significant		极显著 Very significant	

2.2 镉对叶绿素含量和单株分蘖的影响

表 2 为镉对小麦叶绿素含量和单株分蘖的影响。

表 2 的方差分析结果显示, 叶绿素含量在镉处理与基因型间互作不显著, 但各品种间单株分蘖数差

异达到极显著水平。由表 2 分析可以看出,在镉处理下,叶绿素 SPAD 值都有不同程度的降低,但品种间表现不一致,抗性品种降低少。例如,较抗品种 Bakang 48 在无镉处理时 SPAD 值为 63.3,低于敏

感品种扬麦 4(85.9),但是在 5 $\mu\text{mol/L}$ 镉处理下, Bakang 48 的 SPAD 值(53.9)反而大于扬麦 4(50.06)。

表 2 镉浓度对叶绿素含量和单株分蘖的影响

Table 2 The effect of cadmium levels in culture solution on chlorophyll and tillers

品种 Genotype	SPAD 值 SPAD value		分蘖数 Tillering number		品种 Genotype	SPAD 值 SPAD value		分蘖数 Tillering number		
	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$		0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$	
Een 6	65	53.3	12.7	6.3	Li 667	64.8	44.7	10	4	
扬麦 5	61.1	44.4	9.3	6.3	E81513	65.9	50.1	10.3	6.7	
Yangmai 5					浙麦 1	61.4	37	12.7	7.7	
扬 158	69	51.8	6.3	5	Zhenmai 1	64.7	47.4	8	6.3	
Yang 158					宁 9158					
华北 45-4	62.1	47.2	11.3	8.7	Ning 9158	锦州 4	58.4	41.4	11.7	7.3
Huabei 45-4					Jinzhou 4					
宁 8931	64.4	44.7	11.7	6.3	Yanxuan 238	61.4	49.8	10.3	6.7	
Ning 8931					A iluyuang	63.4	49.1	8.7	4	
赣谷 534	65.8	47.5	8.3	6.3	Bakang 48	63.3	53.9	9.7	4.7	
Gangu 534										
扬麦 4	85.9	50.6	9	5						
Yangmai 4										
华北 56-4	59.8	44.5	9.6	7.7						
Huabei 56-4										

分析表 2 可以看出,单株分蘖呈下降趋势,但镉对多蘖型小麦分蘖的抑制作用大于少蘖型,多蘖型小麦分蘖数平均降低 4.6 个,少蘖型小麦平均为 2.9 个。实地观察发现,少蘖型小麦抗镉能力强于多蘖型。例如多蘖型品种华北 45-4(降低 23%)和 Yanxuan238(降低 34%)对镉毒害表现非常敏感。对分蘖影响最小的品种是少分蘖型品种扬 158 和宁

9158,分别减少了 1.3 和 1.7 个分蘖。E81513 也表现出较小的分蘖减少率。这与地上部干物质减少量所显示的结果一致。

2.3 镉处理对植物吸收镉的影响

不同镉处理时植物地上部、地下部的镉吸收量测定结果列于表 3。

表 3 镉处理对植物地上部、地下部镉吸收的影响

Table 3 The effect of accumulation treatment on absorption of shoot and root under two cadmium levels concentration

品种 Genotype	地上部平均吸收量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Crown weight		地下部平均吸收量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Root weight		地上部镉累积量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Accumulation of crown		地下部镉累积量/ ($\mu\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Accumulation of root		地上部占总量 百分率/% Crown/total	
	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$	0 $\mu\text{mol/L}$	5 $\mu\text{mol/L}$
Een 6	0.42	48.4	2.69	381	0.33	17.3	0.60	59.0	46.5	77.3
扬麦 5 Yangmai 5	0.51	54.7	2.79	438	0.40	18.1	0.78	58.8	68.4	68.0
扬 158 Yang 158	0.33	41.9	2.80	305	0.21	14.8	0.42	35.6	66.7	70.6
华北 45-4 Huabei 45-4	0.38	47.1	2.65	751	0.45	20.3	0.75	120.7	57.7	85.6
宁 8931 Ning 8931	0.24	49.3	2.89	526	0.21	18.0	0.75	69.2	78.1	79.4
赣谷 534 Gangu 534	0.27	45.8	3.81	427	0.20	14.7	0.72	50.6	78.3	77.5
扬麦 4 Yangmai 4	0.36	52.3	2.67	439	0.32	16.8	0.69	46.0	68.3	73.2
华北 56-4 Huabei 56-4	0.23	42.1	2.79	515	0.18	12.4	0.59	54.0	76.6	81.3
Li 667	0.18	39.5	3.42	409	0.13	12.7	0.68	49.6	84.0	79.2
E81513	0.10	32.2	2.95	494	0.07	13.9	0.66	75.2	90.4	84.4
浙麦 1 Zhenai 1	0.20	58.7	4.09	578	0.21	19.1	1.11	64.8	84.1	77.2
宁 9158 Ning 9158	0.36	61.4	3.55	520	0.29	18.8	0.91	51.8	75.8	73.4
锦州 4 Jinzhou 4	0.38	48.0	3.38	366	0.32	17.3	0.79	51.1	71.1	74.7
Yanxuan 238	0.33	44.7	3.14	385	0.27	17.1	0.80	51.0	74.8	74.9
A iluyuang	0.40	63.0	2.91	421	0.34	26.1	0.74	62.7	68.5	70.6
Bakang 48	0.40	40.1	3.15	380	0.26	12.4	0.66	47.7	71.7	79.4
品种 Genotype	5.78		57.2		2.24		11.2		-	
处理 Treatment	2.04		20.2		0.79		3.96		-	
品种×处理 Genotype×Treatment	极显著 Very significant		极显著 Very significant		极显著 Very significant		极显著 Very significant		-	

从表 3 可以看出, 在镉处理下, 地上部、地下部镉浓度和镉积累量均达极显著水平, 说明根部环境中镉浓度对植株中镉的积累起着决定性作用。分析表 3 中地上部和地下部镉的含量显示, 对照地上部镉含量为 $0.10 \mu\text{g/g}$ (E81513) 到 $0.51 \mu\text{g/g}$ (扬麦 5), 其镉吸收变化的幅度最大达 5 倍左右; 同时, 地下部镉的含量从 $2.65 \mu\text{g/g}$ (华北 45-4) 到 $4.09 \mu\text{g/g}$ (浙麦 1 号), 变化幅度在 2 倍左右, 说明在极低浓度镉污染下, 地上部镉浓度的变化能够更敏感地反映品种间抗镉特性的差异。在 $5 \mu\text{mol/L}$ 镉处理下, 镉迅速在地下部和地上部积累, 镉在地下部的积累达到对照的 10 倍左右, 同时地下部镉的积累达到 100 倍以上, 说明在高镉处理下, 根的抗镉机制非常重要。另一方面, 在镉处理下, 根和茎中镉含量的变化并不相平行, 例如, 整株地上部镉的含量从 E81513 的 $32.17 \mu\text{g/g}$ 增加到 Ailiyang 的 $63.02 \mu\text{g/g}$, 根中的含量从扬 158 的 $305 \mu\text{g/g}$ 增加到华北 45-4 的 $751 \mu\text{g/g}$, 但根部积累量最多的华北 45-4, 其地上部镉积累量仅仅排在镉积累量由大到小 16 个品种的第 8 位。从以上结果可以看出, 无论是对照还是镉处理的整株, 地下部镉含量是地上部镉含量的 10 倍左右; 不同品种间镉在植物体内的分配有一定的差异。这一现象的分子生物学机理还不清楚, 研究其机理也许有助于对植物抗镉机理的更深层次理解。

3 讨 论

1) 表 1 结果显示, 镉处理显著减少了植株高度、根长、地下部和地上部的干重和鲜重。同时还表明, 镉对地下部和地上部的抑制能力不同, 对根长的抑制作用大于茎高。然而, Jalil 等^[12]研究了 3 个硬粒小麦品种在 5 个镉浓度处理下的生理反应, 结果显示品种间对镉处理的反应在干物质积累量、根长和叶面积方面没有显著差异。Jalil 等研究结果与本试验结果矛盾, 可能是试验材料在镉营养液中的处理时间不同所致, 本试验处理时间 ($> 70 \text{ d}$) 相对于 Jalil 等的处理时间更长。在较短时间处理下, 植物吸收镉在品种间的差异虽然已经表现出来, 但植物品种间镉毒性反应的差异还未及时充分表现, 从而导

致了 Jalil 等的试验结果。在较长时间处理下, 不同基因型处理因其生物特性的固有差异, 对镉的反应也出现了显著的不同。也就是说, 植物对镉毒性的真实反应需要一定的时间才能够充分表现出来, 这在寻找用生长指标选择抗镉品种时, 镉处理时间应该是一个很关键的因素。试验结果显示, 在镉污染下根的长度、单株地上部重量、地下部重量、每株分蘖数、单株地上部重量、地下部重量都对镉毒害反应比较敏感, 在培育抗镉品种时可以作为选择指标。

2) 试验发现少蘖型品种比多蘖型品种抗镉能力强, 但其机理尚不清楚。品种特性决定根部特性, 根部特性是决定植株吸收镉的最关键所在。试验数据显示, 根部吸收镉的量是茎部的 10 倍左右, 这与前人的研究结果相符^[13, 14]。根部镉吸收量大而籽粒中含镉量少的品种类型是人们所希望的, 因为小麦根通常不被人们所利用。但是, 产生根部吸收量大而籽粒中含镉量少的品种的原因众说不一, Neil 等^[14]将其归结为根系保持力较大, 而其在叶片噬喂¹⁰⁹Cd 时发现, 即使在小麦叶片噬喂¹⁰⁹Cd, 仍有 30% 左右的不同位素镉未在地上部检测到, 估计这部分镉运输到根部, 同时茎中的镉含量小于这一数值 (20%)。进一步的研究表明, 这一现象与噬喂的部位无关, 短时间处理最终也能得到同一结果^[6, 15]。说明根茎镉含量比大是由品种特性决定的, 根系保持力只是一个方面, 植物固有的运输镉能力是造成这一现象的关键。这也提示人们, 根茎比是镉运输能力的一个重要指标, 可以在抗镉育种中加以利用。例如, 在无镉处理下, 浙麦 1 号地上部和地下部干物质积累量显著高于 E81513, 但在镉处理下, E81513 地上部和地下部干物质积累量反而高于浙麦 1 号, 这一结果显示, E81513 可能抗镉性更强。

3) 不同生长阶段的观察显示, 镉处理的植株, 根系侧根和小根数比对照明显减少。这验证了 Marschner^[16]的研究结果, 他认为根系小根的数量和寿命对植物的营养状态及植物生长是极其重要的。Gussarsson^[17]的研究显示, 在镉污染下, 水培的桦木幼苗的小根伤害程度远远大于根的其他部位, 对这一性状的发现有利于抗镉品种的选育。

[参考文献]

[1] Nicholson F A, Jones K C. Effect of phosphate fertilizers and atmospheric deposition on long-time changes in the cadmium content of soil and crop[J]. Environmental Science Technology, 1994, 28: 2170- 2175

[2] Ryan J A, Pahren H R, Lucas J B. Controlling cadmium in human chain: review and rationale based on health effect[J]. Environmental

Research, 1982, 28: 251- 302

- [3] 张义贤 重金属对大麦(*Hordeum vulgare*)毒性的研究[J]. 环境科学学报, 1997, 17(2): 199- 204
- [4] Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace element in soil and plant[M]. Boca Raton: FL Chpt, CRC Press, 1992
- [5] Obata H, Umebayashi M. Effects of cadmium on mineral nutrient concentration in plant differing in tolerance for cadmium [J]. Journal Plant Nutri, 1997, 20: 97- 105
- [6] Bernard A, Lauwerys R. Cadmium in human population[J]. Experientia, 1984, 40: 143- 152
- [7] Jackson A P, Alloway B J. The transfer of cadmium from agriculture soils to the human food chain[A]. Adriano D C. Biogeochemistry of trace metals[C]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1992 109- 158
- [8] FAO/WHO Joint Committee on Food Additives and Contaminants. Position paper on cadmium (prepared by France), 27th session[S].
- [9] Cakmak I, Welch R M, Erenoglu B, et al. Influence of varied zinc supply on retranslocation of cadmium and rubidium applied on mature leaf of durum wheat seedling[J]. Plant and Soil, 2000, 219: 279- 284
- [10] Petterson O. differences in cadmium uptake between plant species and cultivars[J]. Swedish Journal of Agricultural Research, 1997, 7: 21 - 24
- [11] Hart J J, Welch R M, Norvell W A, et al. Characterization of cadmium binding, uptake and translocation in intact seedlings, of bread and durum wheat cultivars[J]. Plant Physiology, 1998, 116: 1413- 1420
- [12] Jalil A, Selles F, Clarke J M. Effect of cadmium on growth and the uptake of cadmium and other elements by durum wheat[J]. Journal of Plant Nutrition, 1994, 17: 1839- 1858
- [13] Zhang G P, Fukami M, Sekimoto H. Genotypic difference in effects of cadmium on growth and nutrient compositions in wheat[J]. Journal of Plant Nutrition, 2000, 23(9): 1337- 1350
- [14] Neil S, Harris, Gregory J T. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation[J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52(360): 1473- 1481
- [15] Archambault D J, Marens E, Buckley W, et al. A rapid, seedling-based bioassay for identifying low cadmium-accumulating individuals of durum wheat[J]. Euphytica, 2001, 117: 175- 182
- [16] Marschner H. Nutrient physiology[A]. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants[C]. London: England Academic Press, 1986 243 - 254
- [17] Gussarsson M. Cadmium-induced alternations in nutrient composition and growth of *Betula pendula* seedlings: the significance of fine root as a primary target for cadmium toxicity[J]. J Plant Nutr, 1994, 17: 2151- 2163

Effect of cadmium on growth and the tolerance among wheat genotype

CAI Bao-song^{1, 2}, CAO L in-ku²

(1 College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China;

2 College of Agronomy, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 201101, China)

Abstract: The effect of growing wheat plant with cadmium on different plant physiological parameters was studied in order to know the possible involvement of this metal. The result showed that the significant difference existed among 16 wheat genotypes in their response to cadmium in terms of growth. In addition, root and shoot dry matter production, shoot height, root length, and tillers per plant, were all sensitive indicators to cadmium. The absorption and distribution of cadmium were decided by root characteristics. Compared with control, the accumulation in root of different cultivars reached 100 times, cadmium accumulation in crown reached about 10 times. At the same time, the cadmium accumulation in root was 10 times of those in shoot.

Key words: wheat; absorption of cadmium; genotype