镉在小麦植株体内的吸收、分配和累积规律研究

姜丽娜, 邵云, 李春喜, 李向力, 鲁旭阳, 马守臣

(河南师范大学生命科学院, 河南新乡 453002)

摘要: 通过大田试验, 研究镉(Cd)在麦株中的吸收、分配和累积的动态变化规律。结果表明, 小麦植株中较易富集 Cd^{2+} 的部位是叶、根及废弃物, 而籽粒中 Cd^{2+} 水平较低; Cd^{2+} 是一种不可移动的元素, 在衰老部位累积较多, 不能被其他未衰老的器官重新利用; Cd^{2+} 吸收量与植株干物重增加量呈极显著的正相关($r=0.916^{**}$), 吸收速率与植株干物重增加量呈显著的正相关($r=0.800^*$); 灌浆期和拔节—抽穗期是镉污染控制的关键时期, 且 Cd^{2+} 吸收量最高, Cd^{2+} 吸收速率也最大。

关键词: 小麦; 镉; 吸收; 分布; 累积

中图分类号: S512.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-3268(2004)07-0013-05

Studies on Uptake, Distribution and Accumulation of Cd in Wheat Plant

JIANG Li-na, SHAO Yun, LI Chun-xi, LI Xiang-li, LU Xu-yang, MA Shou-chen

(College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453002, China)

Abstract: studies with wheat variety Zhengmai 9023 in field tests in 2002—2003 showed that leaves, roots and wastes were the organs in wheat of gathering Cd^{2+} easily, but there was very little Cd^{2+} in grains. Cd, a non-moving element, was accumulated more in aged organs, and could not be used again by fresh organs. There was a very significant correlation between the uptake amount of Cd^{2+} and the increasing amount of biomass ($r=0.916^{***}$). There also was a significant correlation between the uptake speed and the increasing amount of biomass ($r=0.800^*$). These two stages, filling stage and jointing-heading stage, were key stages in which Cd pollution could be controlled with the highest uptake amount and the biggest uptake speed of Cd^{2+} .

Key words: Wheat; Cd; Uptake; Distribution; Accumulation

镉在工业上应用十分广泛, 因此含镉废水的排放对环境和食物的污染也较为严重。例如日本神通川流域就曾用含镉水灌溉稻田, 结果使稻米含镉, 居民食用后引发“痛痛病”, 成为世界著名十大公害事件之一。镉具有很强的蓄积性和生物富集性, 它在人体中的半衰期为 6~18 年。90% 以上的镉是通过饮食进入人体, 与低分子硫蛋白结

合形成金属硫蛋白, 损伤肾脏、骨骼、呼吸器官和消化系统, 引起钙代谢障碍, 抑制机体免疫功能, 大量破坏红细胞而引起贫血^[1~3]。目前我国人民膳食结构中粮食摄入量占 50% 以上, 小麦是我国仅次于水稻的第二大作物。关于镉对小麦影响的研究国内外已有不少报道, 但试验方法多是采用盆栽试验和水培试验, 或者直接从污染源取样;

收稿日期: 2004-02-10

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目(2001BA507A02), 河南省教育厅基础研究项目(20022100005)

作者简介: 姜丽娜(1973-), 女, 河南延津人, 讲师, 硕士, 主要从事麦类栽培生理的教学、科研工作。

研究内容只是简单分出根、茎叶和籽实 3 个部位或者集中在某一时期(苗期、成熟期等)取材,而在大田中进行污染处理并从各个部位系统地研究镉在麦株不同部位吸收和累积动态规律的并不多。

试验采取在大田投放污染物的方法,在小麦不同生育期采集小麦植株的根、茎、叶、叶鞘、穗轴、颖片、籽粒和废弃物(小麦植株上已变黄的叶片、叶鞘和心叶已死的无效蘖等)几个部位,分别测定其中镉元素的含量,以探明其在麦株中的吸收、分配和累积的动态变化规律,为生产实践中小麦镉污染控制栽培技术体系的建立提供理论依据,对无公害小麦的生产具有一定的指导意义。

1 材料与方法

试验于 2002~2003 年在河南师范大学生命科学学院小麦试验田进行,供试冬小麦品种为郑麦 9023。10 月 12 日播种,控制基本苗为 180 万/hm²。小麦 4 月 24 日开花,6 月 1 日收割,全生育期 233 d。

大田投放污染物为氯化镉(CdCl₂, AR),投放浓度为 1.27 mg/kg(实测值,以纯金属计),于播种前将氯化镉均匀添加到 0~10 cm 的耕作层。每小区面积为 24 m²(12 m×2 m),3 次重复。于越冬期(2002-12-25)、返青期(2003-02-20)、拔节期(2003-03-28)、抽穗期(2003-04-21)、灌浆初期(2003-05-02)、灌浆中期(2003-05-13)、灌浆末期(2003-05-26)采集植株,依次用自来水、蒸馏水、去离子水洗净后,分离成不同部位:根、茎、叶、叶鞘、穗轴、颖片、籽粒和废弃物,于 60~80 °C 烘至恒重,称重后用 FZ102 微型植物试样粉碎机粉碎, HNO₃-H₂O₂-HClO₄ 酸消解法消解,日立(HITACHI)Z-5000 偏振塞曼原子吸

收分光光度计测定其镉含量^[4]。

2 结果与分析

2.1 小麦不同部位、不同生育时期 Cd²⁺ 含量的动态变化

Cd²⁺ 在小麦植株不同部位含量的动态变化如表 1 所示。小麦根的生物量增长有 2 个高峰,一个是分蘖期到越冬期,一个是拔节期到抽穗期^[3],即使此时根吸收、转运金属离子的能力有所增强,若其生物量扩增的速度更快,则根中 Cd²⁺ 浓度反而有所下降。由表 1 可知,越冬期小麦根中 Cd²⁺ 含量维持较低水平,可能是因其生物量增加速度快于 Cd²⁺ 累积速度而致;越冬期至拔节期,根的生长比较缓慢,生物量增加较少, Cd²⁺ 在根中不断累积, Cd²⁺ 含量不断上升;拔节至抽穗期,随着根生长第二个高峰的来临,根中 Cd²⁺ 含量又迅速下降;从抽穗至灌浆中期,根中 Cd²⁺ 含量进一步下降,只是下降趋势随其生物量扩增速度的减慢而渐缓;据资料表明,小麦根系早于地上部分进入衰老^[5],到灌浆末期,富集在根部的 Cd²⁺ 未能及时转运到地上部分,故而 Cd²⁺ 含量又稍有上升。

叶中 Cd²⁺ 含量普遍较高;从越冬到抽穗期,随着叶片生物量的不断增加,叶中 Cd²⁺ 含量呈逐渐下降的趋势,且在越冬—返青—拔节—抽穗这 3 个阶段,下降速度依次表现为“慢—快—慢”的趋势,即在返青—拔节期,随年后第二次分蘖的发生,叶片生物量急剧增加,叶片中 Cd²⁺ 含量快速下降;从抽穗期到灌浆末期(生殖生长期),叶中 Cd²⁺ 含量呈逐渐上升的趋势,分析其原因可能是叶片的生物量此时不再增加,而由根部转移来的 Cd²⁺ 在叶中不断累积且不能重新转移到其他部

表 1 Cd²⁺ 在小麦植株不同部位、不同生育时期的含量动态变化(mg/kg)

部位	越冬期	返青期	拔节期	抽穗期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆末期
根	0.48	4.97	6.35	2.16	2.14	1.35	1.80
叶	4.59	3.99	1.40	1.10	1.71	3.27	4.51
叶鞘		1.98	1.60	0.82	0.60	0.79	1.44
废弃物		9.24	7.17	6.59	5.99	5.00	6.07
茎			2.70	0.69	0.47	0.44	0.35
幼穗				0.47			
穗轴					0.22	0.75	0.70
颖片					0.38	0.58	1.23
籽粒					0.37	0.24	0.20

位的缘故。叶鞘中 Cd^{2+} 的分配和迁移与叶片相似,但其变化幅度和整体水平都较低,且其含量最低谷是在灌浆初期,而非抽穗期。

茎中 Cd^{2+} 含量在拔节期至抽穗期因其生长速度快,生物量增加多,相应的 Cd^{2+} 含量反而迅速下降,抽穗后因株高增加速度减慢,茎生物量增加速度同样减慢,呈平稳而缓慢下降的趋势。

废弃物中的 Cd^{2+} 含量是所有部位中含量最高的,从返青期开始到灌浆中期,随着无效分蘖的死亡和根基部叶片的枯萎,废弃物生物量大增, Cd^{2+} 含量不断下降;从灌浆中期到末期,由于小麦植株几乎所有叶、叶鞘都将枯萎,而叶和叶鞘中 Cd^{2+} 含量水平较高,从而导致废弃物的 Cd^{2+} 含量在灌浆末期又有回升。

穗部 Cd^{2+} 含量变化不太一致,颖片中 Cd^{2+} 含量为渐增,籽粒中 Cd^{2+} 含量为渐降,穗轴中 Cd^{2+} 含量为先增后降,灌浆结束时含量大小依次为:颖片>穗轴>籽粒。

2.2 小麦地上部分不同部位、不同生育时期 Cd^{2+} 累积量的动态变化

如表 2 所示, Cd^{2+} 在小麦地上部分不同部位、不同生育期的累积与迁移变化规律各不相同。从不同生育时期看,茎、叶、穗轴中 Cd^{2+} 累积动态为先逐渐升高,到灌浆中期达到最高峰值,随后又呈下降趋势, Cd^{2+} 累积量的变化幅度从大到小依次为:叶片>茎>穗轴。分析其原因,可能是衰老的叶已经死亡进而归属于废弃物而造成叶中 Cd^{2+} 累积量下降而废弃物中 Cd^{2+} 累积量剧增的现象,而茎和穗轴均是离子向上运输的通道,在灌浆结束时,由于根早于地上部分衰老,茎和穗轴转运离子的数量下降,导致其累积量下降。其他部

位 Cd^{2+} 累积动态均为不断上升的趋势。叶鞘中 Cd^{2+} 累积量在抽穗期出现一个较小峰值,说明在 Cd^{2+} 向叶片大量累积要经过叶鞘的大量转运;穗轴中 Cd^{2+} 累积量增加趋势较为平缓;颖片和籽粒中 Cd^{2+} 累积量呈近于直线的上升趋势;废弃物中 Cd^{2+} 累积量的增加有 2 个高峰,第一个高峰是在拔节期到抽穗期之间,由于小麦分蘖两极分化的发生,一部分分蘖死亡,成为无效蘖,故而废弃物中 Cd^{2+} 累积量猛增;从灌浆中期到末期,麦株地上部分迅速衰老而枯萎,所以出现 Cd^{2+} 累积量增加的第二次高峰。

从不同部位看,越冬期叶片中 Cd^{2+} 累积量基本上代表了麦株地上部分 Cd^{2+} 的总量。返青期叶、叶鞘和废弃物中 Cd^{2+} 累积量分别为地上部分的 70.70%, 7.02%, 22.28%。拔节期叶、叶鞘、茎和废弃物中 Cd^{2+} 累积量分别占地上部分的 53.03%, 20.47%, 13.32%, 13.18%。抽穗期叶、叶鞘、茎、穗和废弃物中 Cd^{2+} 累积量分别占地上部分的 32.09%, 18.38%, 17.16%, 8.42%, 23.95%。灌浆初期叶、叶鞘、茎、穗轴、颖片、籽粒和废弃物中 Cd^{2+} 累积量分别占地上部分的 41.12%, 11.18%, 17.15%, 0.69%, 6.45%, 0.92%, 22.49%。灌浆中期叶、叶鞘、茎、穗轴、颖片、籽粒和废弃物中 Cd^{2+} 累积量分别占地上部分的 43.91%, 9.55%, 12.58%, 2.59%, 10.72%, 4.99%, 15.66%。灌浆末期叶、叶鞘、茎、穗轴、颖片、籽粒和废弃物中 Cd^{2+} 累积量分别占地上部分的 19.56%, 10.76%, 6.63%, 1.60%, 12.00%, 7.80%, 41.65%。在灌浆结束时,各部位 Cd^{2+} 累积量从大到小依次为:废弃物>叶>叶鞘、颖片>籽粒、茎>穗轴。

表 2 Cd^{2+} 在小麦植株地上部分不同部位、不同生育时期的累积量($\mu\text{g}/\text{株}$)

部位	越冬期	返青期	拔节期	抽穗期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆末期
叶	0.5945	0.6017	1.1097	1.8021	2.7258	4.4507	3.1556
叶鞘		0.0597	0.4284	1.0320	0.7415	0.9678	1.7364
废弃物		0.1896	0.2759	1.3447	1.4916	1.5878	6.7201
茎			0.2787	0.9636	1.1370	1.2751	1.0690
幼穗				0.4726			
穗轴					0.0460	0.2621	0.2583
颖片					0.4280	1.0867	1.9365
籽粒					0.0612	0.5055	1.2580

2.3 小麦地上部分不同生育阶段 Cd²⁺ 吸收量的动态变化

从表 3 可以看出,小麦地上部分干物重增加量在不同生育阶段的变化出现 2 次高峰,即:拔节—抽穗期和灌浆中—末期较高,越冬—返青期干物重增加量最低,其他生育阶段介于它们之间。小麦地上部分 Cd²⁺ 含量在不同生育阶段的变化趋势为:出苗—越冬期含量最高,随后开始下降,至抽穗—灌浆初期 Cd²⁺ 含量最低,然后又开始上升直至灌浆末期。小麦地上部分在不同生育阶段 Cd²⁺ 吸收量的变化趋势为:灌浆中—末期 Cd²⁺ 吸收量最高,拔节—抽穗期次之,灌浆初—中期再次之,随后依次为返青—拔节期、抽穗—灌浆初期

和出苗—越冬期,而越冬—返青期 Cd²⁺ 吸收量最低,仅为灌浆中—末期的 1/77。从吸收速率上看,它与吸收量的变化趋势有一些差异,其速率从快到慢依次为:灌浆中—末期、灌浆初—中期、拔节—抽穗期、抽穗—灌浆初期、返青—拔节期、出苗—越冬期、越冬—返青期,其最高速率为最低速率的 319 倍。以上试验结果可以说明,小麦地上部分在不同生育阶段的 Cd²⁺ 吸收量变化规律为:生育后期大于生育前期,生长旺盛期大于生长缓慢期,生殖生长期大于营养生长期;灌浆期和拔节—抽穗期 Cd²⁺ 吸收量及吸收速率显著高于其他时期;Cd²⁺ 吸收量与其干物重增加量呈极显著的正相关($r=0.916^{**}$),吸收速率与其干物重增加

表 3 小麦地上部分在不同生育阶段吸收 Cd²⁺ 的变化

生育阶段	天数(d)	干物重增量(mg/株)	Cd ²⁺ 含量(mg/kg)	Cd ²⁺ 吸收量($\mu\text{g}/\text{株}$)	吸收比例(%)	吸收速率 [$\mu\text{g}/(\text{株}\cdot\text{d})$]
出苗—越冬期	74	129.45	4.59	0.59	3.66	0.0080
越冬—返青期	57	71.93	4.23	0.26	1.61	0.0045
返青—拔节期	36	1002.46	1.74	1.24	7.69	0.0345
拔节—抽穗期	25	4320.15	1.02	3.52	21.82	0.1409
抽穗—灌浆初	11	1466.65	0.95	1.02	6.32	0.0924
灌浆初—中期	11	3104.56	1.00	3.50	21.70	0.3186
灌浆中—末期	13	4114.55	1.14	6.00	37.20	0.4614

量呈显著的正相关($r=0.800^*$)。

3 讨论

1) 本研究结果表明,小麦在灌浆结束时,不同部位 Cd²⁺ 含量从大到小依次为:废弃物>叶>根>叶鞘>颖片>穗轴>茎>籽粒;不同部位 Cd²⁺ 累积量从大到小依次为:废弃物>叶>叶鞘、颖片>籽粒、茎>穗轴。可见,小麦植株中较易富集 Cd²⁺ 的部位是叶、根及废弃物,而籽粒中 Cd²⁺ 水平较低。所以如果在镉污染程度较低的土壤上种植小麦,其可食部分——籽粒中 Cd²⁺ 含量基本上能够保证低于国家食品卫生标准的允许量(0.1 mg/kg),应该是安全可食的。

不少资料显示小麦不同部位 Cd²⁺ 含量从大到小为:根>茎叶>籽粒^[6~9],与本试验结果不完全一致,是小麦在不同生育期规律不完全一致,还是由于大田中根部取材不够完全造成,还有待进一步试验探讨和研究。

2) Cd²⁺ 一旦迁移到植物体内某一部位,随即累积下来,不再向别的部位移动,因此在衰老部位累积较多(废弃物中 Cd²⁺ 累积量最高),在未衰老部位累积较少。即使到植株衰老末期,也不能被其他未衰老的器官重新利用。所以 Cd²⁺ 应该是一种不可移动的元素。

3) 小麦镉污染来源有 3 条途径:土壤、水和大气,其中发挥最主要作用的是土壤,可以说,麦株吸收 Cd²⁺ 的量即为麦株从土壤中带走 Cd²⁺ 的量。小麦地上部分在不同生育阶段 Cd²⁺ 吸收量大不一样,其中灌浆期和拔节—抽穗期 Cd²⁺ 吸收量最高,并且其 Cd²⁺ 吸收速率也最大,说明这两大生育阶段是镉污染控制的关键时期,返青—拔节期和抽穗—灌浆初期 2 个阶段次之。在生产实践上,在镉污染控制的关键时期要注意合理的肥水运筹,如用井水灌溉代替河水灌溉,以避免含镉水污染;合理选择肥料和农药的种类,如含磷肥料中天然磷酸盐岩部分是由蓄积了海水镉的海洋动

定量化、信息化育种——作物育种的一个新方向

郭瑞林

(安阳市农业科学研究所, 河南 安阳 455000)

中图分类号: S330 文献标识码: B 文章编号: 1004-3268(2004)07-0017-03

展望世纪之初世界科学技术发展的整体态势, 我们可以清晰地看到, 当今时代, 最具影响魅力的领军学科是信息科学和生命科学两大学科。而定量化、信息化育种则是这两大学科在交叉渗透过程中异军突起的一支新兴科学领域。令人遗憾的是, 由于其研究难度较大, 目前尚未引起育种界的普遍关注。但它在某种程度上代表着作物育种的又一发展方向, 蕴含着巨大的发展潜力, 应引起育种界的高度重视。

1 定量化、信息化育种的概念

1.1 定量化育种

所谓定量化育种, 也称精密化或精确化育种。

指的是育种目标和育种过程的数学量化。即运用一定的数学理论, 将育种目标和育种过程转化为特定的数学模型, 这种数学模型抽象地反映了隐藏在杂乱无章的观察数据背后的育种规律。因此, 可以有效地指导育种实践。这里应当特别强调的是定量化和数学那种与生俱来的关系。没有数学, 谈不上定量化; 没有定量化, 数学也就缺乏存在的外壳和条件。

同样, 我们的育种学科, 只有在成功地运用数学之后, 才能从“定性经验”的迷谷中解放出来, 发展成为比较精密的定量学科。育种一旦实现定量化, 既可对作物育种过程中的各种现象给出质的定性解释和量的确切描述, 又可摆脱凭印象定

收稿日期: 2004-03-26

作者简介: 郭瑞林(1960-), 男, 河南林州人, 研究员, 本科, 主要从事小麦、绿豆遗传育种工作。

物的坚硬部分组成的, 施加到土壤中, 会被小麦植株大量吸收进入体内。

4) 小麦植株不同部位 Cd^{2+} 含量和累积量也大相径庭, 叶、根和废弃物中 Cd^{2+} 含量较高。所以如果在镉污染较为严重的地区收割小麦, 最好将植株连根拔起, 以避免根中含有大量的镉残留在土壤中; 叶和废弃物也不宜再用于饲料或者沤肥, 可以用作造纸及编织工艺品等, 避免其重新进入食物链中。

参考文献:

[1] 陈炳卿, 孙长颖. 食品污染与健康[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 149-152.

[2] 周炎, 钱肖余, 罗安程等. 土壤和植物中镉的污染及防治[J]. 环境污染与防治, 1996, 18(6): 19-21, 41.

[3] Jackson A P, Alloway B J. The transfer of cadmium from agriculture soils to the human food chain[A]. In

D. C. Adriano, ed. Biogeochemistry of trace metals[C]. Lewis publishers Boca Raton, FL, 1992. 109-158.

[4] 中国科学院南京土壤研究所微量元素组. 土壤和植物中微量元素分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 49-50.

[5] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 59.

[6] 韦柳兰, 王开曦, 栗德永. 小麦、玉米对不同类型污水中镉与铬的吸收与积累[J]. 山西农业科学, 1994(5): 27-28.

[7] 曹利军, 王华东. 土壤作物系统镉污染及其防治研究[J]. 环境污染与防治, 1996, 18(5): 8-11.

[8] 南忠仁, 程国栋. 干旱区污灌农田作物系统重金属CdPb生态行为研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 210-213.

[9] 冯绍元, 邵洪波, 黄冠华. 重金属在小麦作物体中残留特征的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 113-115.