

狭叶香蒲吸收 Cd^{2+} 的动力学特征

吴晓丽¹, 罗玉明², 徐迎春^{1*}, 鄢贵龙²

(1. 南京农业大学 园艺学院, 南京 210095; 2. 淮阴师范学院 生物系, 江苏 淮安 223300)

摘要: 采用水培方法, 加入 Cd^{2+} 浓度为 0.0、0.2、0.4、0.6、1.0、1.2、1.5 $mg \cdot L^{-1}$, 分别在 4、8、12、24 h 研究狭叶香蒲幼苗吸收 Cd^{2+} 的动力学特征。结果表明, 狭叶香蒲对 Cd^{2+} 的吸收基本符合 Michaelis-Menten 动力学模型。在上述几个时间段中, 以 0~4 h 时间段内狭叶香蒲对 Cd^{2+} 吸收的最大吸收速率 V_{max} 最大, K_m 最小, α 值也最大, 此时根系吸收能力最强。随时间的延长(4~24 h), V_{max} 变小, 但是净吸收速率 V 仍在增加。用 V-C 作图法和 L-B 作图法求解动力学参数结果差异不大, 且两种方法曲线模拟的相关性均较好。

关键词: 狭叶香蒲; Cd^{2+} ; 离子吸收动力学; 动力学参数

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)04-0511-04

The kinetics characteristic of Cd^{2+} absorption of *Typha angustifolia*

WU Xiao-Li¹, LUO Yu-Ming², XU Ying-Chun^{1*}, YAN Gui-Long²

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Department of Biology, Huaiyin Teachers College, Huai'an 223300, China)

Abstract: Cd^{2+} concentration of 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.0, 1.2, and 1.5 $mg \cdot L^{-1}$ were added in hydroponic culture solution to *Typha angustifolia* plants, and the Kinetics characteristic of Cd^{2+} absorption of them were studied separately at 4 h, 8 h, 12 h, and 24 h. Results indicated that the Cd^{2+} absorption of *T. angustifolia* conformed to Michaelis-Menten Kinetics model in the main. Among the before time periods, in 0-4 h time period, the maximum absorption rate V_{max} of *T. angustifolia* was the highest, the K_m was the lowest, and the α value was the highest, it showed that the root absorption ability was the strongest. With the time extending (4-24 h), the V_{max} decreased, but the completely absorption rate still increased. The kinetic parameters value obtained by V-C construction method and L-B construction method differed insignificantly, and the relativity of the curve imitated by the two methods all were good.

Key words: *Typha angustifolia*; Cd^{2+} ; kinetics of ion absorption; kinetic parameters

重金属污染在环境污染中占有十分突出的地位, 对生态环境可造成极大的破坏。利用植物吸收积累重金属的生物修复技术正在全球应用和发展(常福辰等, 2002)。据报道现已发现 Cd、Co、Cu、Pb、Ni、Se、Mn、Zn 超积累植物 400 余种(Blaylock 等, 1995)。其中香蒲属(*Typha*)植物具有净化含 Pb、Zn、Cu、Cd 等重金属废水(郑瑛等, 1996; 叶志鸿

等, 1992; 戴晶平等, 2003)及开发人工湿地的效能(阳承胜等, 2000; 陈桂珠等, 1996)。因此, 香蒲属植物在重金属污染生物修复的应用前景十分可观。

Claassen & Barber(1974)提出了离子消耗曲线方法, 该方法的一个最基本的假设就是一般认为, 在低浓度范围内, 根系对许多离子的吸收符合 Michaelis-Menten 动力学方程 $V = V_{max} \cdot C / (K_m +$

收稿日期: 2006-12-18 修回日期: 2007-03-03

基金项目: 江苏省自然科学基金(02180009); 淮安市农业科技计划项目(0352)[Supported by Natural Science Foundation of Jiangsu Province (02180009); Agricultural Science and Technology Project of Huai'an City(0352)]

作者简介: 吴晓丽(1980-), 女, 宁夏青铜峡市人, 在读硕士, 从事观赏植物生理生态研究, (E-mail) wxli1220@yahoo.com.cn.

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: xu-yeh@163.com)

C), 式中 V 为某浓度时的净吸收速率, C 为外液溶液浓度。 V_{\max} 为最大吸收速率, K_m 为米氏常数。离子吸收动力学研究可为鉴定和筛选高效基因型以及建立数学模型来描述离子迁移, 并为预测植物对离子的吸收提供依据。关于重金属离子的吸收动力学研究, 已有人对超积累 Cd^{2+} 的十字花科遏蓝菜属植物 *Thlaspi caerulescens* 的两种生态型做了 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 的吸收动力学研究 (Lombi 等, 2001)。香蒲属植物对重金属 Cd^{2+} 的离子吸收动力学研究未见报道。

狭叶香蒲 (*Typha angustifolia*) 又名水烛, 株形挺拔, 叶形优美, 其肉穗花序奇特可爱, 是人工湿地优选的水生植物。本试验以狭叶香蒲为试材, 采用离子吸收动力学的基本方法, 研究其对 Cd 离子的吸收状况, 为香蒲属植物离子吸收的动力学特征

研究提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

试材为狭叶香蒲 (*Typha angustifolia*), 采自江苏省淮安市楚州区。

1.2 试验方法

将狭叶香蒲先用自来水预培养一周, 然后分别用 1/4 Hoagland 营养液、1/2 Hoagland 各培养 9 d, 每 3 天换一次营养液, 于试验开始前 6 天改用全营养液培养。试验时加入 $CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$ 溶液的浓度设为: 0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.0, 1.2, 1.5 $mg \cdot L^{-1}$, 把植物根全部浸入溶液中, 调节 pH 值为 6.4, 室温 25 $^{\circ}C$ 。

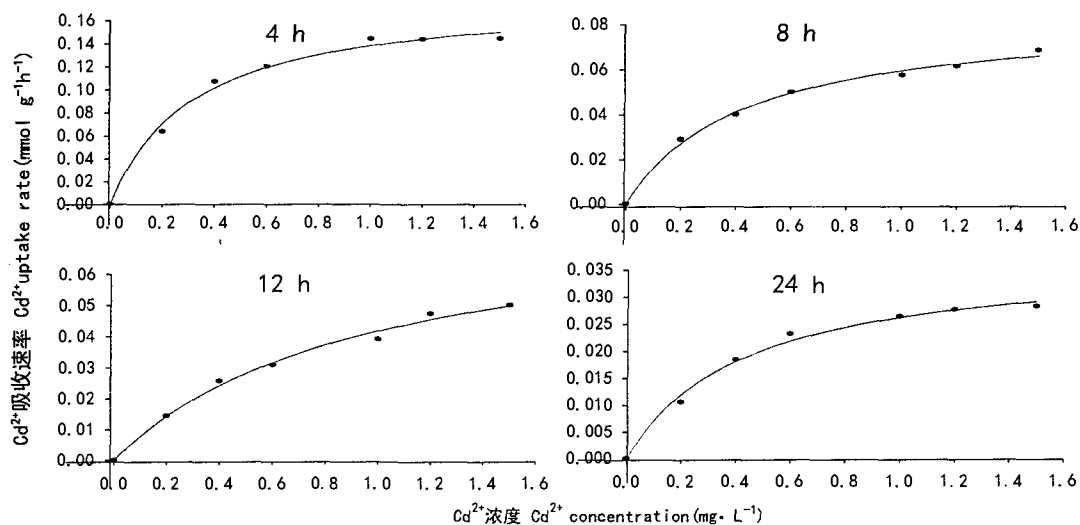


图 1 不同时间段内 Cd^{2+} 的吸收速率与浓度的关系

Fig. 1 The relation of absorption rate and Cd^{2+} concentration in different time periods

分别于 4、8、12、24 h 时取少量溶液用 ICP 仪测定 Cd^{2+} 含量。分别于试验开始前及试验结束时称植株重, 用于计算溶液失水量, 最终计算得出各时间段的 Cd^{2+} 吸收速率, 用于绘制吸收动力学曲线。试验重复三次。

1.3 数据分析方法

应用 Sigmaplot 10.0 统计分析软件进行曲线拟合, 作 Cd^{2+} 的吸收动力学曲线。

2 结果与分析

2.1 以 V-C (速率—浓度) 法作图求解狭叶香蒲对 Cd^{2+} 的吸收动力学参数

应用 sigmaplot 10.0 统计分析软件拟合速率—

浓度 (V-C) 曲线如图 1, 可以看出, 狭叶香蒲在不同浓度 Cd^{2+} 的溶液中吸收 Cd^{2+} 的曲线基本符合 Michaelis-Menten 动力学特征。从同一时间测定不同外液浓度的吸收曲线来看, 狭叶香蒲在外液浓度低时表现出较高的吸收速率增长, 随外液浓度的增加吸收速率增加减慢, 以后随浓度的增加吸收曲线趋于平缓。而不同时间段内狭叶香蒲吸收 Cd^{2+} 的动力学曲线存在差异, 在 0~4、4~8、8~24 h 时吸收平稳上升, 但在 8~12 h 时吸收急速上升。由曲线可得出动力学参数: 最大吸收速率 V_{\max} 和米氏常数 K_m 。从表 1 来看, 狭叶香蒲植株对 Cd^{2+} 的最大吸收速率整体呈下降趋势。在几个时间段中, 在 0~4 h 的时间段内 V_{\max} 最大; 而 4 h 后, 在 4~8 h 的

时间段内 V_{\max} 迅速下降, 为 4 h 时的 53.6%。8~12 h 时 V_{\max} 与 4~8 h 时较接近, 只下降了 4.3%, 而在 12~24 h 时 V_{\max} 又下降了 53.9%。说明狭叶香蒲在 4 h 时具较高的吸收能力。

根系的吸收能力用 α 表示, $\alpha = V_{\max}/K_m$, α 值越大根系吸收能力越强。由 V-C 法求解出不同时间段狭叶香蒲吸收 Cd^{2+} 的动力学参数, 可以看出(表 1), 在 0~4 h 的吸收过程中 α 值最大, 说明在 0~4 h 的主动吸收过程中 Cd^{2+} 流入根系的速率最大, 随着吸收时间的延长, 根系受到 Cd^{2+} 的伤害, 吸收能力减弱, 最大吸收速率变小, 但是净吸收速率仍在增

加。对 V-C 法作图得到的曲线的自变量与因变量

表 1 V-C 作图法求解的不同时间段狭叶香蒲吸收 Cd^{2+} 的动力学参数及曲线模拟的相关系数

Table 1 The Kinetics parameters of Cd^{2+} absorption of *Typha angustifolia* and relative coefficient of the curve imitated by the V-C method in different time periods

时间段 (h)	V_{\max} ($\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	K_m ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	α (V_{\max}/K_m)	r
0~4	0.181 8	0.313 0	0.580 8	0.996 1
4~8	0.084 3	0.418 7	0.201 3	0.997 5
8~12	0.080 7	0.930 8	0.086 7	0.996 4
12~24	0.037 2	0.424 0	0.087 7	0.996 6

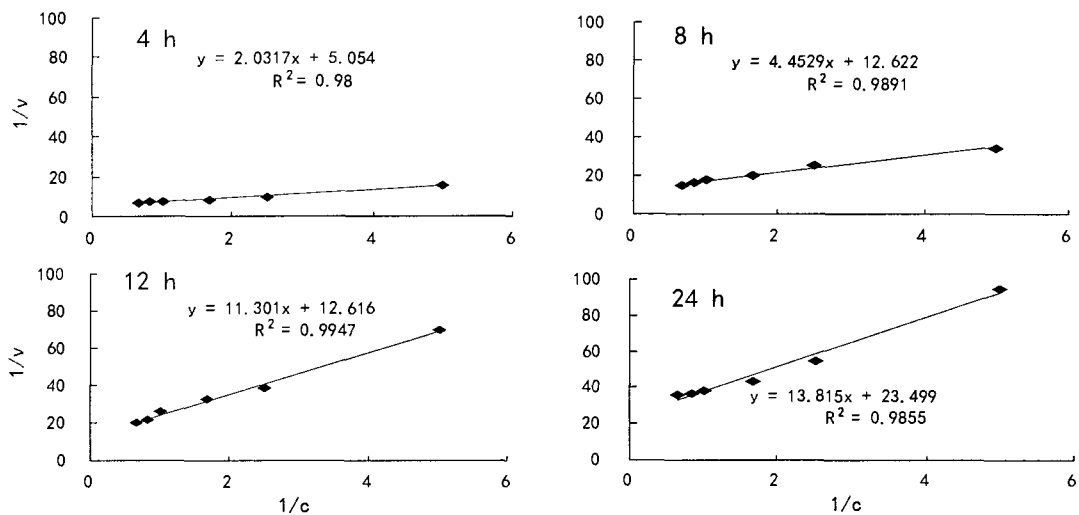


图 2 狭叶香蒲吸收 Cd^{2+} 的 Lineweaver-Burke 图

Fig. 2 The Lineweaver-Burke chart of Cd^{2+} uptake of *Typha angustifolia*

进行相关性分析, 发现图 1 中的四条曲线的自变量与因变量的相关性均较好, 相关系数均达到 0.99 以上(表 1)。

2.2 以 Lineweaver-Burke 双倒数法作图求解 Cd^{2+} 的吸收动力学参数

Lineweaver & Burk 采用双倒数法(简称 L-B 法)将米氏方程 $V = V_{\max} \cdot C / (K_m + C)$ 转变为: $1/V = 1/V_{\max} + K_m/V_{\max} \cdot 1/C$, 以 $1/V$ 对 $1/C$ 作图(图 2), 可以看出, 0~4、4~8、8~12 h 和 12~24 h 四个时间段吸收曲线各有差异, 整体趋势一致。

由 L-B 作图法求解的动力学参数及曲线模拟的相关系数见表 2, 与 V-C 图解法(表 1)进行比较可以看出, 两种方法求解的动力学参数的值差异不很大, 且两种方法模拟曲线的自变量与因变量相关性都很好。田霄鸿等(2001)对几种作物 NO_3^- 的吸收动力学参数的研究, 用同一组数据, 分别用上述两

种方法求解的动力学参数差异相当可观, 并认为原因似乎是 6 种蔬菜幼苗在 6 个 NaNO_3 吸收系列中, 1 h 内吸收的 NO_3^- 绝对量太小。本试验采用的试材和试验时间与其不同, 因此所得结果有差异。

3 结论

本试验通过离子吸收动力学, 研究了香蒲植物在 24 h 的不同时间段内吸收 Cd^{2+} 的动态过程。在 0~4、4~8、8~12 h 和 12~24 h 四个时间段吸收动力学曲线各有差异, 但整体趋势一致, 符合 Michaelis-Menten 动力学规律。与其他植物对离子吸收动力学研究呈现一致规律(常江等, 1994; 方从兵等, 2001)。试验表明狭叶香蒲在 0~4 h 时具有较高的 Cd^{2+} 吸收能力。试验用 V-C 和 L-B 两种作图法求得的动力学参数结果差异不大, 并且两种方法模拟

的曲线的自变量与因变量相关性均较好。

表 2 L-B 作图法求解的不同时间段狭叶香蒲吸收 Cd²⁺ 的动力学参数及曲线模拟的相关系数

Table 2 The kinetics parameters of Cd²⁺ absorption of *Typha angustifolia* and relative coefficient of the curve imitated by the L-B method in different time periods

时间段 (h)	V _{max} (mmol · g ⁻¹ · h ⁻¹)	K _m (mmol · L ⁻¹)	α (V _{max} /K _m)	r
0~4	0.197 9	0.402 0	0.492 2	0.980 0
4~8	0.079 2	0.352 8	0.224 5	0.989 1
8~12	0.079 3	0.895 8	0.088 5	0.994 7
12~24	0.042 6	0.587 9	0.072 5	0.985 5

参考文献:

Blaylock M, Ensley B, Salt D, et al. 1995. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants[J]. *Biotechnology*, **13**(7):468-474

Chang FC(常福辰), Shi GX(施国新), Wu GR(吴国荣), et al. 2002. Effects of the combinative pollution of mercury and cadmium on *Ceratophyllum demersum* and preliminary studies of its mechanism(汞、镉复合污染对金鱼藻的影响及其抗性机制的探讨)[J]. *Guihaia*(广西植物), **22**(5):453-457

Chang J(常江), Zhang LG(章力干). 1994. Effects of lanthanum and calcium on rate of phosphorus and potassium uptake in rice (镧钙对水稻磷、钾吸收速率的影响)[J]. *J Anhui Agric Univ* (安徽农业大学学报), **21**(4):494-497

Chen GZ(陈桂珠), Ma MJ(马曼杰), Lan CY(蓝崇钰), et al. 1990. Investigations on cattail plant purification pond ecosystem (香蒲植物净化塘生态系统调查研究)[J]. *J Ecol*(生态学杂志), **9**(4):11-15

Classen N, Barber SA. 1974. A Method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact

plants[J]. *Plant Physiol*, **54**:564-568

Dai JP(戴晶平), Hu YH(胡岳华). 2003. Physiological characteristics of *Typha latifolia* and its environmental effect on tailing disposal(香蒲植物生理特征及其对矿山尾矿的环保作用)[J]. *Mining and Metallurgical Engineering* (矿冶工程), **23**(6):32-34

Fang CB(方从兵), Sun QB(孙其宝), Sun J(孙俊). 2001. Studies on potassium and phosphate uptake Kinetics of peach (桃 K⁺, H₂PO₄⁻ 吸收动力学研究)[J]. *Quarterly of Forest By-Product and Speciality in China* (中国林副特产), **3**:4-6

Lombi E, Zhao FJ, McGrath SP, et al. 2001. Physiological evidence for a high-affinity cadmium transporter highly expressed in a *Thlaspi carulescens* ecotype[J]. *New Phytologist*, **149**:53-60

Tian XH(田霄鸿), Li SX(李生秀), Wang QJ(王清君). 2001. Preliminary study on the methods for determining absorption Kinetic parameters of NO₃⁻ by using some crops(几种作物 NO₃⁻ 吸收动力学参数测定方法初探)[J]. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), **32**(1):16-18

Yang CS(阳承胜), Lan CY(蓝崇钰), Shu WS(束文圣). 2000. Purification of Pb/Zn mine wastewater with *Typha latifolia* man-made wetland (宽叶香蒲人工湿地对铅/锌矿废水净化效能的研究)[J]. *J Shenzhen Univ* (Sci Engin) [深圳大学学报(理工版)], **17**(2-3):51-56

Ye ZH(叶志鸿), Chen GZ(陈桂珠), Lan CY(蓝崇钰), et al. 1992. Effect of treating Pb/Zn mine wastewater with *Typha latifolia* purification pond system(宽叶香蒲净化塘系统净化铅锌矿废水效应研究)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **3**(2):190-194

Zheng Y(郑瑛), Li H(李晖). 1996. Study on the purification benefits of purifying pond of *Typha latifolia* plants to the mine waste water(香蒲植物净化塘对矿山废水的净化效益)[J]. *Suppl J Sun Yat Univ* (中山大学学报论丛), **2**:169-171

更正说明

发表于 2008 年第 3 期 414~419 页的李欢庆作者的文章,其中两处有误,现更正如下:

- (1)图 3 中的 BaC₂ 更正为 BaCl₂;
- (2)图 4 中的图片更正为右图。

