

不同品种浮萍磷素吸收动力学特征

蔡树美^{1a}, 刘文桃², 张震^{1b}, 柏彦超^{1b}, 钱晓晴^{1b①} (1.扬州大学 a. 生物科学与技术学院; b. 环境科学与工程学院, 江苏扬州 225126; 2. 扬州环境资源职业技术学院环境科学与工程系, 江苏扬州 225126)

摘要: 以长江三角洲地区常见的3种浮萍——稀脉浮萍(*Lemna aequinoctialis*)、少根紫萍(*Spirodela oligorrhiza*)和紫萍(*Spirodela polyrrhiza*)为对象,研究不同品种浮萍对 HPO_4^{2-} 的吸收动力学影响。结果表明,3种浮萍对无机磷的吸收动力学特征基本可采用 Michaelis-Menten 方程描述,3种浮萍无机磷吸收速率 V 对磷浓度 S 双倒数曲线的拟合关系均在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著。稀脉浮萍对无机磷的亲合力较强,适宜应用于对低磷浓度污水的净化;紫萍对无机磷的最大吸收速率 V_{\max} 较高,适宜应用于对高磷浓度污水的净化。

关键词: 浮萍; 磷污水; HPO_4^{2-} ; 吸收动力学

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673 - 4831(2011)02 - 0048 - 05

Phosphorus Uptake Kinetics of Different Types of Duckweed. CAI Shu-mei^{1a}, LIU Wen-tao², ZHANG Zhen^{1b}, BAI Yan-chao^{1b}, QIAN Xiao-qing^{1b} (1. a. College of Bioscience and Biotechnology; b. College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225126, China; 2. Department of Environmental Sciences and Engineering, Yangzhou Vocational College of Environment and Resources, Yangzhou 225126, China)

Abstract: An increasing attention has been paid to the use of duckweed in treating eutrophicated water as a tool of bio-remediation of domestic wastewater. Phosphorus uptake kinetics was studied, of different species of duckweeds, i. e. *Lemna aequinoctialis*, *Spirodela oligorrhiza* and *Spirodela polyrrhiza*, which are common in the Yangtze River Delta area. Results show that the phosphorus uptake kinetics of the duckweeds could be expressed with the Michaelis-Menten equation; and the relation between phosphorus uptake rate (V) of the duckweeds and inorganic phosphorus (Pi) concentration (S), was well fitted with a double-reciprocal curve with $\alpha = 0.01$; the K_m value for Pi uptake of *Lemna aequinoctialis* was lower than that of *Spirodela oligorrhiza* and *Spirodela polyrrhiza*, making it a better candidate for treating wastewater low in Pi concentration. The maximum phosphorus uptake rate of *Spirodela polyrrhiza* was higher than that of the other two species, which allows *Spirodela polyrrhiza* better performance in purifying wastewater higher in Pi concentration.

Key words: duckweed; phosphorus-containing wastewater; HPO_4^{2-} ; uptake kinetics

随着经济发展和人口增长,水体富营养化问题日趋突出^[1-3],其中磷对水体富营养化的贡献尤为特殊^[4]。利用水生植物去除水体中磷的研究引起了广泛关注^[5-7],而用浮萍净化富营养化水体是一种磷去除效率较高且处理成本相对较低的自然水体生态修复方法。目前,对各种浮萍生长繁育适宜条件等的研究国内外已有一些报道^[8-10],而对浮萍净化污水的理论机制研究相对较少。应用吸收动力学理论阐述植物尤其是栽培植物(如水稻、大麦、小麦、油菜、玉米等)对营养物质的吸收特性已十分普遍,也有报道运用该理论比较同一作物不同品种营养特性的差异^[11-12]。但有关浮萍用于环境污染修复时对磷的吸收动力学特性研究还鲜见报道。

浮萍不仅对废水中的磷具有较高的耐性,而且具有明显的净化作用,植物体对磷的直接吸收是其净化作用的主要机制之一^[13]。有研究表明,植物只

能吸收利用无机态的正磷酸盐(H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-} 、 PO_4^{3-}),其中 HPO_4^{2-} 可能是浮游植物能够直接吸收利用的唯一磷源^[14]。笔者以酶促反应动力学理论为基础,开展不同品种浮萍对 HPO_4^{2-} 的吸收动力学特性研究,对进一步明确浮萍对废水中磷的净化机理和确定污染修复工程中磷的负荷均具有理论和实际意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据《中国植物志》中描述的浮萍形态特征,从扬州市郊区野外采集稀脉浮萍(*Lemna aequinoctia-*

收稿日期: 2010 - 11 - 11

基金项目: 江苏省社会发展计划(BS2007040); 江苏省科技支撑计划(农业)(BE2009378)

① 通信作者 E-mail: xiaoqingqian@163.com

lis)、少根紫萍(*Spirodela oligorrhiza*)和紫萍(*Spirodela polyrrhiza*)。其中稀脉浮萍取自扬州大学农牧场(32°24′06.9″ N, 119°23′01.2″ E),少根紫萍取自扬州市荷花池(32°23′06.7″ N, 19°25′19.7″ E),紫萍取自扬州市保障河河段(32°25′24.4″ N, 119°25′17.4″ E)。取回的浮萍经流水清洗后进行放大培养,挑选生长良好且形态大小相近的个体,经自来水冲洗去除污垢和杂质后,用吸水纸吸干叶状体表面水分,投入培养液中进行试验。

试验采用 Hoagland's E-Medium 培养液。培养液成分为: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $246 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $543 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; KH_2PO_4 , $136 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; KNO_3 , $251 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $9.92 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; Na_2EDTA , $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; H_3BO_3 , $1.43 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $0.93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $0.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $0.045 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $0.045 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

以缺磷的 Hoagland 营养液(除不加 KH_2PO_4 外,其他成分同 Hoagland's E-Medium 培养液)为基础,分别加入不同量的 KH_2PO_4 , 配置成总磷浓度分别为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、1.0、1.5、2.0、3.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的系列浓度梯度溶液。

1.2 试验方法

1.2.1 磷饥饿培养

参照 Hoagland 营养液配制方法配置无磷营养液,即将完全营养液中所含的 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ KH_2PO_4 替换为 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl ,再用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KOH 或 NaOH 调节营养液 pH 值至 6.5。分别取 5 g 不同品种浮萍放入无磷营养液中,培养 1 周后备用。磷饥饿培养试验条件为:[光]照度 2 500 ~ 3 000 lx,温度 20 ~ 25 °C。

1.2.2 吸收动力学测定

分别取上述系列磷浓度梯度溶液 30 mL 加入培养皿中。取磷饥饿培养 1 周后的浮萍,于装有 100 mL 蒸馏水的烧杯中反复漂洗 3 次,以去除叶状体和根上黏附的营养液和分泌物等,再分别取出 0.3 g 不同品种浮萍 30 份,用滤纸吸干水分后立即称量,并放入装有上述系列营养液的培养皿中,再将培养皿放入光照培养箱中并计时。光照培养箱条件设置为:[光]照度 3 000 lx,温度 25 °C。每个处理重复 3 次。5 h 后取出各培养皿中的浮萍,同时取 5 mL 培养皿中的溶液于 50 mL 容量瓶中,钼蓝比色法测定各培养皿中无机磷含量。试验开始时培养皿中磷含量减去浮萍吸收后培养皿中剩余无机磷含量即为浮

萍吸收的无机磷含量。根据吸收过程的时间和根系鲜质量计算磷的吸收速率和动力学参数,吸收速率按式(1)计算:

$$V = (c_0 - c_t \times u) / (t \times m) \quad (1)$$

式(1)中, V 为磷吸收速率, $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; c_0 为试验结束时对照组培养液中磷含量, $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; c_t 为试验结束时试验组培养液中磷含量, $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; u 为培养液体积,L; t 为试验时间,h; m 为浮萍鲜质量,g。

采用双倒数法确定吸收动力学参数:试验时选择不同的膜外离子浓度 S 测定相对应的吸收速率 V ,以 $1/V$ 对 $1/S$ 作图,得到直线的横轴截距 x 和纵轴截距 y ,则离子-载体间的解离常数 $K_m = -1/x$,载体饱和时的最大吸收速率 $V_{\max} = 1/y$ 。吸收动力学曲线公式为:

$$V = V_{\max} S / (K_m + S) \quad (2)$$

式(2)中,当 $V = 1/2 V_{\max}$ 时, $K_m = S$ 。

1.2.3 数据处理与分析

采用 SPSS 13.0 和 Office 2000 软件进行数据处理,采用线性模型检验回归方程的拟合显著性。

2 结果与分析

2.1 稀脉浮萍吸收磷的动力学特征

图 1 为稀脉浮萍吸收磷的动力学曲线。

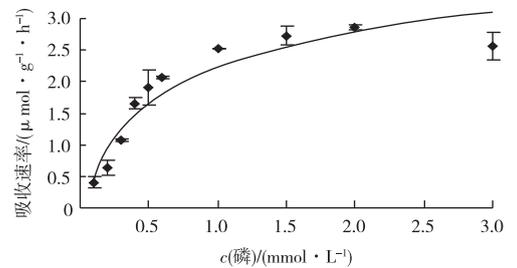
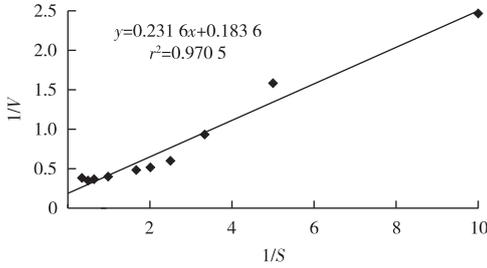


图 1 稀脉浮萍吸收溶液中无机磷的动力学曲线

Fig.1 Dynamic curve of phosphorus uptake of *Lemna aequinoctialis*

由图 1 可见,随着溶液中 HPO_4^{2-} 浓度提高,稀脉浮萍对 HPO_4^{2-} 的吸收速率不断增大,并逐渐趋于饱和,当溶液中无机磷浓度达到 $3.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,稀脉浮萍对 HPO_4^{2-} 的吸收速率开始下降。作磷吸收速率 V 对磷浓度 S 的双倒数曲线(图 2),即以 $1/V$ 对 $1/S$ 作图,由此求得最大吸收速率 V_{\max} 为 $5.447 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,米氏常数 K_m 为 $1.262 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,稀脉浮萍吸收无机磷的动力学过程可用 Michaelis-Menten 方程(米氏方程)来描述,回归

方程为 $V = 5.447S / (1.262 + S)$ 。线性回归分析表明,双倒数曲线的决定系数 $r^2 = 0.9705$,其线性拟合在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著。



V 为磷吸收速率, $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; S 为磷浓度, $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

图2 稀脉浮萍磷吸收速率对磷浓度的双倒数曲线

Fig. 2 Double-reciprocal curve expressing relation of phosphorus uptake rate of *Lemna aquinoctialis* with Pi concentration

2.2 少根紫萍吸收磷的动力学特征

图3为少根紫萍吸收磷的动力学曲线。由图3可见,随着溶液中 HPO_4^{2-} 浓度提高,少根紫萍对 HPO_4^{2-} 的吸收速率不断增大,并逐渐趋于饱和。作磷吸收速率 V 对磷浓度 S 的双倒数曲线(图4),得出最大吸收速率 V_{max} 为 $7.698 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,米氏常数 K_m 为 $2.186 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。少根紫萍吸收无机磷的动力学方程为 $V = 7.698S / (2.186 + S)$ 。线性回归分析表明,双倒数曲线的决定系数 $r^2 = 0.9661$,其线性拟合在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著。

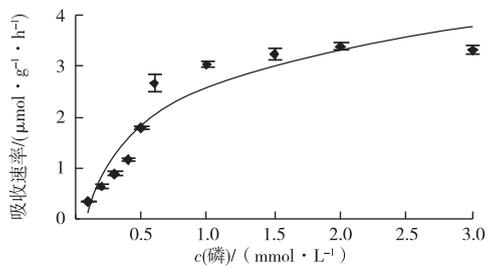


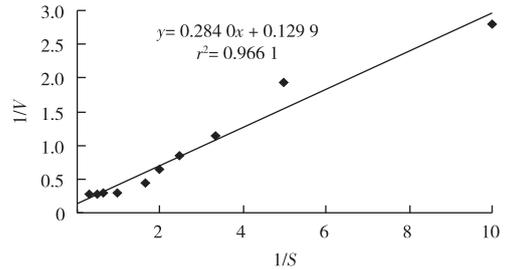
图3 少根紫萍吸收无机磷的动力学曲线

Fig. 3 Dynamic curve of phosphorus uptake of *Spirodela oligorrhiza*

2.3 紫萍吸收磷的动力学特征

图5为紫萍吸收磷的动力学曲线。作磷吸收速率 V 对磷浓度 S 的双倒数曲线(图6),得出最大吸收速率 V_{max} 为 $9.606 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,米氏常数 K_m 为 $2.695 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。紫萍吸收无机磷的动力学方程为 $V = 9.606S / (2.695 + S)$ 。线性回归分析表明,双倒数曲线的决定系数 $r^2 = 0.9868$,其线性拟合在

$\alpha = 0.01$ 水平上显著。



V 为磷吸收速率, $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; S 为磷浓度, $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

图4 少根紫萍磷吸收速率对磷浓度的双倒数曲线

Fig. 4 Double-reciprocal curve expressing relation of phosphorus uptake rate of *Spirodela oligorrhiza* with Pi concentration

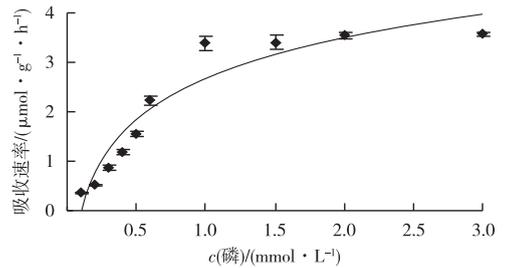
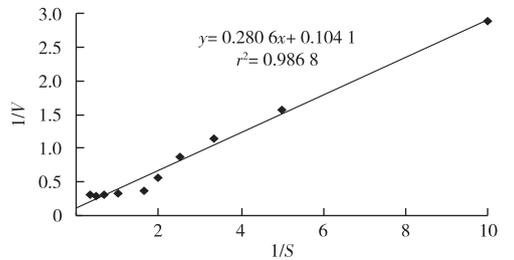


图5 紫萍吸收溶液中无机磷的动力学曲线

Fig. 5 Dynamic curve of phosphorus uptake *Spirodela polyrrhiza*



V 为磷吸收速率, $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; S 为磷浓度, $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

图6 紫萍磷吸收速率对磷浓度的双倒数曲线

Fig. 6 Double-reciprocal curve expressing relation of phosphorus uptake rate of *Spirodela polyrrhiza* with Pi concentration

2.4 不同品种浮萍吸收无机磷的动力学参数比较

从表1可以看出,不同品种浮萍对 HPO_4^{2-} 的亲合力和最大吸收速率存在明显差异,稀脉浮萍的 $1/K_m$ 最大,少根紫萍次之,紫萍最小,说明稀脉浮萍对无机磷的亲合力更强,在较低的离子浓度下就可以达到最大吸收速率。

表1 不同品种浮萍吸收无机磷的动力学参数

Table 1 Kinetic parameters of phosphorus uptake by different types of duckweed

浮萍	动力学方程	r^2	$K_m /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	$V_{\text{max}} /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
稀脉浮萍	$V = 5.447S / (1.262 + S)$	0.970 5 **	1.262	5.447
少根紫萍	$V = 7.698S / (2.186 + S)$	0.966 1 **	2.186	7.698
紫萍	$V = 9.606S / (2.695 + S)$	0.986 8 **	2.695	9.606

K_m 为米氏常数; V_{max} 为最大吸收速率。** 方程拟合在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著。

3 讨论

吸收动力学研究有助于了解离子的运输调节机制,通过动力学试验可以测出外部离子(或其他溶质)浓度对运输速率的影响。在不考虑底物浓度时,载体介导的运输速率不会超过最大速率 V_{max} ,当载体的底物结合位点饱和或通道的流量达最大时,运输速率会接近 V_{max} 。运输速率的限制因素是运输体的密度而非溶质浓度,所以 V_{max} 可表征膜上特异功能蛋白质分子的数目。米氏常数 K_m 可反映特定结合位点的特性,在数值上等于运输速率达 $1/2V_{\text{max}}$ 时的溶质浓度。较低的 K_m 值表明运输活性位点和被运输物质的亲和性高,通常暗示载体系统在起作用;较高的 K_m 值则表明运输活性位点和被运输物质的亲和性低,若亲和性太低以至运输速率不能达到实际 V_{max} ,这种情况下单独的动力学分析则很难区分通道和载体。 K_m 值是载体的特征参数之一,它只与载体性质有关,而与载体数量无关,如果该载体可转运几种离子,则对每一种离子来说都具有一个特定的 K_m ,并且 K_m 值受 pH 值、温度等因子的影响。 $1/K_m$ 愈大,表明载体对离子的亲和力愈大,即不需要很高的离子浓度就可以很容易地达到 V_{max} 。 K_m 值因离子种类而异的现象可以帮助人们判断载体的专一性^[15-16]。

笔者的试验结果表明,紫萍的最大吸收速率 V_{max} 最大,少根紫萍次之,稀脉浮萍最小。 V_{max} 是浮萍磷吸收能力的一个重要指标, V_{max} 越大,膜上特异功能性蛋白质分子越多,单位时间内浮萍对磷的吸收量就越多。这表明当介质中无机磷浓度较高时,紫萍对无机磷的净化速率要比少根紫萍和稀脉浮萍更快。这一结果可在理论上解释一些学者得出的紫萍相对于稀脉浮萍更适合于对严重磷富营养化地表水体进行治理和生态修复的结论^[17]。同时也说明在实际应用中,当污水中磷浓度较低时,稀脉浮萍生

物量倍增速度较快,因而选用稀脉浮萍能更快地完成对污水中磷的净化和修复;而当污水中磷浓度较高时,由于紫萍对高磷污染的耐受性更强,且在高磷浓度下,紫萍对磷的吸收速率更快,因此选用紫萍进行修复能起到更好的净化效果。

Michaelis-Menten 方程常被用来描述生化反应和根系吸收动力学过程,可以根据试验数据采用双倒数法求算方程参数,简便快捷,为许多学者所推荐。笔者的试验也说明采用该方程模拟 3 种浮萍对无机磷的吸收动力学特征及比较其差异是基本可行的。然而,笔者也注意到根据试验数据绘制的浮萍对无机磷吸收速率与溶液中无机磷浓度的散点图(图 1、3、5)无一例外地表现为“S”形分布规律,而采用 Michaelis-Menten 方程却难以表达这种“S”形分布特征,因而浮萍磷吸收速率对磷浓度的双倒数曲线图中的理论值散点也呈现出“S”形分布特征(图 2、4、6),而非典型的直线。韩振海等^[18]认为在较宽的养分浓度范围内,植物对养分的吸收过程可以分为 2 个部分:在低浓度下,养分运输受高亲和力转运系统控制,动力学曲线存在饱和点;在高浓度下,养分运输受低亲和力转运系统控制,动力学曲线通常没有饱和点。笔者试验设置的 $0 \sim 3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HPO}_4^{2-}$ 营养液离子浓度在前人关于甜菜^[16]、薏苡^[19]等试验材料的报道中都被采用过,并证实其与植物吸收离子间的关系符合动力学描述。笔者认为试验中浮萍对 HPO_4^{2-} 的吸收表现出一定的“S”形吸收动力学特性的现象,可能是因为浮萍对于 HPO_4^{2-} 的吸收水平高于前人所采用的植物材料,以及与 HPO_4^{2-} 吸收相关的酶未完全被底物饱和所致。其具体原因有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛,等.中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990:16-17.
- [2] 苏玲.水体富营养化[J].世界环境,1994,42(1):23-26.
- [3] 邓泓,何国富,邢和祥,等.河道水体富营养化污染综合治理的研究[J].环境科学与技术,2008,31(2):132-135.
- [4] 季耿善.水域富营养化及对我国洗涤剂“禁磷”的讨论和发展建议报告(上)[J].环境保护,2007,384(22):40-45.
- [5] RAN N, AGAMI M, ORON G. A Pilot Study of Constructed Wetlands Using Duckweed (*Lemna gibba* L.) for Treatment of Domestic Primary Effluent in Israel [J]. Water Research, 2004, 38(9): 2241-2248.
- [6] DALU J M, NDAMBA J. Duckweed Based Wastewater Stabilization Ponds for Wastewater Treatment (a Low Cost Technology for Small Urban Areas in Zimbabwe) [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28(20/27): 1147-1160.

- [7] 张志勇,郑建初,刘海琴,等. 凤眼莲对不同程度富营养化水体氮磷的去除贡献研究[J]. 中国生态农业学报,2010,18(1): 152-157.
- [8] 沈根祥,胡宏,沈东升,等. 浮萍净化氮磷污水生长条件研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):284-287.
- [9] 种云霄,胡洪营,钱易. 细脉浮萍和紫背浮萍在污水营养条件下的生长特性[J]. 环境科学,2004,25(6):59-64.
- [10] 刘杰,黄辉,赵浩,等. 浮萍生长及其除磷效率的影响因素的研究[J]. 环境污染与防治,2007,29(7):521-524.
- [11] 张富仓,康绍忠,李志军. 小麦和大麦吸收 N、P、K 的动力学参数及相互作用机制研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2002,10(1):36-41.
- [12] 田霄鸿,李生秀,王清君. 几种作物 NO₃⁻ 吸收动力学参数测定方法初探[J]. 土壤通报,2001,32(1):16-19.
- [13] 沈根祥,姚芳,胡宏,等. 浮萍吸收不同形态氮的动力学特性研究[J]. 土壤通报,2006,37(3):505-508.
- [14] BJÖRKMAN K, KARL D M. Bioavailability of Inorganic and Organic Phosphorus Compounds to Natural Assemblages of Microorganisms in Hawaiian Coastal Waters [J]. Marine Ecology Progress Series, 1994, 111: 265-273.
- [15] 蒋廷惠,郑绍建,石锦芹,等. 植物吸收养分动力学研究中的几个问题[J]. 植物营养与肥料学报,1995,1(2):11-17.
- [16] 王孝纯,周建朝,於丽华,等. 不同基因型甜菜无机磷吸收动力学参数研究[J]. 中国甜菜糖业,2007(2):5-7.
- [17] 宋关玲,侯文华,汪群慧. 浮萍适合修复水体磷浓度范围的研究[J]. 中国给水排水,2006,22(增刊1):396-400.
- [18] 韩振海,王永章. 植物的离子吸收动力学研究的现状和前景[J]. 北京农业大学学报,1994,20(4):381-387.
- [19] 高冲. 薹苳对富营养化水体中氮磷吸收去除效应及其影响因素研究[D]. 杭州:浙江大学,2008: 25.

作者简介: 蔡树美(1984—),女,江苏溧阳人,博士生,主要从事植物营养与生理方面的研究。E-mail: caishumei_1984@yahoo.com.cn

敬告读者·作者

中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国科学文献计量评价研究中心 2010 年 12 月 16 日公布了 2010 版《中国科技期刊影响因子年报》,还发布了“学术期刊评价指标分析数据库”以及“学术期刊个刊影响力评价分析数据库”(统称之为 JIF 系列数据库)。该系列数据库的研制出版旨在客观、规范地评估学术期刊对科研创新的作用,为学术期刊提高办刊质量和水平提供决策参考。《中国学术期刊影响因子年报》是原《中国学术期刊综合引证报告》刊物的更名版。

中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2010 版)公布的本刊引证数据为:复合影响因子(U-JIF)1.933,期刊综合影响因子(MS-JIF)1.239,基础研究类期刊影响因子(JIF-FR)1.196,影响因子学科排序均为第 3 位。说明本刊发表的论文在全国科技期刊界有一定影响力,系国内比较重要的科技期刊。

附:术语与定义

复合影响因子(U-JIF) 以期刊综合统计源文献、博士学位论文统计源文献、硕士学位论文统计源文献、会议论文统计源文献为复合统计源文献计算,被评价期刊前 2 年发表的可被引文献在统计年的被引用总次数与该期刊在前 2 年内发表的可被引文献总量之比。

期刊综合影响因子(MS-JIF) 以基础研究、技术研究、技术开发类科技期刊及引证科技期刊的人文社会科学基础研究、应用研究和工作研究期刊作为期刊综合统计源文献计算,被评价期刊前 2 年发表的可被引文献在统计年的被引用总次数与该期刊在前 2 年内发表的可被引文献总量之比。

基础研究类期刊影响因子(JIF-FR) 以基础研究、技术研究类科技期刊作为第 I 类统计源期刊计算,基础研究类期刊前 2 年发表的可被引文献在统计年的被引用总次数与该期刊在前 2 年内发表的可被引文献总量之比。

本刊编辑部
2011 年 3 月 20 日