

不同基因型水稻幼苗摄取东湖水磷形态的动力学研究

郑振华¹, 周培疆^{1,2}, 吴振斌²

(1. 武汉大学环境科学系, 湖北 武汉 430072; 2. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

摘要: 研究比较了汕优 63 和金优 77 两种不同基因型水稻在幼苗期于武昌东湖水 中生长时体内磷含量及其变化速率。结果表明, 金优 77 较汕优 63 能更有效地利用天然水中的磷。将湖水中的磷划分为总磷(TP)、总溶解反应磷(TSP)、总反应磷(TRP)、溶解性反应磷(SRP)4 种不同的磷形态, 研究比较了两种不同基因型水稻幼苗期对天然水体中各磷形态的摄取动力学行为, 结果表明金优 77 较汕优 63 能更快速而有效地利用各磷形态。

关键词: 水稻; 东湖水; 磷形态; 动力学

中图分类号: S131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2002)03 – 0218 – 03

Kinetic of Uptake for Phosphorous Fractions by Rice Seedling of Different Genotypes

ZHENG Zhen-hua¹, ZHOU Pei-jiang^{1,2}, WU Zhen-bin²

(1. Department of Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China; 2. Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China)

Abstract: Phosphorus contents in the rice seedlings of different genotypes and their changing velocities in the water of lake Donghu were studied. The present results show that the uptake of phosphorus by Jinyou 77 was more effective than by Shanyou 63. Phosphorus in water can be divided into four kinds of phosphorus fractions such as TP, TSP, TRP and SRP. Kinetic character of the uptake of phosphorus fractions by different rice genotypes are compared in the present study and the results showed that Jinyou 77 posed uptake all the phosphorus fractions faster than did Shanyou 63.

Keywords: rice; water of lake Donghu; phosphorus fractions; kinetics

近年来, 随着工农业和社会经济的迅速发展, 我国湖泊水系富营养化程度不断加大。宋祥甫等^[1]提出在天然富营养化水体上种植水稻等适宜的湿生植物, 通过植物根系的吸收作用去除富营养水体中的氮、磷, 在净化水体的同时还能收获农产品, 这一方法已引起国家科委和农业部的重视^[2]。但目前的研究仅限于总磷的去除研究, 且未对不同基因型水稻的摄磷能力进行比较。同时磷在水体中有各种形态, 植物对不同磷形态摄取的规律也不同, 因而定量研究不同基因型水稻对天然水体中各磷形态的摄取行为是必要的^[3]。本实验选用汕优 63 和金优 77 两种水稻, 研究其幼苗

期摄取东湖水磷形态的动力学。

1 材料与方法

1.1 天然水体中磷形态的划分

依据磷的钼蓝显色测定方法^[4], 将湖水的磷划分为总磷(TP)、总溶解反应磷(TSP)、总反应磷(TRP)、溶解性反应磷(SRP)4 种不同磷形态(见图 1)。

1.2 水稻的培养

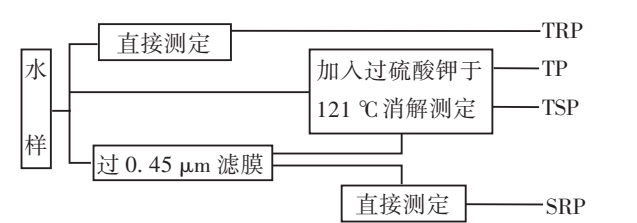


图 1 各磷形态测定程序

Figure 1 The procedure of determining the phosphorus fractions

收稿日期: 2001 – 07 – 05

基金项目: 国家杰出青年科学基金(39925007); 淡水生态与生物技术国家重点实验室开放基金(1999FB01)

作者简介: 郑振华(1976—), 男, 武汉大学环境科学系硕士研究生, 从事环境生态化学研究。

通讯联系人: 周培疆

培养装置：圆形塑料桶，容积约为 2 L，其上设一小塑料筐，培养时加入的水样恰好与筐底接触，塑料筐的网眼恰好可使水稻种子不致落于水中，而其根部可全部穿过浸入水样中。

将金优 77 和汕优 63 稻种（购自湖北省种子公司）经初步消毒后浸泡 4 d 萌发，播至装有自来水的培养装置中，培养 12 d 以耗净其种内全部营养，间苗，换成蒸馏水饥饿培养 5 d 后，换成东湖水，每桶加入相同体积的东湖水并标记刻度，每桶中培养的苗数皆为 200 株，以后每天加入蒸馏水至刻度以保持桶内东湖水体积不变。

1.3 水稻摄取各磷形态的动力学实验

按时间间隔定时随机取出 30 株幼苗，按华东师范大学生物系的《植物生理学实验》(1989) 的方法测定体内含磷量，并按上述分类方法测桶内东湖水的各种磷形态含量。

2 结果与讨论

2.1 水稻体内磷含量变化

研究表明，不同基因型水稻对磷的摄取效率及速率有较大差异^[5]，因而在同样的水环境中，其摄磷动力学行为及摄磷速率也存在差异。水稻在东湖水中生长引起湖水中各磷形态减少，其中吸附过程有重要作用，因而体内磷含量的变化可更准确地反映水稻对磷形态的利用能力，结果见图 2。

图 2 水稻幼苗体内磷含量曲线
Figure 2 The curve of phosphorus contents in the rice seedlings

可将植物体内磷含量变化用下列线性方程拟合：
 $C = C_0 + kt$
其中： C 为体内磷含量， $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ； C_0 为截距； k 为斜率； t 为时间， d^{-1} 。通过斜率 k 比较两种不同基因型水稻对磷吸收利用的能力，结果列于表 1。

显然，金优 77 的 k 值大于汕优 63，表明在东湖水中生长时，前者较后者能更快地摄取和利用磷营养。这种差异的原因可能是经过饥饿培养后置于天然水中时，不同基因型水稻发生的适应性变化不同。有

表 1 水稻在幼苗期于东湖水中生长时体内磷含量变化的线性拟合结果
Table 1 The results of linear fit based on the changing of phosphorus content in the rice seedling grown in the water of Lake Donghu

品种	C_0	k	相关系数 r
汕优 63	3. 078 31	0. 056 95	0. 972 44
金优 77	3. 783 38	0. 074 43	0. 997 81

的研究结果认为这主要是根的形态及表面积不同所致^[6]；也有研究指出，这是由于不同植物根系分泌非专一性分泌物的能力和磷酸酶等酶的活性高低存在差异。可明显看出，金优 77 摄取的效率较汕优 63 高。植物在生长过程中，其摄取磷的能力并不是恒定不变的，在不同生理时期，其摄取磷的速率会随着代谢活动的变化而变化，这可用其体内磷含量变化速率来表征，结果见图 3。

图 3 植株体内磷含量的变化速率曲线
Figure 3 The curve of changing velocities of phosphorus contents in the seedling

由图 3 可知，在东湖水中生长，汕优 63 开始摄取速率最大，为 $0. 099\ 6\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ，以后逐渐降低；而金优 77 摄磷速率则从开始的 $0. 072\ 1\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 增至最大值（发生在第 7 d），为 $0. 090\ 4\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ，然后逐渐降低，但以后每个点的值都较汕优 63 大。在整个培养周期内，金优 77 的平均摄磷速率为 $V = 0. 072\ 5\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ，汕优 63 的平均摄磷速率是 $V = 0. 058\ 0\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。显然，在生长周期内，金优 77 较汕优 63 能更快摄磷。不同植物在磷饥饿情况下对磷摄取最大速率发生的时间不同，可能在于植物诱导产生有机酸等分泌物和各种酶以促进磷吸收利用效率的差异^[6]。

2.2 不同基因型水稻对各磷形态摄取的动力学

不同基因型水稻对磷利用的差异，还表现在对不同磷形态利用能力的差异上。扣除空白以后种有汕优和金优的东湖水的各磷形态的变化分别为图 4 和图 5。

按照通常做法，将植物摄取磷形态的过程简化

图 4 汕优 63 水稻在东湖水中生长时水体中
各磷形态浓度变化曲线

Figure 4 The curve of the contents of phosphorus fractions
in the water of Lake Donghu grown Shanyou 63

图 5 金优 77 水稻在东湖水中生长时水体中
各磷形态浓度变化曲线

Figure 5 The curve of the contents of phosphorus fractions
in the water of Lake Donghu grown Jinyou 77

为一级动力学过程处理^[3]。设在 t 时刻该磷形态的浓度为 C , k' 为速率常数, 则有

$$dC/dt = -k'C$$

改写为:

$$-dC/C = k'dt$$

设起始时该磷形态的浓度为 C_0 , 积分后则有

$$C = C_0 \exp(-k't)$$

将 C 对 t 拟合, 可求得水稻生长过程中一级摄磷动力学速率常数 k' 。结果列于表 2。

由表 2 可知, 汕优 63 对各磷形态利用的速率常数大小依次为: SRP> TRP> TSP> TP, 金优 77 对各磷

表 2 水稻摄取东湖水磷形态一级动力学模型拟合结果

Table 2 The results of kinetic model based on the uptake of
phosphorus fractions by rice in the water of Lake Donghu

水稻	磷形态	$k' (h^{-1})$	$C_0 (mg \cdot L^{-1})$	相关系数 r
汕优 63	TP	0.002 22	0.114 1	0.987 0
	TSP	0.002 84	0.099 29	0.992 0
	TRP	0.004 60	0.090 37	0.987 9
	SRP	0.005 81	0.099 68	0.993 2
金优 77	TP	0.001 76	0.203 0	0.989 9
	TSP	0.001 86	0.179 2	0.992 6
	TRP	0.002 81	0.165 1	0.980 2
	SRP	0.003 14	0.165 9	0.969 7

形态利用的速率常数大小依次为: SRP> TRP> TSP> TP。显然, 两种不同基因型水稻的一级摄取磷形态速率的排序是一致的, 这表明汕优 63 和金优 77 对 SRP 和 TRP 的利用速率最快。而汕优 63 与金优 77 相比, 前者摄取各种磷形态的 k' 值均大于后者, 表明前者对各磷形态的摄取速率较后者大, 这与 2.1 的分析结果矛盾。

以上一级动力学处理过于简单, 植物摄磷是一个复杂的过程, 其摄磷过程不一定是一级动力学过程, 因而我们首先定义指数 n , 则有

$$-dC/dt = k''C^n$$

其中 k'' 为水稻 n 级摄磷动力学常数。上式变换为:

$$-dC/C^n = k''dt$$

积分得:

$$C^{(1-n)}/(1-n) = -k''t + C_0^{(1-n)}/(1-n)$$

其中必须有 $n \neq 1$,

令 $B = 1 - n$, 因此 $B \neq 0$, 积分后则有

$$C^B/B = C_0^B/B - k''t \quad (B \neq 0)$$

则 C^B/B 与 t 成线性关系, 斜率为 $-k''$, 截距为 C_0^B/B , 通过计算寻求 C^B/B 与 t 线性关系最好时的 B 值, 以确定 n 级摄磷速率常数 k'' 及 n , 结果列于表 3。

表 3 水稻摄取东湖水磷形态的 n 级动力学模型拟合结果

Table 3 The results of kinetic model based on the uptake of phosphorus fractions by rice in the water of Lake Donghu

水稻	磷形态	$k' (h^{-1})$	$C_0 (mg \cdot L^{-1})$	指数 n	相关系数 r
汕优 63	TP	0.806 27	2.409 6	3.235 6	0.998 4
	TSP	0.196 31	0.195 1	2.455 8	0.997 7
	TRP	0.147 16	0.718 9	2.028 2	0.995 1
	SRP	0.005 81	0.099 69	1.000 1	0.993 1
金优 77	TP	2.195 44	0.372 6	4.843 7	0.999 0
	TSP	1.740 08	0.279 7	4.427 0	0.999 2
	TRP	0.758 47	2.015 8	3.529 3	0.995 4
	SRP	0.550 07	2.648 0	3.295 0	0.991 6

用 n 级动力学模型拟合后, 汕优 63 对应的各磷形态的 n 值按以下顺序排列: TP> TSP> TRP> SRP, 金优 77 对应的各磷形态的 n 值排列顺序亦如此。因而 n 应该赋予其一定的物理意义, 即 n 是表征植物在摄取该磷形态时的反应复杂程度, n 值越大表明其摄磷过程越复杂。可以将 n 定义为“摄磷指数”。 k'' 为水稻摄取该磷形态的表观速率常数, 两种不同基因型水稻摄取各磷形态的 k'' 值大小顺序皆为: TP> TSP> TRP> SRP。由于依 TP> TSP> TRP> SRP 顺序排列的各磷形态间存在一个基本的关系, 即 TP 中有 TSP,

TSP 中有 SRP、TSP 与 TRP 中有共有部分,因而 k'' 值以 TP 为最大,而 SRP 为最小。

比较汕优 63 和金优 77 的摄磷速率常数,可发现在水稻 n 级摄磷动力学模型中,金优 77 摄取任一种磷形态的 n 级速率常数 k'' 值皆大于汕优 63 摄取该磷形态的 n 级速率常数 k'' 值,即金优 77 应比汕优 63 更迅速地摄取该磷形态,这与 2.1 中的结果一致。所以水稻 n 级摄磷动力学模型较一级摄磷动力学模型更准确地反映水稻对各磷形态摄取的动力学行为。

水稻摄磷动力学过程应是一复杂过程,不能简单认为是一级动力学过程,不宜用一级动力学模型来处理。

3 结论

(1) 比较生长在同等条件下东湖水中的不同基因型水稻体内磷含量变化及其变化速率,表明金优 77 较汕优 63 更有效地利用天然水中的磷。

(2) 运用一级动力学模型及 n 级动力学模型对

水稻摄取东湖水中各磷形态进行动力学分析和比较,并提出摄磷指数 n 的定义, n 值越大表明其摄磷过程越复杂。

(3) 通过比较认为,用水稻 n 级摄磷动力学模型较一级摄磷动力学模型能更好地反映水稻对各磷形态的摄取动力学行为。

参考文献:

- [1] 宋祥甫,等. 浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究[J]. 环境科学学报, 1998, **18**(5): 489 - 494.
- [2] 宋祥甫,等. 自然水域无土栽培水稻的研究[J]. 中国农业科学, 1991, **24**(4): 8 - 13.
- [3] 吴重华,等. 羊角月牙藻摄取磷形态的动力学研究[J]. 环境化学, 1998, **17**(5): 417 - 421.
- [4] 金相灿,等. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [5] 宋克敏. 植物的磷营养: 磷酸盐转运系统及其调节[J]. 植物学通报, 1999, **16**(3): 251 - 256.
- [6] 宋克敏,等. 磷酸饥饿对番茄幼苗生长状况及其磷吸收的影响[J]. 云南植物研究, 1998, **20**(3): 343 - 350.