

云南野生稻离子吸收效率及其动力学特征研究

徐玲玲¹ 陈善娜¹ 程在全² 杨明挚^{1,*}

¹ 云南大学生命科学学院, 昆明 650091; ² 云南省农业科学院生物技术研究所, 昆明 650223

摘要 分析和检测4种, 共6个不同类型的野生稻吸收 H_2PO_4^- 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 的动力学特征以及培养液pH值变化的研究表明, 景洪普通野生稻吸收 K^+ 较强; 药用野生稻和元江普通野生稻次之。小粒野生稻吸收磷的能力最强。元江普通野生稻吸收 Mg^{2+} 和 NO_3^- 的能力强。药用野生稻吸收 Mg^{2+} 较强; 直立型景洪普通野生稻有较强的吸收 NO_3^- 的能力。
关键词 野生稻; 吸收动力学参数; H_2PO_4^- ; K^+ 和 Mg^{2+} ; NO_3^- ; pH

Study on Absorption Efficiency of Ions and Its Kinetics of Yunnan Wild Rice

XU Ling-Ling¹, CHEN Shan-Na¹, CHENG Zai-Quan², YANG Ming-Zhi^{1,*}

¹ College of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; ² Biotechnology Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China

Abstract Absorption kinetics parameters of phosphate, potassium, magnesium and nitrate ion of six kinds, four species of wild rice, and the variation of pH during the ion absorption were researched. Jinghong type of *Oryza rufipogon* Griff, *Oryza officinalis* Wall and Yuanjiang type of *O. rufipogon* had better characters in potassium absorption, among the studied materials. *Oryza minuta* Presl was the best at phosphate absorption. Besides potassium absorption, Yuanjiang type of *O. rufipogon* was good at magnesium and nitrate absorption. *O. officinalis* had better characters in magnesium absorption. Erect type of *O. rufipogon* was better in nitrate ion absorption.

Key words wild rice; kinetics parameter; H_2PO_4^- ; K^+ and Mg^{2+} ; NO_3^- ; pH

营养元素在植物体内参与一系列生理生化过程, 如钾能提高作物的抗旱性(魏永胜和梁宗锁 2001), 缺磷能降低小麦叶片叶绿素含量, 影响光合作用(张士功等 2001)等。离子吸收是植物矿质营养代谢过程中极其重要的环节, 离子吸收动力学参数在研究根系吸收特性、根系对土壤养分的适应性, 以及鉴定和筛选养分吸收高效基因型及预测根系对土壤养分的吸收等方面都具有意义, 还可用于建立数学模型描述土壤中离子迁移, 并为预测植物对养分离子的吸收提供依据。Epstein和Hagen (1952)首次将酶动力学分析方法应用于植物对离子吸收的动力学研究。离子主动吸收符合Michaelis-Menten酶动力学方程: $I = I_{\max} C / (K_m + C)$, 式中, I 为离子吸收速率, C 为外液离子浓度, I_{\max} 为离子最大吸收速率, K_m 为米氏常数。不同植物或同种植物的不同品种之间, 根系吸收动力学特征不同, 这说明植物根系的吸收动力学特征与遗传性有关。植物根系吸收营养离子的动力学特征主要以吸收动力学参数来描述。这些动力学

参数包括 I_{\max} 、 K_m 和吸收临界浓度 (C_{\min})。 K_m 是吸收速率为最大吸收速率的 1/2 时外界离子浓度, $1/K_m$ 表征吸收系统的亲和力, K_m 值小, 说明根系吸收系统对该离子的亲和力大; C_{\min} 是净吸收为 0 时外界离子的最低浓度, C_{\min} 值小, 表明植物能从营养缺乏的土壤中吸收该养分, 对低养分的耐受能力强。人们对农作物的根系吸收动力学特性已有过大量研究。Nielsen等(1978, 1983)研究玉米和大麦的结果表明, 不同磷营养效率的基因型植物的 K_m 和 C_{\min} 不同, 磷营养效率高的基因型有 I_{\max} 大、 K_m 和 C_{\min} 小的特点。Teo (1992)研究 3 种栽培水稻氮、磷、钾的吸收动力学特性结果表明, 不同种类之间的动力学参数相差较大。黄建国和袁玲(1989)报道, 大麦苗吸收 H_2PO_4^- 和

收稿 2005-09-13 修定 2006-04-18

资助 云南大学校内基金(2003Z004b)和云南省重点基金(2004C00102)。

*通讯作者(E-mail: mzh-yang@163.com, Tel: 0871-5034670)。

K^+ 的 K_m 值比小麦低,吸收 Cl^- 的 K_m 比小麦高。彭克勤和胡笃敬(1986)研究富钾能力很强的空心莲子草 K^+ 吸收动力学,表明其 K_m 值比一般的农作物小。方从兵等(2001)和张焕朝等(2003)分别在研究木本的桃树和杨树吸收 $H_2PO_4^-$ 、 K^+ 动力学中也得出同样的结论,不同种类之间动力学参数有差异,营养高效型植株具有 K_m 和 C_{min} 值小,而 I_{max} 值大的特征。刘静雯和董汉林(2001)也曾研究过海藻对主要营养盐的吸收动力学,并用这些参数来判断和阐释海藻的生态习性、特点和生理特性。

野生稻是宝贵的遗传资源,在全世界有20种不同野生稻,我国占有3种,即普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff)、药用野生稻(*Oryza officinalis* Wall)和疣粒野生稻(*Oryza granulate* Baill) (汤圣祥等1999)。这3种野生稻在云南省境内均有分布,且遗传多样性非常丰富,云南省是亚洲栽培稻的起源和野生稻多样性分布中心之一。野生稻具有抗病、抗虫、胞质雄性不育、高生物产量等优良性状(钟代彬等2000)。本文研究4种,共6个不同类型野生稻吸收 $H_2PO_4^-$ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 的动力学特征以及培养液中pH值的变化,旨在探讨野生稻离子吸收可能具有的优良特性。

材料与方 法

研究中涉及的野生稻材料有普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff)、小粒野生稻(*Oryza minuta* Presl)、药用野生稻(*Oryza officinalis* Wall)、长雄蕊野生稻(*Oryza longistaminata* Chev. et Roehr)。其中,普通野生稻包括3种不同的生态类型:景洪普通野生稻、直立型景洪普通野生稻、元江普通野生稻。所有野生稻材料都取自云南西双版纳野生稻集中保护基地,材料均处于营养生长中期,生长旺盛。选择生长较一致的野生稻植株进行实验。

野生稻根系 $H_2PO_4^-$ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 吸收动力学参数用耗竭试验方法测定。将采集到的野生稻材料用缓慢的流水充分冲洗根系以除去泥土,转入去离子水中,让植株处于饥饿状态,24 h后放入300 mL的Yoshida营养液(Yoshida等1976)中。每个处理设置2个重复。每隔3 h取样1次,持续24 h,每次取样10 mL,同时补充10 mL去

离子水,连续通气。取样结束后,取出植株,用吸水纸吸干根系表面的水分,称根鲜重。吸收动力学参数根据蒋廷惠等(1995)的方法求得,即采用一元二次方程 $y=b_0+b_1x+b_2x^2$ 进行模拟,式中, x 代表吸收时间, y 代表某一时间的离子浓度。根据一元二次方程作出消耗曲线,通过曲线初始斜率求出 I_{max} ,以二次曲线回归方程求出 K_m ,曲线下端趋于水平时的溶液浓度即为 C_{min} 。钾含量用火焰分光光度计(日立公司)测定;磷、镁含量用ICPS-8100高频等离子体发射光谱仪(岛津公司)测定;硝酸根离子含量用紫外分光光度法测定(奚旦立1998)。用pHS-3C型精密pH计(上海雷磁仪器厂)测定所取培养液的pH值。

实验结果

1 野生稻吸收动力学参数

不同野生稻吸收培养液中钾离子和磷的特性有差异(图1、图2、表1)。就钾离子吸收来说,景洪普通野生稻明显不同于其它几种野生稻材料(图1)。直立型景洪普通野生稻和长雄蕊野生稻对钾吸收的 K_m 值分别为0.942和0.926 $mmol \cdot L^{-1}$,比其它材料高些, C_{min} 值分别为0.859和0.879 $mmol \cdot L^{-1}$,均高于其它材料,说明两者吸收 K^+ 的能力较差;景洪普通野生稻的 K_m 最小,而 I_{max} 值

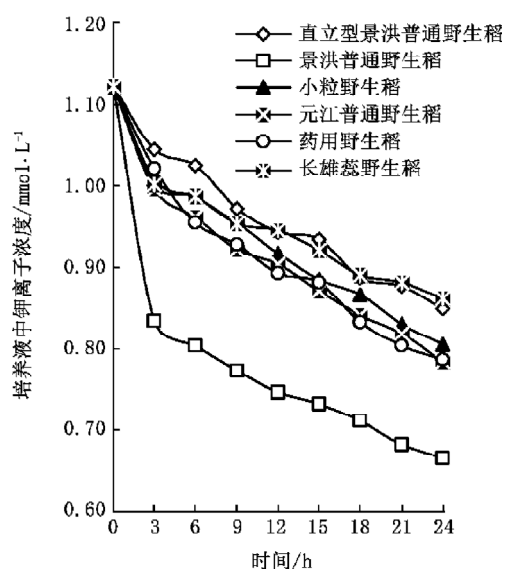


图1 培养液中钾离子浓度变化的进程
Fig. 1 Variations of potassium concentration in nutritive medium

较大, 为 $0.809 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$, 是吸钾性能较强的材料; 小粒野生稻的 K_m 为 $0.897 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, C_{\min} 为 $0.821 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, I_{\max} 为 $0.822 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$, 三值均较高, 表明它能适应高钾营养水平; 元江普通野生稻和药用野生稻的吸收动力学参数值比较接近。

几种野生稻磷吸收相差不是很大(图2)。药用野生稻的 K_m 值最大, 为 $0.220 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, I_{\max} 相对较小, 为 $1.116 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$ 。小粒野生稻的 K_m 、 C_{\min} 值均最小, I_{\max} 值最大, 表明小粒野生稻具有较强的吸收磷的能力; 景洪普通野生稻、元江普通野生稻和长雄蕊野生稻的 K_m 、 C_{\min} 以及 I_{\max} 值比较接近, 对磷的吸收差异不大; 直立型景洪普通野生稻 K_m 、 C_{\min} 、 I_{\max} 值均相对较小。

不同野生稻对离子吸收动力学参数有差异(表1), 直立型景洪普通野生稻吸收镁离子和硝酸根离子的趋势与其它几种野生稻的差异较大(图3、图4)。元江普通野生稻和药用野生稻吸收镁离子, 元江普通野生稻和直立型景洪普通野生稻吸收硝酸根离子的趋势更接近直线。说明元江普通野生稻和药用野生稻吸收镁离子的能力特别强, 元江普通野生稻和直立型景洪普通野生稻吸收硝酸

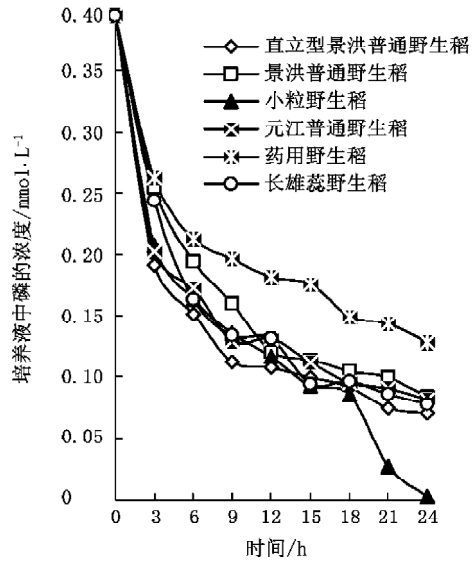


图2 培养液中磷浓度变化的进程
Fig. 2 Variations of phosphate concentration in nutritive medium

根离子的能力很强。元江普通野生稻吸收 Mg^{2+} 和 NO_3^- 的动力学参数以及药用野生稻吸收 Mg^{2+} 和直立型景洪普通野生稻吸收 NO_3^- 的动力学参数 K_m 值不能用上述计算方法计算, 但是其变化趋势表明上述相应的植物吸收离子能力很强。长雄蕊野生

表1 野生稻吸收磷、钾、镁和硝酸根离子的动力学参数

Table 1 Kinetics parameters of phosphate, potassium, magnesium and nitrate ion of wild rices

野生稻类别	H_2PO_4^-			K^+		
	$K_m/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$I_{\max}/\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$	$C_{\min}/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$K_m/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$I_{\max}/\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$	$C_{\min}/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$
直立型景洪普通野生稻	0.137	0.199	0.089	0.942	0.062	0.859
景洪普通野生稻	0.194	1.288	0.113	0.752	0.809	0.684
小粒野生稻	0.177	1.967	0.105	0.897	0.822	0.821
元江普通野生稻	0.187	1.241	0.113	0.880	0.571	0.804
药用野生稻	0.220	1.116	0.167	0.872	0.633	0.800
长雄蕊野生稻	0.185	1.110	0.103	0.926	0.441	0.879
野生稻类别	Mg^{2+}			NO_3^-		
	$K_m/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$I_{\max}/\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$	$C_{\min}/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$K_m/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	$I_{\max}/\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$	$C_{\min}/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$
直立型景洪普通野生稻	1.433	0.191	1.321	—	0.155	—
景洪普通野生稻	1.596	0.707	1.567	1.374	0.870	1.316
小粒野生稻	1.671	1.255	1.583	1.452	1.108	1.398
元江普通野生稻	—	0.539	—	—	0.601	—
药用野生稻	—	0.574	—	1.456	0.687	1.362
长雄蕊野生稻	1.692	0.440	1.629	1.411	0.518	1.349

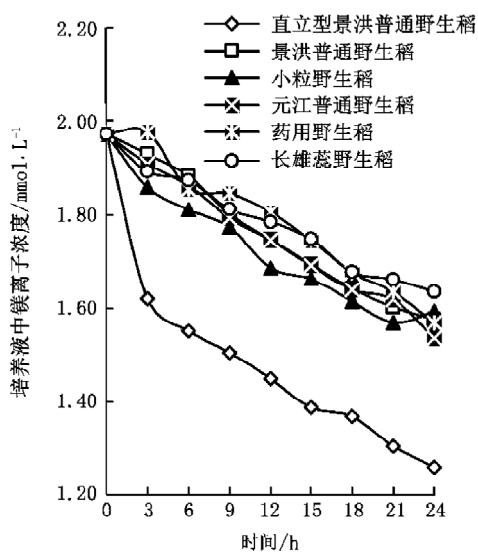


图3 培养液中镁离子浓度变化的进程
Fig. 3 Variations of magnesium concentration in nutritive medium

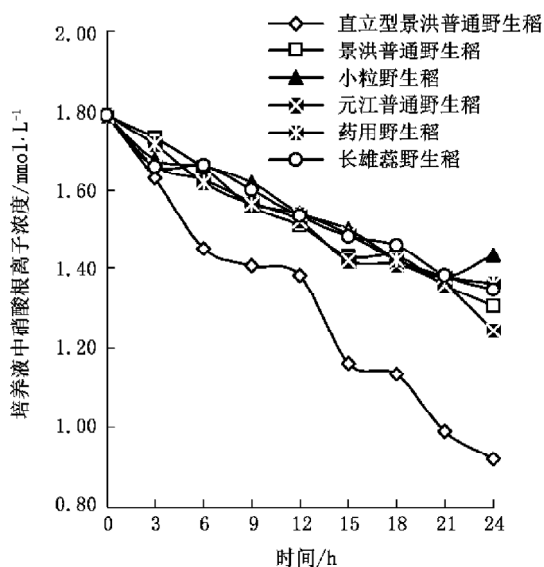


图4 培养液中硝酸根离子浓度变化的进程
Fig. 4 Variations of nitrate ion concentration in nutritive medium

稻吸收 Mg^{2+} 的动力学参数 K_m 、 C_{min} 值均最高, I_{max} 值最低, 表明长雄蕊野生稻吸收 Mg^{2+} 较差。小粒野生稻的 K_m 、 C_{min} 、 I_{max} 值均较高, 表明它能适应高 Mg^{2+} 浓度的养分条件。药用野生稻吸收 NO_3^- 的 K_m ($1.456 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) 和 C_{min} ($1.362 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) 值较大, I_{max} [$0.687 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$] 值较小, 它吸收 NO_3^- 的能力不强。

2 培养液中pH值变化

植物根系吸收矿质元素, 根系表面的 H^+ 和 HCO_3^- 分别与周围溶液和土壤胶粒的阳离子和阴离子迅速地进行交换, 同时, 由于植物对离子的选择性吸收, 细胞内的电荷要保持平衡, 必须有 H^+ 、 HCO_3^- 或 OH^- 排出细胞; 从而造成培养液中 pH 值的改变。pH 值的变化也同样反映了根系的活动。从表 2 可见, 直立型景洪普通野生稻 pH 值的标准误 (0.13) 最小, 它对溶液中离子的吸收比较均衡, 溶液仍保持平衡状态, 根系活性较强; 长雄蕊野生稻 pH 值的标准误 (0.16) 与直立型景洪普通野生稻的很接近, 表明它对各种离子的吸收保持平衡; 其它几种野生稻材料 pH 值标准误略大于这 2 种材料, 而且值很接近, 同时这几种材料都表现对某一种或几种离子有较强的吸收特性, 因此导致培养液不平衡, pH 值有较大变化。其中, 元江普通野生稻对钾、磷和硝酸根离子都有较强的吸收能力, 则培养液 pH 值变化最大。

表2 培养液pH值变化

Table 2 Variations of pH in nutritive medium

样品	初始值	平均值	标准误
直立型景洪普通野生稻	5.80	5.52	0.13
景洪普通野生稻	5.80	5.67	0.25
小粒野生稻	5.80	5.03	0.22
元江普通野生稻	5.80	5.24	0.28
药用野生稻	5.80	5.24	0.25
长雄蕊野生稻	5.80	5.22	0.16

讨 论

Cacco等(1980)尝试用 I_{max} 及 K_m 值评价基因型对环境养分状态的适应性, 他们将 I_{max} 、 K_m 分成 4 种可能的组合: (1) 高 I_{max} 和低 K_m , 具有这种特性的植物能适应广泛的营养条件; (2) 高 I_{max} 和高 K_m , 这种基因型适于高浓度的养分条件; (3) 低 I_{max} 和低 K_m , 适应低养分状况; (4) 低 I_{max} 和高 K_m , 此类基因型在任何条件下都是不利的。 C_{min} 值表明植物对低养分的忍受能力, 评价对低养分的耐受性。

营养高效型植物具有 I_{max} 值大, K_m 、 C_{min} 值小的特征, 培养液 pH 值的变化也从一定程度上反映了根系对离子的吸收。在本文所用的材料中,

景洪普通野生稻具有优良的吸收钾离子特性;药用野生稻和元江普通野生稻次之。从磷的吸收来说,小粒野生稻最好,直立型景洪普通野生稻所有参数都较小,根据 Cacco 等(1980)的分类,它能适应低养分的营养状况;其它几种野生稻可适应中度的营养条件,耐受低养分的能力较差。元江普通野生稻吸收 Mg^{2+} 和 NO_3^- 都表现出很强的能力,而对土壤环境中低浓度的 Mg^{2+} 和 NO_3^- 则有强的耐受性。药用野生稻吸收 Mg^{2+} 以及直立型景洪普通野生稻吸收 NO_3^- 也具有此特性。长雄蕊野生稻吸收 Mg^{2+} 和药用野生稻吸收 NO_3^- 的吸收参数均表明,这2种野生稻对相应离子吸收能力差。

动力学参数并非恒定的,对于既定的养分离子来说,它们随着植物的种类、品种、苗龄以及营养状态的不同而发生变化(余勤和邝炎华1996)。在我们的实验中,由于实验材料有限,对于野生稻动力学参数与植物吸收离子特性之间关系的研究也有一定的局限性。虽然如此,但对营养吸收特性的研究仍有一定的参考价值。若将这些优良特性应用于实际育种,还需进一步验证。

参考文献

- 方从兵,孙其宝,孙俊(2001). 桃 K^+ 、 $H_2PO_4^-$ 吸收动力学研究. 中国林副特产, 58 (3): 4~5
- 黄建国,袁玲(1989). 大麦和小麦吸收 Cl^- 、 $H_2PO_4^-$ 、 K^+ 的动力学研究. 土壤通报, 20 (1): 37~39
- 蒋廷惠,郑绍建,石锦芹,胡霭堂,史瑞和(1995). 植物吸收养分动力学研究中的几个问题. 植物营养与肥料学报, 1 (2): 11~17
- 刘静雯,董双林(2001). 海藻的营养代谢及其对主要营养盐的吸收动力学. 植物生理学通讯, 37 (4): 325~330
- 彭克勤,胡笃敬(1986). 空心莲子草 K^+ 吸收的动力学研究. 植物生理学报, 12 (2): 187~193
- 汤圣祥,江云珠,张本敦,陆永良,余柳青,余汉勇(1999). 中国稻区的生物多样性. 生物多样性, 7 (1): 73~78
- 魏永胜,梁宗锁(2001). 钾与提高作物抗旱性的关系. 植物生理学通讯, 37 (6): 576~581
- 奚旦立(1998). 环境工程手册(环境监测卷). 北京: 高等教育出版社
- 余勤,邝炎华(1996). 根系养分吸收动力学研究及应用. 华南农业大学学报, 18 (2): 105~110
- 张焕朝,王改萍,徐锡增,徐成凯,胡正义(2003). 杨树无性根系吸收 $H_2PO_4^-$ 动力学特征与磷营养效率. 林业科学, 39 (6): 40~46
- 张士功,刘国栋,刘更另,肖世和(2001). 渗透胁迫和缺磷对小麦幼苗生长的影响. 植物生理学通讯, 37 (2): 103~105
- 钟代彬,罗利军,应存山(2000). 野生稻有利基因转移研究进展. 中国水稻科学, 14 (2): 103~106
- Cacco G, Ferrari G, Saccommani M (1980). Pattern of sulfate uptake during root elongation in maize: its correlation with productivity. *Physiol Plant*, 48: 375~378
- Epstein N, Hagen CE (1952). A kinetic study of absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol*, 27: 457~474
- Nielsen NE, Barber SA (1978). Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. *Agron J*, 70: 695~698
- Nielsen NE, Schjerring JK (1983). Efficiency and kinetics of phosphorus uptake from soil by various barley genotypes. *Plant Soil*, 72: 225~230
- Teo YH (1992). Nitrogen phosphate and potassium influx kinetic parameters of three rice cultivars. *J Plant Nutr*, 15: 435~444
- Yoshida S, Forno DA, Cock JH (1976). *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*. 3rd ed. Manila: IRRI