

不同攀援角度裂叶牵牛叶片金属元素 含量变化及其相关性分析

赵则海*, 余曼玲, 陈雄伟, 陈庆华, 徐锦海, 梁廉

肇庆学院生命科学学院, 广东 肇庆 526061

摘要: 为研究攀援角度对藤本植物金属元素含量的影响, 采用原子吸收分光光度法测定了不同攀援角度裂叶牵牛叶片中 10 种金属元素含量, 并对金属元素含量的相关性进行了分析。结果表明: 攀援角度处理对裂叶牵牛叶片的金属元素含量产生不同程度的影响, 攀援角度对 Ca、K、Mg、Fe、Mn、Zn、Cd 含量影响显著。大量元素对攀援角度的敏感性小于微量元素。随攀援角度增加(从 0°到 90°攀援角), 叶片 Mg、Zn 和 Mn 含量显著增加, 而 Cd 含量显著下降; K、Ca、Na 和 Fe 含量呈“U”型变化趋势; 从 30°到 90°攀援角, Pb 含量呈增加趋势; Cu 含量的变化规律不明显。相关分析表明, 攀援角度与 Mg、Zn、Mn 含量呈显著的正相关, 与 Cd 含量呈显著负相关; 攀援角度与 Ca、Na、K、Fe、Cu 和 Pb 含量之间的相关性未达到显著水平。10 种金属元素中呈正相关的元素多于负相关元素。其中, Mg、Zn、Mn 和 Cd 在金属元素之间的协同或拮抗中发挥主要作用。

关键词: 藤本植物; 攀援角度; 金属元素; 相关分析; 裂叶牵牛

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0669-05

藤本植物(vine), 又称为藤蔓植物(liana), 需借助支持物(external support or trellis)或支柱木(host tree)进行高生长。达尔文按攀援特点将藤本植物分为 4 种类型^[1], 其中缠绕类(用主茎或分枝缠绕攀援)藤本植物在入侵植物中较为多见。藤本植物的垂直生长和水平生长是攀援生长的两个极端, 其主茎长度、分支数、生物量分配、生长特征等指标均存在显著差异^[2-3]。由于支持物的存在方式复杂多样, 藤本植物往往表现为垂直和水平生长的过渡类型, 即具一定角度攀援生长方式在自然界广泛存在。攀援角度对藤本植物的形态特征、生物量分配、相对生长速率以及化感潜力等方面均具有不同程度的影响^[4-6], 表明藤本植物的攀援角度差异可能引起了植物体内物质代谢变化, 而这种变化与藤本植物对复杂多变环境的适应性密切相关。植物体内营养元素的吸收、运输、同化和代谢过程是植物生长发育、物质代谢以及对环境适应调节的机制之一, 是植物表现出相对稳定性状的物质基础。植物营养元素中, 矿质元素含量占干物质总量的 1%~5%, 其中金属元素种类最多, 且其含量受植物的遗传基础、特定生理过程以及环境条件等因素的影响^{[7]8-9}。因此, 研究不同攀援角度藤本植物金属元素含量变化特征对于了解藤本植物的生长发育、物质代谢以及生态适应机制等规律均具有重要的意义。

裂叶牵牛[*Pharbitis nil* (L.) Choisy]为一年生缠

绕型藤本, 原产热带美洲, 现已广泛分布于热带、亚热带地区^[8], 为华南地区主要入侵植物之一^[9]。近年来, 随着局部地区生态环境的恶化, 野外观测发现裂叶牵牛对植被的危害有加重的趋势。本文以不同攀援角度裂叶牵牛为实验材料, 采用原子吸收分光光度法测定叶片 10 种金属元素含量, 并分析其相关性, 为进一步研究不同攀援角度裂叶牵牛的物质代谢调控以及入侵机制提供资料。

1 材料与方法

1.1 栽培实验

在肇庆学院生物园遮荫棚(采用黑色遮荫网, 透光约 50%, 用以模拟林下环境)内准备花盆 40 个(深 18 cm, 直径 20 cm), 栽培土为混合均匀的农田栽作土壤与河沙(农田栽作土壤: 河沙=2: 1)。所有花盆的土壤、光照、温度和水分等栽培条件均相同(土壤 pH 约 6.33; 有机质含量约 7.82%)。每盆中播种 5 粒, 成苗后保留 1 株。

按 0°、30°、60°、90°设置 4 个攀援角度, 以直径 0.5 cm 塑料绳为支持物, 拉直、固定; 每种处理均设置 10 次重复。实验过程中定期浇水, 保证土壤水分的供应。

1.2 样品采集

裂叶牵牛生长 3 个月后, 采集所有盆栽植物叶片, 在 105 °C 杀青, 在 60 °C 烘干、粉碎, 过筛备用。

1.3 测定方法

基金项目: 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室开放研究基金资助项目(KLP2009003); 肇庆市科技创新计划项目(2008G23)

作者简介: 赵则海(1968 年生), 男, 副教授, 博士, 研究方向为植物生态学。E-mail: zhzh315@sina.com

收稿日期: 2009-03-02

采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 消化处理方法进行前处理^[10], 取样品 0.15 g 于三角瓶中, 加入硝酸 12 mL, 高氯酸 3 mL, 沸水浴 30 min 后, 用电热板加热, 冒白烟时加慢慢滴加过氧化氢 2 mL, 消化至无色后取下放冷, 洗入 50 mL 容量瓶, 定容后得到待测液。Ca (钙)、K (钾)、Na (钠)、Mg (镁)、Fe (铁)、Mn (锰)、Zn (锌)、Cu (铜)、Cd (镉)、Pb (铅) 含量 (均为质量分数) 用 AA-6300 原子吸收分光光度计进行测定。使用 EXCEL 和 SPSS 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 裂叶牵牛叶片不同金属元素含量的均值比较

分别计算不同攀援角度裂叶牵牛叶片 10 种金属元素含量的平均数、标准差和变异系数, 结果见表 1。裂叶牵牛叶片 K 含量最高, 达 $28.780\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, Cu、Cd 和 Pb 含量较低, 均在 $7\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 以下。10 种金属元素含量的均值由大到小依次为: K, Ca, Mg, Fe, Na, Zn, Mn, Pb, Cd, Cu。

不同攀援角度处理之间 Ca、K、Na、Mg、Fe 含量的变异系数较小, 均在 0.19 以下, 其中 K 的变异系数最小 (0.057); 而 Mn、Zn、Cu、Cd、Pb 含量的变异系数均较大, 其中 Pb 的变异系数最大 (1.257)。以上结果表明, 裂叶牵牛叶片大量元素 Ca、K、Na、Mg 含量在不同攀援角度处理间变异程度较小, 受攀援角度的影响较小; 而微量元素 Mn、Zn、Cu、Cd、Pb 含量在攀援角度处理间差异

较大, 受攀援角度的影响较大; 中量元素 Fe 介于两者之间。

2.2 不同攀援角度裂叶牵牛叶片金属元素含量变化

攀援角度处理对叶片金属元素 Ca、K、Na、Mg、Fe、Mn、Zn、Cd 和 Pb 含量均有显著影响, 对 Cu 含量影响不显著 (表 2)。随攀援角度增加, Ca、K、Na 和 Fe 含量为“U”型变化趋势, Ca、K、Na 和 Fe 含量的极差分别为 $3.071\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $4.038\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $0.252\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.462\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。Ca 和 K 含量均在 60° 攀援角最低, 而 Na 和 Fe 含量最低点在 30° 攀援角。随攀援角度增加, Zn、Mg、Mn 和 Pb 含量显著增加, 90° 攀援角 Zn、Mg、Mn 和 Pb 含量分别为 0° 攀援角的 4.69、1.32、3.18 和 5.01 倍; Cd 含量显著下降, 90° 攀援角 Cd 含量仅为 0° 攀援角的 68.5%; Cu 含量变化趋势不明显。由此可见, 攀援角度对不同金属元素积累存在不同程度的影响。

2.3 攀援角度与裂叶牵牛金属元素含量的相关分析

攀援角度与裂叶牵牛叶片金属元素含量相关分析结果见表 3。攀援角度与 Ca、Na、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、Pb 含量为不同程度的正相关; 与 K、Cd 含量表现为不同程度的负相关。其中, 攀援角度与 Mg、Mn、Zn、Pb 含量均为显著正相关, 相关系数分别为 0.943、0.945、0.945 和 0.831; 与 Cd 含量呈显著负相关, 相关系数为 0.964。可见, 攀

表 1 攀援角度处理间裂叶牵牛叶片 10 种金属元素的均值比较

Table 1 Averages comparisons of 10 kinds of metal elements among treatments of climbing angles of *P. nil*

类别	Ca $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	K $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	Na $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	Mg $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	Fe $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	Mn $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	Zn $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	Cu $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	Cd $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	Pb $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$
平均数	12.772	28.780	0.731	3.358	1.159	58.416	316.907	1.465	1.582	6.691
标准差	1.317	1.658	0.109	0.389	0.218	24.274	211.453	0.416	0.768	8.408
变异系数	0.103	0.057	0.149	0.116	0.187	0.415	0.667	0.284	0.485	1.257

表 2 不同攀援角度裂叶牵牛叶片 10 种金属元素含量的比较

Table 2 Comparisons on contents of ten kinds of metal elements between leaves of *P. nil* under different climbing angles

元素	攀援角度			
	0°	30°	60°	90°
Ca $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$12.169\pm 0.723^{\text{ab}}$	$12.954\pm 0.298^{\text{ab}}$	$11.446\pm 0.44^{\text{b}}$	$14.517\pm 1.773^{\text{a}}$
K $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$30.791\pm 1.085^{\text{a}}$	$28.572\pm 0.013^{\text{ab}}$	$26.753\pm 0.307^{\text{b}}$	$29.003\pm 1.412^{\text{ab}}$
Na $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$0.725\pm 0.061^{\text{ab}}$	$0.581\pm 0.018^{\text{b}}$	$0.781\pm 0.043^{\text{a}}$	$0.833\pm 0.084^{\text{a}}$
Mg $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$2.839\pm 0.018^{\text{c}}$	$3.328\pm 0.212^{\text{b}}$	$3.504\pm 0.096^{\text{ab}}$	$3.761\pm 0.107^{\text{a}}$
Fe $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$1.226\pm 0.144^{\text{ab}}$	$0.975\pm 0.087^{\text{b}}$	$0.996\pm 0.151^{\text{b}}$	$1.437\pm 0.053^{\text{a}}$
Mn $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$27.149\pm 5.218^{\text{c}}$	$58.211\pm 2.604^{\text{b}}$	$62.009\pm 1.312^{\text{b}}$	$86.293\pm 10.223^{\text{a}}$
Zn $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$127.204\pm 15.487^{\text{c}}$	$183.638\pm 18.036^{\text{c}}$	$359.578\pm 10.83^{\text{b}}$	$597.207\pm 113.139^{\text{a}}$
Cu $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$1.212\pm 0.571^{\text{a}}$	$1.01\pm 0.286^{\text{a}}$	$1.817\pm 0.283^{\text{a}}$	$1.818\pm 0.285^{\text{a}}$
Cd $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	$2.589\pm 0.135^{\text{a}}$	$1.724\pm 0.271^{\text{b}}$	$1.197\pm 0.203^{\text{c}}$	$0.814\pm 0.067^{\text{c}}$
Pb $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	—	$3.964\pm 2.802^{\text{b}}$	$2.972\pm 1.401^{\text{b}}$	$19.827\pm 2.798^{\text{a}}$

注: 1. “—”为未检出项目; 2. 同行数据字母相同者差异步显著 (Duncan 检验, $p=0.05$)

表 3 不同攀援角度裂叶牵牛叶片金属元素含量的相关分析

Table 3 Correlation analysis among metal element contents in leaves of *P. nil* under different climbing angles

	攀援角度	Ca	K	Na	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb
Ca	0.462	1.000									
K	-0.511	0.404	1.000								
Na	0.571	0.042	-0.123	1.000							
Mg	0.943**	0.517	-0.538	0.332	1.000						
Fe	0.355	0.607	0.388	0.436	0.272	1.000					
Mn	0.945**	0.642	-0.398	0.338	0.961**	0.284	1.000				
Zn	0.945**	0.414	-0.396	0.729*	0.818**	0.523	0.825*	1.000			
Cu	0.654	0.326	-0.206	0.654	0.636	0.293	0.578	0.597	1.000		
Cd	-0.964**	-0.408	0.612	-0.450	-0.980**	-0.223	-0.937**	-0.870**	-0.676	1.000	
Pb	0.831*	0.821*	-0.013	0.443	0.804*	0.713*	0.860**	0.844**	0.514	-0.759*	1.000

注：“**”为相关极显著；“*”为相关显著。

援角度变化与裂叶牵牛叶片 Mg、Mn、Zn、Pb、Cd 含量变化的密切相关，而与 Ca、K、Na、Fe、Cu 含量相关不显著。

裂叶牵牛叶片 Zn、Mg、Mn、Pb 两两之间，Zn 与 Na 之间，Pb 与 Ca，Pb 与 Fe 之间分别表现为显著的正相关；随攀援角度的改变，这些金属元素两两之间的含量变化趋势一致。Cd 与 Pb、Zn、Mn、Mg 之间分别表现为显著的负相关；随攀援角度的改变，这些金属元素两两之间的含量变化趋势相反。

不同攀援角度裂叶牵牛叶片 10 种金属元素中，Pb（5 个）、Zn（4 个）、Mn（3 个）、Mg（3 个）均分别与 2 个以上金属元素之间存在正相关（各元素括号内为元素对的个数），共 9 个元素对；Cd 分别与 4 个金属元素之间存在负相关，共 4 个元素对（见图 1）。裂叶牵牛叶片中呈正相关的金属元素多于负相关元素。

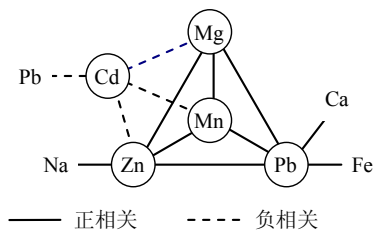


图 1 裂叶牵牛叶片中金属元素之间的相关性

Fig. 1 Correlations among metal elements in leaves of *P. nil*

3 讨论

3.1 攀援角度与对金属元素含量的影响

植物营养元素含量是植物在一定生境条件下吸收营养元素的能力，也是植物与环境之间相互作用的结果，因此它不仅能揭示植物种的特性，同时还能反映植物与环境之间的相互关系^[11]。在土壤、气候、种源以及栽培条件等因素相对一致的情况下，攀援角度处理对裂叶牵牛叶片 10 种金属元素

含量存在不同程度的影响，其中，对 Ca、K、Mg、Fe、Mn、Zn、Cd 含量均存在显著作用。

3.1.1 攀援角度对大量元素的影响

金属元素 K、Ca、Mg 为大量（常量）营养元素，在裂叶牵牛叶片中的含量由大到小依次为 K，Ca，Mg，在不同攀援角度之间变异程度均较小。K 多分布于芽、根尖等代谢活动较为旺盛的部位，在光合产物的运转及淀粉、糖的合成方面起重要作用^[12]，能够增强植物的抗旱、抗寒、抗碱、耐盐等抗逆性^[13]；Ca 具有代谢调节、酶活化等功能，对多种矿质元素的毒害起缓解作用，有利于增强植物等抗逆性^[14-15]；Na 未被列入植物生长发育的必须元素^{[7]12-13}，但 Na 与植物的抗盐、抗旱等特性密切相关^[16]。随攀援角度增加，K、Ca 和 Na 含量的“U”型变化趋势表明 0°和 90°攀援生长裂叶牵牛的物质代谢、抗逆性高于 30°和 60°。裂叶牵牛体内 K、Ca 和 Na 的积累特点对其迅速完成生活史、提高入侵能力等具有重要意义。

Mg 是叶绿素的成分，是许多酶的活化剂，参与碳水化合物的转化和降解以及氮代谢^[17]。随攀援角度增加，Mg 含量的增加有利于增强裂叶牵牛的同化能力。

3.1.2 攀援角度对微量元素含量的影响

金属元素 Fe、Zn、Mn、Cu 为微量营养元素，在裂叶牵牛叶片中的含量由大到小依次为 Fe，Zn，Mn，Cu，且在不同攀援角度之间变异程度较大。Fe 植物体内参加植物的光合作用、为多种酶及还原系统的组分^{[7]202-205}。0°和 90°攀援角裂叶牵牛 Fe 含量高于 30°和 60°，表明 Fe 对垂直生长和水平生长裂叶牵牛的同化能力促进作用明显。

Zn 是植物体内多种酶的组分，是许多酶促反应的活化剂，Zn 含量的增加对加速植物体内的生化反应、促进核酸、碳水化合物等代谢产物的合成^[18]。Mn 在植物体内参加植物的基础代谢、稳定叶绿素

结构、作为多种酶的活化剂等作用^[19]。从 0°到 90°攀援角, Zn 和 Mn 含量在裂叶牵牛叶片中均明显增加。大量 Zn 和 Mn 的积累表明攀援 90°裂叶牵牛的酶促反应高于 0°裂叶牵牛, 90°攀援角裂叶牵牛具有更强的同化能力。

随攀援角度增加, Cu 含量的规律性不明显, 表明攀援角度对 Cu 的积累没有显著作用影响。

3.1.3 攀援角度对重金属元素含量的影响

Cd 和 Pb 分别为准重金属和重金属元素, 对大多数植物具有不同程度的毒性, 对植物的生长发育具有抑制作用。Cd 影响植物体内的 Fe、Mn、Zn、Ca 的吸收^[20], 降低光合作用, 抑制植物生长^[21]。铅可促进叶绿体酶活性, 促进叶绿素降解, 从而抑制植物的光合作用^[22]。随攀援角度的增加, Cd 含量在裂叶牵牛叶片逐步减少; 从 30°到 90°攀援角, 裂叶牵牛叶片 Pb 含量呈增加趋势(0°攀援角裂叶牵牛叶片未检测出 Pb)。由于 Cd 对植物的 Pb 的吸收具有一定的抑制作用, 且在植物体内比 Pb 更易于迁移^[23-24], 因此不同攀援角度之间 Cd 与 Pb 含量存在相反的变化趋势: 0°攀援角裂叶牵牛叶片 Cd 含量高抑制了 Pb 的吸收, 90°攀援角叶片 Cd 的减少削弱了对 Pb 吸收的抑制(Pb 含量达 19.827 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), 30°和 60°攀援角度介于两者之间。可见, 攀援角度处理对裂叶牵牛叶片 Cd 和 Pb 的影响存在差异, 两者均抑制裂叶牵牛的光合作用: 0°攀援角以 Cd 为主, 而 90°攀援角以 Pb 为主。

3.2 攀援角度与金属元素的相关性

攀援角度与 Na、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、Pb 含量均为正相关, 与 K、Cd 含量呈负相关。其中, 攀援角度与 Mg、Zn、Mn 含量为显著正相关; 与 Cd 含量呈显著负相关。攀援角度与 Ca、Na、K、Fe、Cu、Pb 含量之间的相关性未达到显著水平。

不同攀援角度裂叶牵牛叶片中, 呈正相关的元素多于负相关元素。Zn、Mn、Mg 均分别与 2 个以上其他金属元素之间表现为显著正相关; 随攀援角度的改变, 元素含量的变化趋势一致, 是相互协同的金属元素。Cd 与 2 个以上其他金属元素之间表现为显著负相关; 随攀援角度的改变, 元素含量的变化趋势相反, 是相互拮抗的金属元素。Mg、Zn、Mn 和 Cd 在 10 种金属元素之间的拮抗与协同作用中发挥主要作用。

参考文献:

[1] C·达尔文. 攀援植物的运动和习性[M]. 张肇骞, 译. 北京: 科学出版社, 1998: 1-2.
DARWIN C. The Movements and Habits of Climbing Plants[M]. Zhang Zhaoqian Translation. Beijing: Science Press, 1998: 1-2.
[2] DEN DUBBELDEN K C, OOSTERBEEK B. The availability of

external support affects allocation patterns and morphology of herbaceous climbing plants[J]. Functional Ecology, 1995, 9: 628-634.
[3] 陶建平, 钟章成. 攀援植物苦瓜对遮阴和外界支持物的形态可塑性反应[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2001, 26(2): 200-206.
TAO Jianping, ZHONG Zhangcheng. Effects of shading and external mechanical supporting on morphological plasticity of climbing plant *Momordica Charantia*[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science, 2001, 26(2): 200-206.
[4] 赵则海. 攀援角度对五爪金龙形态、生物量分配及相对生长速率的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 758-762.
ZHAO Zehai. The effects of climbing angles on morphology, biomass disposition and relative growth rate in *Ipomoea cairica*[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(2): 758-762.
[5] 赵则海, 廖周瑜, 彭少麟. 五爪金龙化感效应研究 I. 攀援与匍匐生长化感潜力的比较[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47(2): 103-107.
ZHAO Zehai, LIAO Zhouyu, PENG Shaolin. Allelopathy effects of *Ipomoea cairica* I. comparison of allelopathy potentials between climbing growth and sprawl growth[J]. Acta Scientiarum Naturalium universitatis Sunyatseni: Natural Science, 2008, 47(2): 103-107.
[6] 陶建平, 钟章成. 支持物倾角对攀援植物枯楼形态和生长的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 1-7.
TAO Jianping, ZHONG Zhangcheng. Effects of support angles on the morphology and growth in the herbaceous climber *Trichosanthes kirilowii*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(1): 1-7.
[7] 廖红, 严小龙. 高级植物营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
LIAO Hong, YAN Xiaolong. Advance Plant Nutrition[M]. Beijing: Science Press, 2003, 8-274.
[8] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1974: 535.
Institute of Botany Chinese Academy of Sciences. The Picture Index of Senior China Plant[M]. Beijing: Science Press, 1974: 535.
[9] 吴彦琼, 胡玉佳. 外来植物南美蟛蜞菊、裂叶牵牛和五爪金龙的光合特性[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2334-2339.
WU Yanqiong, HU Yujia. Researches on photosynthetic characteristics of exotic plants *Wedelia trilobata*, *Pharbitis nil* and *Ipomoea cairica*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(10): 2334-2339.
[10] 卑占宇, 黄志勤, 丁治春, 等. 火焰原子吸收光谱法对伸筋草中金属元素含量的测定分析[J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(1): 37-39.
BEI Zhanyu, HUANG Zhiqin, DING Yechun, et al. Determination of metallic elements in lycopodii herb by FAAS[J]. Guangdong Weiliang Yuansu Kexue, 2007, 14(1): 37-39.
[11] 莫江明, 张德强, 黄忠良, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林植物营养元素含量分配格局研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(3): 198-206.
MO Jiangming, ZHANG Deqiang, HUANG Zhongliang, et al. Distribution pattern of nutrient elements in plants of Dinghushan lower subtropical evergreen broad-leaved forest[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2000, 8(3): 198-206.
[12] 吴震, 李式军, 庄飞云, 等. 山葵幼龄植株主要矿质元素吸收和分配特性的研究[J]. 园艺学报, 2001, 28(6): 522-527.
WU Zhen, LI Shijun, ZHUANG Feiyun, et al. Study on absorption and distribution property of the main mineral elements in wasabi (*Wasabia*

- japonica* Matsum) seedlings[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(6): 522-527.
- [13] LEIGH R A, WYN JONES R G. Cellular compartmentation in plant nutrition: the selective cytoplasm and the promiscuous vacuole[C]//TINKER P B, LAUCHLI A. Advanced in plant nutrition. New York: Praeger Scientific, 1986: 249-280.
- [14] 陈立松, 刘星辉. 植物体内的 Ca^{2+} 信使系统及其与抗逆性的关系[J]. 福建农业大学学报, 1997, 26(3): 291-297.
- CHEN Lisong, LIU Xinghui. Ca^{2+} messenger system in plants and its relation to stress-resistance[J]. Journal of Fujian Agricultural University, 1997, 26(3): 291-297.
- [15] THOMAS E S, IOANNIS N T, KORTESSA N D. Calcium application as a means to improve tolerance of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* L.) to boron toxicity[J]. Scientia Horticulturae, 1999, 81: 443-449.
- [16] 李品芳, 白文波, 杨志成. NaCl 胁迫对苇状羊茅离子吸收与运输及其生长的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(7): 1458-1465.
- LI Pinfang, BAI Wenbo, YANG Zhicheng. Effects of NaCl stress on ions absorption and transportation and plant growth of tall fescue[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(7): 1458-1465.
- [17] 汪洪, 褚天铎. 植物镁素营养的研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(3): 245-250.
- WANG Hong, CHU Tianduo. The progress of study on magnesium nutrition in plants[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1999, 16(3): 245-250.
- [18] VALLEE B L, AULD D S. Zinc coordination, function and structure of zinc enzymes and other proteins[J]. Biochemistry, 1990, 29: 5647-5659.
- [19] 施益华, 刘鹏. 锰在植物体内生理功能研究进展[J]. 江西林业科技, 2003, (2): 26-28, 31.
- SHI Yihua, LIU Peng. Review of advance in physiological function of manganese in plants[J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2003, (2): 26-28, 31.
- [20] 杨明杰, 林咸永, 杨肖娥. Cd 对不同种类植物生长和养分积累的影响[J]. 应用生态学报, 1998, 9(1): 1989-1994.
- YANG Mingjie, LIN Xianyong, YANG Xiaoe. Impact of Cd on growth and nutrient accumulation of different plant species[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(1): 1989-1994.
- [21] LARSSON E H, BORDMAN J F, ASP H. Influence of UV-B radiation and Cd^{2+} on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in Brassica napus[J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49: 1031-1039.
- [22] DRAZKIEWICZ M. Chlorophyllase: occurrence, functions, mechanism of action, effects of internal and external factors[J]. Photosynthetica, 1994, 30: 321-331.
- [23] 王新, 梁仁禄, 周启星. Cd-Pb 复合污染在土壤-水稻系统中生态效应研究[J]. 农村生态环境, 2001, 17(2): 41-44.
- WANG Xin, LIANG Renlu, ZHOU Qixing. Ecological effect of Cd-Pb combined pollution on soil-rice system[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2001, 17(2): 41-44.
- [24] FUJIMOTO T, YOSHIYA U. Cadmium absorption by rice plants: I. Mode of the absorption[J]. Soil science and plant nutrition, 1979, 25(3): 407-415.

Effects of different climbing angles on metallic element contents and their correlations in leaves of *Pharbitis nil*

Zhao Zehai, Yu Manling, Chen Xiongwei, Chen Qinghua, Xu Jinhai, Liang Lian

College of Life Sciences, Zhaoqing University, Zhaoqing Guangdong, 526061, China

Abstracts: In order to explore effects of different climbing angles on metallic element contents in leaves of *P. nil*, the contents of ten kinds of metal elements were determined by atomic absorption spectrophotometry (AAS), and their correlations had been studied. The results showed that there were different degree effects on metallic element contents in leaves of *P. nil* with different climbing angles. And the climbing angles took significative effects on contents of Ca, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cd. The sensitivities on climbing angle treatments from macroelement (or major element) were less than from microelements (or minor element). With augmenting climbing angles (from 0° to 90° climbing angle), contents of Mg, Zn and Mn in leaves increased, but that of Cd decreased significantly. Contents of K, Ca, Na and Fe displayed the trends of "high-low-high". And contents of Pb increased from 30° to 90° climbing angle. The changing trend for Cu was complicated follow augmenting climbing angles. The results from correlation analysis showed that there were significant positive correlations between climbing angles and contents of Mg, Zn and Mn, but were significant negative correlations between climbing angles and content of Cd. There were no significant correlations between climbing angles and contents of Ca, Na, K, Fe, Cu and Pb. For ten kinds of metal elements, the element pairs with positive correlations were more than that with negative correlations. Mg, Zn, Mn and Cd maybe play important roles on synergistic reaction or antagonistic action among metal elements.

Key words: vine; climbing angle; metal element; correlation analysis; *Pharbitis nil*