

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2017.10115

牟杨, 马明东, 程昕, 钟小娟. 镧对华重楼生长及皂苷含量的影响[J]. 植物科学学报, 2017, 35(1): 115-121

Mu Y, Ma MD, Cheng X, Zhong XJ. Effects of lanthanum on growth and polyphyllin content of *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara[J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35(1): 115-121

镧对华重楼生长及皂苷含量的影响

牟杨, 马明东*, 程昕, 钟小娟

(四川农业大学风景园林学院, 成都 611130)

摘要: 本研究以 4 年生华重楼 (*Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara) 为实验材料, 分别采用 0、5、20、80、160 mg/L 的加镧营养液培养华重楼植株, 通过比较不同营养生长指标及采用 HPLC 法测定根茎皂苷组分, 研究不同施镧水平对华重楼生长及皂苷含量的影响。结果显示, 镧对华重楼生长及皂苷含量均有显著影响, 随着镧溶液浓度的增加, 华重楼皂苷含量呈上升趋势, 但当镧含量达到 160.00 mg/L 时, 则会对华重楼的生长产生抑制作用, 导致株高降低、比叶面积升高。研究结果表明 80.00 mg/L 的施镧水平最有利于华重楼的营养生长及根茎皂苷积累。

关键词: 华重楼; 镧; 生长; 皂苷组分含量

中图分类号: Q946.83

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2017)01-0115-07

Effects of lanthanum on growth and polyphyllin content of *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara

Mu Yang, Ma Ming-Dong*, Cheng Xin, Zhong Xiao-Juan

(College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Four-year-old *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* seedlings were cultured in five different concentrations (0, 5, 20, 80 and 160 mg/L) of lanthanum (La) solution. The effects of different application levels of La on the growth and rhizome saponin content were studied by comparing different vegetative growth indexes and components of rhizome saponins of *P. polyphylla* var. *chinensis*, as determined by HPLC. Results showed that La significantly impacted the growth and polyphyllin content of *P. polyphylla* var. *chinensis*. Polyphyllin content showed an increasing trend with the increase in La concentration; however, La concentrations of 160 mg/L inhibited *P. polyphylla* var. *chinensis* growth, which reduced plant height and increased specific leaf area. Overall, this study suggests that a La concentration of 80 mg/L is most conducive to the growth and accumulation of saponin in *P. polyphylla* var. *chinensis*.

Key words: *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara; Lanthanum; Growth; Saponin contents

华重楼 (*Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara) 隶属于延龄草科 (Trilliaceae) 重楼属 (*Paris*), 是具有观赏性及保健功效的多年生草本花卉, 与滇重楼 (*P. polyphylla* var. *yunnanensis*) 共

同被《中国药典》列为中药重楼的正品药源。华重楼根茎活性成分丰富, 其中薯蓣皂苷元含量较高, 具有抗肿瘤、止血及免疫调节等功效, 应用价值极高^[1-3]。近年来, 随着中医药产业的快速发展, 野

收稿日期: 2016-05-03, 退修日期: 2016-07-23。

基金项目: 四川省教育厅攻关项目 (2006A016)。

This work was supported by a grant from the Project of Education Research Foundation of Sichuan Province (2006A016)。

作者简介: 牟杨 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为园林植物培育与利用 (E-mail: 570755293@qq.com)。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: mmingdong1958@163.com)。

生资源已不能满足市场需求,因此人工栽培是解决市场重楼供需矛盾的重要途径。目前,有关重楼属植物栽培种植等方面的研究较多。例如,何忠俊等^[4-6]对滇重楼的营养施肥研究表明,适量增加钙、镁、钼等的含量可以促进滇重楼的生长及皂苷积累。刘涛等^[7]探讨了不同温度对滇重楼光合作用和有效成分含量的影响,发现利用 22℃(12 h 光照)/15℃(12 h 黑暗)温度处理滇重楼,不仅有利于其光合作用,还能促进甾体皂苷的积累。

稀土元素镧(La)虽未被确定为植物生长所必需的微量元素,但已有研究表明,镧、硒(Se)、铈(Ce)等稀土元素对植物的生长、光合作用和营养代谢等均有一定影响^[8]。如姜照伟等^[9]对南非马唐(*Digitaria smutsii* cv. Premier)分别喷施和土施不同浓度的氯化镧(LaCl₃)溶液,结果表明喷施 750 mg/L 和土施 1000 mg/L 的镧溶液可显著增加南非马唐的干物重。裴文梅等^[10]采用 8 × 10⁻⁶ mmol/L 的加镧营养液对甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)进行水培,发现甘草地上、地下部分的生物量与对照相比分别提高 70.3% 和 46.6%。蒋保安等^[11]对孔雀草(*Tagetes patula* L.)的研究表明,喷施 200 mg/L 的氯化镧对其苗高、冠幅、生物量积累均有促进作用。同时,研究显示镧肥不仅能促进植物的营养生长,还能促进次生代谢产物的积累。徐晓燕等^[12]采用 20.00 mg/L 氯化镧溶液喷施铁皮石斛(*Dendrobium officinale* Kimura et Migo)幼苗,处理后其石斛碱(dendrobine)含量增加 24.54%。周洁等^[13]的研究表明,适宜浓度的氯化镧可促进黄花蒿(*Artemisia annua* L.)体内青蒿素(artemisinin)的积累。刘颖等^[14]在镧影响甘草细胞生长和甘草酸(glycyrrhizic acid)合成的研究中发现,在指数期添加 0.1 mmol/L 的镧溶液 500 μL 后,甘草酸含量显著增加,达到 67.68 mg/L。然而稀土镧作为肥料在华重楼栽培中的应用尚未见报道。因此,本研究以 4 年生华重楼实生苗为实验材料,研究不同浓度的镧溶液对华重楼营养生长及皂苷含量的影响,以期为提高华重楼人工栽培技术提供理论依据。

1 材料与方

1.1 实验材料

华重楼种苗购于新康源农业科技开发有限公

司,经四川农业大学易同培研究员鉴定为延龄草科重楼属华重楼。选取大小、根茎形态基本一致的 4 年生健壮华重楼实生苗为植物材料,进行砂基盆栽实验。

1.2 实验方法

砂基盆栽实验在四川农业大学成都校区风景园林学院温室大棚内进行,棚内遮阴率为 60%,温度为(20 ± 3)℃。盆栽基质为河砂:珍珠岩:蛭石(1:1:1)混合均匀。河砂消毒后洗净、晾干;珍珠岩、蛭石用 2% 的硫酸亚铁溶液浸泡 4 h 后用水反复冲洗至中性、晾干;带托盘的花盆用 1‰的高锰酸钾溶液消毒后洗净、晾干。用 1‰的多菌灵浸泡根茎 5 min,进行根茎消毒,晾干备用。

2014 年 11 月 5 日将根茎形态、长势、重量基本一致的华重楼种植在河砂中,单个根茎鲜重为(2.00 ± 0.25) g,于 2015 年 3 月 11 日将植株栽种于消毒后的砂基花盆中,每个花盆装有基质 3 kg,种植 4 株。2015 年 7 月 28 日(华重楼倒苗前)采收全部植株。

实验共设 0(对照 CK)、5、20、80、160 mg/L 5 个水平的加镧营养液处理,3 盆为 1 个处理,每个处理重复 3 次,共测定 6 次。以浇灌 Hoagland 完全营养液的华重楼为对照(表 1)。植株移栽后首先浇去离子水,缓苗 10 d 后浇改良的 1/2 Hoagland 全营养液,上盆 20 d 后浇改良的 Hoagland 全营养液,最后在上盆 30 d 后开始浇灌上述各水平的加镧营养液,每盆浇灌 300 mL,每 10 d 浇灌 1 次。花盆底部放置托盘,浇灌营养液后,将渗到托盘的液体分多次倒回花盆,相邻 2 次处理期间视基质干湿情况浇灌。

表 1 改良后 Hoagland 营养液配方

Table 1 Improved Hoagland nutrient solution formula table

化合物名称 Chemicals	标准液浓度 Standard solution (mg/L)	化合物名称 Chemicals	标准液浓度 Standard solution (mg/L)
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	945.00	H ₃ BO ₃	2.86
KNO ₃	506.00	MnSO ₄ ·H ₂ O	1.61
NH ₄ NO ₃	80.00	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.23
KH ₂ PO ₄	136.00	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.08
MgSO ₄	493.00	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.27
NaFeEDTA	2.50(mL/L)		

注: pH 6.5。

1.3 营养生长指标和皂苷含量测定

1.3.1 华重楼营养生长指标

株高：分别用直尺于实验前和处理后测定华重楼株高；生物量：华重楼倒苗后按叶、茎和根茎 3 部分置于 35℃ 干燥箱中烘干至恒重，测定各部分干重；比叶面积：利用叶面积仪测定倒苗前华重楼的比叶面积，比叶面积 = 叶片面积(cm^2)/叶片干重(g)；折干率：华重楼倒苗后，称量根茎鲜重，折干率 = 干燥后根茎质量(g)/干燥前根茎鲜重(g)。

1.3.2 华重楼根茎皂苷含量的测定

将干燥的华重楼根茎在适宜的色谱条件下测定皂苷含量^[15]。实验步骤如下：

(1) 流动相选择：HPLC 为日本岛津 LC-20AB 高效液相色谱仪，色谱柱为 phenomenex Luna C18(4.6 mm × 250 mm, 5 μm)；流动相为乙腈(A) - 水(B) 梯度洗脱(0 ~ 10 min, 5% ~ 20% A; 10 ~ 50 min, 20% ~ 42% A; 50 ~ 90 min, 42% ~ 80% A; 90 ~ 100 min, 80% ~ 95% A)，洗脱时间 100 min；流速 1 mL/min；波长 203 nm；柱温 30℃；进样量 10 μL 。

(2) 供试品溶液的制备：将干燥至恒重的重楼药材粉碎后过 40 目筛，称取样品粉末 0.25 g，置于 100 mL 锥形瓶中，加入 70% 乙醇 40 mL，回流提取 2 h，收集滤液，重复 3 次，合并滤液，经减压浓缩后，以甲醇定容至 10 mL，再用 0.45 μm 微孔滤膜过滤，即得供试品溶液。

(3) 对照品溶液的制备：分别取在 40℃ 下干燥的重楼皂苷 I、II、VI、VII 标准品 10.00 mg，精密称定，用甲醇制成 0.4 g/L 的重楼皂苷类化合物混合对照品储备液(图 1: A)。

(4) 线性关系分析：分别吸取混合对照液 1、2.5、5、10、15、20 μL 进样检测得出峰面积测定结果。以进样量(X , μg)与峰面积(Y)进行线性回归计算。重楼皂苷 I、II、VI、VII 的回归方程分别为： $Y_{\text{I}} = 127580X_{\text{I}} + 199371$, $r = 0.9991$ ； $Y_{\text{II}} = 131043X_{\text{II}} + 175627$, $r = 0.9993$ ； $Y_{\text{VI}} = 230859X_{\text{VI}} + 280145$, $r = 0.9996$ ； $Y_{\text{VII}} = 199846X_{\text{VII}} + 179498$, $r = 0.9995$ 。

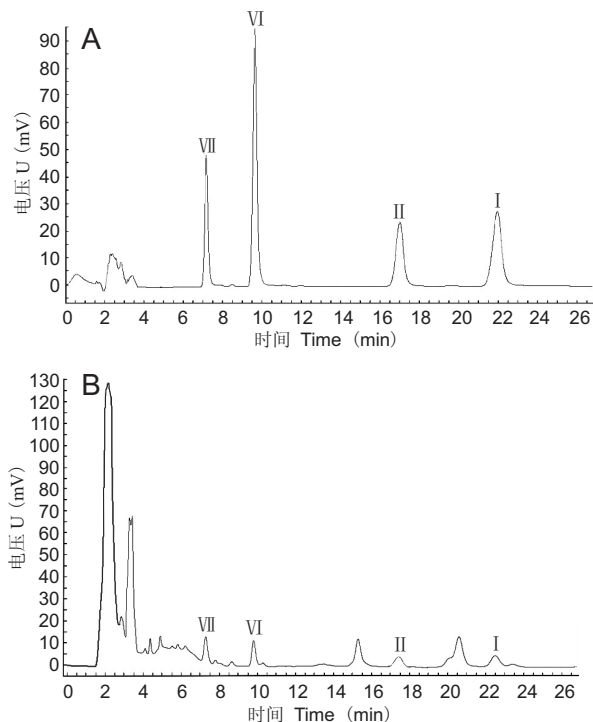
(5) 精密度实验：吸取混合对照液 10 μL ，连续进样 6 次，测得重楼皂苷 I、II、VI、VII 峰面积 RSD 值分别为：0.95%、0.83%、1.14% 和 1.20%，表明方法精密度良好。

(6) 重复性实验：取同一供试品 5 份，制备供试品溶液，按上述色谱条件测定重楼皂苷 I、II、VI、VII 的峰面积，计算其质量分数 RSD 值分别为：1.32%、1.10%、1.27% 和 1.55%，表明实验重复性良好。

(7) 稳定性实验：取同一供试品溶液，每隔 0、2、4、8、12、24、48 h 进样 10 μL ，记录峰面积，测定重楼皂苷 I、II、VI、VII 峰面积 RSD 值分别为：1.19%、1.37%、1.56% 和 1.98%，结果表明其在 48 h 内稳定。

(8) 加样回收实验：取已知含量的同一供试品 6 份，每份约 0.13 g，分别加入 1 mg 的重楼皂苷 I、II、VI、VII 对照品，制备供试品溶液，按上述色谱条件测定 4 种重楼皂苷含量，并计算获得平均加样回收率分别为：99.31%、97.42%、97.58% 和 98.69%，RSD 值分别为：1.43%、2.11%、1.98% 和 1.75%。

(9) 样品测定：取不同施镧水平处理下的华重楼粉末 3 份，每份 0.25 g，制备供试液，按上述色谱条件测定重楼皂苷 I、II、VI、VII 的含量(图 1: B)。



I：重楼皂苷 I；II：重楼皂苷 II；VI：重楼皂苷 VI；VII：重楼皂苷 VII。

I：polyphyllin I；II：polyphyllin II；VI：polyphyllin VI；VII：polyphyllin VII。

图 1 重楼皂苷对照品(A)和供试品(B)HPLC 图

Fig. 1 HPLC chromatograms of the reference substance (A) and sample (B) of polyphyllin

1.4 数据分析

数据采用 Excel 2013 和 SPSS 20.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施镧水平对株高的影响

不同施镧水平对华重楼株高有极显著影响 ($P < 0.01$)。株高随着施镧水平的升高呈先上升后下降的趋势。与对照相比, 各施镧处理的华重楼株高均有所提高, 分别提高 34.20%、37.84%、29.84% 和 6.96%。当采用 20 mg/L 镧处理时, 华重楼株高最高, 随着施镧水平的进一步增加, 株高呈下降趋势。说明镧对华重楼株高有极显著影响, 低水平镧处理可促进华重楼株高生长 (表 2)。

2.2 不同施镧水平对生物量的影响

施镧可增加华重楼的生物量。与对照相比, 各施镧处理的华重楼茎叶干重无显著变化。采用 160 mg/L 镧处理时, 茎叶干重最低值为 0.29 g; 随着镧水平的升高, 根茎干重呈先上升后下降的趋势, 各处理根茎干重均高于对照。说明中低水平的镧处理可促进华重楼生物量的增加, 但当进一步提高施镧水平时, 生物量则呈下降趋势 (表 2)。

2.3 不同施镧水平对比叶面积的影响

镧对华重楼比叶面积有极显著影响 ($P < 0.01$)。随着施镧水平的升高, 华重楼比叶面积呈先下降后上升的趋势。20 ~ 80 mg/L 施镧水平范围内, 比叶面积显著低于对照。20 mg/L 镧处理时, 比叶面积最低; 160 mg/L 处理时, 比叶面积最高, 较对照提高 4.54%, 与其它处理间差异达到极显著高水平 (表 2)。

2.4 不同施镧水平对折干率的影响

较高的折干率表示华重楼根茎中含有干物质较多, 折干率是评价华重楼品质的一项指标。与对照相比, 各施镧处理折干率均有所提高, 分别提高 19.74%、7.93%、7.66% 和 8.05%。5 mg/L 镧处理时, 折干率显著高于对照。说明镧可提高华重楼折干率 (表 2)。

2.5 不同施镧水平对皂苷含量的影响

添加稀土元素镧, 能极显著影响华重楼根茎中的药用成分含量。随着镧水平增加, 根茎中重楼皂苷 I、II、VI 含量呈先上升后下降的趋势, 当镧水平为 80 mg/L 时, 重楼皂苷 I、II、VI 含量均达到最高值, 分别为 1.67、0.86 和 0.68 mg/g, 较对照分别提高 4.22、27.67 和 16 倍。当镧水平为 160 mg/L 时, 重楼皂苷 I、VI 含量急剧下降, 但与对照无显著差异; 皂苷 II 含量有一定程度的下降, 但其含量仍极显著高于对照。当采用 5 mg/L 和 160 mg/L 镧处理时, 皂苷 VII 含量极显著高于对照; 但当采用 20 mg/L 和 80 mg/L 镧处理时, 其含量与对照差异较小, 原因可能与供试材料个体差异有关。与对照相比, 各施镧处理华重楼总皂苷含量呈上升趋势, 均高于对照 (图 2)。

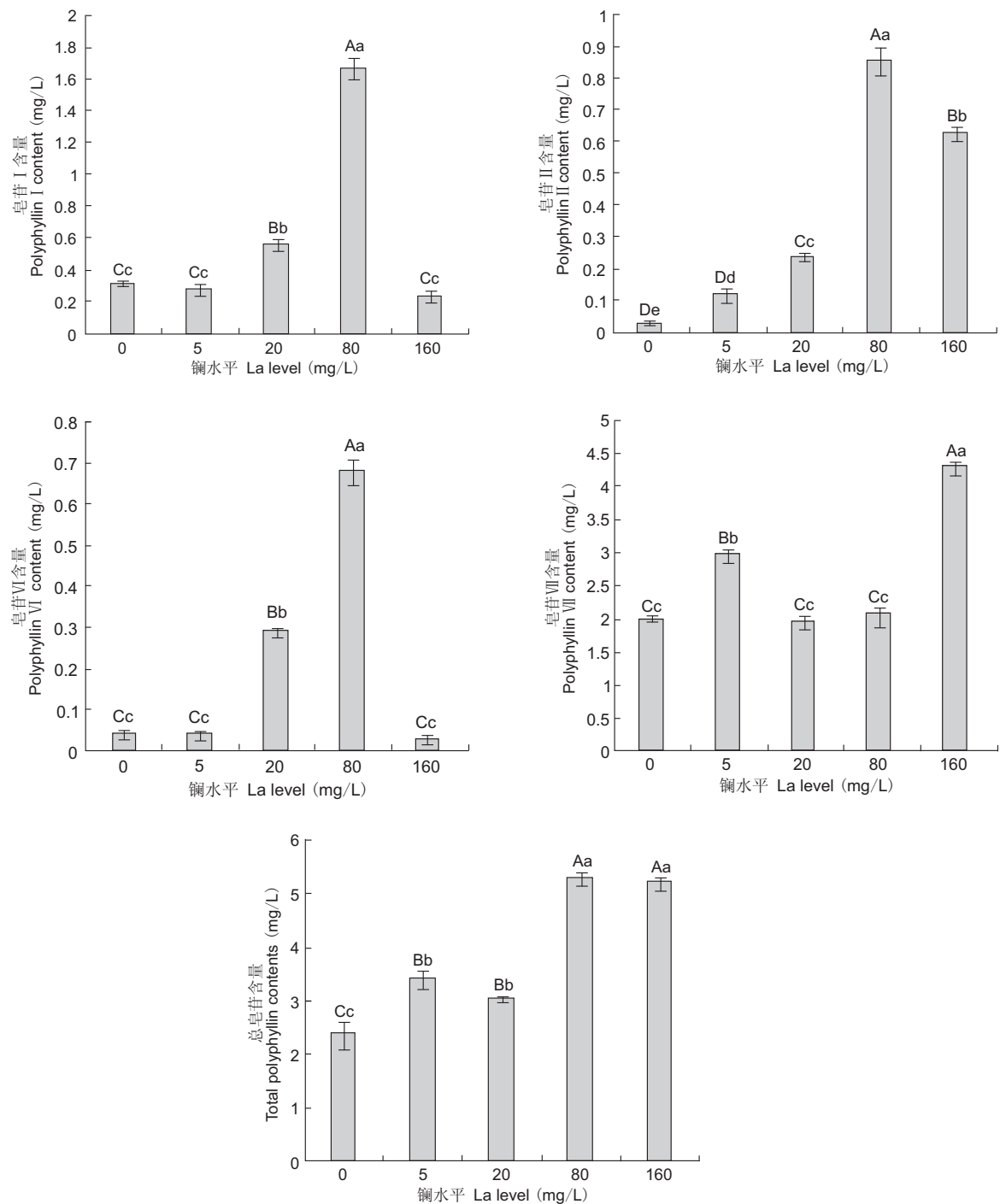
3 讨论

研究结果表明, 稀土元素镧对华重楼营养生长及根茎中皂苷的积累存在明显的剂量效应。随着镧水平的升高, 各指标整体呈现先促进后抑制的趋势。其中比叶面积是评价植物叶片功能特性的重要参数, 在养分充足时, 叶片较厚的植物比叶面积小, 含有更多的 RUBP 羧化酶, 光合能力强, 易产

表 2 不同施镧水平对华重楼生长的影响
Table 2 Effect of La application at different concentrations on the growth of *P. polyphylla* var. *chinensis*

镧水平 La level (mg/L)	株高 Height (cm)	生物量 Biomass (g)		比叶面积 Specific leaf area (cm ² /g)	折干率 Dry rate (%)
		茎叶干重 Shoot dry weight	根茎干重 Rhizome dry weight		
CK(0)	15.38 ± 0.38Cd	0.30 ± 0.02Aab	1.18 ± 0.03Bc	49.77 ± 0.56Bb	33.54 ± 0.38Ab
5	20.64 ± 0.24ABab	0.31 ± 0.01Aab	1.57 ± 0.06Aa	49.50 ± 0.13BCbc	40.16 ± 2.70Aa
20	21.20 ± 0.35Aa	0.32 ± 0.00Aa	1.66 ± 0.06Aa	48.37 ± 0.29Cd	36.20 ± 1.05Aab
80	19.97 ± 0.17Bb	0.31 ± 0.01Aab	1.64 ± 0.03Aa	48.77 ± 0.31BCcd	36.11 ± 1.05Aab
160	16.45 ± 0.23Cc	0.29 ± 0.01Ab	1.34 ± 0.03Bb	52.03 ± 0.06Aa	36.24 ± 1.17Aab

注: 表中数据均为平均值 ± 标准误。数值后同列不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平上的差异显著性, 不同大写字母表示处理间在 $P < 0.01$ 水平上的差异显著性。下同。
Notes: All data in the table are average value ± SD. Value of the different case letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level, and different capital letters indicate significant differences at the $P < 0.01$ level. Same below.



图中不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平上的差异显著性，不同大写字母表示处理间在 $P < 0.01$ 水平上的差异显著性。
Different lowercase letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level, and different capital letters indicate significant differences at the $P < 0.01$ level between different treatments.

图 2 不同镧水平下华重楼根茎皂苷含量
Fig. 2 Saponin content in rhizome of *P. polyphylla* var. *chinensis* under different La levels

生较高的生物量^[16,17]。当采用 20 mg/L 镧处理时，华重楼比叶面积最小，叶片较厚，光合能力强，生物量和株高极显著高于其它处理。此结果与姜照伟等^[18]的研究一致。虽然低水平镧处理对植物生长有一定促进作用，但当镧水平高于某一临界

值时则会对植物的生长产生抑制作用。裴文梅等^[10]在甘草的研究中发现，当营养液中镧水平超过 8×10^{-6} mmol/L 时，会产生叶黄、干枯等毒害作用。莫昭展等^[19]认为过量的稀土元素会促使植物气孔关闭，导致呼吸作用减弱，抑制植物干

物质积累,降低生物量。在本实验中,当镧水平为 160 mg/L 时,华重楼比叶面积最大,株高和茎叶干重为各处理中最低值,其原因可能是由于高浓度的镧破坏了酶防御系统,导致膜透性增大,电解质外渗,从而降低植物的抗逆能力,影响植物的生长^[20]。当采用 5 mg/L 镧处理时,华重楼折干率最高,与对照差异显著,说明低水平的镧可提高华重楼的品质。

目前的研究认为,稀土元素是通过影响细胞内游离钙的浓度及作为诱导物间接激活核特异基因,从而刺激植物细胞与防御相关基因的表达,控制次生代谢途径中关键酶的合成,进而影响次生代谢产物的积累^[21,22]。周洁等^[13]在黄花蒿的研究中指出,可能是 LaCl_3 增强了植物乙酰辅酶 A 的活性,进而提高青蒿素的含量。本实验结果表明,镧对华重楼根茎中不同有效成分的影响不一致。镧对重楼皂苷 I、II、VI 含量的影响整体呈现中低浓度促进、高浓度抑制的趋势;对重楼皂苷 VII 的影响呈先上升后下降再上升的趋势。这可能与各有效成分的合成途径和结构有关^[23]。王纪等^[24]在青钱柳 (*Cyclocarya paliuru* Batal.) 的研究中指出,喷施稀土元素可提高青钱柳叶片中山奈酚、槲皮素的含量。谢寅峰等^[25]在霍山石斛 (*Dendrobium huoshanense* C. Z. Tang et S. J. Cheng) 组培苗中添加 20 mg/L 的镧,石斛多糖含量增加 76.33%,但当浓度进一步增加时,多糖含量开始下降。这些研究进一步表明适量增加稀土元素对提高植物药用成分含量具有显著促进作用。

综合考虑华重楼的营养生长、药用部位生长量积累及皂苷含量等指标,建议华重楼施镧水平为 80 mg/L 较为适宜。

参考文献:

- [1] Xia W, Lei W, Guo CW, Hui W, Yi D, Xin XY, Wen CY, Yao LL. Triterpenoid saponins from rhizomes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* [J]. *Carbohydr Res*, 2013, 368: 1–7.
- [2] Li Y, Gu JF, Zou X, Wu J, Zhang MH, Jiang J, Qin D, Zhou JY, Liu BX, Zhu YT, Jia XB, Feng L, Wang RP. The anti-lung cancer activities of steroidal saponins of *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara through enhanced immunostimulation in experimental lewis tumor-bearing C57BL/6 mice and induction of apoptosis in the A549 cell line [J]. *Molecules*, 2013, 18 (10): 12916–12936.
- [3] 袁晓, 袁萍, 严海燕, 李建强, 袁友明. 野生珍稀药用植物七叶一枝花的成分含量分析 [J]. *武汉植物学研究*, 2004, 22 (6): 575–577.
Yuan X, Yuan P, Yan HY, Li JQ, Yuan YM. Analysis on the constituents of wild rare chinese medicinal plant *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2004, 22 (6): 575–577.
- [4] 何忠俊, 曾波, 韦建荣, 樊启龙, 陈璐. 钙对滇重楼生长和总皂甙含量的影响 [J]. *云南农业大学学报*, 2010, 25 (5): 664–669.
He ZJ, Zeng B, Wei JR, Fan QL, Chen L. Effects of calcium fertilization on the growth and total saponin contents of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* [J]. *Journal of Yunnan Agricultural Science*, 2010, 25 (5): 664–669.
- [5] 何忠俊, 马青, 曾波, 陈璐. 镁对滇重楼生长、养分吸收和总皂甙含量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (4): 960–964.
He ZJ, Ma Q, Zeng B, Cheng L. Effects of Mg fertilization on growth, nutrient absorption and total saponins content of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15 (4): 960–964.
- [6] 何忠俊, 梁社往, 曾波, 管开云, 熊俊芬. 钼对滇重楼生长、养分和总皂甙含量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17 (6): 1481–1486.
He JZ, Liang SW, Zeng B, Guan KY, Xiong JF. Effects of Mo fertilization on growth, nutrient absorption and total saponins content of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17 (6): 1481–1486.
- [7] 刘涛, 王玲, 李玛, 杨生超. 不同温度对滇重楼光合作用及有效成分含量的影响 [J]. *中国现代中药*, 2015, 17 (10): 1041–1043.
Liu T, Wang L, Li M, Yang SC. Effects of different temperature on photosynthesis and effective components of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2015, 17 (10): 1041–1043.
- [8] 何跃君, 薛立. 稀土元素对植物的生物效应及其作用机理 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16 (10): 1983–1989.
He YJ, Xue L. Biological effects of rare earth elements and their action mechanisms [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (10): 1983–1989.
- [9] 姜照伟, 翁伯琦, 黄元仿, 王义祥, 罗旭辉. 施用稀土元素镧对南非马唐生长及若干生理特性的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14 (4): 713–720.
Jiang ZW, Weng BQ, Huang YF, Wang YX, Luo XH. Effects of applied rare earth elements lanthanum on the growth and some physiological characteristics of *Digitaria smutsii* [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008,

- 14(4): 713-720.
- [10] 裴文梅, 李琼翠, 段晓健, 王景安. 镧对甘草产量及品质的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(4): 127-130.
Pei WM, Li QC, Duan XJ, Wang JA. Effects of lanthanum on yield and quality of *Licorice*[J]. *Acta Agricultural Boreali-occidentalis Sinica*, 2012, 21(4): 127-130.
- [11] 蒋保安, 姚文根, 王磊磊, 刘阳, 李丽. 不同浓度的氯化镧对孔雀草的影响[J]. 安徽林业科技, 2014, 40(4): 31-33.
Jiang BA, Yao WG, Wang LL, Liu Y, Li L. Effects of LaCl_3 of different concentration gradients on the growth of *Tagetes patula*[J]. *Anhui Forestry Science and Technology*, 2014, 40(4): 31-33.
- [12] 徐晓燕, 唐迪, 蔡菁雯, 朱辉飞, 史俊. 镧对铁皮石斛幼苗生理特性及品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(12): 2935-2938.
Xu XY, Tang D, Cai JW, Zhu HF, Shi J. Effect of La^+ on physiological characteristics and quality of *Dendrobium officinale* seedlings[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, 54(12): 2935-2938.
- [13] 周洁, 张霁, 郭兰萍, 李耿, 杨光, 赵曼茜, 黄璐琦. 稀土元素镧对黄花蒿光合作用及青蒿素积累的影响[J]. 中草药, 2010, 41(8): 1371-1374.
Zhou J, Zhang J, Guo LP, Li G, Yang G, Zhao MQ, Huang LQ. Effects of lanthanum on leaf photosynthesis and artemisinin accumulation in *Artemisia annua*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2010, 41(8): 1371-1374.
- [14] 刘颖, 魏景芳, 李冬杰, 李俊英. 稀土元素对甘草细胞生长及草甘酸合成的影响[J]. 广西植物, 2006, 26(1): 101-104.
Liu Y, Wei JF, Li DJ, Li JY. Effects of rare earth elements on *Glycyrrhiza* cell growth and glycyrrhizic acid synthesis [J]. *Guihaia*, 2006, 26(1): 101-104.
- [15] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 243-244.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese Pharmacopoeia: Part 1 [S]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2010: 243-244.
- [16] Roche P, Natacia DB, Gachet S. Congruency analysis of species ranking based on leaf traits: which traits are the more reliable? [J]. *Plant Ecol*, 2004, 174(1): 37-48.
- [17] Vile D, Garnier E, Shipley B. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves [J]. *Ann Bot*, 2005, 96(6): 1129-1136.
- [18] 姜伟作, 翁伯琦, 黄元仿, 王义祥, 应朝阳. 喷施和土施镧对圆叶决明生长影响的比较[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1273-1279.
Jiang ZW, Weng BQ, Huang YF, Wang YX, Ying ZY. Comparison of effects of lanthanum application on growth by spraying and soil dressing in *Chamaecrista rotundifolia* [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(7): 1273-1279.
- [19] 莫昭展, 曹福亮, 欧祖兰. 硝酸镧对流苏石斛试管苗生长的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 158-160.
Mo ZZ, Cao FL, Ou ZL. Effects of lanthanum nitrate on growth of *Dendrobium fimbriatum* tube seedling [J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2009, 33(4): 158-160.
- [20] 罗杰, 刘凌, 胡道伟. 红豆杉细胞培养产物提取策略及其对紫杉醇的影响[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21(2): 165-169.
Luo J, Liu L, Hu DW. Influence of taxol production by product extraction strategies in cell culture of *Taxus chinensis* [J]. *Journal of Wuhan Botanical research*, 2003, 21(2): 165-169.
- [21] 李景川, 马忠海, 元英进, 孙安慈, 胡昌序. 钪对悬浮培养南方红豆杉细胞可溶性蛋白和紫杉醇合成动态的影响[J]. 中国稀土学报, 2001, 19(2): 162-166.
Li JC, Ma ZH, Yuan YJ, Sun AC, Hu CX. Dynamic effects of cerium on synthesis of soluble protein and taxol in suspension culture of *Taxus Chinensis* var. *maimei* cells [J]. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 2001, 19(2): 162-166.
- [22] Ranjev R, Boudet AM. Signal Perception and Transduction in Higher Plants[M]. Berlin: Springer Verlag, 1990.
- [23] 黄贤校, 高文远, 满淑丽, 赵志勇. 重楼属药用植物皂苷类化学成分及其生源途径的研究进展[J]. 中草药, 2009, 40(3): 485-489.
Huang XX, Gao WY, Man SL, Zhao ZY. Advances in studies on saponins in plants of *Paris* L. and their biosynthetic approach [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2009, 40(3): 485-489.
- [24] 王纪, 张金凤, 谢寅峰, 方升佐. 外源物质对青钱柳叶片黄酮及微量元素含量的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2012, 36(3): 49-52.
Wang J, Zhang JF, Xie YF, Fang SZ. Effects of exogenous substances on the contents of flavonoids and trace elements in leaves of *Cyclocarya paliuru* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2012, 36(3): 49-52.
- [25] 谢寅峰, 徐丽. 稀土对霍山石斛组培苗石斛多糖含量的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 6: 39-42.
Xie YF, Xu L. Effects of rare earth and so on on polysaccharides content of *Dendrobium huos-hanense* plantlet in vitro [J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2008, 6: 39-42.