

丛枝菌根真菌对滇重楼内源激素的影响

周 浓^{1,2}, 张 杰¹, 潘兴娇², 杜慧慧¹, 郭冬琴¹, 丁 博¹, 袁 颖¹, 杨 敏^{2*}

1. 重庆三峡学院生物与食品工程学院, 三峡库区道地药材绿色种植与深加工重庆市工程实验室, 重庆 404000

2. 大理大学药学与化学学院, 云南 大理 671000

摘要: **目的** 初步探索接种不同外源性丛枝菌根(AM)真菌对滇重楼 *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* 幼苗内源激素水平变化规律。**方法** 以灭菌土壤为生长基质, 于室温盆栽条件下对滇重楼新鲜种子与 28 种 AM 真菌共培养后采样, 采用 HPLC 测定和比较分析各处理组滇重楼根茎和须根内源激素玉米素核苷(ZR)、赤霉素(GA)、吲哚乙酸(IAA)和脱落酸(ABA)的量。**结果** 接种外源性 AM 真菌能提高滇重楼幼苗菌根侵染率和成苗率, AM 真菌对滇重楼幼苗根茎和须根中 ZR、GA、IAA、ABA 4 种激素量的变化表现出不同的规律, 但具有偏好性。与对照组相比, 整体上接种 AM 真菌处理组根茎中 ZR、GA 量呈现增长的趋势, IAA 量变化规律不明显, 而 ABA 量呈现减少的趋势, 接种 AM 真菌处理组根茎中 ABA/ZR、ABA/GA、ABA/IAA 值呈现减少的趋势, 但须根与根茎的变化趋势相反。**结论** AM 真菌能促进滇重楼幼苗的存活率, 且不同 AM 真菌菌株影响滇重楼内源激素量。

关键词: 滇重楼; AM 真菌; 根茎; 须根; 内源激素

中图分类号: R282

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2017)23-4970-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.23.024

Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on endogenous hormones in *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*

ZHOU Nong^{1,2}, ZHANG Jie¹, PAN Xing-jiao², DU Hui-hui¹, GUO Dong-qin¹, DING Bo¹, YUAN Ying¹, YANG Min²

1. College of Food and Biological Engineering, the Chongqing Engineering Laboratory for Green Cultivation and Deep Processing of the Three Gorges Reservoir Area's Medicinal Herbs, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404000, China

2. College of Pharmacy and Chemistry, Dali University, Dali 671000, China

Abstract: Objective In order to study the dynamic variation of endogenous hormones in *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different foreign arbuscular mycorrhizal fungi species. **Methods** With sterilized soil as growth substrate, the fresh seeds of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* were co-cultured with 28 arbuscular mycorrhizal (AM) fungi species under the condition of pot culture at room temperature. The rhizomes and fibrils of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* were collected, and the contents of endogenous hormone zygotic nucleotides (ZR), gibberellin (GA), indole acetic acid (IAA) and abscisic acid (ABA) were determined by HPLC, then content and proportion of endogenous hormones were analyzed, respectively. **Results** The results showed that it could increase the mycorrhizal colonization rate and seedling rate of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different foreign AM fungi species. The content change of ZR, GA, IAA and ABA appears different in the rhizomes and seedling fibrils of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* after the inoculation of AM fungi species, but it has preferences. Compared with the control group (CK), the content of ZR and GA rose obviously in the rhizomes and seedling fibrils of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* after the inoculation of AM fungi species, the content of ABA reduced and the content of IAA did not obvious change. The ABA/ZR proportion, ABA/GA proportion and ABA/IAA proportion reduced obviously in the rhizomes of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* after the inoculation of AM fungi species but there was different change in seedling fibrils of *P. polyphylla* var. *yunnanensis*. **Conclusion** In conclusion, it is inferred that the AM fungi can promote the survival rate of the *P. polyphylla* var. *yunnanensis* seedlings, and the different AM fungi strains affect the content of endogenous hormones of *P. polyphylla* var. *yunnanensis*.

Key words: *Paris polyphylla* Smith var. *yunnanensis* (Franch.) Hand. -Mazz.; arbuscular mycorrhizal fungi; rhizome; fibril; endogenous hormones

收稿日期: 2017-06-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(81260622); 重庆市教委科学技术研究项目资助(KJ1601007); 云南省应用基础研究计划青年项目(2014FD046); 云南省教育厅科学研究基金重点项目(2012ZJ119)

作者简介: 周 浓(1978—), 男, 重庆开县人, 硕士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为药用植物栽培与质量控制。

Tel: (023)58576130 E-mail: erhaizn@126.com

*通信作者 杨 敏 Tel: (0872)2219936 E-mail: yang_min_0302@163.com

滇重楼 *Paris polyphylla* Smith var. *yunnanensis* (Franch.) Hand. -Mazz. 作为重要的传统名贵稀缺中药材, 其独特的药用价值备受各界人士的关注, 以西南各省区资源和种类最丰富, 滇重楼已成为当地的经济支柱产业和独具特色的生物资源^[1-3]。滇重楼人工繁殖栽培主要以种子繁殖为主^[4], 种子繁殖具有繁殖系数高、生产成本低等优点^[5], 但滇重楼种子为形态-生理休眠类型种子^[6], 极大地制约了滇重楼实生苗的人工栽培。随着制药工业的需求量逐年增加, 滇重楼野生资源逐年减少且日趋濒临枯竭, 人工繁育栽培是解决滇重楼供需矛盾、实现资源可持续发展的有效途径之一。因此, 如何突破滇重楼种子处理的技术瓶颈, 保护滇重楼产业的可持续发展是目前研究的热点。

丛枝菌根 (arbuscular mycorrhizal, AM) 真菌是地球上 80% 以上的陆生植物分布最广泛、最普遍的一类菌根^[7]。课题组前期研究结果表明, 滇重楼是一类典型菌根营养型药用植物^[7], 能促进滇重楼生长与光合生理特性^[8], 改善根茎品质 (次生代谢产物) 的形成^[9-10]。业已证明, AM 真菌能改变丹参^[8]、铁皮石斛^[11]等药用植物内源激素的量以及它们之间的平衡状况, 从而促进药用植物的生长, 进而间接增强药用植物的抗逆性。然而, AM 真菌和植物内源激素在滇重楼次生代谢产物调节过程中相互作用机制有待阐明。因此, 本研究以接种不同外源性 AM 真菌与滇重楼无菌播种形成的幼苗进行共生培养后的 2 年生滇重楼为研究材料, 测定根茎和须根中内源激素玉米素核苷 (ZR)、赤霉素 (GA)、生长素 (IAA)、脱落酸 (ABA) 量的动态变化, 并比较分析其相对比值, 拟探讨 AM 真菌对滇重楼 4 种内源激素的作用机制, 为 AM 真菌在滇重楼生产上的营养提供理论基础。

1 材料

1.1 供试 AM 真菌

供试 AM 真菌 *Gigaspora albida* (Ga)、*G. decipiens* (Gd)、*G. gigantea* (Gg)、*G. margarita* (Gm)、*G. rosea* (Gr)、*Scutellospora calospora* (Sca)、*S. dipurpurascens* (Sdi)、*S. pellucida* (Spe)、*Dentiscutata heterogama* (Dh)、*Racocetra coralloidea* (Rco)、*R. fulgida* (Rfu)、*Septogloium deserticola* (Sde)、*S. viscosum* (Svi)、*Funneliformis mosseae* (Fm)、*Claroideogloium claroideum* (Cc)、*Rhizophagus clarus* (Rcl)、*R. intraradices* (Rin)、*Acaulospora foreata* (Afo)、*A. koskei* (Ako)、*A.*

scrobiculata (Asc)、*A. spinosa* (Asp)、*Diversispora eburnea* (De)、*D. spurca* (Ds)、*Entrophospora colombiana* (Ec)、*Paragloium brasilianum* (Pb)、*P. occultum* (Po)、*Ambispora leptoticha* (Ale)、*Archaeospora trappei* (Atr), 均由美国国际丛枝菌根真菌种质资源保藏中心 (INVAM) 提供的 AM 真菌纯净菌剂。

1.2 供试种子

滇重楼的新鲜种子于 2012 年 10 月 18 日采自大理州农业科学推广研究院种植基地的滇重楼健壮植株, 常温下河沙贮存 4 个月, 经大理大学药学与化学学院生药学教研室周浓教授鉴定为百合科植物滇重楼 *Paris polyphylla* Smith var. *yunnanensis* (Franch.) Hand. -Mazz. 的成熟种子, 种子采用单株保存, 保证种质资源的稳定性和均一性。

1.3 试药

对照品 ZR、GA₃、IAA、ABA 均购自 Sigma 公司, 质量分数均大于 98%; 甲醇为色谱纯 (德国默克), 其余试剂均为分析纯。

1.4 仪器

LC-20A 型高效液相色谱仪 (日本岛津制作所); SB-5200DTN 型超声波清洗机 (宁波新芝生物科技股份有限公司); ML204 型分析天平 (梅特勒-托利多仪器上海有限公司)。

2 方法

2.1 实验设计

将新鲜滇重楼种子用河沙磨破并去掉残留的外果皮, 晾干表皮水分, 用 10% 次氯酸钠溶液浸泡消毒 15 min, 蒸馏水漂洗至无次氯酸钠为止; 紫云英种子用 10% 次氯酸钠溶液浸泡消毒 15 min, 蒸馏水漂洗至无次氯酸钠为止, 备用。采用高 20 cm、直径 20 cm 的加厚无纺布栽培袋, 每盆装入过 2 mm 筛并经 121 °C 高压灭菌锅内灭菌 2 h 的土与河沙 3:1 的混合物。采用室温 (自然光照) 盆栽方法, 设 AM (接种 28 种 AM 真菌) 组和对照 (未接种 AM 真菌, CK) 组共 29 种处理, 每盆接种 5 mL 菌剂 (每毫升约含 60 个孢子), 与紫云英混合播种培养, 待滇重楼种子出土后除去紫云英植株, 每盆间苗 20 株。生长期间按常规管理, 每周浇 1 次 Hoagland 营养液。

2.2 菌根侵染率的测定

每组随机选取 10 株滇重楼幼苗根系 30 条, 平行 3 份, 参照周浓等^[9-10]的方法进行染色、制片、

镜检及计算菌根侵染率。

2.3 成苗率的测定

根据公式测定成苗率。

成苗率 = 正常苗数 / 播种数

2.4 内源激素的提取

每处理组随机选取 10 株滇重楼幼苗，平行 3 份，将根茎和须根剪断，精密称定后迅速放入液氮中冷冻，-80 ℃ 保存，备用。滇重楼幼苗根茎、须根中内源激素的提取和纯化参照于玉梅等^[12]的方法。

2.5 内源激素的测定^[6]

色谱柱为 Venusil ASB 柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm)，流动相为甲醇-0.8 冰醋酸溶液 40 : 60，柱温 25 ℃，体积流量 1 mL/min，检测波长 254 nm，进样量 20 μL。以 4 种对照品出峰时间和峰高叠加定性，外标法定量，所有实验均参考陈疏影等^[6]研究报道。

2.6 数据分析

实验所测数据运用 Excel 2003 和 SPSS 22.0 软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 接种不同 AM 真菌对滇重楼菌根侵染率的影响

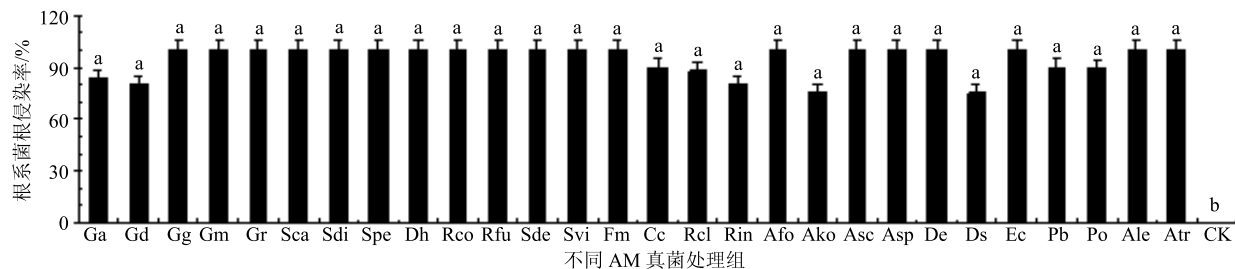
由图 1 可知，不同 AM 真菌处理滇重楼幼苗根系均被 AM 真菌不同程度地侵染，且侵染率均较高，侵染率在 75.12%~99.86%，但处理组菌根侵染率无显著性差异，而 CK 组滇重楼幼苗根系均无 AM 真菌侵染，未形成 AM。由此可见，外源 AM 真菌对滇重楼幼苗根系侵染率具有调控（增减）作用。

3.2 接种不同 AM 真菌对滇重楼成苗率的变化

由图 2 可知，不同 AM 真菌处理对滇重楼种子的成苗率影响不尽相同，与 CK 相比，Sca 处理组达到显著性差异，Rfu、Cc、Afo、Ds 处理组成苗率显著低于 CK 组，Ga、Gg、Gm、Sde、Rcl、Asc、De、Ale 处理组成苗率高于 CK 组，但未达到显著性差异，其余处理组无显著性差异。

3.3 接种不同 AM 真菌对滇重楼幼苗根茎内源激素量的变化

接种不同 AM 真菌不同程度地影响了滇重楼幼苗根茎中 ZR、GA、IAA、ABA 的量（图 3）。



不同小写字母代表差异显著 ($P < 0.05$), 下图同

Different small letters indicate significant differences ($P < 0.05$), same as below Fig.

图 1 AM 真菌对滇重楼幼苗根系菌根侵染率的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Fig. 1 Effect of the mycorrhizal colonization rate of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* seedlings inoculated by different foreign AM fungi species ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

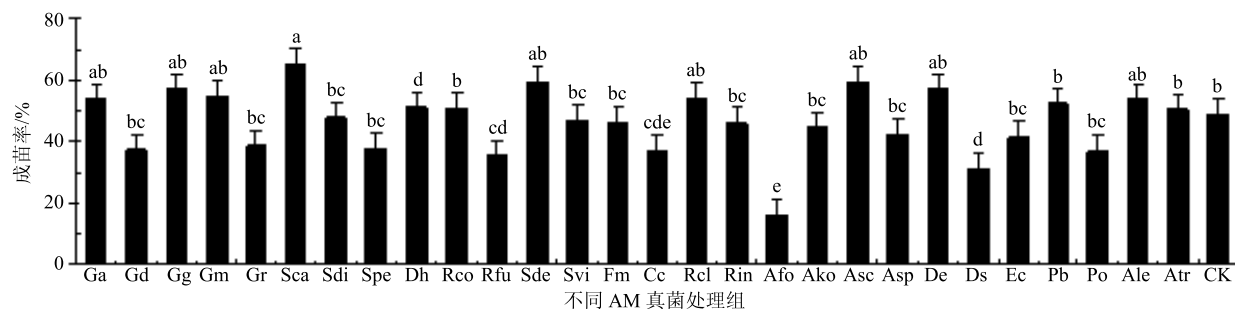
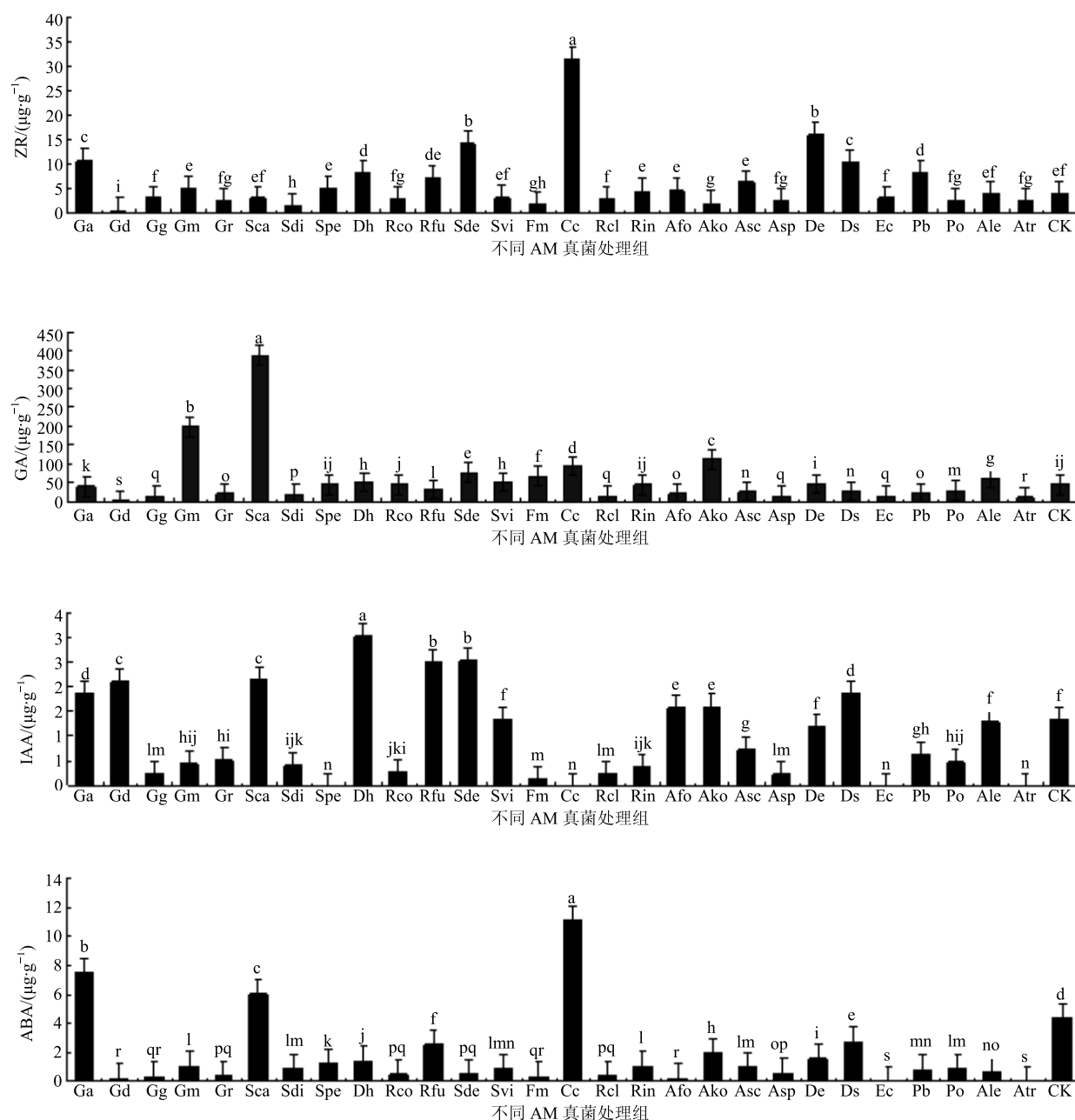


图 2 AM 真菌对滇重楼成苗率的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Fig. 2 Effect of percentage of seedling emergency in *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different foreign arbuscular mycorrhizal fungi species ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

图 3 接种 AM 真菌滇重楼幼苗根茎中内源激素的量 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)Fig. 3 Endogenous hormones content in rhizome of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different foreign arbuscular mycorrhizal fungi species ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

不同 AM 真菌对根茎中内源激素量的影响差异较大, 部分达显著性差异 ($P < 0.05$), 同时 Spe、Cc、Ec 和 Atr 处理组中 IAA 的量未检出, Ec 和 Atr 处理组中 ABA 的量未检出。与 CK 相比, 整体上呈现接种 AM 真菌处理组 ZR、GA 量呈现增加的趋势, ABA 量呈现减少的趋势, 而 IAA 量变化规律不明显, 其中以接种 Cc 对 ZR、ABA 量促进作用最显著, 接种 Sca 对 GA 量促进作用最显著, 接种 Dh 对 IAA 量促进作用最显著。

3.4 接种不同 AM 真菌对滇重楼幼苗须根内源激素量的变化

接种不同 AM 真菌不同程度地影响了滇重楼幼苗须根中 ZR、GA、IAA、ABA 的量 (图 4)。不同 AM 真菌对须根中内源激素量的影响差异较大, 部分有显著性差异 ($P < 0.05$), 同时 Cc、Rin 和 Pb 处理组中 IAA 的量未检出, Afo 和 Pb 处理组中 ABA 的量未检出。与 CK 相比, 整体上呈现接种 AM 真菌处理组 ZR、GA 量呈现减少的趋势, ABA 量呈现

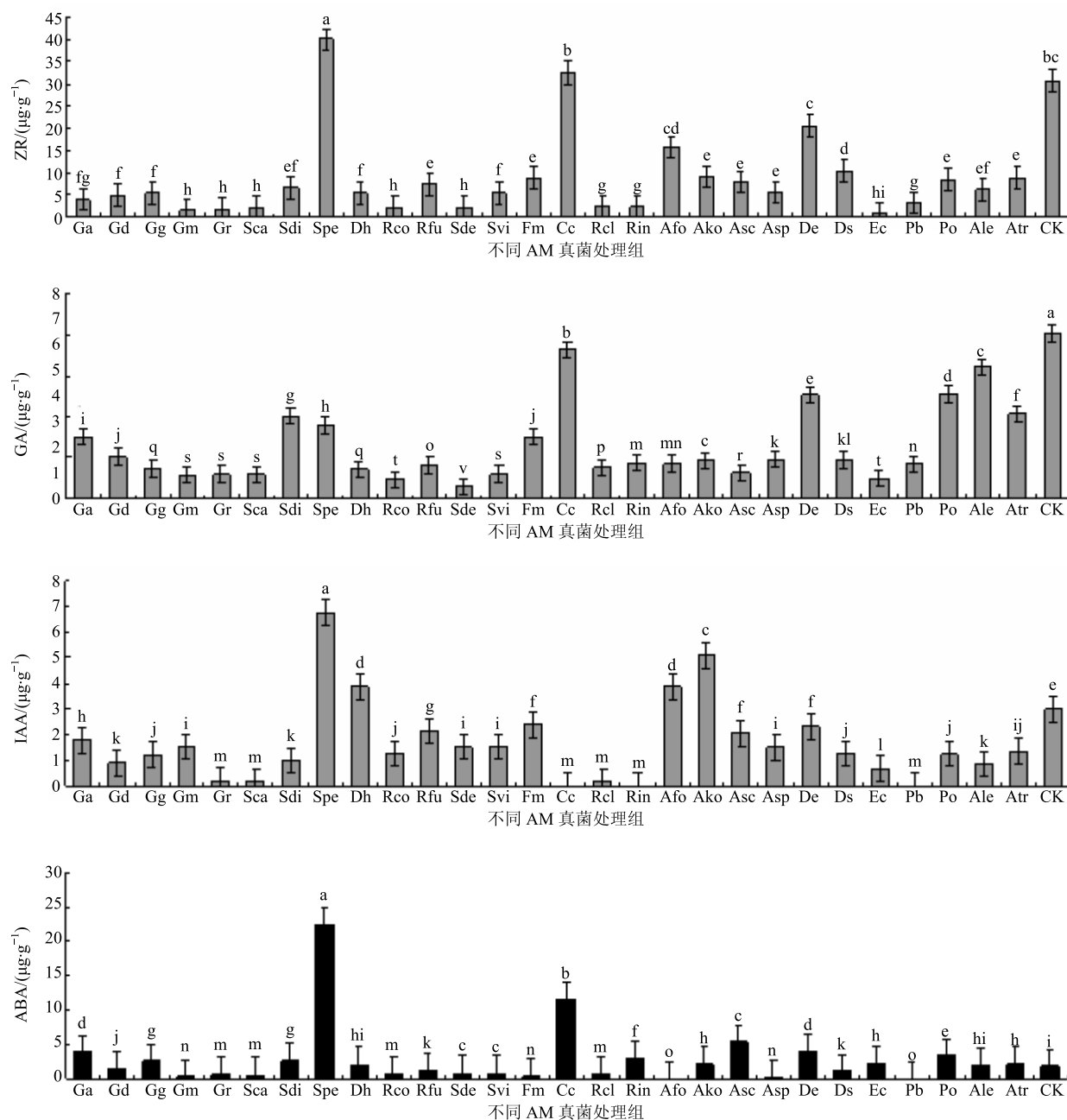


图 4 接种 AM 真菌滇重楼幼苗须根中内源激素的量 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Fig. 4 Endogenous hormones content in seedling fibril of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different foreign arbuscular mycorrhizal fungi species ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

增加的趋势, 而 IAA 量变化规律不明显, 其中以接种 Spe 对 ZR、IAA、ABA 量促进作用最显著, 接种 Cc 对 GA 量促进作用最显著。

3.5 接种不同 AM 真菌对滇重楼幼苗根茎内源激素量比值变化

接种不同 AM 真菌不同程度地影响了滇重楼幼苗根茎中 ABA/ZR、ABA/GA、ABA/IAA、GA/ZR、GA/IAA、IAA/ZR 的值且差异较大, 部分达显著性差

异 ($P < 0.05$, 图 5)。与 CK 相比, 除 Sca、Ako 处理组外 ABA/ZR 的比值下降, 除 Ga、Cc、Ds 处理组外 ABA/GA 的比值下降, 除 Ga 处理组外 ABA/IAA 的值有利于滇重楼幼苗的生长发育。同时, 与 CK 相比, 除 Gm、Sca、Rco、Fm、Rin 处理组外 GA/IAA 值下降。与 CK 相比, 除 Gm、Sca、Fm、Ako 处理组外 GA/ZR 值下降, 除 Gd 处理组外 IAA/ZR 值下降, 其

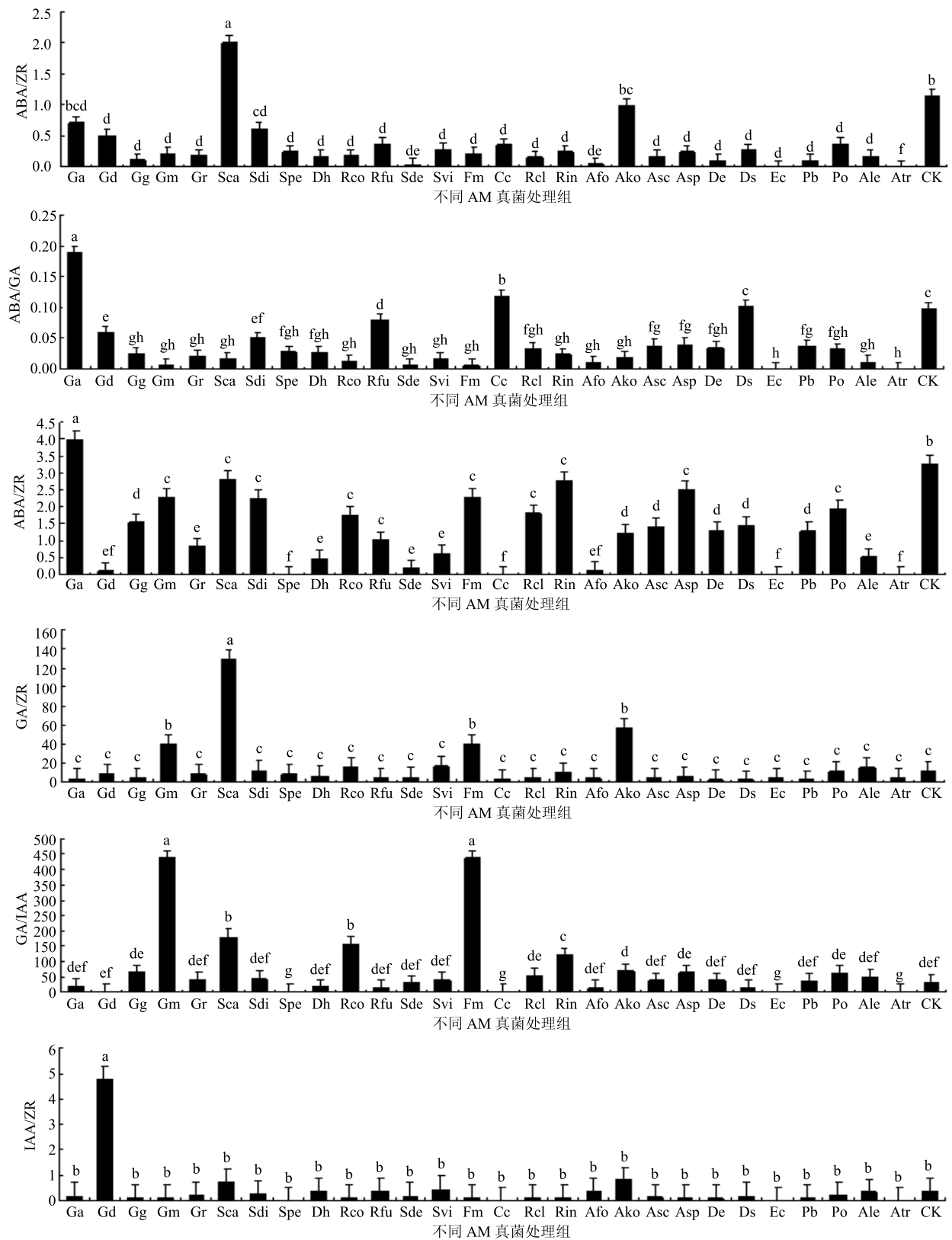


图 5 接种 AM 真菌滇重楼幼苗根茎中内源激素比值变化 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Fig. 5 Change of endogenous hormones proportion in the rhizome of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different foreign arbuscular mycorrhizal fungi species ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

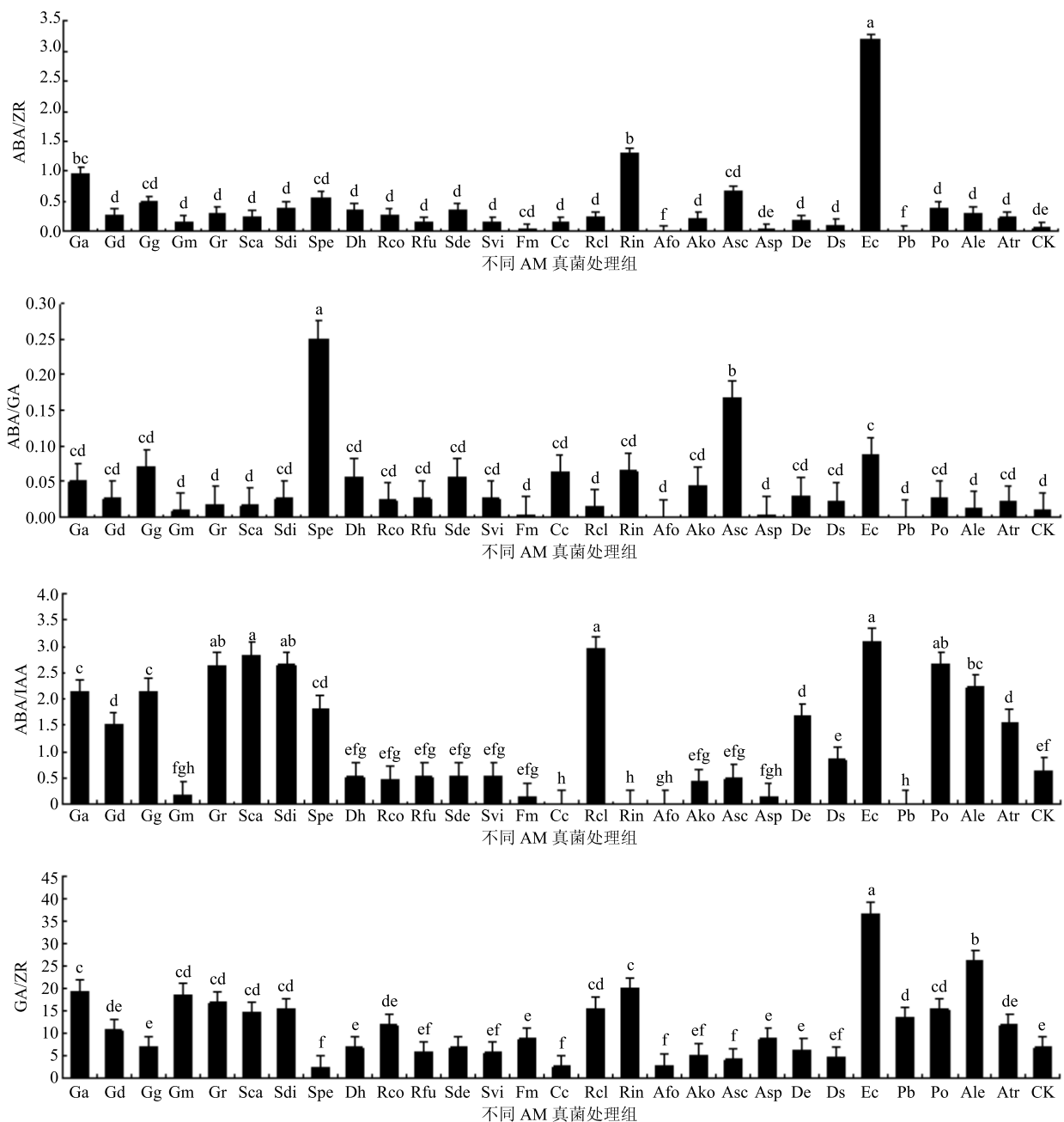
余处理组均未达到显著性差异 ($P>0.05$)。

3.6 接种不同 AM 真菌对滇重楼幼苗须根内源激素量比值变化

接种不同 AM 真菌不同程度地影响了滇重楼幼苗须根中 ABA/ZR、ABA/GA、ABA/IAA、GA/ZR、GA/IAA、IAA/ZR 的值 (图 6)。不同的菌根真菌对其内源激素比值的影响差异较大, 与 CK 组相比, 除 Cc、Rin、Afo 和 Pb 未检出 IAA 或 ABA 的量处理组外, 其余处理组的 ABA/ZR、ABA/GA、ABA/IAA、GA/ZR、IAA/ZR 值均高于 CK 组或略降低, 并部分达显著性差异 ($P<0.05$)。

4 讨论

滇重楼现已列为我国的二级珍稀濒危药用植物^[13], 而滇重楼种子萌发和幼苗定居的生活史过程中受胁迫成为其物种濒危与分布受限的关键因素, 是实现物种延续和种群更新的关键环节之一^[14]。本研究表明, 室温盆栽条件下接种外源性 AM 真菌能有利于提高滇重楼种子萌发及幼苗成苗率的趋势, 但是差异不明显, 实验结果与前人的研究相似, 申仕康等^[15]通过接种猪血木根际土著菌根真菌能显著提高濒危植物猪血木幼苗的存活率, 盖雪鸽等^[16]研究证实了接种 AM 真菌有助于兰科植物的物种保护和野生种



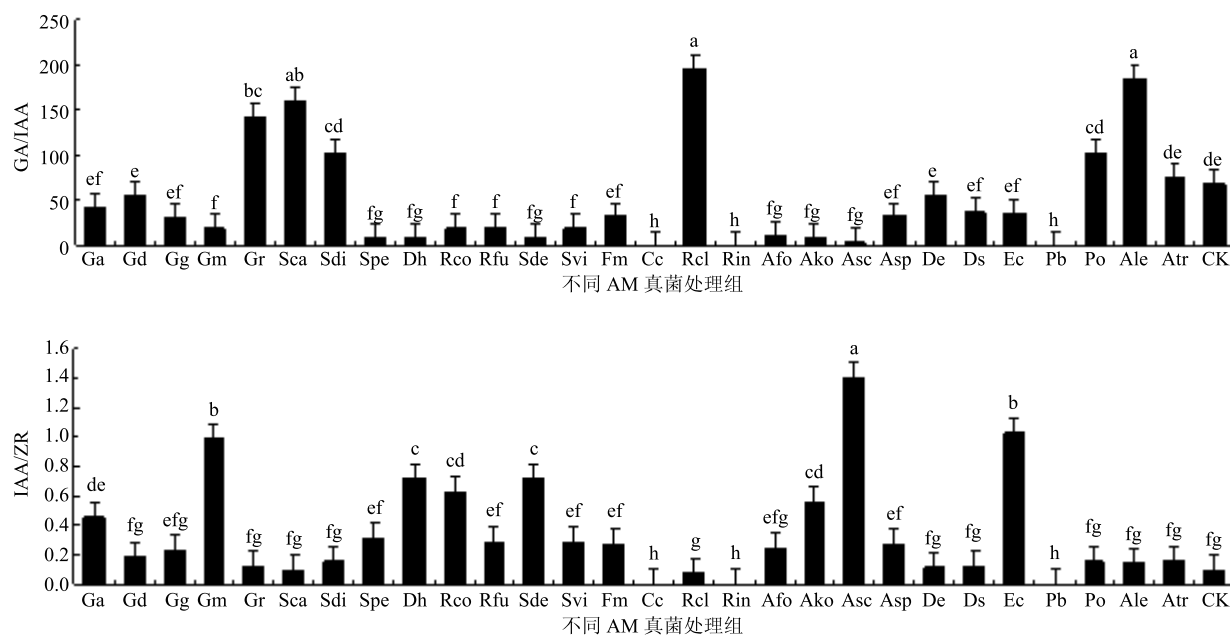


图 6 接种 AM 真菌滇重楼幼苗须根中内源激素比值变化 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Fig. 6 Change of endogenous hormones proportion in seedling fibril of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different foreign arbuscular mycorrhizal fungi species ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

群的生态恢复的可行性，并提出将菌根真菌接种作为物种保护的一种有力手段。尽管滇重楼在自然条件下被 AM 真菌感染形成典型的菌根药用植物^[7]，但由于自然生长分布区高强度的人为干扰破坏，使得滇重楼生长环境的土壤条件受到严重破坏，进一步破坏 AM 真菌等土壤有益微生物群落结构^[17]，滇重楼幼苗自然更新越发困难。因此，采用菌根生物技术进行滇重楼菌根化育苗可有效地扩大幼苗数量，促进幼苗的生长发育，增强幼苗对不良环境的适应性，从而对滇重楼的有效保护和种群重建具有现实意义。

据报道，AM 真菌通过感染形成菌根能显著提高宿主植物（丹参、番茄等）内源激素的量，并具有显著的种属差异^[8,18]。本实验所使用的 28 种 AM 真菌对滇重楼幼苗根茎和须根中 ZR、GA、IAA、ABA 4 种激素量的变化表现出不同的规律。与 CK 相比，整体上接种 AM 真菌处理组根茎中 ZR、GA 量呈现增加的趋势，而 IAA 量变化规律不明显，这与前期的研究结果相似。于建新等^[18]研究表明接种 5 种不同 AM 真菌均能提高番茄植株体内 ZR、GA、IAA 量，且具有种属差异性，进一步表明 AM 真菌与宿主植物滇重楼的共生关系存在一定的选择性和适应性，具有调控（增减）作用^[10]。而 AM 真菌处理组须根中 ZR、GA 量呈现减少的趋势，而 IAA

量变化规律不明显，与根茎表现出不同的变化规律；同时，接种 AM 真菌处理组根茎中 ABA 量呈现减少的趋势，不同研究者的研究结果尚存争论，徐文娟等^[19]研究接种 AM 真菌能提高 ABA 量，而刘润进等^[20]研究发现接种 AM 真菌能显著降低 ABA 量，但须根 ABA 量呈现增加的趋势，同样呈现不同的变化规律。因此，关于不同 AM 真菌诱导不同植物及其不同部位 ZR、GA、IAA、ABA 的生物效应与作用机制有待进一步研究。

前期研究表明，GA 和 ABA 是控制滇重楼种子休眠及萌发的一对主要内源激素，而 ABA/GA 值的降低可有效缩短滇重楼种子萌发时间和提高其出苗率^[7,20]。本实验结果表明，与 CK 组相比，整体上呈现接种 AM 真菌处理组根茎中 ABA/ZR、ABA/GA、ABA/IAA 值呈现减少的趋势，这与前期的研究结果相似，如陈疏影等^[6]采用室内采用变温层积能显著降低滇重楼种胚（实为根茎）ABA/GA 值，而须根中 ABA/ZR、ABA/GA、ABA/IAA 值呈现增加的趋势，与根茎表现出不同的变化规律。同时，与 CK 组相比，根茎中 GA/ZR、GA/IAA 值呈现减少的趋势，须根 GA/ZR、IAA/ZR 值呈现增加的趋势，根茎中 IAA/ZR 值无显著变化、须根中 GA/IAA 值无显著变化。因此，降低 ABA/GA 值可能是打破滇重楼种子休眠，增强幼苗对环境的适应性，从而提高幼苗的存活率。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [2] 张万超, 罗 敏, 章文伟, 等. 药用植物重楼栽培和种子处理技术专利信息分析 [J]. 中国药房, 2016, 27(7): 1002-1004.
- [3] 张朝阳, 赵庭周. 重楼资源再生策略及其关键技术环节探讨 [J]. 中草药, 2009, 40(2): 319-323.
- [4] 朱艳霞, 黄燕芬, 潘春柳. 云南重楼种子生物学特性研究进展 [J]. 中药材, 2015, 38(3): 632-635.
- [5] 黄 珍, 罗 忠, 张 鹏, 等. GA₃ 对华重楼种子萌发过程中生理指标的影响 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(8): 1993-1996.
- [6] 陈疏影, 尹品训, 杨艳琼, 等. 变温层积对解除滇重楼种子休眠及其内源激素变化的研究 [J]. 中草药, 2011, 42(4): 793-795.
- [7] 周 浓, 夏从龙, 姜 北, 等. 滇重楼丛枝菌根的研究 [J]. 中国中药杂志, 2010, 34(14): 1768-1772.
- [8] 潘兴娇, 郭冬琴, 张 杰, 等. 接种菌根真菌滇重楼幼苗光合作用的光响应曲线 [J]. 中药材, 2016, 39(12): 2682-2687.
- [9] 周 浓, 张德全, 孙 琴, 等. 真菌诱导子对滇重楼中次生代谢产物甾体皂苷的影响研究 [J]. 药学学报, 2012, 47(9): 1237-1242.
- [10] 周 浓, 丁 博, 冯 源, 等. 接种不同 AM 真菌对滇重楼菌根侵染率和入药品质的影响 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(16): 3158-3167.
- [11] 吴慧凤, 宋希强, 杨福孙, 等. 共生真菌对铁皮石斛幼苗生理特性的影响 [J]. 植物科学学报, 2011, 29(6): 738-742.
- [12] 于玉梅, 刘春香, 朱妍妍, 等. 高效液相色谱法在黄瓜果实内源激素测定上的应用及改进 [J]. 山东农业科学, 2008, 40(7): 97-99.
- [13] 黄璐琦, 肖培根, 王永炎. 中国珍稀濒危药用植物资源调查 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2011.
- [14] 曹玲玲, 甘小洪, 何 松. 不同种源及基质对水青树种子萌发及幼苗初期生长的影响 [J]. 广西植物, 2012, 32(5): 656-662.
- [15] 申仕康, 王 杨, 王跃华. 非灭菌条件下丛枝菌根对猪血木幼苗生长的影响 [J]. 科技导报, 2009, 27(16): 19-25.
- [16] 盖雪鸽, 邢晓科, 郭顺星. 兰科菌根的生态学研究进展 [J]. 菌物学报, 2014, 33(4): 753-767.
- [17] 周 浓, 戚文华, 肖国生, 等. 滇重楼根际微生物分布与甾体皂苷含量的相关性 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(6): 1055-1060.
- [18] 于建新, 李 辉, 郭绍霞, 等. 丛枝菌根真菌对番茄植株内源激素含量的影响 [J]. 青岛农业大学: 自然科学版, 2010, 27(2): 100-104.
- [19] 徐文娟, 李先恩, 孙 鹏, 等. 滇重楼种子层积后脱落酸和赤霉素相关基因表达水平的研究 [J]. 中草药, 2013, 44(3): 338-343.
- [20] 刘润进, 李 敏, 孟祥霞, 等. 丛枝菌根真菌对玉米和棉花内源激素的影响 [J]. 菌物学报, 2000, 19(1): 91-96.