

# 昆明分院拟提名申报2020年度云南省 科学技术奖励项目（昆明植物所项目）相关信息公告

根据《云南省科技厅关于 2020 年度云南省科学技术奖提名工作的通知》要求，现将中科院昆明分院拟提名昆明植物研究所申报 2020 年度云南省科学技术奖励项目的相关信息在昆明分院网页予以公告。自公告之日起 7 天内，若对申报项目有异议，请以书面形式向昆明分院科技与教育处提出。若无异议，将按相关程序申报云南省科学技术奖。

## 自然科学奖提名项目（5 项）公告

### 项目（1）

#### 一、项目基本情况

**项目名称：**云南及澜湄地区真菌多样性演化及可持续利用

**主要完成人：**许建初（中国科学院昆明植物研究所）、刘培贵（中国科学院昆明植物研究所）、石玲玲（中国科学院昆明植物研究所）、桂恒（中国科学院昆明植物研究所）、Kevin David Hyde（中国科学院昆明植物研究所）、Peter Edward Mortimer（中国科学院昆明植物研究所）

**主要完成单位：**中国科学院昆明植物研究所

**提名单位：**中国科学院昆明分院

#### 二、项目简介

真菌是一大类独立的生物类群，对生态系统中的物质循环与生物演化起着不可替代的作用。云南真菌种类占全国约57.6%。真菌资源的可持续利用在云南绿色食品、生物医药开发与大健康产业建设中不

可或缺。本项目在中科院重大项目、德国经济合作部和国家自然基金的资助下，组建了跨学科国际团队，针对云南及澜湄地区真菌多样性演化及可持续利用经过12年跨区域研究，取得以下成果：（1）综合运用形态学和系统发育学，开展了大规模野生真菌种质资源调查，构建了真菌多样性家谱，实现了精准分类，揭示了一批真菌新资源。许建初与Kevin Hyde等针对山地典型植被与海拔梯度开展了真菌多样性系统调查。本项目发现并描述真菌7个新纲、81个新科、309个新属、2114个新种，填补了热带和亚热带重要真菌类群在云南研究的空白。

（2）首次综合运用经典分类学与分子系统学、定位样地与空间遥感相结合的方法，构建了林下真菌地理信息系统与空间分布模型，揭示了珍稀野生食用菌的分布规律。许建初与刘培贵等合作首次应用遥感技术构建了珍稀野生食用菌时空分布模型，实现了林菌分布的动态监测；并依托林菌耦合与时空分布模型，首次提出了松茸与块菌地理分布区与人工促繁区，科学实践了“绿水青山就是金山银山”。（3）创建了国产块菌菌根合成技术，实现了野生菌的可持续利用，并应用于石漠化治理与矿山生态修复。本项目发现并揭示了菌根真菌在根际土壤代谢中的作用机理，实现了块菌与乡土树种的菌根合成，建立块菌高产种植示范基地3000余亩，黑块菌亩产达20340克；利用块菌促进宿主树种在退化土壤中定植与生长，成功治理石漠化面积1152亩，建立块菌种质资源圃3处，保存种质资源5900余份。（4）通过民族植物学与真菌化学次生代谢产物的系统研究，解析了真菌次生代谢物的分子结构及其在抗肿瘤和抗衰老等疾病防治中的作用机理，建立了真菌次生代谢产物大数据平台并为大健康产业提供理论依据。首次发现微型真菌在塑料废弃物的降解作用，开辟了污染治理新途径。

### 三、代表性论文专著

1. Xue-Qing Yang, Gayantha R.L. Kodikara , Eike Luedeling , Xue-Fei Yang, Jun

He, Pei-gui Liu, Jian-Chu Xu. 2012. Looking below the ground: Prediction of *Tuber indicum* habitat using the Weights of Evidence method. *Ecological Modelling* 247: 27-39.

2. Kevin D. Hyde, E. B. Gareth Jones, Jian-Kui Liu, Hiran Ariyawansa, Eric Boehm, Saranyaphat Boonmee, Uwe Braun, Putarak Chomnunti, Pedro W. Crous, Dong-Qin Dai, Paul Diederich, Asha Dissanayake, Mingkhuan Doilom, Francesco Doveri, Singang Hongsanant, Ruvishika Jayawardena & James D. Lawrey, Yan-Mei Li, Yong-Xiang Liu, Robert Lücking, Jutamart Monkai, Lucia Muggia, Matthew P. Nelsen, Ka-Lai Pang, Rungtiwa Phookamsak, Indunil C. Senanayake, Carol A. Shearer, Satinee Suetrong, Kazuaki Tanaka, Kasun M. Thambugala, Nalin N. Wijayawardene, Saowanee Wikee, Hai-Xia Wu, Ying Zhang, Begoña Aguirre-Hudson, S. Aisyah Alias, André Aptroot, Ali H. Bahkali, Jose L. Bezerra, D. Jayarama Bhat, Erio Camporesi, Ekachai Chukeatirote, Cécile Gueidan, David L. Hawksworth, Kazuyuki Hirayama, Sybren De Hoog, Ji-Chuan Kang, Kerry Knudsen, Wen-Jing Li, Xing-Hong Li, Zou-Yi Liu, Ausana Mapook, Eric H. C. McKenzie, Andrew N. Miller, Peter E. Mortimer, Alan J. L. Phillips, Huzefa A. Raja, Christian Scheuer, Felix Schumm, Joanne E. Taylor, Qing Tian, Saowaluck Tibpromma, Dhanushka N. Wanasinghe, Yong Wang, Jian-Chu Xu, Supalak Yacharoen, Ji-Ye Yan, Min Zhang. 2013. Families of dothideomycetes. *Fungal Diversity* 63(1): 1-313.

3. Dilani D. De Silva, Sylvie Rapior, Enge Sudarman, Marc Stadler, Jianchu Xu, S. Aisyah Alias, Kevin D. Hyde. 2013. Bioactive metabolites from macrofungi: ethnopharmacology, biological activities and chemistry. *Fungal Diversity* 62(1): 1-40.

4. Li-Ying Geng, Xiang-Hua Wang, Fu-Qiang Yu, Xiao-Juan Deng, Xiao-Fei Tian, Xiao-Fei Shi, Xue-Dan Xie, Pei-Gui Liu, Yu-Ying Shen. 2009. Mycorrhizal synthesis of *Tuber indicum* with two indigenous hosts, *Castanea mollissima* and *Pinus armandii*. *Mycorrhiza* 19: 461-467.

5. Kevin D. Hyde, R. Henrik Nilsson, S. Aisyah Alias, Hiran A. Ariyawansa, Jaime

E. Blair, Lei Cai, Arthur W. A. M. de Cock & Asha J. Dissanayake, Sally L. Glockling, Ishani D. Goonasekara, Michał Gorczak, Matthias Hahn, Ruvishika S. Jayawardena, Jan A. L. van Kan, Matthew H. Laurence, C. André L'évesque, Xinghong Li, Jian-Kui Liu, Sajeewa S. N. Maharachchikumbura, Dimuthu S. Manamgoda, Frank N. Martin, Eric H. C. McKenzie, Alistair R. McTaggart, Peter E. Mortimer, Prakash V. R. Nair, Julia Pawłowska, Tara L. Rintoul, Roger G. Shivas, Christoffel F. J. Spies, Brett A. Summerell, Paul W. J. Taylor, Razak B. Terhem, Dhanushka Udayanga, Niloofar Vaghefi, Grit Walther, Mateusz Wilk, Marta Wrzosek, Jian-Chu Xu, JiYe Yan, Nan Zhou. 2014. One stop shop: backbones trees for important phytopathogenic genera: I 2014. *Fungal Diversity* 67: 21-125.

6. Heng Gui, Kevin Hyde, Jianchu Xu, Peter Mortimer. 2017. Arbuscular mycorrhiza enhance the rate of litter decomposition while inhibiting soil microbial community development. *Scientific Reports* 7: 42184.

7. Xuefei Yang, Andrew K. Skidmore, David R. Melick, Zhekun Zhou, Jianchu Xu. 2006. Mapping non-wood forest product (matsutake mushrooms) using logistic regression and a GIS expert system. *Ecological Modelling* 198(1-2): 208-218.

8. Xu, J. C., Liu, F., Liu, Z. Q. 2016. *Fantastic Mushroom World: Macrofungi of the Nabanhe National Natural Reserve* 《奇妙的真菌世界—纳板河国家级自然保护区大型真菌》. Kunming, China: Yunnan publishing group co., LTD (云南出版集团公司), Yunnan Science and Technology Publishing Press (云南科技出版社).

#### 四、提名意见

该项目开展了大规模野生真菌种质资源调查,构建了真菌多样性家谱,实现了精准分类,填补了热带和亚热带重要真菌类群在云南研究的空白;构建了林下真菌地理信息系统与空间分布模型,揭示了珍稀野生食用菌的分布规律;创建了国产块菌菌根合成技术,实现了野生菌的可持续利用,并应用于石漠化治理与矿山生态修复;解析了真

菌次生代谢物的分子结构及其在抗肿瘤和抗衰老等疾病防治中的作用机理，首次发现微型真菌在塑料废弃物的降解作用，开辟了污染治理新途径。研究成果对真菌多样性资源发掘和生态功能应用具有重要的指导性意义。同意提名云南省自然科学奖一等奖。

## 项目（2）

### 一、项目基本情况

**项目名称：**多环生物碱不对称全合成新策略

**主要完成人：**杨玉荣（中国科学院昆明植物研究所）、梁箫（中国科学院昆明植物研究所）、江世智（大理大学）、韦莛（中国科学院昆明植物研究所）、郑瑜（中国科学院昆明植物研究所）

**主要完成单位：**中国科学院昆明植物研究所

**提名单位：**中国科学院昆明分院

### 二、项目简介

生物碱是和人类文明史一样历史悠久，改变世界的重要天然产物。生物碱的全合成研究贯穿整个有机化学发展史并占据关键位置，在促进有机化学相关的科学理论、合成方法、药物化学等领域发挥着不可替代作用。项目第一完成人 2008 年从美国哈佛大学著名化学家 Kishi 院士实验室回国后，率先在中国科学院昆明植物所开展天然产物全合成，扎根云南，10 余年来带领项目组在生物碱全合成方面进行了系统研究，取得了一系列创新性成果，产生了很好的国内外影响力。主要学术成绩如下：

1. **发展 Ir-催化不对称烯丙基化策略，完成多个明星分子吡啶生物碱的催化不对称全合成研究。**不对称合成一直是天然产物全合成里颇具挑战性的领域，运用催化不对称的手段进行策略性地精准构建复

杂的手性中心和多环骨架是多环生物碱全合成的难点中难点。本项目中，研究者创造性发展了新颖高效的 Ir 催化不对称烯丙基化合成策略，在国际上首次解决了三个重要明星分子的催化不对称全合成难题，包括单萜吲哚生物碱 (-)-aspidophylline A 的首次不对称全合成和绝对构型的确定 (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 4044 )，(-)-alstoscholarisine A 的首次不对称全合成(*J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 2560.) 以及复杂生物碱(-)-communesin F 的催化不对称全合成(*J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 3364.)。另外，打破常规运用 Ir-催化不对称胺化反应合成了代表性单萜吲哚生物碱(-)-geissoschizol (*Org. Lett.* **2017**, *19*, 6460)。以上工作合成策略设计具有鲜明的创新性和个人标签特色，是不对称催化巧妙集中运用到复杂生物碱全合成的代表性工作。

2. 系列多环石松生物碱不对称全合成研究。2010 年项目组率先在美国著名 *J. Org. Chem.* (**2010**, *75*, 1317) 杂志上报道了一个独特四环生物碱 unnamed 全合成，在合成工作发表之后，该天然产物 2015 年才被植物化学家分离鉴定，有趣地揭示了化学合成中所设计串联反应亦为其生源合成途径的关键。同年，首次报道了石松碱 8-脱氧 serratinine 的不对称全合成 (*Org. Lett.* **2010**, *12*, 3430)，这是进入 21 世纪来，由中国大陆人完成的两个最早石松碱全合成工作，此外，项目组完成了更具挑战性的四环双喹烷石松碱 (-)-magellanine，(+)-magellaninone 和(+)-paniculatine 的全合成(*Org. Lett.* **2014**, *16*, 5612)。

项目组在 *J. Am. Chem. Soc.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Org. Lett.* 和 *J. Org. Chem.* 等重要杂志上发表了一系列研究论文，有力推动了中科院昆明植物所及云南省天然产物全合成化学发展。8 篇代表性论文，总 IF 为 70.8，SCI 他引 229 次。成果多次被包括 *Chem. Rev.*, *Acc. Chem.*

*Res., Nat. Prod. Rep.*等国际顶级刊物评述。第一完成人两次获得“中科院优秀导师奖”称号，多次参加国际学术会议做报告，项目组成员中1人获得中国科学院研究生“院长特别奖”和“中科院100篇优博论文奖”，4人次获博士生国家奖学金。

### 三、代表性论文

1. Xiao Liang, Tian-Yuan Zhang, Xue-Yi Zeng, Yu Zheng, Kun Wei, Yu-Rong Yang\*. “Ir-Catalyzed Asymmetric Total Synthesis of (-)-Communesin F” *J. Am. Chem. Soc.* 2017, 139, 3364-3367. (IF: 14.695)
2. Xiao Liang, Shi-Zhi Jiang, Kun Wei, Yu-Rong Yang\*. “Enantioselective Total Synthesis of (-)-Alstoscholarisine A” *J. Am. Chem. Soc.* 2016, 138, 2560-2562. (IF: 14.695)
3. Shi-Zhi Jiang, Xue-Yi Zeng, Xiao Liang, Ting Lei, Kun Wei, Yu-Rong Yang\*. “Iridium-Catalyzed Enantioselective Indole Cyclization: Application to the Total Synthesis and Absolute Stereochemical Assignment of (-)-Aspidophylline A” *Angew. Chem. Int. Ed.* 2016, 55, 4044-4048. (IF: 12.257)
4. Yu Zheng, Kun Wei\*, Yu-Rong Yang\*. “Total Synthesis of (-)-Geissoschizol through Ir-Catalyzed Allylic Amidation as the Key Step” *Org. Lett.* 2017, 19, 6460-6462. (IF: 6.555)
5. Shi-Zhi Jiang, Ting Lei, Kun Wei, Yu-Rong Yang\*. “Collective Total Synthesis of Tetracyclic Diquinane Lycopodium Alkaloids (+)-Paniculatine, (-)-Magellanine, (+)-Magellaninone and Analogues Thereof” *Org. Lett.* 2014, 16, 5612-5615. (IF: 6.555)
6. Yu-Rong Yang\*, Zeng-Wei Lai, Liang Shen, Jiu-Zhong Huang, Xing-De Wu, Jun-Lin Yin, Kun Wei. “Total Synthesis of (-)-8-Deoxyserratinine via an Efficient Helquist Annulation and Double N-Alkylation Reaction” *Org. Lett.* 2010, 12,

3430-3433. (IF: 6.555)

7. Yu-Rong Yang\*, Liang Shen, Jiu-Zhong Huang, Tao Xu, Kun Wei. "Application of the Helquist Annulation in Lycopodium Alkaloids Synthesis: Unified Total Syntheses of (-)-8-Deoxyserratinine, (+)-Fawcettimine, and (+)-Lycoflexine" *J. Org. Chem.* 2011, 76, 3684-3690. (IF: 4.745)

8. Yu-Rong Yang\*, Liang Shen, Kun Wei, Qin-Shi Zhao. "Cyclization Approaching to (-)-Lycojapodine A: Synthesis of Two Unnatural Alkaloids" *J. Org. Chem.* 2010, 75, 1317-1320. (IF: 4.745)

#### 四、提名意见

该项目依托国家自然科学基金委、科技部 973、中科院“百人计划”项目，对复杂多环生物碱进行不对称全合成新策略系统研究。由于生物碱是对人类社会文明起到不可替代作用的重要天然产物类群，而催化不对称合成一直是有机合成颇具挑战性的前沿领域，故发展催化不对称的手段进行策略性地精准构建生物碱复杂手性中心和多环骨架是生物碱全合成的难点和前沿。该项目研究者创造性发展了新颖高效的 Ir 催化不对称烯丙基化合成策略，在国际上首次解决了三个重量级明星分子的催化不对称全合成难题，所发展的合成策略具有鲜明特色和重要创新性，是近年将 Ir 催化巧妙设计、集中地战略性运用到解决复杂天然生物碱全合成的成功典范。

该项目第一完成人 2008 年从美国哈佛大学著名化学家 Kishi 院士实验室引进回国后，率先在昆明植物所填补天然产物全合成研究短板，带领项目组在多环生物碱全合成领域进行了系统的研究，取得了一系列创新性成果。成果多次被包括 *Chem. Rev.*, *Acc. Chem. Res.*, *Nat. Prod. Rep.* 等国际顶级刊物评述。第一完成人两次获得“中科院优秀导师奖”称号，多次受邀参加国际学术会议并做报告，第二完成人获得中科院“院长特别奖”和“中科院 100 篇优博论文奖”，4 人次获

博士生国家奖学金。

综上所述，该项目因其显著创新性、广泛学术影响力，特别是对推动昆明植物所及云南省天然产物全合成发展起到的重要作用，同意提名云南省自然科学一等奖。

## 项目（3）

### 一、项目基本情况

**项目名称：**高山植物的繁殖策略与花特征适应

**主要完成人：**段元文（中国科学院昆明植物研究所）、杨永平（中国科学院昆明植物研究所）、王林林（中国科学院昆明植物研究所）、张婵（中国科学院昆明植物研究所）、范邓妹（中国科学院昆明植物研究所）

**主要完成单位：**中国科学院昆明植物研究所

**提名单位：**中国科学院昆明分院

### 二、项目简介

青藏高原及周边高海拔地区是中国西南山地的核心，是全球生物多样性最为丰富的地区之一。中国西南山地的植物种类多样、成分来源复杂，为研究植物如何适应西南山地典型的高山环境（低温、强紫外、强风、较短的生长季节）提供了丰富的材料。项目在多个国家自然科学基金的资助下，以中国西南山地的典型和代表植物为研究对象，通过大量的野外观察和实验，在2005年至2017年开展了大量的植物繁殖策略与花特征适应研究，取得了以下三个重要的科研成果。

1. 发现高山植物的有性繁殖比无性繁殖具有更为重要的意义。通过大范围取样，发现兼具有性繁殖（花）和无性繁殖（珠芽）能力的珠芽蓼在分配到花和珠芽的比例存在此消彼长的权衡关系，而在高海拔地区生长的珠芽蓼分配了更多比例的资源到花；比较了同一地区

相同海拔的流石滩和高寒草甸的珠芽蓼，发现在流石滩生长的珠芽蓼同样分配了更多比例的资源到花。这些结果证明了胁迫环境中植物会投资更多的资源比例分配到有性繁殖器官（花）。

2. 证明了一年生植物以自花传粉为主，多年生植物主要以异花传粉为主。熊蜂是青藏高原及周边高山生态系统的主要传粉昆虫，蝇类同样是重要的传粉昆虫，外来传粉者蜜蜂能在一定程度弥补植物短期的传粉者不足；风媒传粉在传粉者缺乏时同样能为植物提供重要的繁殖保障效应，而这种效应在物种分布区的边缘尤为明显。一年生植物以自花传粉为主，证明了自花传粉的繁殖保障效应，而这种繁殖保障效应可能与近交衰退的表达无关，证明了自花传粉“聊胜于无（better than nothing）”的效应。

3. 证明了高山环境因子对植物的宏观花部形态特征具有重要的选择压力，但细微的花特征主要受传粉者选择。证明紫外辐射和降雨对高山植物的花部特征具有重要的选择作用，但紫外辐射可能具有更为重要的作用。而细微的花特征（如蜜导）与传粉者的访问偏好有关，而且这些花部特征的进化主要为了输出花粉。

项目的研究成果极大的促进了对青藏高原及周边海拔地区植物的繁殖策略与进化适应的研究，为这一地区植物的进化与适应提供了重要证据。第一完成人由此获得青藏研究会第十届“青藏高原青年科技奖”。

### 三、代表性论文专著

1. Deng-Mei Fan, Yong-Ping Yang. 2009. Altitudinal variations in flower and bulbil production of an alpine perennial, *Polygonum viviparum* L. (Polygonaceae). *Plant Biology*, 11: 493-497.
2. Yuan-Wen Duan, Amots Dafni, Qin-Zheng Hou, Ya-Ping He, Jian-Quan Liu.

2010. Delayed selfing in an alpine biennial, *Gentianopsis paludosa* (Gentianaceae), in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52: 593-599.

3. Chan Zhang, Rebecca E. Irwin, Yun Wang, Ya-Ping He, Yong-Ping Yang, Yuan-Wen Duan. 2011. Selective seed abortion induced by nectar robbing in the selfing plant *Comastoma pulmonarium*. *New Phytologist* 192, 249-255.

4. Chan Zhang, Guo-Ying Zhou, Yong-Ping Yang, Yuan-Wen Duan. 2014. Better than nothing: Evolution of autonomous selfing under strong inbreeding depression in an alpine annual from the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Systematics and Evolution*, 52: 363-367.

5. Yuan-Wen Duan, Ting-Feng Zhan, Ya-Ping He, Jian-Quan Liu. 2009. Insect and wind pollination of an alpine biennial *Aconitum gymnantrum* (Ranunculaceae). *Plant Biology*, 11: 796-802.

6. Yuan-Wen Duan, Jian-Quan Liu. 2007. Pollinator shift and reproductive performance of the Qinghai-Tibetan Plateau endemic and endangered *Swertia przewalskii* (Gentianaceae). *Biodiversity and Conservation*, 16: 1839-1850.

7. Yun Wang, Li-Hua Meng, Yong-Ping Yang, Yuan-Wen Duan. 2010. Change in floral orientation in *Anisodus luridus* (Solanaceae) protects pollen grains and facilitates development of fertilized ovules. *American Journal of Botany*, 97: 1618-1624.

8. Chan Zhang, Yong-Ping Yang, Yuan-Wen Duan. 2014. Pollen sensitivity to ultraviolet-B (UV-B) suggests floral structure evolution in alpine plants. *Scientific Reports*, 4: 4520.

#### 四、提名意见

该项目围绕“植物如何适应高山极端环境”这一重大科学问题，在多个国家自然科学基金的资助下，克服了高海拔地区恶劣的自然环

境，以植物的繁殖过程为切入点，通过十多年的野外调查和实验在青藏高原及周边高海拔地区开展了多种高山植物的繁殖策略和花特征适应研究，揭示了极端环境中存在有性繁殖和无性繁殖的权衡关系及其变化规律、传粉模式（自花传粉、虫媒传粉、风媒传粉）和传粉者类型对不同高山植物有性繁殖的影响和效应以及生物因子和环境因子对高山植物花部特征的选择压力。这些研究成果具有较强的创新性和开创性，为理解“植物如何适应高山极端环境”提供了重要的科学证据。

该项目所选取的8篇代表性论文和12篇核心论文的总影响因子为46.38，总引用347次，他引269次（SCI他引205次），研究成果受到了国内外同行的广泛关注。该项目的实施培养了相关领域的研究人才，包括博士4名和硕士5名，其中多人获得中国科学院院长奖学金（优秀奖）、朱李月华优秀博士奖学金和研究生国家奖学金等。该项目的完成极大的促进了青藏高原及周边高海拔地区的植物繁殖生态学研究。同意提名云南省科学技术奖（自然科学）二等奖。

## 项目（4）

### 一、项目基本情况

**项目名称：**十种鼠尾草属植物萜类化学成分与生物活性

**主要完成人：**赵勤实（中国科学院昆明植物研究所）、许刚（中国科学院昆明植物研究所）、潘争红（中国科学院昆明植物研究所）、李蓉涛（昆明理工大学）、蒋永俊（昆明理工大学）

**主要完成单位：**中国科学院昆明植物研究所、昆明理工大学

**提名单位：**中国科学院昆明分院

### 二、项目简介

鼠尾草属（*Salvia* Linn.）是唇形科（Labiatae）最大的一属植物

类群，主要分布在温带和热带地区。全球约有1000种左右，主要分布在中南美洲、其次是西亚、欧洲、东亚和北美。《中国植物志》记载我国有78种，24变种，8变型，分布于全国各地，西南地区种类为最多，云南达37种12变种居全国之首。鼠尾草属植物具有重要的药用、食用和观赏价值，人类利用该属植物已经数千年。丹参（*Salvia miltiorrhiza*）首载于《神农本草经》，是著名的活血化瘀传统中药。墨西哥原产的迷幻鼠尾草（*Salvia divinorum*）具有致幻作用，马扎特克印第安人吸食它用于缓解痛苦。芡欧鼠尾草（*Salvia Hispanica*）主要分布墨西哥南部和危地马拉，其种子俗称奇亚籽，因富含脂肪酸和膳食纤维而作为重要食品原料。因此，鼠尾草属植物是重要的植物资源，研究其化学成分与生物活性对保护和利用该属植物具有重要科学价值和潜在的应用价值。丹参是鼠尾草属植物中化学成分与生物活性是研究得最充分的物种，除丹参以外其它物种研究尚不充分，有些物种尚无化学成分与生物活性研究。

本项目对甘西鼠尾草（*Salvia przewalskii*）、云南鼠尾草（*Salvia yunnanensis*）、绒毛栗色鼠尾草（*Salvia castanea* Diels f. *tomentosa*）、柔毛栗色鼠尾草（*Salvia castanea* Diels f. *pubescens*）、三叶鼠尾草（*Salvia trijuga*）、毛地黄鼠尾草（*Salvia digitaloides*）及红根草（*Salvia prionitis*）等7种中国原产的鼠尾草属植物的萜类化学成分进行了系统研究，首次对椴叶鼠尾草（*Salvia tiliifolia*）、墨西哥鼠尾草（*Salvia leucantha*）及一串红（*Salvia splendens*）等3种外来观赏植物进行了萜类化学成分系统研究。除了红根草（*Salvia prionitis*）采自广西外，其它研究物种都采自于云南省内野生或栽培资源。本项目重要科学发现包括：（1）研究发现7种中国原产鼠尾草属植物萜类成分主要是松香烷二萜和倍半萜，3种外来植物萜类重要特征成分是克罗烷型二萜，这为分类学提供了重要的化学依据，同时为开发利用提供了物质基础科

学依据；（2）发现65个新化合物，并报道122已知化合物，7个新化合物为骨架新颖的化合物。其中przewalskin A和B引起有机合成家的关注并完成合成，为这两个化合物开发利用提供了重要基础；（3）发现活性化合物17个，涉及抗病毒、细胞毒活性和神经保护活性，为进一步研究提供了重要基础。

项目相关的20篇核心论文均为SCI收录的论文，8篇代表性论文均发表在本领域知名国际期刊，其中3篇发表在Nature index 期刊 *Organic Letter*和 *Chemical communication*。20篇核心论文他引246次。培养6名博士研究生和1名硕士研究生，其中2名博士研究生已经晋升为研究员。

### 三、代表性论文专著

1. Jiang, Y.-J.; Su, J.; Shi, X.; Wu, X.-D.; Chen, X.-Q.; He, J.; Shao, L.-D.; Li, X.-N.; Peng, L.-Y.; Li, R.-T. et al. neo-Clerodanes from the aerial parts of *Salvia leucantha*. *Tetrahedron* 2016, 72 (35), 5507.
2. Jiang, Y.-J.; Zhang, Y.; He, J.; Wu, X.-D.; Shao, L.-D.; Li, X.-N.; Su, J.; Peng, L.-Y.; Li, R.-T.; Zhao, Q.-S. ( $\pm$ )-Salviaprione, a pair of unprecedented abietane-type diterpenoids from *Salvia prionitis*. *Tetrahedron Lett.* 2015, 56 (40), 5457.
3. Xu, G.; Yang, X.-W.; Wu, C.-Y.; Li, X.-N.; Su, J.; Deng, X.; Li, Y.; Qin, H.-B.; Yang, L.-X.; Zhao, Q.-S. Przewalskone: a cytotoxic adduct of a danshenol type terpenoid and an icetexane diterpenoid via hetero-Diels-Alder reaction from *Salvia przewalskii*. *Chem. Commun. (Cambridge, U. K.)* 2012, 48 (37), 4438.
4. Pan, Z.-H.; Wang, Y.-Y.; Li, M.-M.; Xu, G.; Peng, L.-Y.; He, J.; Zhao, Y.; Li, Y.; Zhao, Q.-S. Terpenoids from *Salvia trijuga*. *J. Nat. Prod.* 2010, 73 (6), 1146.
5. Pan, Z.-H.; He, J.; Li, Y.; Zhao, Y.; Wu, X.-D.; Wang, K.; Peng, L.-Y.; Xu, G.; Zhao, Q.-S. Castanolide and epi-castanolide, two novel diterpenoids with a unique

seco-norabietane skeleton from *Salvia castanea* Diels f. *pubescens* Stib. *Tetrahedron Lett.* 2010, 51 (38), 5083.

6. Xu, G.; Peng, L.-Y.; Hou, A.-J.; Yang, J.; Han, Q.-B.; Xu, H.-X.; Zhao, Q.-S. Isolation, structural elucidation, and chemical transformation of interconvertible 8,12-hemiketal germacranolide sesquiterpenoids from *Salvia castanea* Diels f. *tomentosa* Stib. *Tetrahedron* 2008, 64 (40), 9490.

7. Xu, G.; Hou, A.-J.; Zheng, Y.-T.; Zhao, Y.; Li, X.-L.; Peng, L.-Y.; Zhao, Q.-S. Przewalskin B, a Novel Diterpenoid with an Unprecedented Skeleton from *Salvia przewalskii* Maxim. *Org. Lett.* 2007, 9 (2), 291.

8. Xu, G.; Hou, A.-J.; Wang, R.-R.; Liang, G.-Y.; Zheng, Y.-T.; Liu, Z.-Y.; Li, X.-L.; Zhao, Y.; Huang, S.-X.; Peng, L.-Y. et al. Przewalskin A: A New C<sub>23</sub> Terpenoid with a 6/6/7 Carbon Ring Skeleton from *Salvia przewalskii* Maxim. *Org. Lett.* 2006, 8 (20), 4453.

#### 四、提名意见

鼠尾草属植物是重要的植物类群，具有重要的药用、食用和观赏价值。我国鼠尾草属资源丰富，云南是该属植物最多的省份，研究该属植物化学成分与生物活性具有重要的科学价值。该项目系统地研究了十种鼠尾草属植物萜类化学成分与生物活性，项目重要科学发现包括：（1）研究发现7种中国原产鼠尾草属植物萜类成分主要是松香烷二萜和倍半萜，3种外来植物萜类重要特征成分是克罗烷型二萜，这为分类学提供了重要的化学依据，同时为开发利用提供了物质基础科学依据；（2）发现65个新化合物，并报道122已知化合物，其中7个新化合物为骨架新颖的化合物。其中przewalskin A和B引起有机合成家的关注和合成，为这两个化合物开发利用提供了重要基础；（3）发现活性化合物17个，涉及抗病毒、细胞毒活性和神经保护活性，

为进一步研究提供了重要基础。

项目发表的20篇核心论文均为SCI收录的论文, 8篇代表性论文均发表在本领域知名国际期刊, 其中3篇发表在Nature index 期刊 *Organic Letter*和 *Chemical communication*。20篇核心论文他引246次。培养4名博士研究生和1名硕士研究生, 其中2名博士研究生已经晋升为研究员。

该项目完成为我国鼠尾草属化学成分与生物活性研究做出了重要贡献, 同意提名云南省科学技术奖(自然科学)二等奖。

## 项目(5)

### 一、项目基本情况

**项目名称:** 基于电子转移反应的吲哚生物碱合成

**主要完成人:** 夏成峰(云南大学)、赵勤实(中国科学院昆明植物研究所)、梁康江(云南大学)、徐君(贵州中医药大学)、邵立东(云南中医药大学)

**主要完成单位:** 中国科学院昆明植物研究所、云南大学

**提名单位:** 中国科学院昆明分院

### 二、项目简介

“基于电子转移反应的吲哚生物碱合成”以天然产物的结构特征为导向, 通过设计和发展新颖的电子转移反应产生自由基, 发展具有特色、高效和概念新颖的成键方法, 实现全新的成键方式生成天然产物的核心骨架。在973课题、国家自然科学基金等项目的支持下, 完成了一批具有复杂结构和重要生理活性的天然产物高效全合成, 为天然产物的进一步功能挖掘提供基础。主要取得以下创新性成果。

1. 针对钩藤生物碱中螺状四环结构难以构建而无法高效合成的问题, 首次以缺电子吡啶盐为电子转移受体一步构建钩藤生物碱的关

键结构。项目组通过分子内的电子转移反应，生成双自由基中间体并发生偶联成环反应，一步反应高效构建了钩藤生物碱中的螺状四环结构，只用了5步反应以23%的总收率完成了钩藤生物碱corynoxine的高效全合成。

2. 利用色胺中吲哚富电子的特性，首次通过二价铜氧化方式发生电子转移反应形成吲哚自由基并发生环合生成吡咯吲哚类天然产物的关键结构。并通过控制反应体系中的自由基淬灭剂，选择性生成吡咯吲哚生物碱单体或二聚体结构，完成了6个不同结构类型的吡咯吲哚生物碱的手性全合成，其中protubonine A时以4步反应61%总收率完成合成。

3. 首次实现5-羟色胺氧化生成自由基并通过仿生方法合成多种红花类生物碱。根据红花类生物碱的生源途径，采用仿生的策略，将5-羟色胺进行氧化成自由基，然后在铁催化下将自由基从氧原子转移到碳原子上，并通过不同保护基的方式实现环化和二聚两种不同类型的红花类生物碱高效全合成。

4. 首次发现一个全新的类柯蒂斯重排反应。项目组发现二价铁可以催化吲哚异羟肟酸形成铁氮卡宾复合物，并发现一个全新的类Curtius重排反应生成异氰酸酯。同时按照仿生的策略与另外一分子的吲哚发生加成，只需一步就完成各种二吲哚甲烷天然产物和类天然产物的合成。

本项研究发表本领域核心SCI期刊15篇，获中国发明专利授权4项。研究工作在国际国内产生了广泛的学术影响，被美国化学会《化学评论》和英国皇家化学会《有机化学前沿》等多次全文评价，并受著名系列丛书《生物碱》主编的邀请撰写红花类生物碱的英文章节。15篇核心论文累计影响因子75.006，他引224次；8篇代表性论文累计影响因子55.264，他引175次。

### 三、代表性论文专著

1. Jun Xu, Li-Dong Shao, Dashan Li, Xu Deng, Yu-Chen Liu, Qin-Shi Zhao,\* Chengfeng Xia\* “Construction of Tetracyclic 3- Spirooxindole through Cross-Dehydrogenation of Pyridinium: Applications in Facile Synthesis of (±)-Corynoxine and (±)-Corynoxine B” *Journal of the American Chemical Society* 2014, 136, 17962 - 17965.
2. Jun Xu, Li-Dong Shao,\* Xin Shi, Jian Ren, Chengfeng Xia,\* Qin-Shi Zhao\* “Collective formal synthesis of (±)-rhynchophylline and homologues” *RSC Advances* 2016, 6, 63131 - 63135.
3. Xu Deng, Kangjiang Liang, Xiaogang Tong, Ming Ding, Dashan Li, Chengfeng Xia\* “Copper-Catalyzed Radical Cyclization To Access 3- Hydroxypyrroloindoline: Biomimetic Synthesis of Protubonine A” *Organic Letters* 2014, 16, 3276 - 3279.
4. Kangjiang Liang, Xu Deng, Xiaogang Tong, Dashan Li, Ming Ding, Ankun Zhou, Chengfeng Xia\* “Copper-Mediated Dimerization to Access 3a,3a'-Bispyrrolidinoindoline: Diastereoselective Synthesis of (+)-WIN 64821 and (-)-Ditryptophenaline” *Organic Letters* 2015, 17, 206 - 209.
5. Dandan Tu, Liying Ma, Xiaogang Tong, Xu Deng, Chengfeng Xia\* “Synthesis of Pyrrolo[2,3- b]indole via Iodine(III)-Mediated Intramolecular Annulation” *Organic Letters* 2012, 14, 4830 – 4833.
6. Ming Ding, Kangjiang Liang, Rui Pan, Hongbin Zhang,\* Chengfeng Xia\* “Total Synthesis of (+)-Chimonanthine, (+)-Folicanthine, and (-)-Calycanthine” *Journal of Organic Chemistry* 2015, 80, 10309 - 10316.
7. Kangjiang Liang, Jing Yang, Xiaogang Tong, Wenbin Shang, Zhiqiang Pan, Chengfeng Xia\* “Biomimetic Synthesis of Moschamine-Related Indole Alkaloids via Iron-Catalyzed Selectively Oxidative Radical Coupling” *Organic Letters* 2016, 18,

1474 - 1477.

8. Dashan Li, Ting Wu, Kangjiang Liang, Chengfeng Xia\* "Curtius-like Rearrangement of an Iron-Nitrenoid Complex and Application in Biomimetic Synthesis of Bisindolylmethanes" *Organic Letters* 2016, 18, 2228 - 2231.

#### 四、提名意见

该项目研究工作以天然产物的结构特征为导向,通过设计和发展新颖的电子转移反应产生自由基,实现全新的成键方式生成天然产物的核心骨架,完成了一批具有复杂结构和重要生理活性的天然产物高效全合成,为天然产物的进一步功能挖掘提供基础。项目重要科学发现包括四个主要内容: 1. 项目组首次发现缺电子吡啶盐可以作为电子转移受体生成双自由基中间体并发生偶联成环反应生成钩藤生物碱中螺状四环结构,完成了多种钩藤生物碱的合成。2. 通过二价铜氧化色胺方式发生电子转移反应形成吲哚自由基并发生环合生成吡咯吲哚类天然产物的关键结构,选择性生成 3-羟基吡咯吲哚生物碱结构或二聚吡咯吲哚生物碱结构,并完成了 6 个不同结构类型的吡咯吲哚生物碱的手性全合成。3. 首次实现 5-羟色胺氧化生成自由基并通过仿生方法合成多种红花类生物碱,通过不同保护基的方式实现单体和二聚体两种不同类型的红花类生物碱高效全合成。4. 项目组发现二价铁可以催化吲哚异羟肟酸形成铁氮卡宾复合物,并发现一个全新的类 Curtius 重排反应生成异氰酸酯,通过仿生的策略完成多种二吲哚甲烷天然产物和类天然产物的合成。

项目在《*Journal of American Chemical Society*》、《*Organic Letters*》、《*The Journal of Organic Chemistry*》等国际著名学术期刊发表论文 15 篇,获中国发明专利授权 4 项。8 篇代表性论文累计影响因子 55.264,

他引 175 次。该项目完成为电子转移反应的研究和吡啉生物碱的合成做出了重要贡献，同意提名云南省科学技术奖（自然科学）二等奖。