

中国科学院西双版纳热带植物园

拟提名 2023 年度云南省科学技术奖励项目公示

一、项目名称：高蛋白牧草苜蓿的功能基因研究

二、提名单位：中国科学院昆明分院

提名等级：云南省自然科学奖一等奖

三、项目简介：

随着人们对优质蛋白和肉类需求的急剧增加，近年来优质蛋白的原料（大豆和苜蓿）的进口急剧增加，这对我国的粮食安全构成了极大的威胁；因而培育优质高产的豆科势在必行。紫花苜蓿是世界范围内最重要的牧草，蛋白含量非常高，因而有牧草皇后之称。但其复杂基因组与多倍性、转基因效率低等因素，极大地制约了相关的基础与应用研究。本项目面向国家重大需求，聚焦解析苜蓿作物研究中的关键科学问题和技术瓶颈，以叶片和株型为突破口，于 2015 至 2021 年间在苜蓿功能基因研究与分子育种领域的系统性工作。

首先，解析苜蓿复叶模式建成的分子机制。项目团队通过正向遗传学，获得了多个叶片农艺性状改变的核心材料，后续克隆出这些重要的功能基因并解析其分子机制，在国际上率先提出了苜蓿复叶发育的分子调控模型（*Nature Plants*，封面）。转录因子 PINNA1 与小叶数目核心调控因子 PALM1 相互作用，协同影响叶分生活性基因 SGL1 的表达，从而精确调控苜蓿的复叶模式建成。后续克隆了黄素单加氧酶 LLS1、细胞色素 P450 酶 MtDWF4A、F-box 蛋白 MIO1、3-酮酯酰-CoA 合酶 WFL 等多个重要的功能基因，它们均影响苜蓿复叶的次级形态建成，这些研究为苜蓿叶型的分子育种提供了重要的基因资源。

其次，解析紫花苜蓿的基因组与分子育种探索。团队利用 PacBio 单分子测序与 Hi-C 技术对同源四倍体紫花苜蓿（新疆大叶）的基因组进行测序，率先在全球组装出了单倍体染色体级别的基因组。随后建立并优化了四倍体紫花苜蓿的基因编辑系统（CRISPR/Cas9），对叶片优质基因 PALM1 进行定向编辑，创制了五叶紫花苜蓿新品系，实现了紫花苜蓿生物量的大幅提升。该研究为苜蓿育种研究提供了全新的育

种思路，该多叶紫花苜蓿品种已在农业农村部生产实践备案。

克隆多个苜蓿重要农艺性状的功能基因。包括苜蓿雄性不育的 *EANI* 基因，它在绒毡层中特异性表达维持绒毡层的正常发育；引发“绿色革命”的赤霉素合成通路上的 *DIB1/MtGA3ox1* 基因调控苜蓿的分枝数量，在苜蓿株型建立中发挥了重要的功能。这些研究为苜蓿不育系的应用和株型改良提供了重要基因资源。

该研究成果的 8 篇代表性论文，包括国际植物学领域的顶级刊物 *Nature Plants* (1 篇)、综合类期刊排名前五的 *Nature Communications* (1 篇)、植物学领域前 5% 的 *New Phytologist* (3 篇)、植物学领域前 10% 的 *Journal of Experimental Botany* (2 篇)；发表在 *Nature Plants* (封面) 和 *Nature Communications* 上的两项工作入选《中国科学报》的“2020 年中国农业科研亮点工作”。代表性论文累计 SCI 影响因子 80.83，引用总计共 201 次，平均每篇被引 25.1 次。项目期间共培养博士 4 名，硕士 7 名，出站博士后 1 名。1 人获得 2020 年度“中国科学院院长特别奖”，1 人获得 2020 年度“中国科学院优秀导师奖”，1 人晋升为二级研究员，1 人入选 2021 年度中国科学院“青年创新促进会”。2 人入选“云南省优秀博士论文”。

四、代表性论文专著目录 (*表示通讯作者, #表示共同第一作者) :

1. He, L.#, Liu, Yu. #, He, H., Liu, Ye., Qi, J., Zhang, X., Li, Y., Mao, Y., Zhou, S., Zheng, X., Bai, Q., Zhao, B., Wang, D., Wen, J., Mysore, K., Tadege, M., Xia, Y., and **Chen, J***. A molecular framework underlying the compound leaf pattern of *Medicago truncatula*. *Nature Plants*. 2020, 6(5): 511-521.
2. Chen, H. #, Zeng, Y. #, Yang, Y. #, Huang, L. #, Tang, B. #, Zhang, H. #, Hao, F. #, Liu, W., Li, Y., Liu, Y., Zhang, X., Zhang, R., Zhang, Y., Li, Y., Wang, K., He, H., Wang, Z., Fan, G., Yang, H., Bao, A., Shang, Z., **Chen, J***, Wang, W.*, and Qiu, Q*. Allele-aware chromosome-level genome assembly and efficient transgene-free genome editing for the autotetraploid cultivated alfalfa. *Nature Communications*. 2020, 11: 2494.
3. Zhao, B. #, He, L.#, Jiang, C. #, Liu, Y., He, H., Bai, Q., Zhou, S., Zheng, X., Wen, J., Mysore, K.S., Tadege, M., Liu, Y., Liu, R.*, and **Chen, J***. Lateral *Leaflet Suppression 1* (*LLS1*), encoding the MtYUCCA1 protein, regulates lateral leaflet development in *Medicago truncatula*. *New Phytologist*. 2020, 227(2): 613-628.
4. Zhao W., Bai Q., Zhao B., Wu Q., Wang C., Liu Ye., Yang T., Liu Yu., He H., Du S., Tadege M., He L.*, and Chen, J*. The geometry of the compound leaf plays a significant

role in the leaf movement of *Medicago truncatula* modulated by *mtdwarf4a*. *New Phytologist*. 2021, 230(2): 475-484.

5. Zhou S.#, Yang T.#, Mao Y., Liu Ye., Guo S., Wang R., Fangyue G., He L., Zhao B., Bai Q., Li Y., Zhang X., Wang D., Wang C., Wu Q., Yang Y., Yu Liu., Tadege M. and Chen J*. The F-box protein MIO1 regulates organ size and leaf movement in *Medicago truncatula*. *Journal of Experimental Botany*. 2021, 72(8): 2995-3011

6. Yang, T.#, Li, Y.#, Liu, Y., He, L., Liu, A., Wen, J., Mysore, K.S., Tadege, M., and **Chen, J***. The 3-ketoacyl-CoA synthase WFL is involved in lateral organ development and cuticular wax synthesis in *Medicago truncatula*. *Plant Molecular Biology*. 2021, 105(1-2): 193-204.

7. Zheng, X.#, He, L.#, Liu, Y., Mao, Y., Wang, C., Zhao, B., Li, Y., He, H., Guo, S., Zhang, L., Schneider, H., Tadege, M., Chang, F., and **Chen, J***. A study of male fertility control in *Medicago truncatula* uncovers an evolutionarily conserved recruitment of two tapetal bHLH subfamilies in plant sexual reproduction. *New Phytologist*. 2020, 228(3): 1115-1133.

8. Zhang, X., He., L., Zhao, B., Zhou, S., Lia, Y., He, H., Bai, Q., Zhao, W., b, Guo, S., Liu, Y.*, **Chen, J***. *Dwarf and Increased Branching 1* Controls Plant Height and Axillary Bud Outgrowth in *Medicago truncatula*. *Journal of Experimental Botany*. 2020, 71(20): 6355-6365.

五、主要完成人基本情况：

1、姓名：陈江华；职称：研究员；职务：中国科学院热带植物资源可持续利用重点实验室副主任；完成单位：中国科学院西双版纳热带植物园；工作单位：中国科学院西双版纳热带植物园。

2、姓名：贺亮亮；职称：副研究员；职务：无；完成单位：中国科学院西双版纳热带植物园；工作单位：中国科学院西双版纳热带植物园。

3、姓名：陈海涛；职称：无；职务：三杰牧草（杨凌）研究院有限公司法定代表人；完成单位：中国科学院昆明动物研究所；工作单位：三杰牧草（杨凌）研究院有限公司

4、姓名：王文；职称：教授；职务：无；完成单位：中国科学院昆明动物研究所；工作单位：西北工业大学生态环境学院。

5、姓名：刘宇；职称：副研究员；职务：无；完成单位：中国科学院西双版纳热带植物园；工作单位：中国科学院西双版纳热带植物园。

6、姓名：赵宝林；职称：副研究员；职务：无；完成单位：中国科学院西双版纳热带植物园；工作单位：中国科学院西双版纳热带植物园。

7、姓名：赵维月；职称：助理研究员；职务：无；完成单位：中国科学院西双版纳热带植物园；工作单位：中国科学院西双版纳热带植物园。