

## 附件 公示内容-《橡胶树死皮发生分子机制研究》 夏志辉

### 一、项目名称

橡胶树死皮发生分子机制研究

### 二、提名者及提名意见

提各单位：中国热带农业科学院

提名意见：

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认材料内容真实、完整，附件齐全，完成人员排序合理，相关栏目均符合申报海南省科学技术奖的填写要求。我单位和项目完成单位对提名项目情况进行了公示，公示期内无异议。

橡胶树死皮是制约胶乳产量提高的主要限制性因子，同时也是橡胶树产排胶障碍的极端表现形式。该项目通过系统鉴定和分析死皮相关基因，揭示了死皮重要调控途径和关键基因功能，提出了强割/强乙烯刺激导致 ROS 积累和爆发，进而诱发 UPP 和 PCD，最终影响 RB 和排胶，橡胶树为保护自身免受进一步伤害启动 PCD，进而发生死皮的新观点，该观点为深入解析橡胶树死皮发生机制和产排胶基础理论奠定了重要基础。此外，橡胶树死皮发生分子机制研究也为死皮早期预测和制定有效的死皮防控措施提供了理论指导；死皮关键基因鉴定及功能研究为通过基因工程手段培育死皮发生率低的橡胶树品种提供了靶标基因；死皮相关基因分子标记开发为利用分子标记辅助选择育种手段选育死皮发生率低的橡胶树品种奠定了基础。

该项目共发表文章 36 篇。包括 SCI 论文 11 篇，总影响因子 31.476，他引共 371 次，其中 SCI 论文他引 238 次。获授权国家发明专利 5 项。该研究受到国内外同行广泛关注，被《Plant Biotechnology Journal》、《Molecular Plant》、《Journal Experimental Botany》、《Tree Physiology》和《林业科学》等国内外知名杂志发表的论文以及 Springer 集团出版的《Biology of *Hevea Rubber*》、《Genomics of Tree Crops》和《Genetic Diversity and Erosion in Plants》等书籍所引用。2016—2018 年受邀在国际橡胶年会做专题报告。此外，获海南省自然科学优秀论文二等奖 1 项，登记科技成果 5 项。

### 三、项目简介

#### 1. 主要研究内容

(1)死皮相关基因大规模鉴定及验证；(2)系统分析死皮相关基因，解析死皮发生分子机制；(3)死皮重要基因克隆、特性及功能分析；(4)死皮相关分子标记

开发与应用。

## 2. 科学发现点

(1)系统分析胶乳死皮相关基因，首次发现逆境/防御和代谢及能量相关基因在死皮树中分别大量上调和下调表达，提出活性氧(ROS)代谢、泛素蛋白酶体途径(UPP)、细胞程序化死亡(PCD)、橡胶生物合成(RB)和DNA甲基化为死皮发生重要调控途径；发现树皮中死皮相关基因富集GO及KEGG与ROS代谢、PCD和RB密切相关，首次提出死皮树低产由RB途径中异戊二烯焦磷酸(IPP)低供给和IPP下游基因下调所引起。

(2)解析*HbTCTP*、*HbTCTP1*、*HbGR2*、*HbPPO*和*HbMC1*等死皮重要基因特性及功能，证明上述基因通过ROS代谢、胶乳凝聚、氧化反应、RB和PCD调控死皮，并在其中发挥重要作用。

(3)首次以橡胶树转录组数据和死皮相关基因为目标序列，共开发出4万多个分子标记，系统分析了标记特征、遗传多样性、种属间转移等特性，首次开发出100多个死皮相关ILP标记，部分标记可鉴定死皮发生率高和低的橡胶树品种。

## 3. 科学价值

(1)死皮是制约胶乳产量提高的主要限制因子，也是橡胶树产排胶障碍的极端表现形式。该项目通过系统鉴定和分析死皮相关基因，揭示了死皮重要调控途径和关键基因功能，提出强割/强乙烯刺激导致ROS积累和爆发，进而诱发UPP和PCD，最终影响RB和排胶。为保护自身免受进一步伤害，橡胶树启动PCD进而发生死皮的新观点，该观点为深入解析死皮发生机制和产排胶基础理论奠定了重要基础。

(2)除理论意义外，死皮发生分子机制研究为死皮早期预测和制定有效的死皮防控措施提供了理论指导；死皮重要基因功能研究为通过基因工程手段培育死皮发生率低的橡胶树品种提供了靶标基因；死皮相关基因分子标记开发为利用分子标记辅助选择技术选育死皮发生率低的橡胶树品种奠定了基础。

## 4. 同行引用及评价

本项目共发表论文36篇。包括SCI论文11篇，总影响因子31.476，他引371次，其中SCI论文他引238次。获授权国家发明专利5项。研究结果受到国内外同行广泛关注，2016—2018年受国际橡胶研究与发展委员会邀请在国际橡胶年会做专题报告。此外，获海南省自然科学优秀学术论文二等奖1项，登记科技成果5项。

## 四、客观评价

橡胶树死皮是制约胶乳产量提高的主要限制性因子，同时也是橡胶树产排胶障碍的极端表现形式。鉴于死皮对橡胶树产量的严重影响，提高单产必须解决死皮问题。阐明死皮发生机制是解决死皮问题的前提，它可为制定橡胶树死皮有效

防控措施提供理论指导。围绕橡胶树死皮发生机制，研究者曾从病理、生理、遗传、土壤等方面进行了研究，提出多种死皮成因假说，但这些假说只是从有限的实验数据中做出的推测，却没能从本质上阐明橡胶树死皮的发生机制。

该项目采用 SSH、基因芯片和转录组测序等技术系统鉴定和分析橡胶树死皮相关基因，在此基础上确定死皮重要基因，运用分子生物学、生物化学和反向遗传学等研究技术和方法克隆并解析橡胶树死皮重要基因特性及功能。利用项目组获得的橡胶树转录组测序数据，大规模系统开发并验证橡胶树分子标记。在橡胶树死皮发生分子机制、死皮重要基因功能鉴定及死皮分子标记开发与利用等方面取得了具有一定影响的原创性研究成果，促进了橡胶树死皮发生机制及产排胶基础理论研究的发展。该项目研究的创新性主要体现在以下 3 个方面：

1. 该项目大规模鉴定了橡胶树死皮相关基因，在对死皮相关基因表达模式进行验证的基础上，确定 ROS 代谢、PCD、UPP、RB 和 DNA 甲基化等为橡胶树死皮发生的重要调控途径，死皮橡胶树低产由 RB 途径中 IPP 低供给和 IPP 下游基因下调所引起。提出强割/强乙烯刺激导致 ROS 积累和爆发，进而诱发 UPP 和 PCD，最终影响 RB 和排胶，橡胶树为保护自身免受进一步伤害启动 PCD，最终发生死皮的新观点，该观点为深入解析橡胶树死皮发生机制和产排胶基础理论奠定了重要基础，也为死皮早期预测和有效死皮防控措施的制定提供了理论指导。

2. 根据橡胶树死皮分子机制研究结果，克隆并鉴定 *HbTCTP*、*HbTCTP1*、*HbGR2*、*HbPPO* 和 *HbMCs* 等橡胶树死皮重要基因，并对死皮重要基因进行基因表达分析和功能解析，证明上述基因通过 ROS 代谢、胶乳凝聚、氧化反应和 PCD 等调控橡胶树死皮，并在其中发挥重要作用。该结果充实和完善了死皮发生机制，为通过基因工程手段培育死皮发生率低的橡胶树品种提供了新的靶标基因。

3. 首次以橡胶树转录组序列和死皮相关基因为目标序列，共开发出 40,000 多个橡胶树分子标记，对分子标记特征、遗传多样性、种属间转移等特性进行了系统分析，首次在橡胶树中获得 100 多个死皮相关 ILP 分子标记，其中 27 个标记可有效区分死皮发生率高和低的橡胶树品种。研究结果丰富了橡胶树分子标记的种类和数量，橡胶树树皮转录组测序数据为基因克隆、功能注释、基因组组装、分子标记开发等奠定了基础，死皮相关基因分子标记开发为利用分子标记辅助选择技术选育死皮发生率低的橡胶树品种奠定了基础。

该项目突破了以往橡胶树死皮发生机制研究的片面性和局限性，全面解析了橡胶树死皮发生分子机制，在橡胶树死皮发生基础理论及应用基础研究中都具有较大的学术价值。已在《BMC Genomics》、《BMC Plant Biology》、《Scientific Reports》、《Frontiers in Plant Science》和《植物生理学报》等国内外杂志上发表论文 36 篇（其中 SCI 论文 11 篇、中文核心期刊论文 25 篇），受到国内外同行的广泛关注，

并被《Plant Biotechnology Journal》、《Molecular Plant》、《Journal of Experimental Botany》、《Tree Physiology》和《林业科学》等国内外知名杂志以及 Springer 集团出版的《Biology of *Hevea Rubber*》、《Genomics of Tree Crops》和《Genetic Diversity and Erosion in Plants》等书籍所引用，2016—2018 年受国际橡胶研究与发展委员会邀请在国际橡胶年会做专题报告。此外，获海南省自然科学优秀学术论文二等奖 1 项，登记科技成果 5 项，获授权国家发明专利 5 项。

## 五、代表性论文专著目录

1. Li DJ<sup>\*</sup>, Deng Z, Chen CL, Xia ZH, Wu M, He P, Chen SC. Identification and characterization of genes associated with tapping panel dryness from *Hevea brasiliensis* latex using suppression subtractive hybridization. BMC Plant Biology, 2010, 10:140.
2. Li DJ<sup>\*#</sup>, Wang XC<sup>#</sup>, Deng Z, Liu H, Yang H, He GM<sup>\*</sup>. Transcriptome analyses reveal molecular mechanism underlying tapping panel dryness of rubber tree (*Hevea brasiliensis*). Scientific Reports, 2016, 6:23540.
3. Li DJ<sup>#</sup>, Deng Z<sup>#</sup>, Qin B<sup>#</sup>, Liu XH, Men ZH<sup>\*</sup>. *De novo* assembly and characterization of bark transcriptome using Illumina sequencing and development of EST-SSR markers in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). BMC Genomics, 2012, 13:192.
4. Deng Z<sup>#</sup>, Chen JS<sup>#</sup>, Leclercq J, Zhou ZZ, Liu C, Liu H, Yang H, Montoro P, Xia ZH<sup>\*</sup>, Li DJ<sup>\*</sup>. Expression profiles, characterization and function of *HbTCTP* in rubber tree (*Hevea brasiliensis*). Frontiers in Plant Science, 2016, 7:789.
5. Li DJ<sup>\*</sup>, Deng Z, Liu XH, Qin B. Molecular cloning, expression profiles and characterization of a novel translationally controlled tumor protein in rubber tree (*Hevea brasiliensis*). Journal of Plant Physiology, 2013, 170:497-504.
6. Liu H, Deng Z, Chen JS, Wang S, Hao LL, Li DJ<sup>\*</sup>. Genome-wide identification and expression analysis of the metacaspase gene family in *Hevea brasiliensis*. Plant Physiology and Biochemistry, 2016, 105:90-101.
7. Deng Z, Zhao MM, Liu H, Wang YK, Li DJ<sup>\*</sup>. Molecular cloning, expression profiles and characterization of a glutathione reductase in *Hevea brasiliensis*. Plant Physiology and Biochemistry, 2015, 96:53-63.
8. Li DJ<sup>#</sup>, Xia ZH<sup>#</sup>, Deng Z, Liu XH, Dong JM, Feng FY<sup>\*</sup>. Development and characterization of intron-flanking EST-PCR markers in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). Molecular Biotechnology, 2012, 51:148-159.

## 六、主要完成人情况

排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	李德军	海南省热带作物栽培生理学重点实验室副主任	研究员	中国热带农业科学院橡胶研究所	中国热带农业科学院橡胶研究所	项目负责人，是项目任务来源4个课题的主持人，是5篇代表性论文的第一作者和通讯作者，是3篇代表性论文的通讯作者。在所有重要科学发现中做出主要贡献。
2	邓治		副研究员	中国热带农业科学院橡胶研究所	中国热带农业科学院橡胶研究所	项目主要完成人，是项目任务来源中1个课题的负责人及4个课题的主要参与人。在8篇代表性论文中有第一作者论文2篇，共同第一作者论文1篇，参与发表论文5篇。在所有重要科学发现中都做出贡献。
3	夏志辉		教授	海南大学	海南大学	项目主要完成人，是项目任务来源中1个课题的主要参与人。在8篇代表性论文中有共同通讯作者论文1篇，共同第一作者论文1篇，参与发表论文1篇。在所有重要科学发现中都做出贡献。
4	刘辉		副研究员	中国热带农业科学院橡胶研究所	中国热带农业科学院橡胶研究所	项目主要完成人，是项目任务来源中1个课题的主要参与人。在8篇代表性论文中有第

						一作者论文 1 篇，参与发表论文 3 篇。在所有重要科学发现中都做出一定贡献。
5	覃碧		副研究员	中国热带农业科学院橡胶研究所	中国热带农业科学院橡胶研究所	项目主要完成人，是项目任务来源中 1 个课题的主要参与人。在 8 篇代表性论文中有共同第一作者论文 1 篇，参与发表论文 1 篇。在所有重要科学发现中都做出一定贡献。
6	杨洪		助理研究员	中国热带农业科学院橡胶研究所	中国热带农业科学院橡胶研究所	项目主要完成人。在 8 篇代表性论文中参与发表论文 2 篇。在橡胶树死皮机制研究及重要基因功能鉴定中做出一定贡献。

### 七、主要完成单位情况及主要学术贡献

单位排名	单位名称	主要学术贡献
1	中国热带农业科学院橡胶研究所	<p>作为项目主要完成单位，做出了以下贡献：</p> <p>1.大规模鉴定了橡胶树死皮相关基因，在对死皮相关基因表达模式进行验证的基础上，确定 ROS 代谢、PCD、UPP、RB 和 DNA 甲基化等为橡胶树死皮发生的重要调控途径，死皮橡胶树低产由 RB 途径中 IPP 低供给和下调 RB 途径中 IPP 下游基因引起。提出强割/强乙烯刺激导致 ROS 积累和爆发，进而诱发 UPP 和 PCD，最终影响 RB 和排胶，橡胶树为保护自身免受进一步伤害启动 PCD，最终发生死皮的新观点。</p> <p>2. 解析<i>HbTCTP</i>、<i>HbTCTP1</i>、<i>HbGR2</i>、<i>HbPPO</i> 和 <i>HbMCI</i> 等死皮重要基因特性及功能，证明上述基因通过 ROS 代谢、胶乳凝聚、氧化反应、RB 和 PCD 调控死皮，并在其中发挥重要作用。</p> <p>3. 首次以橡胶树转录组数据和死皮相关基因</p>

		为目标序列，共开发出40,000多个分子标记，系统分析了标记特征、遗传多样性、种属间转移等特性，首次开发出100多个死皮相关ILP标记，部分标记可鉴定死皮发生率高和低的橡胶树品种。
2	海南大学	作为项目的参与单位，通过 SSH 发现死皮相关基因在活性氧 (ROS)代谢、泛素蛋白酶体途径 (UPP)、细胞程序化死亡 (PCD)和橡胶生物合成 (RB)中富集，提出上述 4 个途径为死皮发生重要调控途径且在死皮中发挥重要作用；证明橡胶树死皮重要基因 <i>HbTCTP</i> 通过 ROS 代谢和 PCD 调控橡胶树死皮；根据橡胶树死皮相关 EST 序列开发 EST-SSR 标记，丰富了橡胶树分子标记种类和数量。

## 八、完成人合作关系说明

本项目完成人依次为李德军、邓治、夏志辉、刘辉、覃碧和杨洪等共 6 人，李德军为第一完成人。第一完成人与邓治、刘辉、覃碧和杨洪都是中国热带农业科学院橡胶研究所的科技人员，夏志辉为海南大学教师，在本项目中的合作关系主要体现为（1）项目共同申报与课题研究、（2）论文发表、（3）专利申请、（4）成果登记及（5）获奖等 5 个方面。

### 1. 项目共同申报与课题研究

本项目任务来源主要来自李德军负责主持的 4 个课题（课题 1、2、3 和 5）和邓治主持的 1 个课题（课题 4），其中包括 4 项国家自然科学基金：“利用分子生物学方法研究橡胶树死皮病发生分子机制”（编号 30960310，课题 1，附件 1），李德军和邓治是该项目组成员；“巴西橡胶树死皮关键基因-翻译控制肿瘤蛋白特性及功能研究”（编号 31270651，课题 2，附件 2），李德军、邓治和覃碧是该项目组成员；“多胺调控橡胶树死皮发生分子机制研究”（编号 31570684，课题 3，附件 3），李德军、邓治、夏志辉和刘辉为该项目组成员；“橡胶树排胶相关 ADF 基因参与橡胶树堵塞的机制研究”（编号 31200514，课题 4，附件 4），邓治为该项目组成员。1 项海南省自然科学基金“橡胶树死皮相关基因芯片开发与应用”（编号 310072，课题 5，附件 5），李德军和邓治为该项目组成员。参加课题研究的项目组各成员主要根据项目任务书要求完成各自负责的研究内容，并协助李德军和夏志辉指导研究生的毕业论文研究工作。

### 2. 论文发表

李德军与邓治、夏志辉合著代表性论文 1；李德军与邓治、刘辉、杨洪合著代表性论文 2；李德军与邓治、覃碧合著代表性论文 3；李德军与邓治、刘辉、

杨洪、夏志辉合著代表性论文 4；李德军与邓治、覃碧合著代表性论文 5；李德军与刘辉、邓治合著代表性论文 6；李德军与邓治、刘辉合著代表性论文 7；李德军与夏志辉、邓治合著代表性论文 8。

### 3. 专利申报

本项目获授权国家发明专利 5 项，其中李德军与邓治为发明人，获授权国家发明专利“一种橡胶树翻译控制肿瘤蛋白及其编码基因与应用”（专利号：ZL201210298762.5，附件 6）；李德军与邓治为发明人，获授权国家发明专利“橡胶树来源的 HbsHsp1 蛋白及其编码基因与应用”（专利号：ZL201310657131.2，附件 7）；李德军与邓治为发明人，获授权国家发明专利“橡胶树来源的 HbsHsp2 蛋白及其编码基因与应用”（专利号：ZL201310657133.1，附件 8）；邓治与李德军为发明人，获授权国家发明专利“来源于橡胶树具有抗氧化功能的蛋白及其编码基因与应用”（专利号：ZL201310716561.7，附件 9）；李德军、杨洪、刘辉和邓治为发明人，获授权国家发明专利“一种来自橡胶树可调控下游基因翻译效率的核苷酸序列及其应用”（专利号：ZL201510960151.6，附件 10）。

### 4. 成果登记

李德军和邓治作为完成人登记成果“利用分子生物学方法研究橡胶树死皮病发生分子机制”（批准登记号 4602014J0248，附件 11）；李德军和邓治作为完成人登记成果“橡胶树胶乳谷胱甘肽还原酶基因的克隆与遗传转化研究”（批准登记号 4602011J0014，附件 12）；李德军和邓治作为完成人登记成果“肌动蛋白解聚因子与橡胶树死皮的关系研究”（批准登记号 4602014J0258，附件 13）；邓治作为完成人登记成果“橡胶树排胶相关 ADF 基因参与乳管堵塞的机制研究”（批准登记号 4602017J0260，附件 14）；李德军和邓治作为完成人登记成果“来源于橡胶树具有抗氧化功能的蛋白及其编码基因与应用”（批准登记号 4602017Y0261，附件 15）。

### 5. 获奖

李德军与邓治作为完成人，获得 2009-2010 年海南省自然科学优秀学术论文二等奖 1 项（附件 16）。