

自然科学奖公示：

项目名称	非常规溶剂介导的生物物质转化
提名者	中国科学院沈阳分院
提名意见	<p>我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合填写要求。按照要求，我单位和完成人所在单位都已对该项目进行了公示，目前无异议【或虽有异议但经处理后再次公示无异议】。</p> <p>该项目【技术创新】对照省【自然科学奖】授奖条件，提名该项目为2018年度辽宁省【自然科学奖】二等奖。</p>
项目简介	<p>本项目属于生物化学工程和生物质能源交叉领域。生物质是地球上最丰富、环境友好的可再生资源，研究其高效转化利用具有重要科学意义和应用背景。由于木质纤维素结构复杂，主要成分包括纤维素、半纤维素和木质素等，难溶于水或常规溶剂，通常需在多相、较苛刻条件下转化生物质，选择性偏低，长期制约生物质利用的效率。</p> <p>针对木质纤维素类生物质转化通常在非均相条件下进行，存在条件苛刻和效率低等关键瓶颈问题，项目完成人创造性地发明了非常规溶剂介导生物质转化的新体系、新方法，揭示了相关转化机制，并形成了独立知识产权。主要发现点为：1) 在国际上率先建立离子液体介导、温和条件下酸催化生物质高效水解的新体系及相应的纤维素解聚数学模型，揭示了离子液体中纤维素水解的动力学规律，为生物质解聚提供了通用技术；2) 首次提出并设计了微波促进、离子液体介导的生物质“一锅法”转化为呋喃化合物的新体系，在糖苷键选择性活化和葡萄糖选择性脱水等生物质转化的科学难点上取得突破，并实现了连续制备、有效分离和离子液体循环利用，可用于规模化制备生物基呋喃化合物；3) 建立了基于非常规溶剂介质的生物质溶解及衍生化新技术，并成功应用于制备纤维素衍生材料；4) 提出了基于非常规溶剂介质的生物质组分分离与油脂发酵耦合新思路，建立了秸秆等原料制备微生物油脂的新工艺。项目8篇代表性论文发表在<i>Green Chem.</i> (2篇)，<i>ChemSusChem</i> (2篇)，<i>Adv. Synth. Catal.</i> (1篇)，<i>Bioresour. Technol.</i> (1篇)等本领域高水平学术刊物上，SCI他引总计1100余次；项目累计发表文章18篇，其中单篇引用超过100次的论文6篇，主编英文专著1部，授权发明专利3件。</p>
客观评价	<p>生物质是地球上最丰富、廉价且符合可持续发展要求的可再生资源。其中木质纤维素类生物质主要成分包括纤维素、半纤维素和木质素。由于木质纤维素结构复杂，难溶于水和常规溶剂，难以高效进行化学及生物转化，高效溶解和高选择性转化是实现生物质高效利用的关键。</p> <p>针对木质纤维素类生物质转化通常在非均相条件下进行，存在条件苛刻和效率低等关键瓶颈问题，项目完成人发明了非常规溶剂介导生物质转化的新体系、新方法，揭示了相关转化机制，并形成了独立知识产权，累计发表文章18篇，其中单篇引用超过100次的论文6篇，主编专著1部，授权发明专利3件。项目8篇代</p>

表性论文 SCI 他引总计 1100 余次。主要科学发现内容如下：

1) 率先建立离子液体介导、温和条件下酸催化生物质高效水解的新体系，揭示了离子液体中纤维素水解的动力学规律，为生物质解聚提供了通用技术。常规木质纤维素水解在多相条件下进行，反应速度慢，效率低。项目完成人创造性地利用离子液体溶解和解聚生物质原料，成功将生物质水解过程从传统非均相条件转变为均相条件，实现温和条件（100 °C，常压）下快速、高效、高选择性水解转化，总还原糖产率达 81%，研究成果先后在《先进合成与催化》(*Adv. Synth. Catal.* **2007**, 349, 1857) 和《绿色化学》(*Green Chem.* **2008**, 10, 177) 发表，受到国内外同行高度关注，至今累计他引达 400 余次；通过建立纤维素解聚数学模型，揭示了离子液体中纤维素水解的动力学规律，可用于预测水解产物中纤维寡糖的时间-浓度分布 (*Bioresour. Technol.* **2012**, 112, 151)。研究出固体酸催化及微波促进的生物质水解转化技术 (*Carbohydr. Res.* **2009**, 344, 2069)，并建立了离子液体-有机溶剂混合体系处理木质纤维素的新方法 (*Green Chem.* **2012**, 14, 1202)。上述研究结果获得国家发明专利授权（专利号：ZL200710011046.3；ZL200710011882.1）。2012 年主编英文专著 1 部 (*The Role of Green Chemistry for the Biomass Processing and Conversion*, ISBN: 978-0470644102)。研究成果为本领域国内外同行提供了新思路，加快了离子液体在生物质处理领域研究进程。

2) 发明了微波促进、离子液体介导的生物质“一锅法”转化为呋喃化合物的新技术，并实现了连续制备、有效分离和离子液体循环利用，用于规模化制备生物基呋喃化合物。在离子液体中实现“水解-脱水”反应耦合，“一锅法”转化纤维素，5-羟甲基糠醛 (HMF) 分离收率达 68%，突破了生物质转化的两大科学难点（纤维素 B-1, 4-糖苷键选择活化，葡萄糖选择性脱水到 HMF），实现纤维素水解和葡萄糖脱水串联耦合；类似条件下以木质纤维素如玉米秸秆、稻草、松木粉等为原料，直接“一锅法”反应，HMF 和糠醛收率分别达到 52% 和 31%。还发现微波辅助条件下，酸催化果糖和葡萄糖转化，HMF 收率达 91% 以上。先后发表在《四面体快报》(*Tetrahedron Lett.* **2009**, 50, 5403) 和《生物资源技术》(*Bioresour. Technol.* **2010**, 101, 1111)，受到国内外同行高度关注，至今累计他引达 300 余次；此外，还发明了非铬基路易斯酸催化剂催化六碳糖转化为 5-羟甲基糠醛的新技术 (*ChemSusChem* **2011**, 4, 131)。研究结果还获得国家发明专利授权（专利号：ZL200710158826.0）。上述研究为利用木质纤维素资源，制备生物基平台化合物提供了新的思路与平台，具有重要科学意义与应用价值。

3) 建立了基于非常规溶剂介质的生物质溶解及衍生化新技术，并应用于制备纤维素衍生材料。发明了基于 CO₂ 的可逆离子液体体系，用于纤维素溶解和加工，提供了一种更安全、廉价、绿色、高效的纤维素溶解加工新方法 (*Green Chem.* **2014**, 16, 2422)；发明了功能化离子液体/DMSO 新体系，用于均相“一锅法”制备纤维素短链脂肪酸酯 (*Green Chem.* **2015**, 17, 2758)，此方法功能化离子液体既是纤维素溶剂的组成成分，又起到催化作用，具有工艺简单，操作方便等优点。对生物质预处理和高效转化加工具有重要意义。

	<p>4) 建立了基于非常规溶剂介质的生物质组分分离与油脂发酵耦合新技术, 形成了秸秆等原料制备微生物油脂的新工艺。利用产油酵母转化离子液体预处理生物质的水解产物, 菌体油脂含量达 60%, 提供了一种原料廉价、工艺简便、方法易行, 几乎不额外占用耕地、可连续操作的油脂生产技术 (<i>Green Chem.</i> 2012, 14, 1202; <i>Bioresour. Technol.</i> 2014, 153, 403)。微生物油脂可用于制备生物柴油及其他高附加值产品, 具有明显的经济效益和广阔的应用前景。</p> <p>研究成果获得了国内学术界同行的广泛认可和高度评价。</p> <p>已获得 2013 年度大连市技术发明一等奖。</p> <p>第一完成人赵宗保研究员, 因在离子液体介导生物质转化领域的系列创新成果, 2011 年获中国化工学会离子液体专业委员会授予“离子液体与绿色过程青年奖”。</p> <p>第二完成人李昌志副研究员, 因在离子液体介导生物质转化和木质素催化转化领域的系列创新成果, 2013 年获中国工程院和中国石化联合授予“闵恩泽能源化工奖青年进步奖”。</p> <p>第四完成人谢海波研究员, 因在生物质溶解新技术和生物质材料领域的系列创新成果, 2014 年获中国化工学会离子液体专业委员会授予“离子液体与绿色过程青年创新奖”。</p>
完成人情况	<p>(公示姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 赵宗保, 第一, 生物技术研究部副主任, 研究员, 中国科学院大连化学物理研究所, 中国科学院大连化学物理研究所。提出了项目总体设计思路, 率先发现离子液体介导纤维素和木质纤维素高效水解及离子液体促进生物质糖转化为呋喃化合物的现象, 建立了非常规溶剂介导的生物质转化新技术; 参与研究出基于非常规溶剂的生物质预处理及组分分离技术, 用于制备纤维素衍生材料和微生物油脂。对科技创新内容 1-4 均有重要贡献。在本项目中发表署名文章 16 篇, 授权发明专利 3 件, 参与英文专著 1 章内容撰写。本项目占每年工作量的 45%。 2. 李昌志, 第二, 无, 副研究员, 中国科学院大连化学物理研究所, 中国科学院大连化学物理研究所。参与离子液体中纤维素水解的方案设计, 离子液体介导纤维素和木质纤维素类生物质原料水解实验工作主要完成人; 建立了离子液体中微波促进纤维素转化制 5-羟甲基糠醛的新方法, 提出了催化转化机制, 并开发出高浓度底物转化制 5-羟甲基糠醛的新过程。在本项目中发表署名文章 6 篇, 授权发明专利 3 件, 参与英文专著 1 章内容撰写。 3. 张泽会, 第三, 无, 教授, 中南民族大学, 中国科学院大连化学物理研究所。建立了离子液体中微波促进固体酸催化木质纤维素水解的方法, 并构建推导出纤维素水解的动力学方程; 建立了离子液体体系“一锅法”直接由天然生物质原料制备呋喃类化合物的方法; 建立了非铬基路易斯酸催化剂催化六碳糖转化为 5-羟甲基糠醛的新技术。在本项目中发表署名文章 8 篇。 4. 谢海波, 第四, 无, 教授, 贵州大学, 中国科学院大连化学物理研究所。建立了基于离子液体的生物质原料组分选择性转化及活化的新方法, 应用于高效组分分离及秸秆转化为微生物油脂; 构建了离子液体-木质素磺酸复合的催化新体系; 发明了功能化离子液体电解质体系, 用于生物质溶解加工和纤维素衍生材料制备。在本项目中发表署名文章 8 篇, 主编英文专著 1 部。 5. 刘武军, 第五, 无, 副研究员, 中国科学院大连化学物理研究所, 中国科学院大连化学物理研究所。参与离子液体中酸催化水解纤维素及 5-羟甲基糠醛分离纯

	化部分实验探索；参与离子液体预处理生物质和纤维素功能化的部分专利撰写；在该项目中，参与英文专著的部分章节撰写和校稿工作，发表署名文章 2 篇，参与英文专著 1 章内容撰写。									
完成人合作关系说明										
知情同意证明	无									
代表性论文、论著目录（不超过 8 篇）										
序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年卷 页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间 年月日	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	SCI 他引次数	他引 总次数	论文署名单位是否包含国外单位
1	Acid in ionic liquid: An efficient system for hydrolysis of lignocellulose/Green Chemistry/ 李昌志, 王倩, 赵宗保	9.125	2008 年, 第 10 卷, 177-182	2007 年 12 月 17 日	赵宗保	李昌志	李昌志, 王倩, 赵宗保	260	17525	否
2	Efficient acid-catalyzed hydrolysis of cellulose in ionic liquid/Advanced Synthesis & Catalysis/李昌志, 赵宗保	5.646	2007 年, 第 349 卷, 1857-1860	2007 年 8 月 27 日	赵宗保	李昌志	李昌志, 赵宗保	218	13909	否
3	Direct conversion of glucose and cellulose to 5-hydroxymethylfurfural in ionic liquid under microwave irradiation/Tetrahedron Letter/李昌志, 张泽会, 赵宗保	2.193	2009 年第 50 卷, 5403-5405	2009 年 7 月 15 日	赵宗保	李昌志	李昌志, 张泽会, 赵宗保	168	9516	否
4	Microwave-assisted conversion of lignocellulosic biomass into furans in ionic liquid/Bioresource	5.651	2010 年, 第 101 卷, 1111-1114	2009 年 10 月 1 日	赵宗保	张泽会	张泽会, 赵宗保	171	8780	否

	Technology/张泽会, 赵宗保			日						
5	Catalytic conversion of carbohydrates into 5-hydroxymethylfurfural by Germanium(IV) chloride in ionic liquids/ChemSusChem/张泽会, 王倩, 谢海波, 刘武军, 赵宗保	7.226	2011年, 第4卷, 131-138	2010年12月23日	谢海波, 赵宗保	张泽会	张泽会, 王倩, 谢海波, 刘武军, 赵宗保	131	4448	否
6	Solid acid and microwave-assisted hydrolysis of cellulose in ionic liquid/Carbohydrate Research/张泽会, 赵宗保	2.096	2009年, 第344卷, 2069-2072	2009年8月3日	赵宗保	张泽会	张泽会, 赵宗保	106	4081	否
7	Enzymatic hydrolysates of corn stover pretreated by the N-methylpyrrolidone/ionic liquids solution for microbial lipid production/Green Chemistry/谢海波, 沈宏伟, 龚志伟, 王倩, 赵宗保, 白凤武	9.125	2012年, 第14卷, 1202-1210	2012年2月7日	谢海波, 赵宗保	谢海波	谢海波, 沈宏伟, 龚志伟, 王倩, 赵宗保, 白凤武	21	948	否
8	Catalytic conversion of inulin and fructose into 5-hydroxymethylfurfural by lignosulfonic acid in ionic liquids/ChemSusChem/谢海波, 赵宗保, 王倩	7.226	2012年, 第5卷, 901-905	2012年4月19日	赵宗保	谢海波	谢海波, 赵宗保, 王倩	44	2027	否