省科技进步奖--自然科学类：

项目名称：寒区冻土-生态耦合作用的冷生土壤过程与反馈

一、推荐单位（专家）意见：

我国高海拔和高纬度寒区占国土面积的 43%，世界范围内寒区分布面积占据陆地面积的 47%。寒区具有巨大的冷储效应而作用于地表各圈层，由于缺乏对变化环境下冷生土壤物质和能量循环变化机理及其环境反馈的深入认识，严重制约了对寒区响应全球变化的准确判识和科学应对能力的提升。王根绪博士是中科院百人计划研究员、杰出青年基金获得者、新世纪百千万人才工程国家级人选以及四川省学术与技术带头人，长期从事寒区生态学与陆表环境领域的研究。由王根绪研究员带领的团队在过去 20 多年对寒区陆表环境过程的系统研究，取得了丰硕成果，本项目是在一系列研究基础上的代表性成果。在国际上率先构建了较为系统的寒区冻土环境-生态-冷生土壤相互作用理论范式、分析方法与数值模式；系统揭示了冷生土壤对冻土环境与高寒植被生态关联变化的响应过程与驱动机理，明确了外部环境变化下水热耦合过程对冷生土壤正逆演化的控制作用，发展了基于土壤水热耦合过程的寒区生态模型，深化了变化环境下冷生土壤碳库形成与稳定维持机制的认识；阐明了冻土环境作用下任何外部干扰对寒区生态系统的链生放大效应；通过定量刻画生态正向演替与冻土环境保护的关系，明确了寒区不同生态系统对干扰的脆弱性和恢复力等，产生了较大的学术影响。这些创新成果无疑将有利于推动寒区生态学和寒区陆表环境过程这些新型交叉学科的发展，并为我国在这一领域占据领先地位做出贡献，也将对我国寒区应对全球变化的可持续发展战略和对策提供重要的科学支撑。

特此推荐王根绪研究员及其团队的研究成果申报四川省科技进步奖-自然科学类奖，并保证申报书各项内容的真实性。根据成果水平及其产生的学术影响，推荐为自然科学类奖一等奖。

二、项目简介：

本项目在寒区冻土-生态耦合作用关系与机制、冷生土壤关键过程与反馈、寒区生态系统对冻土-冷生土壤协同变化的响应过程等三方面开展了系统研究。成果整体上在解决上述寒区面临的科学前沿挑战方面取得了开拓性进展，夯实了多圈层作用的寒区陆表环境变化的理论基础，丰富和发展了冷生土壤学和冻土生态学研究领域，提升了寒区应对全球变化的科学支撑能力。成果受到国内外同行的高度认可，8 篇代表性论文他引超过 1380 次，被 Nature、GCB 等 SCI 顶级学术刊物他引超过 520 次，产生了较大学术影响，主要体现在以下方面：

在寒区特殊的冻土环境-生态耦合作用关系与机理的认知方面取得突破，发展了冻土-生态互馈关系的定量模式，深化了多年冻土与高寒生态系统对气候变化协同响应的理论认识。

揭示了冷生土壤对冻土环境与高寒植被生态关联变化的响应过程与驱动机

理，明确了外部环境变化下水热耦合过程对冷生土壤正逆演化的控制作用，发展了基于土壤水热耦合过程的寒区生态模型，深化了变化环境下冷生土壤碳库形成与稳定维持机制的认识。

揭示了寒区生态系统对冻土环境和冷生土壤协同变化的响应规律与机理，阐明了冻土环境作用下任何外部干扰对寒区生态系统的链生放大效应；通过定量刻画生态正向演替与冻土环境保护的关系，明确了寒区不同生态系统对干扰的脆弱性和恢复力。在寒区生态保护区建设、退化生态系统恢复重建及重大咨询建议中发挥了重要科学支撑作用。

三、客观评价：

- 该项目定量给出了青藏高原多年冻土环境过去 50 年来的变化过程和驱动机制以及对气候变化响应特征，厘清了气候变化通过生态和地貌因素的差异，对冻土环境影响的时间和空间两个轴向上的不同作用机理，吴青柏、王根绪论文（附件 1、2、4）被他引达到 690 余次，SCI 他引 207 次（附件 17），被 IPCC 第五次评估报告中，多次引用，成为支撑全球范围内有关山地冻土变化及其对气候变化响应特征的主要依据（附件 30）。在发展寒区陆面过程模式中作为重要的理论依据和模式有效性的验证数据而大量引用（附件 12），也被作为 InSAR 确定活动层厚度时空变化新方法研发的重要基础文献，并用于检验这一新方法的正确性和有效性的依据(附件 21)。
- 本项目相关研究结果已成为认识中国冻土变化对对碳循环影响的权威和代表性证据，迄今为止几乎所有研究中国多年冻土地区土壤碳库动态的成果均以本项目王根绪和吴青柏的论文为依据。王根绪有关青藏高原高寒草地土壤碳库格局与变化的单篇文章(附件 7)，被他引 365 次，其中 SCI 他引 131 次(附件 17)，国际著名的土壤学家 James G. Bockheim 教授在其著名的寒区土壤学专著《Cryopedology》（冷生土壤学）中，数次引用本项目成果作为中国寒区冷生土壤有机碳形成与分布格局的证据（附件 25），并在其综述全球山地冷生土壤有机碳库格局与形成机理研究进展时，本项目成果作为欧亚大陆山地冷生土壤相关研究进展的唯一代表，进行了多次引用（附件 23）。Nature 上多次引用吴青柏有关冻土环境变化成果，阐释青藏高原冷生土壤碳库积累特征与变化趋势及其不同与北极地区的成因机制（附件 10、21）。
- 本项目提出的青藏高原高寒草地生态系统与冻土环境和冷生土壤性状的协同演化关系，受到国内外同行广泛关注并应用到其他寒区生态系统变化的研究中，王根绪和王长庭的相关论著（附件 5、6）被他引超过 265 次，SCI 他引超过 110 次（附件 17）。美国 Montana 大学的 Harries 教授在论述青藏高原草地退化程度及其成因的研究成果中，大量引用上述结果，认为青藏高原高寒草地退化的成因复杂且大多具有不确定性，但上述有关冻土环境与高寒草地生态系统关联机制的发现是其中较为明确可靠的论据（附件 9）。美国 Colorado 州立大学的著名生态学家 Julia A. Klein 团队依据本项目成果提出的理论以及数据，分析了全球典型高海拔草地植被生产力与土壤水分的关系，进一步验证了本项目成果的有效性

（附件 16）。上述成果也应用于奥地利和冰岛等地区高寒生态系统生产力与土壤关联机制的研究，证明了本项目成果的普适性（附件 22）。

● 本项目在这一前沿领域的重大贡献在于创造性地构建了耦合土壤有机质和植被等多因素的新一代土壤水热耦合模型，将其与传统的生态动态模式 TEM 相嵌套，发展了寒区生态动态模式（DOS-TEM）（附件 4 和 8），美国地质调查局和阿拉斯加大学著名寒区生态学家和土壤学家 A. David McGuire 教授认为，这一成果极大地推动了寒区生态模式发展，并被美国橡树岭国家实验室的 Iversen C.M.教授列为目前重要的区域生态模式之一（附件 24）。美国 Illinois 大学的植物生态学家 R. Kelly 教授与 A. David McGuire 教授团队合作，完全采用上述成果提出的理论和方法，依据多种长时间序列数据融合，在 Nature-Climate Change 发表了有关全球变化下北极地区土壤碳排放强度与动态过程的成果，是迄今最为权威的有关北极碳损失的认识（附件 13）。另外，该成果被 Nature、GCB、JGR 等学科顶级刊物大量引用，实现了气候变化或重大干扰（土地利用或火灾等）对寒区生态系统和土壤碳库影响的准确模拟与预估（附件 11、24），为寒区生态模式和陆面过程模式的进一步发展奠定了重要基础。

四、代表性论文专著目录

1. Wang Genxu, Wang Yibo, Li Yuanshou, Cheng Huiyan. Influences of alpine ecosystem responses to climatic change on soil properties on the Qinghai-Tibet Plateau, China. CATENA, 2007, 70 (3): 506-514 。
2. Wang Genxu, Li Yuanshou, Wu Qingbai, Wang Yibo. Impacts of permafrost changes on alpine ecosystem in Qinghai-Tibet Plateau. Science in China Series D-Earth Sciences, 2006, 49(11): 1156-1169.
3. Wang, GX, Qian, J, Cheng, GD, Lai, YM. Soil organic carbon pool of grassland soils on the Qinghai-Tibetan Plateau and its global implication. Science Of The Total Environment, 2002, 291(1-3): 207-217
4. **Wu, Qingbai**, Zhang, Tingjun. Changes in active layer thickness over the Qinghai-Tibetan Plateau from 1995 to 2007. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ATMOSPHERES, 2010, 115, D09107. DOI: 10.1029/ 2009JD012974.
5. **Wu, Qingbai**, Zhang, Tingjun. Recent permafrost warming on the Qinghai-Tibetan plateau. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ATMOSPHERES, 2008, 113, D13, D13108, DOI: 10.1029/2007JD009539.
6. Wang Chang-Ting, Cao Guang-Min, Wang Qi-Lan, Jing Zeng-Chun, Ding Lu-Ming, Long Rui-Jun. Changes in plant biomass and species composition of alpine Kobresia meadows along altitudinal gradient on the Qinghai-Tibetan plateau. Science in China Series C: Life Science, 2008, 51(1): 86-94.
7. Yi, SH (Yi, Shuhua); McGuire, AD; Harden, J; Kasischke, E; Manies, K; Hinzman, L; Liljedahl, A (Liljedahl, Anna); Randerson, J (Randerson, Jim); Liu, HP (Liu, Heping);

Romanovsky, V (Romanovsky, Vladimir); Marchenko, S (Marchenko, Sergei); Kim, Y (Kim, Yongwon) Interactions between soil thermal and hydrological dynamics in the response of Alaska ecosystems to fire disturbance. Journal of Geophysical Research- Biogeosciences, 2009, 114: G02015 DOI: 10.1029/2008JG000841。

8. **Yi, S.**, A. D. McGuire, E. Kasischke, J. Harden, K. Manies, M. Mack, and M.Turetsky (2010), A dynamic organic soil biogeochemical model for simulating the effects of wildfire on soil environmental conditions and carbon dynamics of black spruce forests, *J. Geophys. Res.*, 114, G02015,doi:10.1029/2010JG001302.

五、主要完成人情况

王根绪：男，博士，中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所研究员，中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室主任。贡献点体现在主要发现 1、2、3。是本项目主要组织者和实施者，揭示了寒区冻土-生态耦合作用关系、空间分异规律及其形成机理，发展了高寒生态系统对冻土环境变化的响应分析模型；提出了综合生态指数与冷生土壤性状间的关系模式，定量解析了冻土环境-高寒植被协同作用对冷生土壤正逆演化趋向的控制作用；发展了寒区冷生土壤多过程耦合模拟方法，突破寒区缺资料地区冷生土壤碳库与碳排放准确评估的方法瓶颈；系统阐释了不同冻土环境下的生态类型对不同干扰作用所秉持的脆弱性与恢复能力，推动成果在不同领域的应用。（附件 1、5、7、9、14、15、25、27-29）。

吴青柏：男，博士，中国科学院寒区旱区环境与工程研究所研究员，冻土工程国家重点实验室主任。科学发现点 1 的主要贡献者.发展了冻土对气候变化的响应模式，发现了多年冻土温度和活动层厚度对气候变化响应在区域上具有显著的空间反向规律，冬夏季节气温和降水以及冻土冰水相变差异是控制这种格局和规律的主要驱动因素。阐明了季节性气温和降水变化对冻土温度和活动层厚度变化的控制作用，发现了冬季气温升高引起冻土升温，夏季温度升高驱动了活动层厚度的增加，冬季降雪减少和夏季降水增加对冻土升温具有冷却作用，深化了气温和降水对冻土变化影响研究。成果被国际同行认可并广泛应用于青藏高原气候变化模式中冻土变化的核心验证数据.（附件 2、4、10、12、21、30）。

宜树华：男，博士，中国科学院寒区旱区环境与工程研究所研究员，冰冻圈科学国家重点实验室百人计划研究员。科学发现点 1 和 2 的主要贡献者。通过将新一代冷生土壤水热耦合关系模型中土壤表层腐殖质层和有机质含量的水热作用模块化，与陆地生态系统模式（TEM）的碳循环和生产力模块进行耦合，实现了对冷生土壤水热过程、生物地球化学过程与植被生态过程的耦合模拟，定量辨析变化环境下土壤水力和热力学性质、养分与生物地球化学循环的演变进程，深化对冷生土壤响应变化环境的理论认识（附件 3、5、8）。上述成果被广泛应用于寒区陆面过程模式的研发和北极地区冻土碳在全球变化下的动态变化研究中

（附件 11、13、24）。

王长庭：男，博士，西南民族大学教授。科学发现点 3 的主要贡献者。定量评价和判断不同冻土环境下或冻土环境退化梯度下，高寒生态系统的生产力、物种多样性与种群结构的分布格局；明确提出了干扰对高寒生态系统结构和生产力的影响，将迅速改变冻土环境的水热状态而促使冷生土壤的水分、土壤肥力和质量，反馈作用于地上植被，形成不断恶化的负反馈链生效应，加速地上植被功能和群落结构改变，并可能导致生态系统结构紊乱、功能衰退，显著放大了干扰本身对生态系统的作用；提出了根冠比作为判断高寒草甸生态系统中地下生物量投入高低的长期指标，且受到年平均温度、N 有效性和放牧压力的影响。研究结果已成为了解和认识高寒草甸群落物种多样性-生产力关系变化对环境梯度响应的代表性证据，并应用于退化草地恢复重建（附件 6、16、22、28）。

六、完成人合作关系说明

本项目由中国科学院成都山地灾害与环境研究所、中国科学院西北生态环境资源研究院（筹，原中科院寒区旱区环境与工程研究所）和西南民族大学共同完成，完成人包括有王根绪，吴青柏，宜树华和王长庭。研究团队长期从事我国寒区陆表环境变化方面的研究，项目完成人之间分工合作紧密，曾共同参与完成了中国科学院知识创新重大项目（KZCX1-SW-04）：青藏铁路工程与多年冻土相互作用及其环境效应（2001.12-2006.12），吴青柏是课题组长，王根绪是专题负责人（附件 19）；共同完成国家重点基础研究发展计划 （“973”计划）项目“冻土对气候变化的响应机理及其碳循环效应 2010CB951402”，其中吴青柏为课题组长，宜树华为主要骨干成员（附件 32）。王根绪、宜树华和王长庭参与国家重点基础研究发展计划（973 计划）项目“冰冻圈变化的生态过程及其对碳循环的影响（2013CBA01807）”（附件 33）。此外，王根绪、吴青柏等以论文合著的方式进行了合作（附件 1），王根绪和王长庭还以共同科研鉴定登记成果合作（附件 34）。

上述情况属实，特此说明。

七、知情同意证明