



中国科学院年度报告系列

2016

科学发展报告

Science Development Report

中国科学院

“以科学咨询支撑科学决策、以科学决策引领科学发展”是党和国家赋予中国特色新型智库的光荣使命。中国科学院作为国家自然科学最高学术机构和科学技术最高咨询机构，面向决策组织开展事关国家发展全局和长远的重大问题的咨询研究，面向社会公众传播科学思想和科学理念。全新改版形成的“中国科学院年度报告系列”聚焦国家科学技术发展、创新发展、可持续发展需求，每年向全社会报告相关领域前沿进展，科学解读公众关注的热点问题，为科学决策提供咨询意见，对政府部门、科研院所、大专院校和社会公众具有重要参考价值。

《科学发展报告》自1997年起开始发布，今年是第19部。报告全面综述分析2015年度国际科学研究前沿进展，展望研判国际重要科学领域研究发展趋势，观察综述国际主要科技领域研究进展及战略规划与研究布局，介绍我国科学家具有代表性的重要研究成果，概括我国科学研究整体发展状况，并向国家提出有关中国科学的发展战略和政策咨询建议，为国家宏观科学决策提供重要依据。



科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

2016 科学发展报告/中国科学院编. —北京: 科学出版社, 2016. 8

(中国科学院年度报告系列)

ISBN 978-7-03-049050-6

I. ①2… II. ①中… III. ①科学技术-发展战略-研究报告-中国-2016
IV. ①N12②G322

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 142747 号

责任编辑: 侯俊琳 牛玲 朱萍萍 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 张倩 / 封面设计: 有道文化

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 8 月第一次印刷 印张: 27 1/2 插页: 2

字数: 550 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)·

专家委员会

(按姓氏笔画排序)

丁仲礼 杨福愉 陈凯先
姚建年 郭 雷 曹效业 解思深

总体策划

曹效业 潘教峰

课 题 组

组 长：张志强
成 员：王海霞 裴瑞敏 苏 娜 叶小梁
谢光锋

审 稿 专 家

(按姓氏笔画排序)

丁仲礼	习 复	王 东	王永峰	叶 成
吕厚远	刘国詮	李永舫	李喜先	杨福愉
吴乃琴	吴学兵	吴善超	邹振隆	张利华
张纯喜	张树庸	陈立泉	林其谁	岳伟华
赵见高	姚建年	聂玉昕	夏建白	顾兆炎
郭兴华	郭 雷	黄有国	龚 旭	程光胜
解思深				

第三章	2015年中国科研代表性成果	117
3.1	逻辑系统的代数状态空间理论	程代展 齐洪胜 刘挺 119
3.2	发现宇宙早期黑洞质量最大的超亮类星体	吴学兵 124
3.3	外尔半金属及外尔费米子的理论预言与实验发现	翁红明 戴希 方忠 128
3.4	丰质子核 ²² Mg和 ²³ Al的双质子发射实验测量	马余刚 方德清 132
3.5	铁电材料中通量全闭合畴结构的发现	马秀良 137
3.6	科学家实现多自由度量子体系隐形传态	汪喜林 刘乃乐 陆朝阳等 142
3.7	二维超导中量子格里菲思奇异性的发现	王健 147
3.8	硫醇分子的生物学功能认知取得重要进展 ——两个小分子硫醇通过代谢偶联主导林可霉素的生物合成	赵群飞 王敏 刘文 151
3.9	为绿色能源求解：人工合成光合作用水裂解催化中心	张纯喜 155
3.10	表面分子分形结构研究进展	吴凯 王永锋 159
3.11	环内过氧桥键生物合成获得重要进展 —— α -酮戊二酸依赖的单核非血红素铁酶催化的环内过氧桥键的形成	张立新 162
3.12	解析细胞炎性坏死的关键分子机制	石建金 邵峰 167
3.13	NAIP-NLRC4炎症小体激活的分子机制	胡泽汗 柴继杰 170
3.14	CRISPR-Cas系统中外源DNA获取的结构基础和分子机制	王久宇 王艳丽 174
3.15	神经环路精确化的竞争机制 ——钙黏蛋白/环连蛋白复合物介导树突棘的协同修剪与成熟	边文杰 于翔 177
3.16	人类三维基因组学的研究进展及其精准医学意义	朱菊芬 李国亮 阮一骏 181
3.17	共生菌调控货物分拣促进共生	刘志华 186
3.18	E3泛素连接酶Nrdp1负向调节CD8 ⁺ T细胞的活化	陈涛涌 曹雪涛 189
3.19	植物气体激素乙烯作用的新机制	李文阳 马梦迪 郭红卫 192

3.20	太平洋西边界流及其气候效应	吴立新 胡敦欣 林霄沛等	196
3.21	地球内核内的核	宋晓东	201
3.22	海洋驱动下冰架的变薄可加剧南极冰架的崩解和退缩	程 晓 刘 岩 惠凤鸣	204
3.23	气候与地表覆盖对产水量作用的全球模式	周国逸	209
3.24	未来的中国森林仍然是一个显著的碳汇	方精云 胡会峰	212
第四章 科技领域发展观察			215
4.1	基础前沿领域发展观察	刘小平 吕晓蓉 黄龙光等	217
4.2	人口健康与医药领域发展观察	徐 萍 许 丽 王 玥等	231
4.3	生物科技领域发展观察	陈云伟 陈 方 丁陈君等	243
4.4	农业科技领域发展观察	董 瑜 杨艳萍 邢 颖	252
4.5	环境科学领域发展观察	曲建升 廖 琴 曾静静等	263
4.6	地球科学领域发展观察	张志强 郑军卫 赵纪东等	272
4.7	空间科学领域发展观察	杨 帆 韩 淋 王海名等	283
4.8	信息科技领域发展观察	房俊民 王立娜 唐 川等	294
4.9	能源科技领域发展观察	陈 伟 张 军 赵黛青等	303
4.10	材料制造领域发展观察	万 勇 冯瑞华 黄 健等	316
4.11	重大研究基础设施领域发展观察	李泽霞 孙 震 冷伏海	327
第五章 中国科学发展概况			337
5.1	2015 年科技部基础研究管理工作进展	傅小锋 李 非 周 平等	339
5.2	2015 年国家自然科学基金项目申请与资助情况	谢焕瑛	346
5.3	中国科学五年产出评估 ——基于 WoS 数据库论文的统计分析 (2010~2014 年)	岳 婷 杨立英 丁洁兰等	353
第六章 中国科学发展建议			373
6.1	改进我国科学评价体系, 促进卓越科学研究	中国科学院学部咨询评议工作委员会“全球化 深入发展下的科学价值评估”咨询课题组	375

2. 11	The Milestone of Anti-Parasitic Disease —Commentary on the 2015 Nobel Prize in Physiology or Medicine	116
Chapter 3 Representative Achievements of Chinese Scientific Research in 2015		
3. 1	The Algebraic State Space Theory of Logical Systems	123
3. 2	Discovery of an Ultra-Luminous Quasar with the most Massive Black Hole in the Early Universe	127
3. 3	Theoretical Prediction and Experimental Discovery of Weyl Semimetal and Weyl Fermion	131
3. 4	Experimental Studies of Two-Proton Emission from Proton-Rich Nuclei ^{22}Mg and ^{23}Al	136
3. 5	Discovery of Full Flux-closures in Ferroelectrics	141
3. 6	Quantum Teleportation of Multiple Degrees of Freedom of a Single Photon	146
3. 7	Discovery of Quantum Griffiths Singularity in Two-Dimensional Superconductors	150
3. 8	Progress in Understanding the Biological Functions of Small-Molecule Thiols; Their Metabolic Coupling Programs the Biosynthesis of Lincomycin A	154
3. 9	Solve for Clean Energy: Mimic the Catalytic Center for Water-Splitting Reaction in Photosynthesis	158
3. 10	Assembling Molecular Sierpiński Triangle Fractals	161
3. 11	Endoperoxide Formation by an α -Ketoglutarate Dependent Mononuclear Non-Haem Iron Enzyme	166
3. 12	Revealing the Key Mechanism for Inflammatory Cell Death	169
3. 13	Structural Insights into the Activation Mechanism of NAIP-NLRC4 Inflammasome	173
3. 14	Structural and Mechanistic Basis of PAM-Dependent Spacer Acquisition in CRISPR-Cas Systems	176
3. 15	A Competition-Based Mechanism for Neural Circuit Refinement; Cadherin/Catenin Complex Mediates Coordinated Spine Pruning and Maturation	180
3. 16	3D Genomics and Precision Medicine	185

3.17	Intestinal Homeostasis and Health	188
3.18	K33-Linked Polyubiquitination of Zap70 by Nrdp1 Controls CD8 ⁺ T Cell Activation	191
3.19	New Action Mode of Plant Gaseous Hormone Ethylene	195
3.20	Pacific Western Boundary Currents and Their Roles in Climate	200
3.21	The Core Within the Earth's Inner Core	203
3.22	Ocean-Driven Thinning Enhances Iceberg Calving and Retreat of Antarctic Ice Shelves	208
3.23	Global Pattern for the Effect of Climate and Land Cover on Water Yield	211
3.24	A Significant Carbon Sinks in China's Forests in the near Future ...	214
Chapter 4	Observations on Development of Science and Technology	215
4.1	Development Scan of Basic Sciences and Frontiers	230
4.2	Development Scan of Public Health Science and Technology	242
4.3	Progress in Biological Science	251
4.4	Progress in Agricultural Science and Technology	262
4.5	Development Scan of Environment Science	271
4.6	Development Scan of Earth Science	282
4.7	Progress in Space Science	293
4.8	Progress in Information Science and Technology	302
4.9	Development Scan of Energy Science and Technology	315
4.10	Progress in Advanced Materials and Manufacturing	326
4.11	Progress in Major Research Infrastructure Science and Technology	336
Chapter 5	A Brief of Science Development in China	337
5.1	Annual Review of the Department of Basic Research of Ministry of Science and Technology in 2015	345
5.2	Projects Granted by National Natural Science Fund in 2015	352
5.3	The Evaluation of Academic Production in China —Based on WoS Database (2010-2014)	371

3.23 气候与地表覆盖对产水量作用的全球模式

周国逸

(中国科学院华南植物园)

森林与产水量^①关系一直饱受争论,这种争论延续至今已有 200 多年的历史^[1]。世界各地的长期观测都表明,森林恢复对产水量影响有 3 种结果,分别为:减少产水量(负作用)、对产水量没有影响(无作用)和增加产水量(正作用)^[2~6]。然而,对开展近 1 个世纪的“对比实验”^[7]结果的解释却使争论的结论由 100 多年前的“增加作用”过渡到当今的“造林意味着水资源损失”^[8]的普遍观点。该观点认为任何区域、任何环境下的森林恢复都将导致水资源的减少,以森林恢复手段吸收温室气体只是“用水交换碳”。

事实上,即使对于上述非常“科学”的“对比实验”,其实验结果虽然主要是负作用,但同样也有很多无作用和正作用的情形^[1]。但由于人们特别是水文学家们对这个实验的盲目崇拜,忽视了对这些无作用和正作用结果的解释,一概将其归结为观测中的误差,并基于全球 250 多个对比实验结果,简单地用森林覆盖率与产水量回归,得出森林增加与水资源减少之间的所谓“定量关系”。

周国逸等^[9]分析了这些对比实验结果,发现产水量减少量不仅与森林覆盖率上升呈正相关关系,也与所在集水区的地形坡度呈正相关关系,还与集水区面积呈负相关关系。这意味着基于“对比实验”的统计结果所显示的“森林增加与水资源减少之间的定量关系”还受到了集水区性状(地形、坡度、土壤、集水区大小、形状等)的影响,在坡度小、土壤深厚且渗透性好的集水区,森林覆盖率变化并不会改变产水量大小;也说明了不同的“对比实验”由于所处区域和集水区的不同其结果没有任何可比性。过去 200 多年争论不休的根本原因是没有从机制上阐明气候与地表覆盖对产水量作用的基本规律,各方都只是基于对己有利的个例观测,而实际上,这些个例观测可能都是对的,只是不同环境下的产水量规律表现形式不同而已。

随后,周国逸等^[9]阐明了这个基本规律。其思路是这样的:首先,基于傅抱璞^[10]

① 本文中的产水量泛指除气态水以外的所有液态水量。

理论公式^①并应用全球至今发表的 2000 多篇文章（包括上述对比实验结果）对该公式进行检验，证明其准确性；随后，对该公式进行深入的理论分析，发现了气候与土地覆盖对产水量作用的全球模式。该模式从理论上证实水文学上经典的“对比实验”存在严重的缺陷、对其结果的解释存在预先假定问题；模式得出森林增加对产水量的影响可能是减少、可能没有影响、也可能是增加，并精确给出了控制这 3 个结果的气候与流域特征参数的临界值；模式阐明了气候与流域特征参数（包括植被覆盖变化）在全球不同气候背景下各自对产水量的贡献，文章发表在《自然·通讯》（*Nature Communications*）上。该发现结束了过去 200 多年有关森林与产水量关系的争论，论文发表后，国际林业研究组织联盟（International Union of Forest Research Organizations, IUFRO）在早已确定好 2015 年 7 月份温哥华大会发言人的情况下，特别增加名额邀请周国逸研究员作大会报告。论文评审者认为该发现是一个具有重要价值的原创性科学贡献，具有潜在的影响力，可能引起广泛兴趣；同时可以用于直接指导植被恢复实践，以实现增加植被的同时不减少原有的产水量。

参考文献

- [1] Andréassian V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, 2004, 291: 1-27.
- [2] Buttle J M, Metcalfe R A. Boreal forest disturbance and streamflow response, northeastern Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2000, 57(2): 5-18.
- [3] Dyhr-Nielsen M. Hydrological effect of deforestation in the Chao Phraya basin in Thailand, paper presented at International Symposium on Tropical Forest Hydrology and Application, World Bank, Chiangmai, Thailand, 1986, 11-14 June, 12.
- [4] Antonio C B, Enrique M T, Miguel A L U, et al. Water resources and environmental change in a Mediterranean environment: The south-west sector of the Duero river basin (Spain). *Journal of Hydrology*, 2008, 351: 126-138.
- [5] Zhou G Y, Wei X H, Luo Y, et al. Forest recovery and river discharge at the regional scale of Guangdong Province, China. *Water Resources Research*, 2010, 46: W09503.
- [6] Wang S, Fu B J, He C S, et al. A comparative analysis of forest cover and catchment water yield relationships in northern China. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262: 1189-1198.
- [7] Bates C G, Henry A J. Forest and streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. *Monthly Weather Review*, 1928, 30: 1-79.

① 傅抱璞理论公式基于发生学原理通过微分方程的变换得出，发表于 1981 年。由于是用中文发表，当时并没有引起全球关注。这几十年来，基于中国科学家的介绍（包括周国逸等的介绍），该公式已经得到全球的广泛认同，被认为比至今仍广泛应用的布德科公式^[11]更具一般规律性^[12]，即布德科公式是傅抱璞公式的特例。

- [8] Jackson R B, et al. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, 2005, 310:1944-1947.
- [9] Zhou G Y, Wei X H, Chen X Z, et al. Global pattern for the effect of climate and land cover on water yield. *Nature Communications*, 2014, 6:5918, DOI: 10.1038/ncomms6918.
- [10] Fuh B P. On the calculation of the evaporation from land surface. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1981, 5(1): 23-31(in Chinese with English abstract).
- [11] Budyko M I. *Climate and Life*. 1974. Academic, San Diego, Calif.
- [12] Roderick M L, Farquhar G D. A simple framework for relating variations in runoff to variations in climatic conditions and catchment properties. *Water Resour Res*, 2011, 47, W00G07, doi: 10.1029/2010WR009826.

Global Pattern for the Effect of Climate and Land Cover on Water Yield

Zhou Guoyi

Research results on the effects of land cover change on water resources vary greatly and the topic remains controversial. Here, we use published data worldwide to examine the validity of Fuh's equation, which relates annual water yield (R) to a wetness index (precipitation/ potential evapotranspiration; P/PET) and watershed characteristics (m). We identified two critical values at $P/PET = 1$ and $m = 2$. m plays a more important role than P/PET when $m < 2$, and a lesser role when $m > 2$. When $P/PET < 1$, the relative water yield (R/P) is more responsive to changes in m than it is when $P/PET > 1$, suggesting that any land cover changes in non-humid regions ($P/PET < 1$) or in watersheds of low water retention capacity ($m < 2$) can lead to greater hydrological responses. m significantly correlates with forest coverage, watershed slope and watershed area. This global pattern has far-reaching significance in studying and managing hydrological responses to land cover and climate changes.