第 19 卷第 2 期
2000 年 6 月

地 理 科 学 进 展
PROGRESS IN GEOGRAPHY

Vol. 19, No. 2
June, 2000

文章编号: 1007-6301 (2000) 02-097-07

水文循环的生物圈方面 (BAHC 计划) 研究进展

高彦春, 王长耀
(中国科学院遥感应用研究所全球变化研究室, 北京 100101)

摘要: 在对国际地圈生物圈计划 (IGBP) 的核心项目"水文循环的生物圈方面 (BAHC)"的基本目标和具体研究内容阐述的基础上, 对BAHC 计划的国际、国内研究进展进行了详细介绍, 并结合当前BAHC 计划的研究动态, 对未来的BAHC 研究新的主题和内容进行了探讨。

关 键 词: 全球变化; IGBP; BAHC 计划; 研究进展
中图分类号: P343 **文献标识码**: A

1 概述

全球变化是当今地球科学的热点和难题, 而水文循环在地圈- 生物圈- 大气圈的相互作用中占有重要地位[1]。1994 年后, 举世瞩目的国际地圈生物圈计划 (IGBP) 开始了它的核心项目"水文循环的生物圈方面", 即BAHC 计划 (Biospheric Aspects of Hydrological Cycle), 业已得到世界各国政府的大力支持和水文学者、生态学者、大气动力学者及气候学者们的积极响应。与目前正在实施的"全球能量和水循环试验 (GEWEX)"等项目不同, 这是一项专门侧重于水文学与地圈、生物圈和全球变化交互作用的研究。BAHC 计划的实施将提供对陆面过程以及植被与水文循环相互作用过程的深入了解。对陆面生态- 水文过程的深入研究, 无疑对评估全球变化对淡水资源的影响、人类对生物圈的影响以及评估它们对地球可居住性的影响是十分必要的。同时, BAHC 计划强调科学研究为社会服务的宗旨, 通过对水文循环的生物控制和它们在气候、水文及环境中的相互作用, 认识对陆面生态系统改变的影响, 认识气候变化和人类活动对区域国民经济和社会可持续发展的影响, 保护我们的环境[2]。可见, BAHC 计划的开展, 不仅具有重大的科学意义, 而且对社会可持续发展, 资源可持续利用和环境保护方面具有重要的应用前景。

2 BAHC 计划

BAHC 探索的主要问题是[3]: 植被是如何与水文循环的物理过程相互作用的?改变陆面

收稿日期: 2000-03; **修订日期**: 2000-04
作者简介: 高彦春 (1968-), 男, 中国科学院遥感应用研究所博士后。主要从事遥感与水文水资源及全球变化方面的研究, 已发表论文 10 余篇。

生态过程的直接影响原因是什么? 是大尺度人类活动改变了陆面覆盖? 还是大气中二氧化碳浓度增加的缘故? 这些影响变化的水文后果是什么? 因此, BAHC 计划的两个基本目标是[4]:

(1) 通过野外观测, 确定生物圈对水文循环的控制, 发展从小块植被的到大气环流模式 (GCM) 网格单元时、空尺度上的土壤- 植被- 大气系统中能量和水通量模式;

(2) 建立能被用于描述生物圈与地球物理系统间相互作用、以及能被用于验证这类相互作用模拟结果的数据库。

根据上述目标, BAHC 计划确定了以下 10 个特定研究任务:

* 研究生物圈对水循环的控制及其对气候和环境的重要性;
* 增进我们对土壤- 植被- 大气界面水、碳和能量交换的了解与模拟能力;
* 定量描述地球生态系统和陆面特征在陆- 气间能量、水和其它有关物质输送中的作用;
* 定量描述环境变化的水文效应;
* 描述影响生物圈- 物理地球系统相互作用的大陆尺度的变化;
* 提供改进的参数评价技术, 使它们能够在世界范围内广泛应用, 并能够利用关于生态系统和土壤等方面的数据库, 它们是从常规源、遥感尤其是卫星资料推得的;
* 检验和验证模式模拟结果;
* 提供综合而简化的生态水文模型, 并把它补充到复杂模式中;
* 模拟特定气候条件下的陆地生态系统、淡水生态系统行为, 生物圈特性的改变以及地表、地下的水文变化;
* 模拟全球和区域气候变化及其对社会经济、水资源产生的影响。

目前国际上对BAHC 的研究侧重于以下四个专题:

第一专题: 一维土壤- 植被- 大气传输模型的发展、检验和验证。该专题的主要目标在于研究土壤- 植被- 大气界面能量、水分和痕量气体 (如CO_2) 的垂直交换过程, 以及它们对有关地表特征 (即土壤、植被、气候、水文等) 的依赖关系。专题一又包括四个研究内容: ① SVATs 的验证: 能量、水和碳通量的野外研究; ② 选择、评价和改进研究局地尺度通量的合适的 SVAT 模式: 模拟工作; ③ 为应用 SVAT 模式确定世界范围内植被的功能类型; ④ 应用 SVAT 模式分析未来的全球变化对不同生物群落类型与气候条件下的水文过程的影响。

第二专题: 陆面特征与通量的区域尺度研究: 实验、解释和模拟。该专题的目标是将实验小区尺度生态变化过程的模拟, 分析推广到考虑陆面地貌和不均匀分布的空间尺度, 提供陆面与大气相互作用的量化模拟。具体研究内容有: ① 研究从局地到区域尺度上陆面不均匀性和地形对陆地- 大气相互作用的影响; ② 优先设计和协调区域尺度的陆面实验, 以研究植被、大气和水文过程; ③ 建立区域尺度陆面过程的一般参数化方案。

第三专题: 生物圈- 水圈相互作用的全球多样性: 时、空综合。该专题是从更大尺度和模式耦合的基础上, 探讨生物圈与水圈相互作用的时、空变异性, 旨在更好地了解气候、水文、生态系统之间复杂多样的相互作用关系, 建立生物圈和陆地生态系统长期的动态模拟模型。主要研究内容有: ① 空间综合 —— 陆面不均一性在大尺度中的作用; ② 时间综合; ③ 水文循环中土壤、养分和碳的传输; ④ 全球多样性。

第四专题: 天气发生器计划。GCM s 模型是大尺度气候动力学模拟及天气变化研究的有效工具。但是, 它还不能提供具有时、空高分辨率如水文生态模型所需的天气信息[5]。专题四则设法将水文循环的生物圈方面的不同尺度模型信息通过天气发生器的中间环节联系起来, 直接为社会需求和国民经济建设服务[6]。具体说, 专题四研究的问题是如何在宏观尺度的 GCM s 模型或中观尺度有限区域天气动力学模型与局部尺度的流域水文模型之间耦合中, 嵌入一个可聚解的即向下标度化 (Downscaling) 的天气模型, 为小尺度的水文生态模型、水文水资源模型提供气候和天气变化信息。具体研究内容有: ① 生态、水文研究及其有关管理目标的数据要求; ② 天气发生器的发展; ③ 促进对天气发生器和数据库的使用。

BAHC 计划的四个专题之间联系密切, 同时还和 IGBP 的其它核心项目, 如全球变化与陆地生态系统 (GCTE)、全球分析、解释和建模 (GAIM)、国际全球大气化学计划 (IGAC) 和全球变化的分析、研究和培训系统 (START), 以及世界气候研究计划 (WCRP)、全球环境变化中的人类因素计划 (HDP) 和全球能量与水循环实验 (GEWEX) 密切相关[7] (见图 1)。

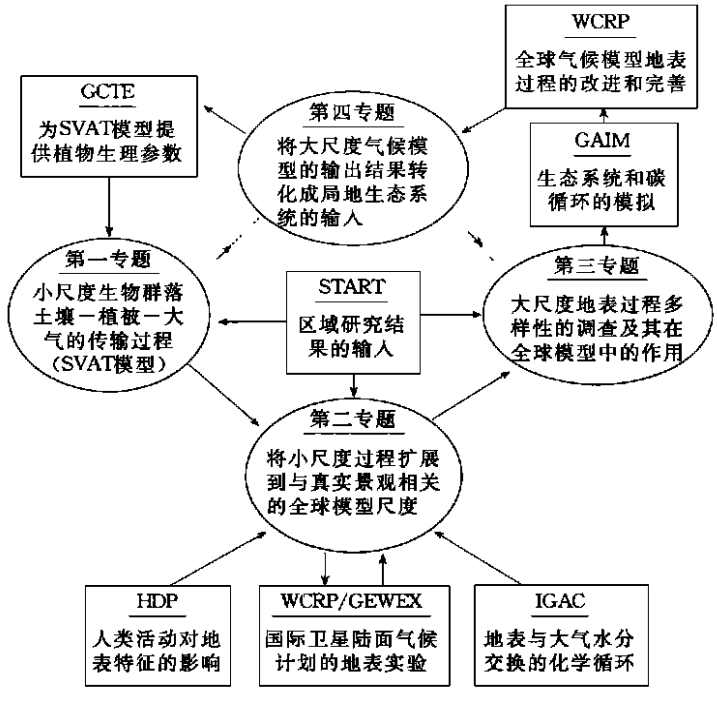

图 1　BAHC 计划同其它研究项目的关系

Fig. 1　BAHC research in relation to other research activities

3　研究进展

3.1　国际状况

BAHC 计划正式起动之前, 在世界范围已经进行了一系列不同尺度下的野外相关实验研究[8]。这些研究大多是与世界气候研究计划 (WCRP) 的全球能量与水循环实验 (GEWEX) 以及附属的国际卫星陆面气候计划 (ISLSCP), 尤其是 IGBP- GCTE 计划的密

切合作下进行的[9]。有关中尺度（10^2～$10^3 km^2$）的重要实验有：① 1988 年和 1989 年在德国 Hidleshiner Borde 农业区进行的 LOTREX 实验研究，其研究内容主要是 HAPEX 计划，其中气象学多于水文学，主要目标是中尺度与 SVAT 模拟，遥感数据的扩展；② 1990 年到 1994 年在俄罗斯莫斯科西北有针叶林和沼泽的中央森林保护区进行的 TVER 实验研究，其研究内容包括 GIS（土壤和植被覆盖），遥感、生态学、微气象与植物生理观测，主要目标是陆面-大气界面过程；③ 1992 年在澳大利亚新南威尔士 Lockyersleigh 汇水区草场与森林进行的 LOCKY-ERSLEIGH 实验研究，研究内容包括表层与边界层热通量和 CO_2 通量，航空遥感，无线电探空仪观测等，主要目标有地面通量测量比较，地面实测与航空观测，边界层模式等。同时在大尺度上（10^3～$10^6 km$）也进行了一系列的重要实验研究：① 1986 年到 1988 年在法国西南部农业、森林区进行的 Hapexmobilhy 实验研究，研究内容主要是水文大气先行性试验（HAPEX）计划，研究的主要目标是中尺度模式及其分析，水平衡；② 1987 年到 1989 年在美国堪萨斯大草原保护区进行的 FIFE 实验研究，研究的主要内容是 ISLSCP 和 HAPEX 计划，主要目标包括改进遥感资料判读，发展 SVAT 模型，水平衡等；③ 1988 年和 1991 年在俄罗斯莫斯科以南 50 km 的森林-草原带的农业区，城区和洪泛平原区进行的 KUREX 研究，研究内容 1988 年为 HAPEX 计划，1991 年为 ISLSCP 计划，研究目标包括空间变化性，二维热平衡与边界层模型，植被覆盖层的季节性变化，一维水文模型等；④ 1991 年在西班牙 Castilla La Mancha 包括灌溉、非灌溉，野生灌木的半干旱地区进行的 EFEDA 实验研究，内容主要是 HAPEX 计划和 CO_2 通量，研究目标有中尺度和边界层模拟，一维水文模式，SVAT 模拟，遥感数据的区域外推，通量平衡等；⑤ 1992 年在尼日尔萨赫勒稀树干草原和草场进行的 HAPEX-SAHEL 实验，研究的主要内容是 ISLSCP 和 HAPEX 计划，研究目标是收集数据，水平的水文过程实验等。

自 1994 年国际地圈生物圈计划（IGBP）开始它的核心项目 BAHC 计划以来，BAHC 研究在世界范围得到更为广泛的开展：在荷兰形成了以 DLO Winand Staring Centre 为中心的 BAHC 研究队伍，展开了一系列 BAHC 研究，参与了数例世界著名的区域实验，而且现在他们用一种陆地表面能量平衡方法（SEBAL）弥补和改进仅仅用区域实验导致的通量外延的不足；在德国，BAHC 核心项目办公室就设在博茨坦（Potsdam），其水文、气象学家间接或直接地参与了 BAHC 的地面实验和模型研究，并与 GEWEX 计划结合，形成了一揽子 BAHC 研究计划；在奥地利，其有关科学家在掌握了欧洲和北亚的地表覆盖资料后，正在进行相应的 BAHC 研究；在日本，则以 GAME 为中心进行了 LUCC/BAHC 联合研究。此外，在法国、瑞士、加拿大、澳大利亚、瑞典等国家也进行了一系列重要的 BAHC 区域实验研究。如 1991 年以来在莱茵河中上游山地森林、农业和城市区进行的 REKLIP 大尺度实验，应用微气象学和热通量的遥感数据对中尺度模拟、空间变化进行深入研究；1993 年到 1996 年在加拿大 Albert 省的北方森林区进行的 BOREAS 实验，对从局地区域至全球尺度的生物与物理过程进行了研究；1993 年到 1996 年在澳大利亚半干旱地区的灌溉绿洲进行的 OASIS 实验，研究了小尺度的与中尺度的平流、能量与物质传输过程（包括微量气体交换）；1994 年到 1996 年在瑞典北方森林、农业区和湖泊进行的 NOPEX 实验，对区域尺度的土壤-植被-大气系统的交换过程有了进一步的认识。

当前，BAHC 研究方兴未艾，基于 BAHC 研究的四个方面，建立了单层、双层的土壤-植被-大气传输模式，已经获得众多典型区域的野外观测资料[10]。如 HEIFE、FIFE 和

AHPEX 等。对世界植被产生突变的区域进行了样带 (Transect) 研究, 突出生态水文学概念和地球生物化学的重要作用。鉴于目前的大气模式 (GCMs) 在时间和空间尺度还比较粗糙, 无法利用水文、生物学能提供的地面参数的有用信息, 当前还在用一个天气模拟器进行尺度下延的研究。

自 1994 年以来, 先后七次召开BAHC 科学指导委员会会议。最近一次 (1997 年 5 月 29 日～6 月 1 日) 是在美国的POLSON, Montana 召开的。在本次会议上, 对BAHC 过去的工作进行了回顾总结, 对BAHC 研究的发展前景进行了展望。认为未来的BAHC 研究是紧密围绕这样一个问题而展开的科学集成, 即在大气成分和陆面覆盖不断改变的情况下, 生物圈过程的变化是如何与全球和区域尺度的气候、水文过程及其水资源相互作用的? 这就要求BAHC 研究的内部组成项目之间, BAHC 与 IGBP 其它项目之间, 以及BAHC 与 WCRP 之间更加深入、更加密切的合作。并结合这一要求, 提出了 10 个BAHC 新的研究方向: ① 小尺度能量、水分和碳通量研究——通量网络; ② 地下过程作用的评价; ③ SVATs 的选择, 评价和发展; ④ 气候变化对不同类型生物群落水文过程的影响分析; ⑤ 对陆地大气在区域和全球模式中相互作用的描述; ⑥ 山地生态水文学; ⑦ 全球尺度的陆地植被- 气候的相互作用; ⑧ 气候变化和人类活动对河流 (系统) 物质传输的影响; ⑨ 陆地系统综合实验的设计与实施; ⑩ 促进全球数据库的产生和发展。

3.2　国内状况

1993 年以来, 我国已有许多学者积极参与了BAHC 研究计划及其国际学术交流活动。目前, 我国开展的众多科研项目与BAHC 计划密切相关[11], 在不同层次体现了BAHC 计划的研究主题, 涉及到BAHC 计划的四个专题:

第一专题, 即一维 SVAT 模型方面, 已建立了众多的 SVAT 模型, 并应用于节水农业和持续发展研究。其中"大气- 植被相互作用模型 (AVM)"和"一维土壤- 植被- 大气传输模型 (SVATGW)"。AVM 模型考虑到大气圈和生物圈相互作用的复杂性, 尤其是人类活动的破坏作用, 其研究核心集中在稳定的生态系统及其在年内和几十年时间尺度上的变化。为了能够在大的空间尺度模拟气候- 生态系统的相互作用, 模型进行了必要简化和高度集总。SVTGW 模型在充分考虑地下水和植物顶冠反梯度传输的基础上, 对土壤- 植被- 大气水分、能量传输的过程进行模拟描述。

第二专题, 即陆地特征与通量的区域尺度研究方面, 有"黑河流域大气- 地表相互作用实验 (HEIFE)"和"华北平原节水农业的生态- 水文研究 (AERAWNCP)"。HEIFE 是继法国HAPEX- MOBILHY 和美国FIFE 之后的世界第三大实验, 早在 1991～1993 年期间, HEIFE 与BAHC 计划之间建立了密切的联系。目前, 其后续研究计划正转向青藏高原。AERAWNCP 是一项应用地理、生物和工程多学科来研究提高作物水份有效利用率的跨学科综合项目。此外, 还有两个即将实施的项目。一个是"内蒙古草地- 大气相互作用研究 (MGRASS)"和"淮河流域能量和水循环实验研究 (HUBEX)", 这两项计划的实施都将对BAHC 研究的进展具有一定的推动作用。

第三专题, 即水圈- 生物圈相互作用的全球多样性: 时、空综合方面, 有"中国陆地生态系统对全球变化的响应模型研究 (MRTECGC)", "中国东北样带研究 (NECT)"和"中国干旱区地表过程 (LSPAAC)"三个项目。MRTECGC 旨在通过对气候、大气组分以及土地利用变化对中国陆地生态系统影响作用机理及其对全球变化反馈作用的研究, 提高我们

的预测能力，达到我国农业生态系统持续发展的目的。样带研究认为是研究全球变化的有效途径，样带研究能够反映重要环境因子的变化对陆地生态系统的结构、功能、组成、以及对生物圈- 大气圈痕量气体的交换，水文循环和生物多样性的影响，提高对上述系统功能的认识及其变化趋向的预测能力。样带研究将定点观测和区域综合研究连结起来，是不同时、空尺度模型转换、验证和耦合的基础[12]。NECT 是 IGBP 世界四大样带之一，是从属于“全球变化与陆地生态系统（GCTE）”的一项计划，但其对BAHC 计划的贡献是显而易见的，如它对地表- 大气间水份和能量交换生物控制方面的研究就隶属于BAHC 研究范畴。LSPAAC 是在HEIFE 研究的基础上，应用遥感监测手段对干旱区地表能量和水份平衡进行研究，达到水资源合理利用的目的。

第四专题，即天气发生器计划方面，有“八五”国家科技攻关项目“全球气候变化预测、影响和对策研究”，在其第三课题的第三专题“气候变化对水文、水资源的影响及适应对策”中，对随机天气模型进行了研究，并提出三类不同的随机天气模型，包括随机典型分析法，正交变换随机模型和基于模式识别和灰关联聚类的随机模型，并在淮河流域、京津唐地区和东江流域分别对三类随机天气模型进行应用[13]。此外，还有两个计划实施的项目“全球变化条件下中国西北干旱区水资源研究（RWRAANGC）”和“华北平原天气发生器与 SPAC 模型耦合（CWGSNCP）”。RWRAANGC 旨在建立一个能够说明不同尺度冰川、雪被、土壤、降水和径流空间分布的流域水文模型，该模型将具有足够的分辨率能够满足气候- 水文模型耦合的需要，并且在气候变化条件下，冰川、雪被、永久冻土、植被及径流变化趋势进行模拟。CWGSNCP 旨在通过对土壤- 植物- 大气连续体水分、能量通量的研究，建立农业蒸发、蒸腾模型，寻求土壤水份和作物水份有效利用的最佳耦合过程。专题四的目标就是在宏观尺度的 GCMS 模型与区域尺度的水文模型之间，嵌入一个向下标度（Downscaling）的天气模型，其中一个重要任务就是对众多向下标度化方法的客观评价。华北平原 SPAC 模型的校验将为这种评价提供高精度的生态、水文资料系列。

当前，BAHC 研究在中国方兴未艾，其发展前景异常广阔。中国地域辽阔，生物群落复杂多样，气候类型繁多，有很好的研究基础和规模强大的研究队伍，是实施BAHC 计划比较理想的研究区域。目前需要争取更多的科研经费支持，进一步加强科研活动的组织工作，形成系统的BAHC 研究体系，广泛开展国际合作交流，尽快同国际研究进展及趋势接轨。

参考文献:

[1] Earth system committee NASA advisory council[M]. Earth System Science. Washington DC, 1988.

[2] Abrahamson DE. The challenge of global warming[M]. Island Press. Washington DC, 1989.

[3] BAHC core project office. The Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle —— The Operational Plan[M]. Stockholm, 1993. 7～9.

[4] Bolle HJ. Scientific goals of the IGBP core Project “Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle”[A]. In: Bolle HJ, Feddes RA, Kalma JD eds. Exchange Processes at the Land- Surface for a range of space and Time scales[C]. IAHS Publication212, 1993. 3～11.

[5] Hay LE, McCabe GJ Jr, Wolock DM et al. Use of weather types to disaggregate general circulation model predictions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97**(D3): 2781～2790.

[6] Bardossy A, Caspary HJ. Model for the calculation of the regional hydrologic effects of climate change[A]. In: FHM van de Ven, Gutknechet D, Loucks DPP et al eds. Hydrology for the water management of large river basins[C]. IAHS Publ. No 201, 1991. 73～82.

[7] 陈泮勤, 孙成权 主编. 国际全球变化研究核心计划(二) [M]. 北京: 气象出版社, 1994.
[8] BAHC core project office. BAHC——The Operational Plan[M]. Stockholm, 1993. 36～84.
[9] Kondratyev K Ya, Buznikov A A, Pokrovsky O M. Global change and remote sensing[M]. Praxis Publishing Ltd, Chichester, 1996.
[10] BAHC core project office. BAHC NEWS[M], No. 1～5.
[11] Ye Duzheng, Lin Hai et al. China contribution to global change studies[M]. Beijing: Science Press, 1995.
[12] ICSU. IGBP report No. 36: The IGBP Terrestrial Transects: Science Plan[M]. Stockholm, 1995.
[13] 水利部水利信息中心. 专题技术报告: 气候变化对水文及水资源的影响及适应对策研究[N]. 北京, 1996.

Biospheric Aspects of Hydrological Cycle: BAHC Plan and its Research Progress

GAO Yan-chun, WANG Chang-yao

(Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing　100101)

Abstract: Based on the presentation of the scope, principal subjects and structure of BAHC (Biospheric Aspects of Hydrological Cycle), the Core Project of IGBP (International Geosphere- Biosphere Project), the progress of BAHC is introduced in this paper, and in the light of its research status quo and development trend, the new theme and focuses of BAHC in future is also discussed.

The content of this paper includes following three parts:

Part 1: Outline of BAHC——consists of following two contents:

1. The role of BAHC in global change study;

2. The significance of BAHC for regional economic development and environmental protection.

Part 2: Content of BAHC——consists of following three contents:

1. Objectives of BAHC

2. Four focuses of BAHC

3. Relation between BAHC and other research activities

Part 3: Progress of BAHC——consists of following two contents:

1. International research status of BAHC

(1) Research activities related to BAHC before 1994

(2) Research activities of BAHC after 1994

(3) New theme and focuses of BAHC research in future

2. The research status of BAHC in China

(1) Activities and achievements of BAHC research in China

(2) Prospect of BAHC research in China

Key words: Global change; IGBP; BAHC; research progress