第 21 卷第 2 期
2002 年 3 月

地 理 科 学 进 展
PROGRESS IN GEOGRAPHY

Vol. 21, No. 2
Mar., 2002

文章编号: 1007-6301 (2002) 02-111-10

国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望

杨永兴
(中国科学院长春地理研究所 湿地过程与环境开放实验室, 长春 130021)

摘要: 湿地科学是当前国际众多学科学者共同热切关注的重点学科和前沿领域。根据大量最新国际湿地科学研究文献资料中的信息, 提出了湿地的科学定义和湿地科学的概念。归纳出国际湿地科学研究发展的主要特点, 即湿地科学历史久远, 过去发展缓慢而现代发展迅速; 目前已成为 21 世纪科学研究的重点学科和研究领域; 研究内容增多, 领域扩大; 综合性增强, 分化性加大; 世界湿地科学发展不平衡, 发展中国家与发达国家之间的湿地研究水平差距逐步缩小。总结了国际湿地科学研究前沿领域的最新进展和发展趋势, 主要在湿地保护与管理, 形成、发育与演化, 古环境重建, 生态过程与动态, 生物多样性保护, 温室气体排放、温室效应和全球环境变化, 湿地退化机制、退化湿地恢复与重建和人工湿地构建, 生态系统健康, 泥炭地与泥炭开发利用、湿地生态工程模式与管理技术和新技术、新手段与新方法应用方面取得突出进展。揭示了现代国际湿地科学研究的一些新动向和发展趋势, 旨在推进中国湿地科学的迅速发展。

关 键 词: 湿地; 特点; 进展
中图分类号: Q 14 **文献标识码**: A

1 湿地与湿地科学的概念、特征及研究意义概述

湿地 (Wetlands) 是地球上水陆相互作用形成的独特生态系统, 是重要的生存环境和自然界最富生物多样性的生态景观之一。在抵御洪水、调节径流, 改善气候、控制污染, 美化环境和维护区域生态平衡等方面有其它系统所不能替代的作用。被誉为“地球之肾”、“生命的摇篮”、“文明的发源地”和“物种的基因库”。因而在世界自然保护大纲中, 湿地与森林、海洋一起并列为全球三大生态系统。

由于湿地学是一门自身科学体系尚待完善的学科, 湿地科学定义还众说纷纭, 目前已统计到的定义近 60 种[1, 14, 18]。湿地科学定义可归纳为以下几类: 从生态学角度, 湿地是介于陆地与水生生态系统之间的过渡地带, 并兼有两类系统的某些特征[3]; 其地表为浅水覆盖

收稿日期: 2002-01; **修订日期**: 2002-02
基金项目: 国家自然科学基金项目 (49771002); 中国科学院重要方向项目 (KZCX2-302)
作者简介: 杨永兴 (1956-), 男, 吉林长春人, 研究员, 博士生导师, 美国杜克大学湿地中心博士后。主要从事湿地形成、发育、演化、生态过程、退化湿地恢复与重建和湿地区古环境演变研究。获中国首届青年地理科技奖, 已发表湿地研究论文 70 余篇, 《中国沼泽志》第二副主编。E-mail: yangyongxing@mail.ccig.ac.cn

或者其水位在地表附近变化[10]；从资源学的角度，凡是具有生态价值的水域（只要其上覆水体水深不超过 6 m）都可视为湿地，不管它是天然的或是人工的，永久的还是暂时的[10]；从动力地貌学的角度，湿地是区别于其它地貌系统（如河流地貌系统、海湾、湖泊等水体）的具有不断起伏水位的、水流缓慢的潜水地貌系统[11]；从系统论的观点，湿地是一个半开放半封闭的系统。一方面，湿地是一个较独立的生态系统，它有其自身的形成发展和演化规律。另一方面，湿地又不完全独立，它在许多方面依赖于相邻的地面景观，与它们发生物质和能量交换，也影响邻近系统的活动[11]。

按照国际湿地公约（Ramsar 公约）中的定义："湿地是指不问其为天然或人工、长久或暂时性的沼泽地、泥炭地、水域地带，静止或流动的淡水、半咸水、咸水，包括低潮时水深不超过 6 m 的海水水域"[12]。它不是湿地学的科学定义，其原因在于它未揭示出湿地的科学概念与内涵的实质，内涵与外延还不明确。实质上这是个湿地管理定义。它比较具体，具有明显的边界，具有法律的约束力，在湿地管理工作中易于操作。另外，凡签署加入国际湿地公约的缔约国都已经接受这一定义，在国际上具有通用性。

我们认为湿地定义应该分为两类，即科学定义与管理定义。笔者认为湿地的科学定义应为："湿地是一类既不同于水体，又不同于陆地的特殊过渡类型生态系统，为水生、陆生生态系统界面相互延伸扩展的重叠空间区域。该系统的生产者是由湿生、沼生、浅水生植物组成。消费者是由湿生、沼生、浅水生动物组成。分解者是介于水体与陆生生态系统之间的过渡类群组成的。该系统与周围相邻的系统有密切关系，与它们发生物质和能量交换。湿地应该具有三个突出的特征：湿地地表长期或季节处在过湿或积水状态；地表生长有湿生、沼生、浅水生植物（包括部分喜湿的盐生植物），且具有较高的生产力。生活湿生、沼生、浅水生动物和适应该特殊环境的微生物群；发育水成或半水成土壤，并具有明显的潜育化过程。"

湿地科学是地理科学、环境科学、水文科学、生态科学和资源科学等多学科交叉形成的边缘学科，湿地科学是研究湿地形成、发育、演化、生态过程、功能及其机制和保护与利用的科学。学科属性应划为地球科学，是其一个主要部分。湿地科学还可以继续划分为理论湿地学和应用湿地学等不同级别的分支学科。

湿地广泛分布于世界各自然地带。据初步统计，全球湿地总面积为 $8.56\times10^{8}hm^{2}$，约占世界陆地面积的 6.4%。我国湿地面积达 $6\ 594\times10^{4}hm^{2}$，居亚洲第一、世界第四位，几乎囊括了国际湿地公约的所有湿地类型，并拥有世界上独特的青藏高原湿地。由于湿地兼有水陆两类生态系统的某些特征，因而具有多种生态功能和经济与社会价值，湿地已成为人类赖以生存和发展的自然资源宝库与生存环境。为此，湿地科学研究受到越来越多的关注，已成为当今世界所关注的重点学科与研究领域。

2 国际湿地科学发展的主要特点

2.1 湿地科学历史久远，长期以来发展缓慢，现代发展迅速

湿地科学起源于湖沼学和沼泽学。公元 46 年，德国日尔曼人开采泥炭，初步认识沼泽湿地。16 世纪中期，欧洲泥炭开采盛行，对沼泽湿地认识进一步加深。湿地研究最早可以追溯到 17 世纪，最早的著作可以认为是 J．莱兰德（Leland）的旅行游记（1535～1543

年), 他认为沼泽是从森林演变而来的。1652 年 G.Boate 在他所著书中最早阐述了沼泽的分类。我国对湿地的认识可以上溯至商周时期[12], 曾在《礼记·王制篇》、《禹贡》、《水经注》、《徐霞客游记》等地理古籍中有湿地的记载, 并赋予不同的名称, 反映其特征的差异[12]。国外学者研究也证实中国是世界上研究湿地最早的国家[2]。17 世纪末以前是湿地科学的孕育期。18 世纪末到 19 世纪末为湿地科学创立期, 欧洲最早对沼泽物质来源、形成因素、沼泽类型、沼泽演变与分布规律及开发利用都进行了较为系统的探讨, 创立了湿地科学基本理论的雏形。代表作为爱丁堡大学 J.Walker 教授编写的《地质学讲义》。19 世纪, J.A.Dalus 论述了湖泊沼泽化过程及沼泽植物带状分布规律。1810 年, R.Rennie 在其所著《泥炭沼泽的自然历史和起源概论》提出沼泽形成及演变过程的假说[13]。20 世纪初, 湿地学进入发展期, 学术著作开始出现湿地一词。受益于新技术和新方法的应用, 大量湿地研究成果问世, 对湿地的认识开始从感性上升到理性, 并开始走向系统与综合研究, 从而确定湿地科学较为系统的科学理论与方法论, 基本形成一门独立的学科。德国沼泽学家韦伯 (C.A.Weber) 等学者共同建立了沼泽统一发育过程学说理论, 为湿地科学的主要理论之一。此后一大批湿地著作相继问世, 丰富了湿地科学理论。1982 年开始为湿地科学的蓬勃发展期, 其标志是在印度召开的第一届国际湿地会议, 迄今为止已召开了六届会议。特别是 2000 年在加拿大举办的魁北克 2000- 世纪湿地大事件活动 (Quebec 2000- Millennium Wetland Event) 在世界湿地科学发展历史上具有里程碑的意义。各国政府与组织和科研机构都对湿地研究予以高度重视。短短十余年内, 国际上就出版了数十部湿地科学著作[3~11]和大量论文, 中国也出版了《中国沼泽志》[14]、《中国湖泊志》[15]和《中国湿地植被》[16]等湿地著作。在上述著作中, 由 W.J.Mitsch and J.G.Gosselink 合作撰写的《Wetlands》[3] (湿地) 和由 Robert H.Kaddle 撰写的《Treatment Wetlands》[4] (处理的湿地) 代表了当代国际湿地理论综合研究的最高水平, 其中《湿地》已经再版二次。为目前世界上理论体系完整, 数据翔实, 内容丰富的湿地理论专著。《处理的湿地》一书除对主要湿地理论进行阐述外, 它更侧重湿地生态工程设计与净化污水等湿地功能实用技术论述, 为湿地功能与应用技术最权威的湿地著作。这些著作基本建立了湿地科学理论体系的主要框架。

2.2　湿地科学成为 21 世纪科学研究的重点学科和研究领域

资源、生态、环境与可持续发展成为 21 世纪科学研究的重点。湿地破坏与退化带来的环境功能丧失和生态问题触目惊心, 客观上为湿地科学发展提供了机遇和动力。截止到 2002 年 2 月, 加入国际湿地公约的缔约国家数量已经达到的 130 个, 国际履约加强了世界各国的湿地保护与研究。湿地科学研究已成为国际学术界与各国政府乃至公众关注的热点与焦点[1~7]。湿地研究正处在一个前所未有的蓬勃发展时期, 很多方面取得令人瞩目的进展, 学科理论体系建设正在逐步完善[3~7], 湿地科学已成为 21 世纪的重点学科和研究领域。

2.3　湿地科学研究内容增多, 领域扩大

近年来, 湿地研究内容增多, 领域扩大, 几乎涵盖湿地科学研究的各主要领域的主要方面, 填补了一些空白。主要研究湿地定义概念, 湿地分类、形成、发育、演化, 湿地生态系统的生态过程、结构与功能, 湿地生物多样性, 湿地区古环境演变, 人工湿地构建的理论与技术, 退化湿地生态恢复与重建, 湿地温室气体与全球环境变化, 湿地健康与湿地评价, 湿地开发、保护与管理, 湿地教育、法规与政策及湿地资源、环境可持续发展研究[1, 2]。

2.4 湿地科学研究的综合性增强，分化性加大

湿地科学有同时向综合与分化两极方向发展的趋势。由于湿地具有重要的生态、环境功能，湿地研究趋向于综合研究，多开展生态、环境、水文和资源科学的协同研究，尤其在解决区域性的湿地理论和实践问题，跨学科的综合研究越来越多，研究也越来越深入。综合研究的加强并没有阻碍分化研究的深入，湿地科学的分化性研究方面也进展迅速，学科越分越细，如研究方向与内容得到进一步的细化，在很多方面取得了高水平的研究成果。

2.5 世界湿地科学发展不平衡，发展中国家与发达国家之间研究水平的差距逐渐缩小

发达国家湿地研究继续居国际湿地研究的领先地位，如美国、德国、澳大利亚、英国、芬兰、瑞典等国家居国际领先地位。发达国家每年发表的论文和出版的著作多，水平也高。世界上湿地科学专业学术期刊Wetlands在美国出版，重要的湿地学术机构与国际性组织也多设在发达国家。反映了发达国家湿地研究受重视的程度、资金投入强度和湿地研究水平。发展中国家湿地研究水平也有大幅度提高。在某些方面，发达国家与发展中国家研究水平的差距正在不断缩小。近年来参加国际湿地会议的发展中国家代表人数和论文明显增多。很多发展中国家也派代表参加“世纪湿地大事件”活动，并进行了学术交流[2]。填补了世界上某些湿地区域研究的空白。发展中国家湿地研究水平和科学家知名度呈上升趋势，中国等一些发展中国家的湿地学者还首次被遴选为“世纪湿地大事件“活动专题学术会议的主席，实现了湿地学术交流历史上的重大突破。

3 国际湿地科学研究主要前沿领域的进展和展望

3.1 湿地保护与管理

随着经济和技术的发展，对湿地开发加剧，湿地破坏引发日益严重的环境和资源问题，现在加强湿地保护已成为国际湿地学界的共识。国际湿地学术界、有关国际组织和各国政府都开始重视湿地保护与管理[1~8,18]。魁北克2000- 世纪湿地大事件活动中，涉及到湿地保护与管理的专题学术讨论会就达18个，论文数百篇。最突出的特点是在湿地保护的战略、方针、政策与技术方法等方面提出新的见解与观点。提供了很多湿地保护示范区建设的方法与技术。提出了世界上重要湿地保护的计划与方案[2]，如对佛罗里达大沼泽地湿地、亚马逊流域湿地、五大湖区湿地、尼罗河湿地、西伯利亚湿地、墨西哥湾等区域国际上重要湿地都提出新的保护方案[2]。很多国家颁布了湿地保护的法律与法规，增建了湿地保护区，有效地促进了湿地保护工作。中国国家林业局制定《中国湿地保护和恢复建设工程总体规划》(2001- 2010年)。湿地保护已经不再局限于建立湿地保护区和与水禽有关的湿地管理的狭隘认识，而是从景观和生态系统范围的保护与管理，进行跨地区与全球范围的相互合作。

3.2 湿地形成、发育与演化

湿地形成、发育与演化是湿地理论研究的核心问题[3~5,8,9,13,14,16]。当前研究更注重于形成、发育、演化过程与规律，详细的形成、发育与演化模式、演化韵律及其演化机制[3~5,8,9,13~21]。研究不仅注重从时间系列上，而且也注重空间系列研究。受区域环境条件的影响，各地区的形成、发育与演化规律各异，各国学者在揭示演化规律上做出很大努力。特别着重探讨湿地形成、发育与演化的高分辨率与高精度研究人类活动干扰下的湿地形成、发

育与演化过程[18~24]。湿地演化泥炭地剖面孢粉和泥炭植物残体采样间距已达到 1 cm，高精度的泥炭植物残体、人工植被孢粉分析和藻类鉴定广泛地用于湿地形成、发育和演化过程研究[16~20]。研究由于人类活动的干扰，湿地演化过程发生了逆转，在日本发现这一实例，中国很多湿地发育与演化模式并非与传统的统一发育理论一致[23~25]，很多实例论证了世界湿地发育具有多模式[2, 23~25]，湿地发育模式存在显著的区域差异。研究趋向于综合分析制约湿地发育的因素。

3.3　湿地区古环境重建

湿地区古环境演变研究侧重高分辨率、高准确度和高精度研究。研究侧重提高采样与分析、鉴定与测试精度[18- 24]，如泥炭沉积物采样层位已经缩小到 1 cm。运用多种方法提取信息，恢复区域古环境，如孢粉、藻类、化学元素、植物残体、O^{16}、O^{18}。运用多种测年方法相结合建立牢固的年代框架，如运用AM SC^{14}、C^{14}、Pb^{210}、Cs^{137}等[2, 19~21]。根据湿地演化过程中提供的多种信息，详细重建了湿地区全新世的古环境详细过程与环境变化的韵律。近来尤其特别强调人类活动对古环境变化的影响与响应及其与湿地演化和古环境变化关系研究[3~8, 18~22]。

3.4　湿地生态系统的生态过程与动态

湿地生态系统的生态过程研究是揭示湿地功能机理的关键。当前，湿地过程研究主要集中在以下方面: ① 化学过程侧重研究各类湿地C、N、S、P 等大量元素[26~37]、微量元素和Hg 等重金素[38]循环，沉积物、枯落物的积累和降解及微生物在养分循环中的作用。侧重研究营养元素循环与生态功能的关系，重金属元素的富集、迁移和转化，湿地净化水质的过程与机理，杀虫剂与除草剂在湿地中的迁移与降解。增强了生态系统循环过程机制的理解[26~34]。构建湿地处理污水研究取得显著进展[4]，污水处理设计与技术方法越来越完善。② 生物过程研究更加注意长期定位和模拟实验研究，如法国进行长达 55 年的监测研究，研究自然与人类活动对盐沼植被干扰及其响应[2]。美国对海岸盐沼进行 30 余年的监测研究，主要进行湿地植物生长、分解、积累过程与种群动态研究[29]。随着人类活动对湿地影响的加剧，人类活动与湿地动态变化关系研究成为新热点[3, 4, 19, 37~40]。同时开展了物种迁移与基因流动过程对区域生态环境影响的研究。③ 物理过程仍是侧重湿地生态系统能量流动过程，将系统热力学、信息论及控制论等新兴理论应用于湿地能量流动研究[3~5, 37]。研究方法上还有待改进，如湿地生态过程初级生产力研究，方法未能标准化，地下部分测定误差太大，不利于研究的开展及研究成果的比较[5, 37]。非破坏性测定技术虽然还有一定缺欠，但为准确测定提供了美好的前景[3~5, 37]。通过上述过程对湿地区域生态环境的影响与响应研究，揭示湿地生态系统的功能过程。

3.5　湿地生物多样性保护

湿地生物多样性研究比较薄弱。过去主要侧重湿地动、植物研究。现在有加强湿地浮游生物、无脊椎动物和一些微生物研究的趋势。在物种多样性研究方面，现在更注重开展景观多样性、生态系统多样性和遗传多样性研究的趋势。遗传多样性研究仍是生物多样性研究的难点与重点。各国相继开展湿地生物和环境的分类编目，确定有关动、植物中濒危动、植物的等级。查明湿地生物多样性下降的主要原因，并采取相应的保护对策。特别是在生物多样性的异地保护和就地保护技术与方法方面的研究成为热点中关键问题[2~5, 7]。

3.6 湿地温室气体排放、温室效应和全球环境变化

全球气候变暖是近年人类密切关注的全球性环境问题之一。由于温室气体与全球环境变化关系密切，为公认的导致全球变暖的主要原因。迄今为止，湿地被认为是世界最重要的温室气体排放源，所以湿地温室气体研究发展很快，由以往简单的湿地温室气体排放规律研究向排放机制研究发展，从仅对少量类型湿地进行研究向多类型湿地研究，从短期监测向长期监测发展，从孤立的排放研究向排放与环境因子关系研究发展，从描述性研究向模型研究发展，从限于CO_2和CH_4气体研究向N_2O、NO、NO_2、CO 等其它温室气体研究发展。主要侧重与不同类型湿地温室气体源、汇过程、通量与模型，不同水平温室气体排放的气候效应[41, 42]，全球环境变化对湿地生态系统结构和功能的影响。

3.7 湿地退化机制、退化湿地恢复与重建和人工湿地构建

湿地退化机制、退化湿地恢复与重建和人工湿地构建研究是湿地研究的又一个热点。美国、加拿大、澳大利亚、德国、英国、瑞典均深入开展此类研究[6, 8, 9, 17, 18, 43~45]。最为成功的是美国和澳大利亚人工湿地构建[1, 2, 8, 9, 18]和佛罗里达大沼泽地退化湿地恢复与重建研究[8, 43]。目前特别注意湿地退化机制、退化湿地生态恢复与重建和人工湿地构建理论研究，也加强退化湿地生态恢复与重建方法、技术和方案的示范推广等方面的探讨[43~45]。主要利用恢复生态学理论在考虑湿地生态系统的特点和功能的基础上，按照恢复生态学理论和方法进行研究。侧重湿地生境恢复技术，提高湿地基底恢复，湿地水文状况恢复和湿地土壤恢复。还进行湿地净化功能与环境容量研究，湿地营养负荷、循环过程、转化规律、迁移途径及其与水体富营养化的关系研究。研究退化湿地恢复与重建的生物学与生态学基础，湿地演替规律，不同干扰下湿地退化过程和机制，湿地退化的指示性标识，退化临界指标，退化景观诊断依据和评价指标体系[46]。还侧重湿地退化过程动态监测模拟与预报研究。研究的重点与难点是退化湿地的生态恢复关键技术[43~45, 48, 49]。

3.8 湿地生态系统健康

湿地生态系统健康是指湿地能够提供特殊生态功能的能力和维持自身有机组织的能力，它可以在不良的环境扰动中自行恢复。作为新领域的探索，虽然刚开始起步，但是进展很快。主要侧重湿地生态系统健康的概念，湿地生态系统诊断指标，湿地生态系统健康恢复，湿地生态系统健康研究时间与空间尺度[50~55]，湿地生态系统设计和湿地生态系统健康的数量评价等领域研究。过去主要集中在化学与生物指标，现在又引进物理指标。除湿地的自然属性外，又将社会经济指标也纳入湿地健康研究范畴之内[51]。使湿地健康诊断指标更趋于完善。美国环境保护局（EPA）提出的一些指标在管理实践上效果良好[51]。研究将提高湿地健康的预警能力。以往研究还多侧重河流、湖泊与水库湿地，对沼泽湿地的研究近期才逐渐增多。

3.9 湿地评价

湿地评价主要包括湿地功能评价、湿地价值评价和湿地环境影响评价。目前致力于探讨评价标准和指标以及定级[50~54]。美国在湿地水文地貌分类体系的基础上提出湿地功能评价方法和快速湿地功能评价方法[50~54]。快速实地评价方法被认为是地景规划的有效方法，已被越来越多的国家和学者所采用。欧洲通过建立湿地系统共有的关键过程以及它们与功能的联系，测定湿地系统对外界干扰的恢复能力以及对这些干扰的反应，利用动力模型和定期的观测确定湿地功能分析阈值[10]。现在倾向于通过实验获得数据和指标，在此基础上

进行评价。美国已经设立了以地景级别的标志来评价全国生态健康状态的长期趋势实验场，为湿地提供定量因子描述，这无疑将大大提高湿地评价水平[52]。定量评价是决策者决策的有力依据，定量评价方法一直为研究的热点。现在多采用市场经济法对实物进行直接评估，用费用支出法、市场价值法、旅行费用法及条件价值法评价非实物价值。对湿地功能价值则采用市场价值法、机会成本法、影子工程法和替代花费等进行评估。

3.10　泥炭地与泥炭开发利用

泥炭与泥炭地利用研究仍继续保持旺盛发展趋势，一大批新开发的新型泥炭产品和性能更好的泥炭生产机械设备不断问世，如泥炭处理废水产品等，不断满足市场需要，提高了工作效率[2, 56, 57]。泥炭地利用也取得了很好的成果，特别加强了采后泥炭地和人类活动过程对泥炭性质的影响及其机制研究[1~6, 56, 57]。不断应用新型仪器进行泥炭特殊性质研究，如利用近红外光谱仪进行泥炭能量测量取得可喜的进展[2]。泥炭萃取设备也取得新突破。新型的泥炭开采与产品生产设备性能更加优越。新型农业、园林和花卉业的泥炭复合肥料效果比以往同类产品更好，用于环保、工业、农业和医疗卫生的新型泥炭产品的质量也明显提高[55~56]。

3.11　湿地生态工程模式与管理技术

主要研究人工湿地建设的基础理论、工程工艺及管理等内容，侧重研究以湿地污水处理工程建设与管理技术为主的环境治理生态工程与技术，不断地发现处理污水效果更好的水生植物和处理新技术与新方法，并在生产实践上获得很高的效益[4, 9]。如美国佛罗里达大沼泽地的湿地除磷生态工程，有效地除去地表水中过高含量的磷，使湿地重新为居民生活和生产提供清洁水源[8, 56, 57]。近年来，运用景观生态学、农业生态学的理论与方法加强湿地生态工程模式与配套管理技术研究，取得显著的经济、社会和生态效益[4, 8, 9, 58, 59]，如中国三江平原湿地首创的“稻- 苇- 鱼”、在珠江三角洲建设的“桑基鱼塘”等湿地农业生态工程就是湿地生态工程模式与技术研究最突出研究成果之一[3, 60]。

3.12　新技术、新手段与新方法应用

新技术、新手段与新方法的应用是湿地科学研究发展的动力源泉。3S（GIS、GPS、RS）技术越来越普遍地应用于湿地资源调查、湿地编目、湿地功能评价、湿地监测和湿地保护研究[61]，在湿地景观动态和退化湿地监测方面应用，取得深入的研究成果。一大批新型高精度和高准确度的湿地自动监测仪器设备研制和普及应用，实现同步全天候地自动环境监测，推进了湿地生态过程研究。如湿地多功能水质自动观测仪（YSI）、湿地水文实验室（Hydrolab）和湿地自动水样采样器等仪器设备已形成功能各异、用途多样的系列化产品，湿地自动气候观测站使湿地环境长期连续监测成为可能。AMS 碳同位素测年、^{210}Pb、^{137}Cs 和氧同位素技术的应用，构建了湿地发育与演化的牢靠的时间框架，提高了古环境重建的精度[19~22]，捕捉到了突发事件的发生年代。同位素示踪技术在湿地生态过程的研究，揭示了长期不能获得的某些生态过程的机理。数学方法与计算机技术应用湿地过程研究，建立了很多有科学价值的数学模型，深化了机理研究。网络技术加快了信息交流，缩短了空间的距离，实现不同区域同步对比。地理学、生态学、环境科学等学科的研究方法与技术不断地引入湿地学，使湿地学方法论不断完善，克服了湿地研究在深入、综合、定量和预测等方面的障碍。

本文是笔者于 1999～2000 年在美国杜克大学环境学院湿地中心作为高级访问学者和湿地专业博士后工作、参加“魁北克 2000- 世纪湿地大事件”活动、并作为主席组织与主持第六届国际湿地大会——湿地演化与发育学术会议期间，收集大量国际上最新湿地研究文献基础上完成的，得到杜克大学环境学院湿地中心主任 Curtis Richardson 教授、“魁北克 2000- 世纪湿地大事件”活动的主席 Clatton Rubec 先生和第十一届国际泥炭大会主席 Gerry Hood 先生的大力支持，特此致谢!

参考文献:

[1] 王文卿，刘纯慧，晁敏 从第五届国际湿地会议看湿地保护与研究趋势[J]. 生态学杂志，1997，**16**(5)：72-76.

[2] Allan Crowe. Quebec 2000: Millennium Wetland Event Program with Abstracts[C]. Quebec, Canada, Elizabeth MacKay, 2000. 1-256.

[3] Mitsch W J, James G. Gosselink. Wetlands[M]. Van Nostrand Reinhold Company Inc., 2000. 1-43, 356-430.

[4] Kadlee R H, Knight R L. Treatment Wetloands[M]. Lewis Publishers, 1996. 1-124.

[5] Keddy P A. Wetland Ecology-Principles and Conservation[M]. Cambridge University Press, 2000. 1-146.

[6] Beth Middleton. Wetland Restoration-Flood Pulsing and Disturbance Dynamics[M]. John Wiley & Sons, Inc., 1999. 1-88.

[7] Messina M G, Conner W H. Southern Forested Wetlands-Ecology and Management[M]. Lewis Publishers, 1999. 1-50.

[8] Davis S M, Ogden J C. Everglades——The Ecosystem and its Restoration[M]. St. Lucie Press, 1994.

[9] Kusler J A, Kentula M E. Wetland Creation and Restoration——the State of the Science[C]. Island Press. 1995. 8-264.

[10] Wilen B O et al. Wetlands of the U. S. [A]. In: Ewhigham (ed). Wetlands of the World I[C]. Kluver Academic Publishers, 1995. 143-157.

[11] Mitsch W J (ed). Global Wetlands: Old World and New[C]. Elsevier Sciences B. V. 1994. 1-40.

[12] 赵德祥 我国历史沼泽的名称、分类及描述[J]. 地理科学，1982，**2**(1)：83-86.

[13] 柴岫 泥炭地学[M]. 北京：地质出版社，1990. 1-256.

[14] 赵魁义，孙广友，杨永兴 等 中国沼泽志[M]. 北京：科学出版社，1999. 1-28.

[15] 王苏民，窦洪身 中国湖泊志[M]. 北京：科学出版社，1998. 1-158.

[16] 郎惠卿 中国湿地植被[M]. 北京：科学出版社，2000. 1-450.

[17] 国家林业局 等 中国湿地保护行动计划[M]. 北京：中国林业出版社，2000. 1-48.

[18] McComb A J, Davis J A. Wetlands for the future[C]. Proceedings of INTECOL'S V International Wetlands Conference. Gleneagles Publishing, 1998.

[19] Eville Gorham. Human Influences on the Health of Northern Peatlands[A]. Transactions of the Royal Society of Canada[C], 1991(2). 199-208.

[20] Booth R K, Rich F J et al. Evolution of a freshwater barrier-island marsh in coastal Georgia, USA[J]. *Wetlands*, 1999, **19**(3): 570-577.

[21] Yu Zicheng, Vatt D H et al. Pattern and processes of peat accumulation in continental rich fens: hypothesis and preliminary results. In Line Rochefort: Proceedings of the 11th International Peat Congress[M]. Edmonton, Alberta, Canada, 2000. 208-214.

[22] Mayer P M, Galatowitsch S M. Diatom communities as ecological indicators of recovery in restored prairie wetlands[J]. *Wetlands*, 1999, **19**(4): 765-774.

[23] 黄锡畴 试论沼泽的分布和发育规律[J]. 地理科学，1982，**2**(3)：191-201.

[24] 杨永兴 三江平原沼泽发育与晚更新世末期以来古地理环境演变研究[J]. 海洋与湖沼，1990，**21**(1)：27-38.

[25] 杨永兴，黄锡畴 等 西辽河平原东部沼泽发育与中全新世早期以来古环境演变[J]. 地理科学，2001，**21**(3)：242-249.

[26] Mitsch W J, Reeder B C. Modelling nutrient retention of a freshwater coastal wetland: estimating the role of primary productivity, sedimentation, resuspension and hydrology[J]. *Ecological Modeling*, 1991, **54**: 151-187.

[27] Charman D J, Ramon aravena et al. Carbon dynamics in a forest peatland in north-eastern Ontario, Canada[J]. *Journal of Ecology*, 1994, **84**: 55-63.

[28] Moustafa M Z. Analysis of phosphorus retention in free-water surface treatment wetlands[J]. *Hydrobiologia*,

1999, **392**: 41-53.

[29] Sundareshwar P V, Morris J T. Phosphorus sorption characteristics of intertidal marsh sediments along an estuarine salinity gradient[J]. *Limnol. Oceanogr*, 1999, **44**(7): 1693-1702.

[30] Mitsch W J, Cronk J K et al. Phosphorus retention in constructed freshwater riparian marshes[J]. *Ecological Application*, 1995, **3**: 830-845.

[31] Mariano Guardo. Hydrologic balance for a subtropical treatment wetland constructed for nutrient removal[J]. *Ecological Engineering*, 1999, **12**: 315-337.

[32] Zhulidov A V, Headley J V et al. Atlas of Russian wetlands-biogeography and mental concentrations. Environment[M]. Canada, 1997. 1-48.

[33] **杨永兴, 何太蓉, 王世岩. 三江平原湿地生态系统 P、K 分布特征及季节动态研究**[J]. **应用生态学报**, 2001, **12**(4): 522-526.

[34] **王世岩, 杨永兴. 三江平原小叶樟枯落物分解动态及其分解残留物中磷素季节动态**[J]. **中国草地**, 2000, **22**(6): 6-10.

[35] **杨永兴, 王世岩 等. 三江平原典型湿地生态系统生物量及其季节动态研究**[J]. **中国草地**, 2002, **24**(1): 1-7.

[36] Smish S M, P Brian Garrett et al. Evaluation of digital photography for estimating live and dead aboveground biomass in monospecific macrophyte stands[J]. *Aquatic Botany*, 2000, **67**: 69-77.

[37] **何池全, 赵魁义 等. 湿地生态过程研究进展**[J]. **地球科学进展**, 2000, **13**(5): 165-171.

[38] Heyes A, Moore T R. Mercury and methylmercury in decomposing vegetation of a pristine and impounded wetland[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998, **27**(3): 591-599.

[39] Visser J M, Sasser C E et al. Long-term vegetation change in Louisiana tidal marshes, 1968-1992[J]. *Wetlands*, 1999, **19**(1): 168-175.

[40] Thormann M N, Bayley S E. Aboveground production and nutrient content of the vegetation in six peatland in alberta, Canadda[J]. *Plant Ecology*, 1997, **131**: 1-16.

[41] Cashin G E et al. Wetland alteration trends on the North Carolina coastal plain[J]. *Wetalnds*, 1992, **12**(2): 63-71.

[42] Yavitt J B. Methane and carbon dioxide dynamics in Typha latifolia (L) wetlands in central New York State[J]. *Wetlands*, 1997, **17**(3): 394-406.

[43] Redfield G W. Ecological research for aquatic science and environmental restoration in South Florida[J]. *Ecological Applications*, 2000, **10**(4): 900-1005.

[44] Sylvie Larose, Jonathan Price et al. Rewetting of a cutover peatland: hydrologic assessment[J]. *Wetlands*, 1997, **17**(3): 416-424.

[45] Wilcox D A, Whillans T H. Techniques for restoration of disturbed coastal wetlands of the Great lakes[J]. *Wetlands*, 1999, **19**(4): 716-732.

[46] Wilson R F, Mitsch W J. Functional assessment of five wetlands constructed to mitigate wetland loss in Ohio, USA[J]. *Wetlands*, 1996, **16**(4): 436-451.

[47] Paul Keddy. Wetland restoration: the potential for assembly rule in the service of conservation Wetlands[J], 1999, **19**(4): 716-732.

[48] **张永泽, 王煊. 自然湿地生态恢复研究综述**[J]. **生态学报**, 2001, **21**(2): 309-315.

[49] **崔保山, 刘兴土. 湿地恢复研究综述**[J]. **地球科学进展**, 1999, **14**(4): 358-364.

[50] **崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展**[J]. **生态学杂志**, 2001, **20**(3): 31-36.

[51] Regier H A. Indicators of ecosystem integrity[A]. In: Daninel H (eds). Ecological Indicators[C]. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992. 1491-1502.

[52] Brinson M M. A hydrogeomorphic classification for wetlands. Wetlands research program technical report WRP-DE-R, U. S[R]. Army Enginers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 1993. 1-24.

[53] Rheinhardt R D, Brinson M M et al. Applying wetland reference data to functional assessment, mitigation and restoration [J]. *Wetlands*, 1997, **17**(2): 195-215.

[54] Wilson R F, Mitsch W J. Functional assessment of five wetlands constructed to mitigate wetland loss in Ohio, USA[J]. *Wetlands*, 1996, **16**(4): 436-451.

[55] Treltin C C et al. Wetlands of the interior Southern United States: Conference Summary Statement, Water, Air & Soil Pollution, 1994, 3-4: 213-236.

[56] Sean Fcondon, Aiden McGee. The development and testing of an automatic depth control system for a peat miller

[A]. In: Line Rochefort, Jean-Yves Daigle Sustainining Our Peatlands[C]. Proceedings of the 11th International Peat Congress, Quebec city, Canada, 2000. 269-278.

[57] Abramets A M. Peat humic products for environmental protection[A]. In: Line Rochefort, Jean-Yves Daigle. Sustainining Our Peatlands[C]. Proceedings of the 11th International Peat Congress, Quebec city, Canada, 2000. 299-304.

[58] Mariano Guardo. Hydrologic balance for a subtropical treatment wetland constructed for nutrient removal[J]. *Ecological Engineering*, 1999, **12**: 315-337.

[59] Redfield G W. Ecological research for aquatic science and environmental restoration in South Florida[J]. *Ecological Applications*, 2000, **10**(4): 900-1005.

[60] 杨永兴, 刘兴土 等. 三江平原沼泽区"稻-苇-鱼"复合生态系统效益研究[J]. 地理科学, 1993, **13**(1): 41-48.

[61] Sader S A. Accuracy of landsat-TM and GIS rule-based methods for forest wetlands classification in Maine[J]. *Remote Sensing Environment*, 1995, **3**: 133-144.

Main Characteristics, Progress and Prospect of International Wetland Science Research

YANG Yong-xing

(Laboratory of Process and Environment, Changchun Institute of Geography, CAS, Changchun, 130021 China)

Abstract: This paper concludes the main characteristics of international wetland science research. It shows that the wetland science has a long history, slow progress of development in the past and rapid progress in modern time. It has become a key subject and research field in the science research in the world. Its content and field of the research have been enlarged. It has been strengthened in both synthesis and split research. The uneven development of international wetland science exists in the world, and developed countries occupy advanced places in the wetland science research of the world; but the gap of research level between developed and developing countries is gradually reduced. It makes a detail introduction to the hot point, forward position field, progress, prospect and development trend of international wetland research in the 21st century. The main hot points and forward position fields of wetland research in the world are as follows; conservation and management of wetland, formation, development and succession of wetland, paleoenvironment reconstruction, ecological process and dynamics of wetland, greenhouse gases, greenhouse effect and global change, biodiversity, health and assessment of wetland and constructed wetland, restoration and reconstruction of degradation wetland, wise utilization of wetland, peatland and peat, wetland ecological engineering and application of new techniques and instrument.

Key words: Wetland; Characteristics; Progress