

中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析

牛振国^①, 宫鹏^{①*}, 程晓^①, 虢建宏^①, 王琳^①, 黄华兵^①, 沈少青^①, 吴昀昭^①,
王晓风^①, 王显威^①, 应清^①, 梁璐^①, 张丽娜^①, 王雷^①, 姚谦^①, 杨镇钟^①,
郭子祺^①, 戴永久^②

① 遥感科学国家重点实验室(中国科学院遥感应用研究所, 北京师范大学), 北京 100101;

② 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875

* 联系人, E-mail: gong@irsa.ac.cn

收稿日期: 2008-04-23; 接受日期: 2008-09-05

国家自然科学基金重大项目(批准号: 30590370)、国家高技术研究发展计划(编号: 2006AA12Z112)和国家科技支撑项目(编号: 2006BAJ10B02)资助

摘要 以 1999~2002 年累积的 597 幅 Landsat ETM+ 遥感影像为数据源, 采用人工目视解译为主, 同时结合全国高程、土壤、土地利用和 Google Earth 数据, 对全国 9 ha 以上的水面、沼泽等湿地进行了初步遥感制图. 在此基础上, 利用 1 km 分辨率的全国地形高程数据, 1:100 万土壤数据、植被数据和 1:400 万的气候区划数据对湿地分布进行了相关地理特征分析. 本次湿地遥感制图得到全国湿地总面积为 359478 km², 其中内陆湿地占 339353 km², 非农田人工湿地占 2786 km², 滨海湿地面积为 17609 km². 与我国先期的湿地调查统计数据对比, 表明除由于制图标准和调查规范不一致引起的差异外, 本次制图结果较可信, 且更客观、快速和经济. 与相关的土地利用数据、沼泽湿地、海涂资源和《中国沼泽志》记录的沼泽等数据的对比表明, 专门针对湿地的制图和定期变化监测十分必要. 分析表明全国湿地主要分布在海拔 <600 和 2600~5000 m 的区域, 93% 的湿地分布在 3° 以内的坡度. 湿地中, 除水面外, 淋溶土、水成土和半水成土占了 35.33%. 全国湿地土壤碳储量大约为 3.67 Pg. 全国湿地主要分布在中温带和高寒气候区、湿润区, 湿地分布更多地与年干燥度有关. 湿地内的主要植被类型包括草甸(23.95%)、草原(11.18%)和栽培植被(22.39%)等, 沼泽植被仅占湿地面积的 4.59%.

关键词

湿地遥感制图
湿地地理特征
中国湿地
Landsat ETM+

作为“地球之肾”的湿地生态系统, 是目前自然界生物多样性最丰富的生态系统. 湿地与海洋、森林一起并列为全球三大生态系统^[1]. 随着近两百年来人类社会经济活动不断加剧, 湿地面积不断减小^[2]. 美国大陆在 18 世纪 80 年代~20 世纪 80 年代间, 湿地减少了 53%^[3]. 在英国, 自罗马时代以来大约有 23% 的河口湿地、50% 的盐生沼泽^[4]和 40% 的湿生草地已经丧失(http://www.ramsar.org/about/about_wetland_loss.htm 1996). 我国三江平原北部挠力河流域 1950~2000 年湿

地损失 13675 km², 面积比例由原来的 52.49% 下降到 15.71%^[5]. 由于湿地要么相对偏远, 交通条件不便, 要么难于步行考察, 我国湿地的调查成果过去主要通过逐级汇总的面积实现. 最近的湿地调查, 还不能提供全国范围的湿地空间分布图及相应的数据库. 这严重地制约着我国对湿地资源的合理保护和科学管理.

遥感技术的快速发展已经具备了对湿地的地理分布进行制图的能力^[6-10]. 到 20 世纪 90 年代中期,

美国基本完成了其大陆 74%(比例尺 1:24000)和阿拉斯加 24%(比例尺 1:63360)的湿地制图,并对 70~80 年代湿地的变化做了统计分析,其中也包括了像湿地土壤,湿地植物品种等数据库^[11].我国对沼泽的研究开展较早,经过“七五”、“八五”和“九五”15 年的数据积累,已经建立了中国沼泽湿地数据库,其中利用全国 1986, 1996 及 2000 年 3 个时期的陆地卫星遥感数据,采用人工目视解译和实地调查相结合的方法,建立了全国沼泽湿地分布动态解译数据子库(比例尺为 1:10 万)^[12].1995~2003 年,国家林业局组织相关部门对全国除香港、澳门特别行政区和台湾省外的 31 个省(区、市)面积超过 100 ha 的湖泊、沼泽、河流、滨海湿地和库塘进行了较全面、系统的统计调查^[13].这些前期工作为湿地资源的管理打下了良好的基础.

本文旨在根据湿地的国际标准和定义,结合遥感信息技术的特点,对我国湿地资源的分布状况进行宏观的制图,以期将来长期湿地变化监测打下基础,并为我国在未来进一步湿地调查制图积累经验,提供客观数据.

1 基于遥感的湿地分类体系

分类系统与研究目的、分类层次及研究尺度相关,同时分类系统的制定直接影响制图精度.为适合国际重要湿地保护的需要,“湿地公约”各缔约国通过的国际湿地分类经过不断的修订^[14],确定了 12 类海洋湿地,20 类内陆湿地和 10 类人工湿地的一个宽泛框架.其他国家也分别对湿地进行了相关的研究^[15-23].我国从 20 世纪 60 年代起主要对沼泽湿地进行研究,提出的分类有三江平原沼泽湿地分类、若尔盖高原沼泽湿地分类以及全国湿地调查分类体系等^[24].另外还从理论角度提出了湿地分类体系^[25].1999 年 7 月国家林业局在云南召开的全国湿地资源调查工作会议确定了全国湿地调查的分类体系共分 5 大类 28 种,基本上与湿地公约中湿地的分类一致^[26,27].

一方面,目前关于湿地的定义存在着广泛的分歧;另一方面现有的各种湿地分类系统多在区域尺度上,还缺少在全国尺度上针对遥感数据源进行湿地信息提取的分类体系.为了得到我国总体湿地分布的现状,我们在综合考虑已有研究的基础上,尤其是湿地公约和我国湿地调查的分类成果,提出了基

于遥感的湿地分类(表 1).该体系不仅可以与湿地公约的分类体系相联结,而且已有的各种区域性分类体系通过合理的归并,也可与其相转换.在此基础上进行的湿地变化监测才更具有参考性.

表 1 基于遥感的湿地分类体系

编码	类型	编码	亚类
1	滨海湿地	11	潮间带/浅滩
		12	泻湖
		13	滨海沼泽
		14	河口三角洲湿地(包括河口水域)
2	内陆湿地	21	河流洪泛湿地
		22	河流(永久性、季节性)
		23	湖泊(永久性、季节性)(淡水、咸水)
		24	内陆沼泽(包括各种草甸,内陆盐沼)
3	人工湿地	31	水库/池塘(包括渔塘)
		32	人工河渠
		33	海水养殖场、盐田
		34	城市景观和娱乐水面
		35	水稻田 ^{a)}
		36	其他

a) 人工湿地中的水稻田(35)作为农田资源,有较准确的制图,在本文制图中没被考虑

2 数据来源与湿地制图方法

本次对全国湿地进行制图的数据源是以覆盖全国的 Landsat ETM+ 为基本数据源(<http://glovis.usgs.gov/data/2007>),该数据覆盖了中国陆地和中国台湾地区,共计 597 景影像.时间跨度为:1999 年 6 月 30 日~2002 年 8 月 26 日(图 1),其中 2000 和 2001 年数据分别占 35% 和 32%,以 5~10 月份为主,占总数据的 75%.TM 图像湿地分类的最佳波段组合为 5, 4 和 3 波段^[28].本次制图以 5, 4 和 3 波段为主,同时考虑其他波段组合.在进行了基本的图像处理,进行影像的拼接和投影转换,统一采用 Albers 双标准纬线投影.另外还利用空间分辨率为 1 km 的全局高程数据(GTOPO30)、全国 2000 年土地利用/覆盖数据(1:10 万)、Google Earth 地图数据和全国沼泽数据等作为辅助数据进行检查与分析.

考虑到在全国范围内湿地景观差异性显著,利用计算机分类需要大量的算法研究而且难以保证湿地制图精度,因此本次湿地制图工作以图像人工目视解译为主.工作平台以 ENVI4.3 和 ESRI 的 ArcMap9.1 为主.遥感图像的解译以 30 m 分辨率为

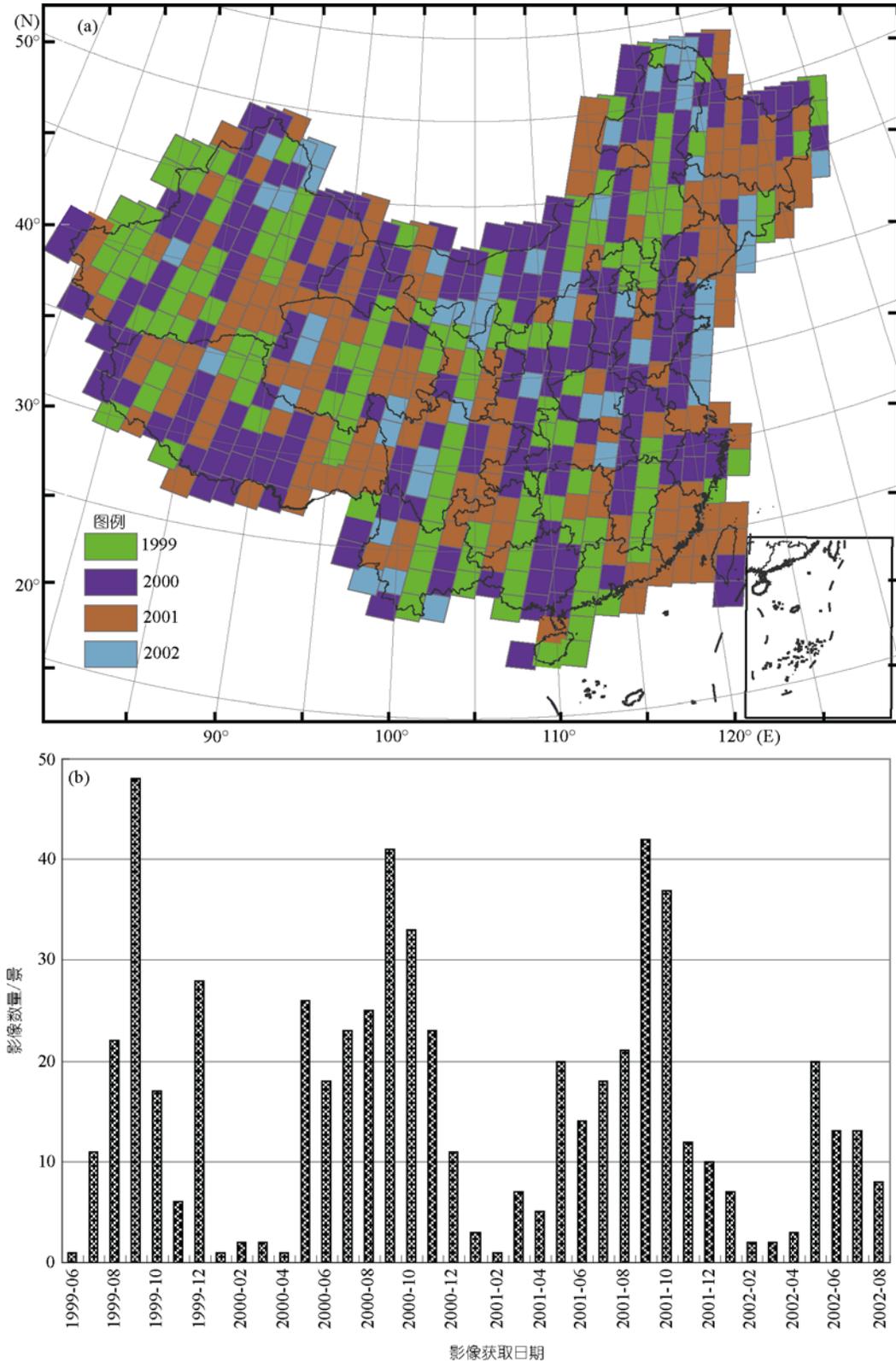


图 1 中国湿地遥感制图数据源分布

(a) 数据源时间和空间分布; (b) 获取数据的时间统计

基础, 河流宽度大于 3 个像素(90 m), 湖泊最小面积大于 10×10 个像素 (9 ha), 制图时保证几何精度控制在 1:10 万. 技术流程框架如下: ① 在全国自然区划的基础上, 参考不同自然地理单元, 建立不同湿地类型的解译标志; ② 不同区划单位分为 8 个不同的工作小组, 小组在阶段性成果内彼此交流, 初步完成后彼此交换检查; ③ 各个小组依据彼此检查结果重新核查; ④ 核查结束后利用 ArcMap 进行统一拼接成图和建库; ⑤ 建库后由有经验的专人负责在全国湿地数据库对照我国地形高程与坡度、沼泽数据库、Google Earth 使用的影像数据, 进一步纠错, 控制质量; ⑥ 图像解译工作中充分利用了相关的地理数据, 如从高程数据计算得到的坡度数据, 以坡度数据(<1°)进行掩膜, 图像与高程数据叠置分析进行检查. 由于 Google Earth 在很多地区都有更高分辨率数据, 这为人工解译和验证提供了较为有利的平台, 还通过把解译结果转换为 Google Earth 的 kmz 文件格式, 叠加

到 Google Earth 上进行检查和核查.

3 结果与分析

3.1 湿地制图结果与分析

本次制图获得全国湿地面积为 359478 km². 湿地面积占全国湿地面积的比例大于 10% 的有青海、黑龙江、西藏和内蒙古, 分别占 16.56%, 14.04%, 12.19% 和 12.40%. 这 4 个省(区)湿地面积占全国湿地总面积的 55.19%. 新疆、吉林、江苏、四川、湖北和安徽, 湿地面积分别占全国比例的 7.18%, 4.57%, 3.35%, 3.28%, 3.06% 和 2.16%. 这 6 个省(区)占全国湿地面积的 23.6%(表 2). 可以看出我国湿地在 2000 年左右主要集中在东北、西北等地(图 2).

(i) 滨海湿地. 主要分布于包括台湾省在内的东部 13 个省(市). 共计面积为 17610 km². 滨海湿地在杭州湾以北多为沙质和淤泥质海滩, 由环渤海滨海和江苏滨海湿地组成; 杭州湾以南以岩石性海滩

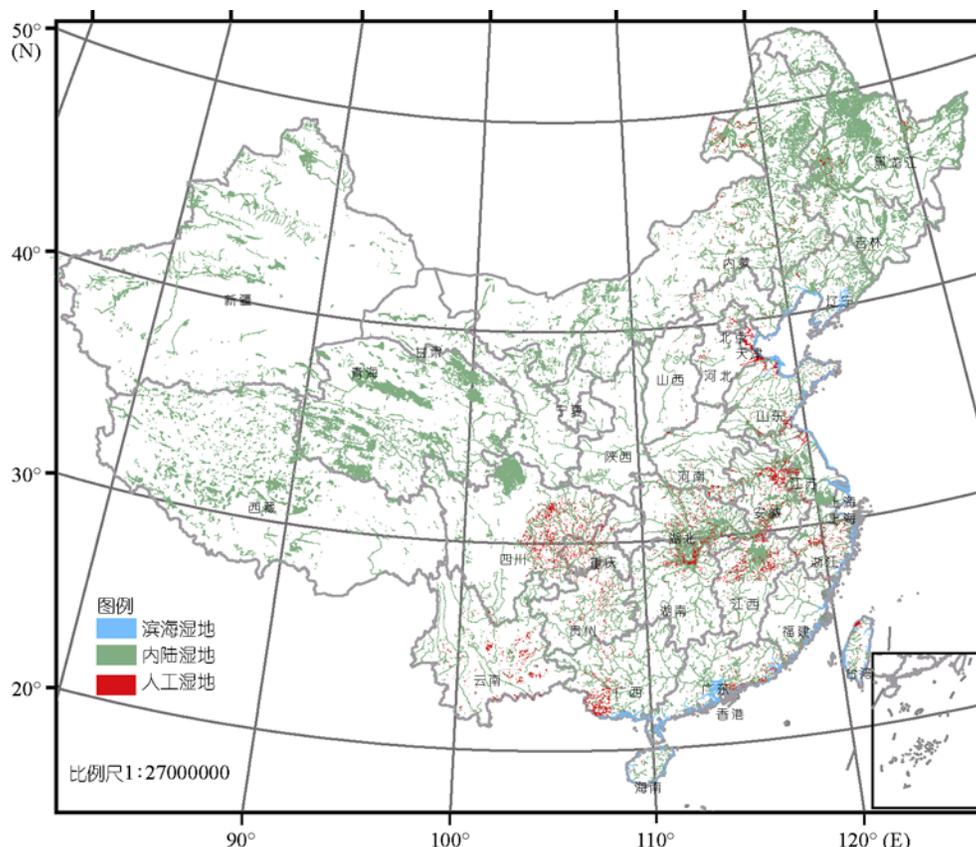


图 2 2000 年中国湿地分布

表 2 基于遥感监测的分省湿地面积统计^{a)}

省份	滨海湿地 /ha	内陆湿地 /ha	人工湿地 /ha	总计/ha	比例/%	省份	滨海湿地 /ha	内陆湿地 /ha	人工湿地 /ha	总计/ha	比例/%
安徽	0	758478	18498	776975	2.16	内蒙古	0	4257066	15915	4272980	11.89
北京	0	40510	2483	42993	0.12	宁夏	0	86715	0	86715	0.24
福建	113596	132685	1384	247664	0.69	青海	0	5953300	0	5953300	16.56
甘肃	0	880797	0	880797	2.45	山东	348178	364380	26523	739082	2.06
广东	368764	377526	8346	754636	2.10	山西	0	86766	787	87553	0.24
广西	63953	381994	15890	461836	1.28	陕西	0	171884	283	172167	0.48
贵州	0	165386	5675	171060	0.48	上海	238223	13580	0	251803	0.70
海南	50079	63006	371	113456	0.32	四川	0	1179541	27309	1206850	3.28
河北	70081	203185	14072	287337	0.80	台湾	79933	57750	4285	141969	0.39
河南	0	263023	4709	267732	0.74	天津	28558	16388	42944	87890	0.24
黑龙江	0	5043896	4574	5048471	14.04	西藏	0	4382049	0	4382049	12.19
湖北	0	1085389	14856	1100245	3.06	香港	2235	0	0	2235	0.01
湖南	0	759580	6713	766293	2.13	新疆	0	2581165	0	2581165	7.18
吉林	0	1640924	2045	1642969	4.57	云南	0	391614	13189	404803	1.13
江苏	151897	1040983	10188	1203068	3.35	浙江	97161	217330	7372	321862	0.90
江西	0	741408	17790	759198	2.11	重庆	0	106956	6988	113944	0.32
辽宁	148333	490003	5378	643714	1.79	总计	1760991	33935257	278567	35947791	100.00

a) 澳门没有统计在内, 水田面积除外

为主。同时包括了大型的河流入海的海湾和河流三角洲, 如长江三角洲、杭州湾、珠江河口湾和北部湾等部分沿海湿地。由于单期影像无法对高低潮进行判读, 因此滨海湿地对潮间带的制图以影像能识别的陆地面积为主(图 3)。

(ii) 内陆湿地。包括了河流湿地、湖泊湿地和沼泽, 本次制图面积为 339352 km²。东部平原区由于人为利用, 在河流两侧多为堤坝, 山区河流则可以分辨出河漫滩(图 3)。

湖泊湿地在全国各区域均有分布。天然的湖泊湿地具有自然的边界, 与人工开挖的库塘等具有显著的区别(图 3)。

(iii) 沼泽湿地。以东北三江平原、大兴安岭、小兴安岭、长白山地、四川若尔盖和青藏高原为多, 各地河漫滩、湖滨、海滨一带也有沼泽发育, 山区多木本沼泽, 平原则草本沼泽居多。

(iv) 人工湿地。包括了部分完全人工开挖的水库坑塘(包括较大的渔塘)、人工河渠和城市中公园湖泊(图 3)等。制图面积为 2786 km²。该面积远小于林业局调查的 22850 km², 主要原因是遥感制图中没有区分河流中拦水筑坝而成的水库和湖泊, 所以这部分水库作为自然的内陆湿地被统计, 而没有统计在

人工湿地内。此外, 较分散的小型鱼塘难以解译, 故而可能引起疏漏。

3.2 不同数据源分析

3.2.1 其余数据来源

中国的湿地研究起步较晚。在湿地概念被我国科研工作者采用之前, 湿地研究主要集中在沼泽和海岸带滩涂资源上。

海岸带滩涂是位于海岸高潮位与低潮位之间的潮间带浅滩, 介于海洋和陆地之间的过渡地带。根据全国海涂资源区划编写组提供的资料, 我国海涂面积, 位于理论基准面以上的潮间带海涂约为 19980 km², 理论基准面至水深 15 m 之间的面积约为 120700 km²¹⁾。而根据 1980~1985 年全国海岸带和海涂资源调查, 全国海涂面积为 23500 km², 沿海各省市的海涂面积以江苏省最多, 约占 28%^[29]。

“湿地是水位经常在或接近地表或为浅水所覆盖的土地, 以水成土和土壤水分饱和为其主要特征”, 根据这个定义, 原中国科学院长春地理研究所对面积 1 km² 以上的沼泽湿地进行了统计并制图(<http://www.marsh.csdb.cn/introduce/sddy.htm>, 2007-11-29), 结果表明 2000 年我国的沼泽湿地面积为 152000 km²;

1) 宋达泉, 陈吉余, 等. 全国简明海涂区划(初稿). 1981

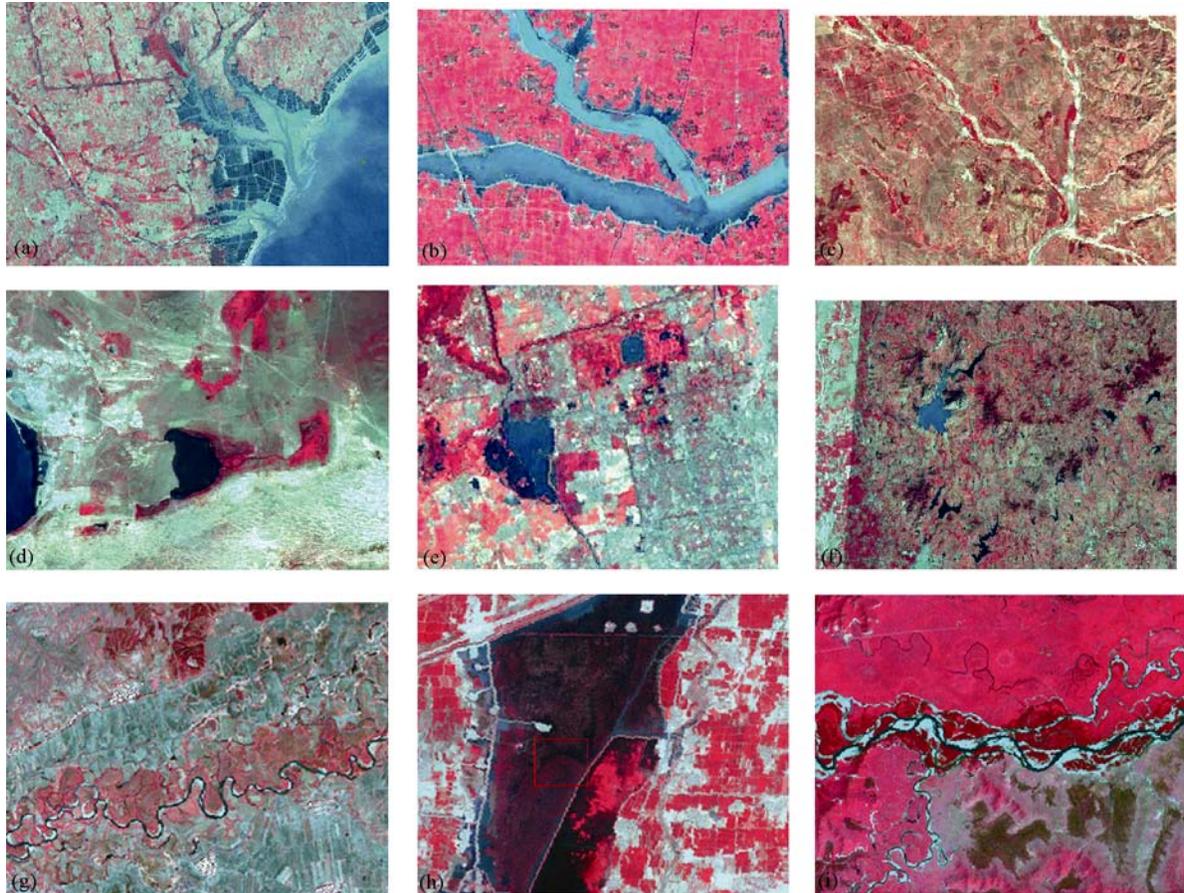


图 3 部分类型湿地图像示例

(a) 滨海河流三角洲和滩涂; (b) 平原河流湿地; (c) 山区河流湿地; (d) 荒漠中绿洲湿地; (e) 城市中公园湿地; (f) 山区湖泊湿地; (g) 三江平原沼泽湿地; (h) 华北平原湖泊湿地; (i) 若尔盖沼泽湿地. 波段: 4/3/2

其中以青海、内蒙古和黑龙江最多, 分别占沼泽面积的 31%, 27.7% 和 17.91%, 共占全国沼泽面积的 76.61%; 其余沼泽面积大于 1% 的分别为新疆、四川、吉林、西藏、辽宁和甘肃, 共计 20.51%. 可以看出我国沼泽湿地主要集中在东北和西部地区(表 3).

目前使用的各类遥感数据产品中, 中国土地利用遥感调查的数据使用比较广泛. 从 2000 年全国土地利用遥感调查的数据中提取与湿地有关的 6 个土地类型, 即河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂、滩地和沼泽地, 得到湿地面积为 257000 km²(表 3). 其中滩涂面积为 6424 km², 湖泊面积为 70805 km², 沼泽地面积为 90477 km², 滩地面积为 33941 km², 水库坑塘与河渠面积为 63959 km².

根据 1995~2003 年国家林业局对全国除香港、澳门特别行政区和台湾省外的 31 个省(区、市)面积超过

1 km² 的湖泊、沼泽、河流、滨海湿地和库塘等湿地资源调查统计^[31], 我国湿地总面积为 384855 km², 其中自然湿地面积为 362005 km², 包括滨海湿地 59417 km², 河流湿地 82070 km², 湖泊湿地 83515 km², 沼泽湿地 137003 km². 人工湿地仅调查了库塘湿地, 面积为 22850 km². 但是, 此次调查没有全国统一性湿地分布的详细地图.

《中国沼泽志》^[30]是中国科学院支持的基础性研究领域重要成果之一, 该书在我国过去研究的基础上, 经过 1993~1996 年的补充调查, 汇总了面积大于 10 km² 以及有区域代表性、特殊动植物且在沼泽研究上具有重要意义的沼泽共计 396 片, 调查记录的面积为 93972.69 km².

另外华东师范大学陆健健^[31,32]根据全国海岸带调查等, 汇总的全国的湿地总面积为 228100~251000

表 3 不同数据源分省湿地面积与比例

省份	本次制图		土地利用制图		沼泽数据库		华东师范大学湿地估计	
	面积/ha	比例/%	面积/ha	比例/%	面积/ha	比例/%	面积/ha	比例/%
安徽	776975	2.16	615320	2.40	136	0.001	417000	1.86
北京	42993	0.12	44274	0.17	0	0.000	35700	0.16
福建	247664	0.69	136647	0.53	687	0.005	108900	0.48
甘肃	880797	2.45	425977	1.66	193516	1.275	22550	0.10
广东	754636	2.10	613915	2.39	4238	0.028	51300	0.23
广西	461836	1.28	328126	1.28	6326	0.042	165200	0.74
贵州	171060	0.48	31792	0.12	79	0.001	17000	0.08
海南	113456	0.32	81135	0.32	882	0.006	12800	0.06
河北	287337	0.80	263400	1.03	33656	0.222	228000	1.02
河南	267732	0.74	255048	0.99	363	0.002	267200	1.19
黑龙江	5048471	14.04	4133871	16.09	2719431	17.910	6003200	26.73
湖北	1100245	3.06	989374	3.85	42061	0.277	342000	1.52
湖南	766293	2.13	726168	2.83	68000	0.448	630	0.00
吉林	1642969	4.57	803132	3.13	562419	3.704	598400	2.66
江苏	1203068	3.35	1085650	4.23	23213	0.153	1503800	6.70
江西	759198	2.11	699966	2.72	89570	0.590	567800	2.53
辽宁	643714	1.79	479034	1.86	217061	1.430	350400	1.56
内蒙	4272980	11.89	3168445	12.33	4206321	27.703	1200000	5.34
宁夏	86715	0.24	73272	0.29	8572	0.056	39600	0.18
青海	5953300	16.56	4410974	17.17	4707036	31.001	1013600	4.51
山东	739082	2.06	431628	1.68	22393	0.147	795600	3.54
山西	87553	0.24	126534	0.49	3312	0.022	46800	0.21
陕西	172167	0.48	185174	0.72	9972	0.066	39000	0.17
上海	251803	0.70	21025	0.08	264	0.002	27000	0.12
四川	1179830	3.28	615297	2.40	679004	4.472	396900	1.77
台湾	141969	0.39	92320	0.36	5084	0.033	10800	0.05
天津	87890	0.24	157458	0.61	41299	0.272	74800	0.33
西藏	4382049	12.19	2699840	10.51	546212	3.597	3960000	17.63
香港	2235	0.01	2620	0.01	0	0.000	0	0.00
新疆	2581165	7.18	1511373	5.88	917588	6.043	3840000	17.10
云南	404803	1.13	248805	0.97	70113	0.462	157600	0.70
浙江	321862	0.90	142805	0.56	4773	0.031	163200	0.73
重庆	113944	0.32	87402	0.34	0	0.000	0	0.00
总计	35947791	100.00	25687801	100.00	15183583	100.000	22456780	100.00

km²之间(表 3).

3.2.2 不同数据源湿地面积的对比分析

如前所述,我国最早开展研究的是现在作为湿地的海涂和沼泽.就滨海湿地而言,4种来源的数据中,以国家林业局调查的湿地面积最大,59400 km²,其次为海岸带调查,为23510 km².本次湿地遥感制图的滨海湿地面积为17610 km².最小的是从土地利用制图中提取的滩涂面积,为6400 km².从总量看,国家林业局面积最大,这是由于在其调查规范中的第一大类(近海及海岸湿地)中的前3个小类没有包括在本次制图以及其他调查中,例如浅海水域:低潮时

水深不超过6 m的永久水域,植被盖度<30%,包括海湾和海峡.由于目前采用的单期遥感影像无法确定各个区域潮间带及其水下部分的面积,因此从滨海湿地制图而言,面积小于国家林业局调查的滨海湿地是很自然的.

从沿海各省市滨海海岸带调查面积与本次遥感制图滨海湿地面积的比较(图4)可以看出,差别较大的依次是江苏、浙江、上海、广东和辽宁.重要原因是二者时间相隔近20年,由于滩涂处于经济发达的沿海地带,很多滩涂被开发.例如江苏1949~1998年围海2156 km²,开发2001 km²,垦区数量达169个^[33].现有的2600 km²潮上带中,已围面积为2000多平方

公里; 潮间带面积约 2650 km²^[34]. 据不完全统计, 我国沿海地区累计已丧失滨海滩涂湿地面积约 11900 km², 另因工矿占用湿地约 10000 km², 两项合计相当于沿海湿地总面积的 50%¹⁾.

上海的情况相反. 原因在于本次遥感湿地制图时, 滨海河流三角洲和滨海河口都作为滨海湿地, 而上海处于长江的入海口以及杭州湾, 长江的淤积和人工的圈围在近 20 年中使得滩涂不断增长, 如 1949 年至今上海市从江、海水域共圈围土地约 871 km², 相当于上海市土地总面积的 13.74%^[35].

把本次湿地制图数据与国家林业局调查数据及土地利用遥感分类中相关类型进行对比分析(表 3), 可以看出本次湿地遥感制图统计面积比国家林业局湿地调查数据统计面积少 25377 km², 除了上述滨海湿地在制图中相差的 41790 km²外, 本次遥感制图的库塘等人工湿地面积比国家林业局调查的库塘湿地面积小 20064 km², 而内陆湿地遥感制图面积则比国家林业局调查面积大 36765 km², 原因在于湿地遥感制图精度和国家林业局的调查精度有一定差别. 国家林业局在《全国湿地资源调查与监测技术规程》中, 对河流湿地的调查仅限于河床(枯水河槽)平均宽度 ≥ 10 m, 面积大于 100 ha 的全国主要水系的四级以上

支流, 河流中面积小于 100 ha 的水库(塘)包括在内, 而湖泊和库塘湿地没有给出明确的最小面积指标. 而由于遥感数据空间分辨率等的限制, 本次湿地的遥感制图对于小于 90 m 宽的河流和面积小于 9 ha 的湿地没有包括在内.

土地利用遥感调查从开发利用的角度出发, 根据地表覆盖特征进行分类. 而湿地遥感制图的目的是要获取可能对水生动植物具有栖息地意义的地表覆盖类型. 在一些地物的解译上由于制图目标不同, 分类系统不同而带来的结果存在差异, 结果显示存在非常大的差异. 例如草甸在湿地的遥感制图上判读为湿地, 而在土地利用的遥感调查中被判读为草地. 一些季节性的低洼处的灌草丛被作为湿地划分, 而在土地利用中被视为草地、林地或者裸地. 这些应该是由土地利用相关的类型统计的湿地面积小于湿地遥感制图面积的主要原因. 这个比较说明, 针对湿地的遥感制图和变化监测非常必要. 今后需要建立一套完善的湿地遥感分类系统和制图方法.

根据《中国沼泽志》^[30]中提供的经纬度范围坐标, 把书中的沼泽中心点进行数字化定位成图并与本次遥感湿地进行空间的叠加分析, 结果表明《中国沼泽志》中所列的 396 片沼泽地中, 有 362 片(91.4%)沼

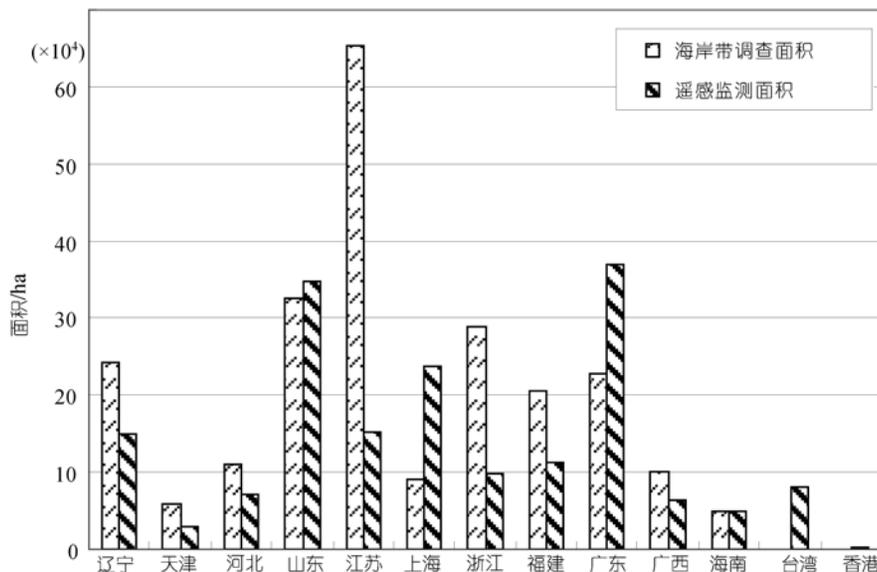


图 4 全国海涂面积与滨海湿地(遥感制图)面积对比

全国海涂面积的数据来源: 全国海岸带和海涂资源综合调查报告, 1991~1994 年中国统计年鉴, 1994 年江苏统计年鉴

1) 国家林业局. 全国湿地保护工程规划(2004~2010). 2003

泽湿地落于或靠近(<10 km)湿地遥感制图范围内. 对这些湿地进行面积提取汇总统计, 对应的湿地制图面积为 280412.57 km². 总体上大于《中国沼泽志》^[30]中记录的面积(82788.01 km²). 主要原因是沼泽与湿地在含义上的区别带来的制图范围的不同. 因为现在湿地的定义所确定的空间范围要大于沼泽. 另外, 《中国沼泽志》^[30]中的湿地面积统计在年份上早于本次遥感制图使用数据, 也是造成不一致性的原因.

3.2.3 不同数据源湿地的空间分布特征

总体趋势上, 本次湿地遥感制图面积能准确客观地反映了湿地的空间分布规律. 由于获取每种数据源的目的和标准不一致, 因此在数量上会存在差异. 为了对湿地生态系统空间分布特征做出分析, 检验其空间分布特征是否受到数据源的影响, 采用了不同数据源各个省市各自的面积与同类数据源总面积的比率. 即: $R_{ij} = (s_{ij}/S_i) \times 100$, 其中 R_{ij} 为第 j 省份与第 i 数据源的比率; s_{ij} 为第 j 省份为第 i 数据源的湿地面积; S_i 为第 i 数据源的湿地总面积; i 分别是本次湿地遥感制图、沼泽湿地和土地利用遥感调查. 3 者都保持较高比率的省份属于湿地分布较多的地区, 3 者差异较大说明了地区内部湿地组成的差异. 对 3 种来

源湿地面积在各个省市间的分布比例进行分析(图 5), 可以发现, 在青海、内蒙古、黑龙江、西藏、新疆、四川和吉林 7 个省区内湿地的分布在 3 种数据来源中都保持了较高的比率, 另外辽宁的比率 3 者也较接近, 说明这些地区不仅湿地面积较大, 而且湿地组成中沼泽湿地占有较大的比重. 但对于安徽、广东、江苏、湖北、湖南、江西和山东等省份, 沼泽湿地比率远小于其余 2 者比率, 说明这些地区的湿地不是以沼泽为主, 自然的沼泽早已被大量开发, 湿地已被转化成其他类型, 如人工库塘、河流和湖泊等. 这些省份也是社会经济活动剧烈的地区. 西藏自治区虽然维持了较高的比率, 但是沼泽湿地比率远低于其余二者, 表明该区湿地除沼泽湿地外, 其余类型也分布较多, 这些类型主要以高原湖泊为主, 而实际上西藏是我国高原湖泊分布最多的地区.

3.3 湿地分布的地形特征

利用全国 1 km 分辨率的高程数据, 以 100 m 进行等间距分割, 然后与全国湿地进行空间的叠加分析(图 6). 可以看出: 湿地主要分布在海拔 <600, 2600~2900, 3100~3700 和 4200~5000 m 的范围内. <100 m 的湿地主要在滨海湿地、三江平原、江西鄱

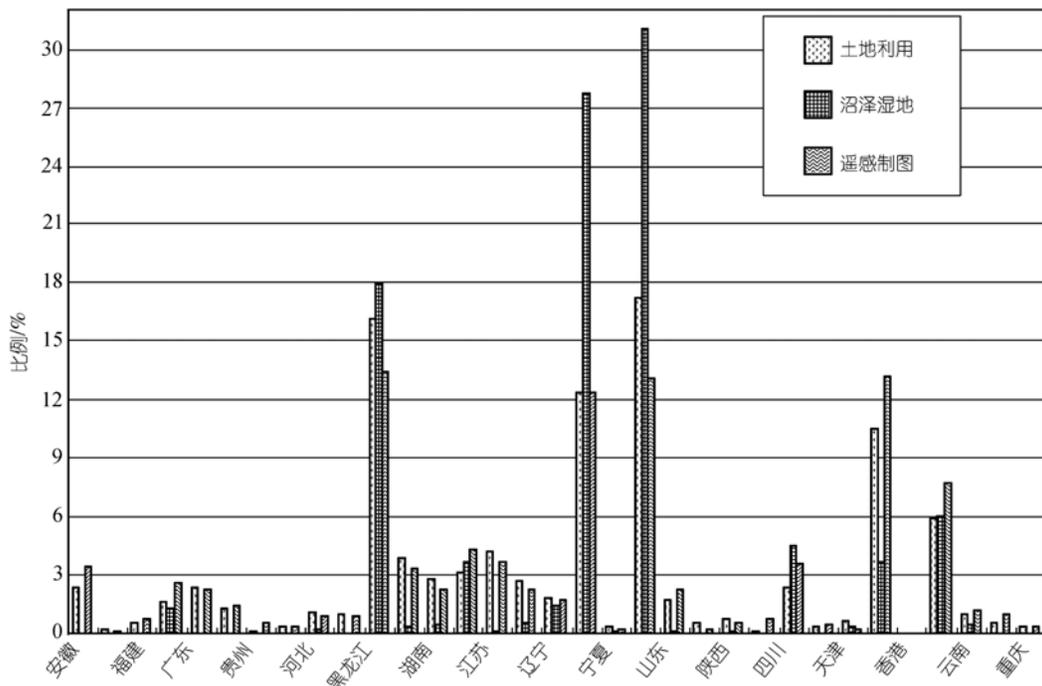


图 5 基于不同数据源的湿地空间分布

阳湖, 湖南洞庭湖以及江苏和安徽的江淮流域. 海拔 <300 m 范围内的湿地受到威胁最多, 1990~2000 年我国沼泽湿地减少 10600 km², 其中 95.75% 属于该海拔范围¹⁾. 我国的沼泽湿地由于作为农用地开垦和泥炭开发, 面积也急剧减少. 三江平原曾是我国最大的平原沼泽集中分布区, 据统计 1975 年三江平原自然沼泽面积为 21700 km², 占平原面积的 32.5%; 1983 年下降到 18300 km², 占平原面积的 27%; 到 1995 年仅剩 10400 km², 仅占平原面积的 16%²⁾. 2600~2900 m 范围内主要包括柴达木盆地南部沼泽等; 3100~3700 m 范围内湿地包括有青海湖湿地, 若尔盖湿地等; 而 4200~5000 m 范围内湿地包括牙哥曲、北麓河流域沼泽湿地等. 2600~5000 m 的湿地主要集中在青海、西藏及四川接壤的地区.

排水不畅是湿地形成的原因之一, 因此湿地分布的地形特征必然是平缓. 利用同样的高程数据作坡度分析, 然后与湿地制图的结果进行叠加, 可以看出(图 7): <1°和<3°的累积湿地面积分别占总面积的

79.72% 和 93.85%, 而 <5°的湿地累积面积已经达到 97.53%. 考虑到高程数据的精度小于湿地制图精度的因素, 实际湿地的坡度还应更集中于 <5°的地形区域内. 而 >8°的面积(占总面积的 0.83%)基本上是由于高程数据源误差所致, 从而可以部分证明湿地制图的可靠性.

3.4 湿地的土壤分布特征及土壤有机碳含量

将本次湿地制图与 1:100 万土壤图^[36]叠加统计并绘图(图 8). 从中可以看出, 除了水体外, 湿地中最多的土壤是半水成土和水成土. 该类型土壤多分布在地形平坦, 地下水位较高的部位, 主要分布在我国三江平原、松嫩平原、黄淮海平原、河套平原和银川平原等地. 由于该类土壤土层深厚, 营养丰富, 最容易开垦为农田, 因此这些湿地被开发利用的程度最高. 高山土多分布于青藏高原的森林郁闭线以上, 土壤发育程度低, 土层薄, 多为高山牧场, 相对该类湿地受到的威胁较小. 盐碱土主要分布在秦岭-淮河-

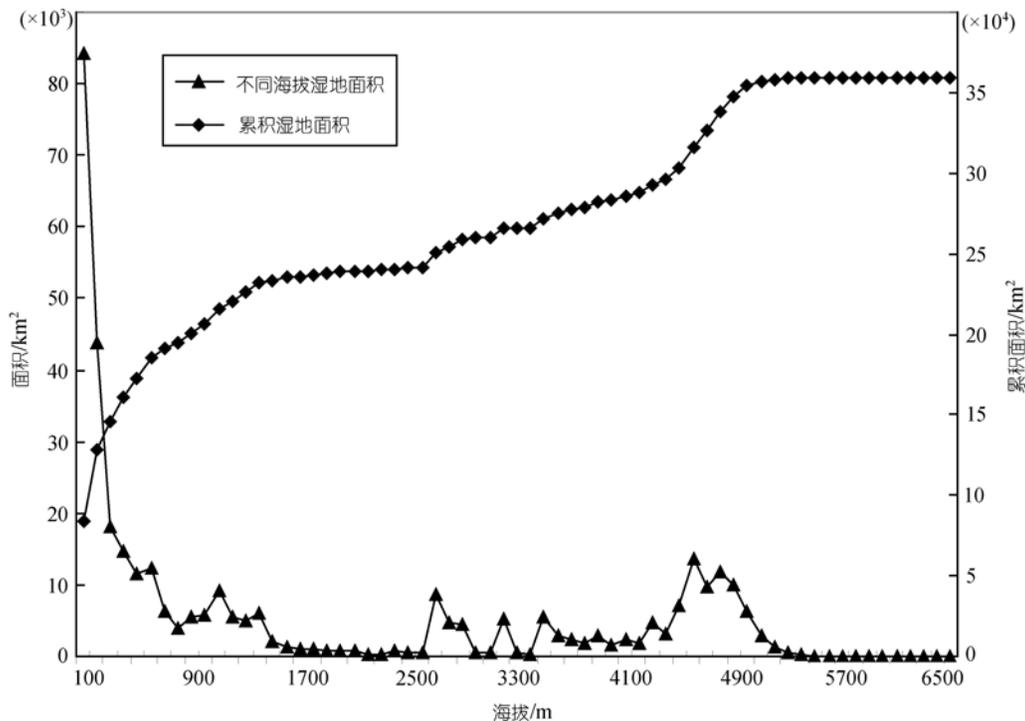


图 6 中国湿地在不同海拔的分布

1) 张树文. 中国沼泽湿地十年动态变化特征. 2000

2) 同 195 页的脚注 1)

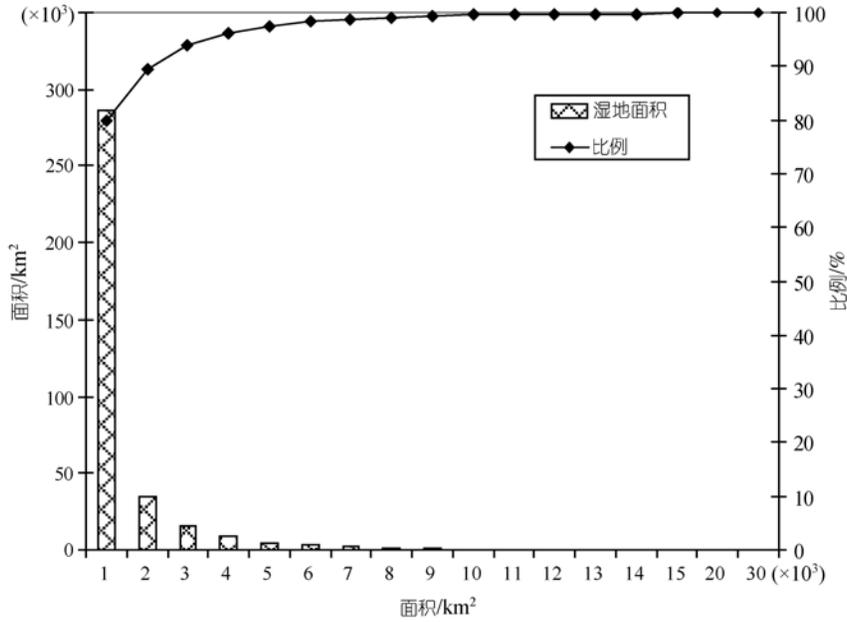


图7 湿地的坡度分布

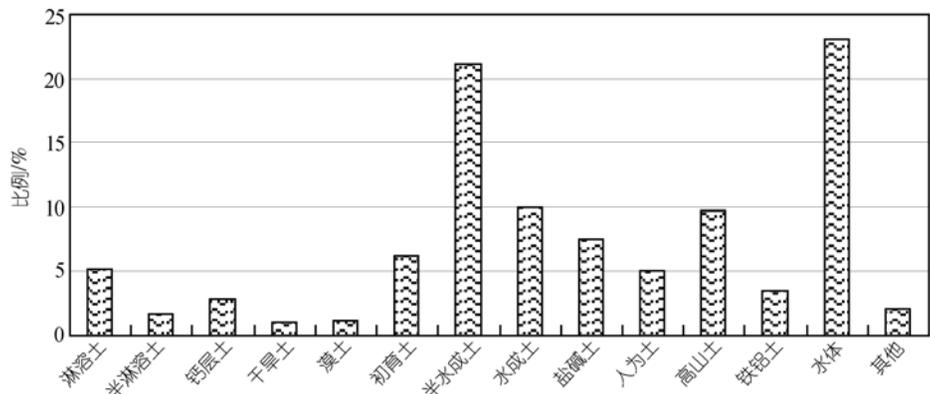


图8 湿地中各类土壤(土纲)所占比例

巴颜喀拉山-唐古拉山-冈底斯山以北地区及滨海地带, 由于土壤水分条件相对较好, 地势低洼, 因此容易被改造为农田从而使湿地受到威胁. 人为土则主要为水稻土, 是湿地被开发为水田长期耕作形成的, 这是湿地减少的主要类型之一. 本次制图将人为土划入湿地, 与 1999 年之后实行的退耕还草、还湖等有关. 初育土是成土年龄短暂、仍保持成土母质(或母岩)性状, 或成土过程缓慢、剖面分异不明显的土壤. 湿地中的初育土主要是风沙土和新积土, 分别占 2.7% 和 1.6%. 风沙土由风成砂性母质发育形成的土壤, 主要分布于我国北方干旱、半干旱地区; 风沙土上的湿地多属于沙漠或者荒漠中的绿洲部分, 它对于遏制荒

漠化, 维持局部生态环境具有决定性作用. 而新积土是由河流流水沉积物或山丘、河谷低处的洪积物和堆积物发育而成, 分布范围十分广泛. 该类型上的湿地多处于 2 类自然生态系统(山地与平原, 河流与陆地等)的过渡地带, 在一定程度上具有缓冲人类影响的作用. 淋溶土中的湿地土壤以暗棕壤为主, 也称暗棕色森林土, 占 2.9%. 发育的湿地是森林湿地为主, 主要分布于我国东北的黑龙江、吉林和内蒙, 属于高山湿地的一种.

土壤存储的碳是生物地球化学循环中的重要因子. 由于长期被淹, 缺乏氧气, 湿地中的有机碳分解缓慢, 因此能够积累较高密度的有机碳. 湿地土壤中

的有机碳平衡及其变化对于地球生态系统碳循环和碳平衡具有重要意义. 地球上表层土壤的有机碳大约是植被或者大气中碳的 2 倍^[37]. 中国 1996 年就有对土壤有机碳的研究报道. 但由于土壤有机碳很容易受土地利用等土地管理方式而发生变化, 同时由于各种计算方法和数据源等的不同, 对土壤有机碳密度和碳总量的计算结果有比较大的差异^[38]. Yu 等^[39]依据中国 1:100 万土壤数据库(目前国家层面上最为详尽的数据库)对中国土壤有机碳(表层 1 m 深度)的分布进行了计算. 然后利用通过对空间分辨率为 500 m 的 MODIS 数据分类所得中国湿地分布结果^[40], 得到我国湿地土壤有机碳的总量为 12.20 Pg (1 Pg=10¹⁵ g), 同时计算了依据美国土壤分类系统(ST, soil taxonomy)的中国土壤有机碳的密度. 根据本次湿地遥感制图结果与 1:100 万土壤数据叠加, 除去城区、水面、冰川、岩石、珊瑚礁岛屿和盐壳等非土壤部分, 得到的湿地土壤面积为 244669 km². Shi 等^[41]对中国土壤发生分类系统(GSCC, genetic soil classification of China)与美国土壤分类系统(ST)在土纲一级之间的转换关系进行了计算, 本文依据其结果和 Yu 等^[39]计算的中国土壤有机碳的密度, 对湿地土壤的有机碳总量进行计算, 结果为 3.67 Pg. 前者湿地数据来源于对 MODIS 数据的土地利用分类, 数据源空间分辨率的差异和前文所述的分类目的等的不同是导致计算结果差异的主要原因.

3.5 湿地分布的气候特征

中国科学院和中国气象局编制的全国气候区划, 以热量指标(日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 稳定期积温)作为一级区划指标, 以年干燥度 $K=E/r$ (这里 E 为年最大可能蒸发量, r 为年降水量)为二级指标, 用季干燥度作为三级区划指标, 把全国划分为 9 个气候带 1 个高原区, 9 个气候带又划分为 18 个气候大区 36 个气候区, 高原气候区划分为 4 个气候大区 9 个气候区. 利用上述数据和本文湿地遥感制图进行叠加, 分析湿地分布的气候特征.

可以看出(图 9)我国湿地主要分布在中温带和高寒气候区, 与这 2 个气候区在我国的分布面积相一致. 但是在南温带、北亚热带和中亚热带的趋势却相反, 南温带主要区域是淮河以北的华北平原及其以西的

太行山和关中地区、塔里木盆地及其以东地区, 这些区域都是湿地分布较少的地区. 而我国的 2 大淡水湖湿地(鄱阳湖和洞庭湖)及其苏南和长江三角洲这些湿地分布较多的区域属于北亚热带. 而中亚热带分布的江南南岭、川贵和滇北等区域的地形特征不利于湿地的形成.

从以年干燥度为指标划分的气候区划看(表 4), 我国湿地的分布与气候区划二级区的面积分布趋势基本一致, 即主要分布在湿润区, 占了全国湿地的 35.53%, 干旱区国土面积虽然较大, 但是由于蒸发旺盛, 导致湿地比例低于其国土面积所占比例. 总体上湿地分布与年干燥度关系比其与年积温的关系更为密切.

表 4 不同气候区湿地面积及比例

气候大区	湿地面积/km ²	湿地比例/%	占国土面积比例/%
湿润区	12720534.0	35.53	35.96
半湿润区	7852581.7	21.93	17.11
半干旱区	7325650.1	20.46	18.54
干旱区	7904918.1	22.08	28.39

3.6 湿地的植被分布

由侯学煜^[42]主编的《1:1 000 000 中国植被图集》详细反映了我国 11 个植被类型组、54 个植被型的 796 个群系和亚群系植被单位的分布状况、水平地带性和垂直地带性分布规律, 同时反映了我国 2000 多个植物优势种、主要农作物和经济作物的实际分布状况. 将其数字化形成矢量地图. 然后把湿地制图结果与 1:100 万中国植被图叠加分析, 可以看出(图 10), 除水体(占 17.23%)外, 湿地的植被以草甸、草原和栽培植被等植被类型组为主, 分别占湿地面积的 23.95%, 11.18% 和 22.39%. 草甸主要分布在青海、西藏、新疆、东北三江平原、若尔盖地区及洞庭湖平原; 草原类型组的湿地则主要分布在内蒙东部、青海与西藏地区. 栽培作物主要分布在东北平原、成都平原、长江中下游平原、珠江三角洲和辽河三角洲地区. 其主要原因与不同比例尺数据的精度有关(1:10 万湿地遥感制图和 1:100 万植被类型图). 在上述地理区域内由于人为开发的影响, 湿地多被零散地分割为细碎的斑块. 而这些斑块虽然在本次遥感制图中得到反映, 但是被概括到 1:100 万比例尺的尺度上时, 多数被省略.

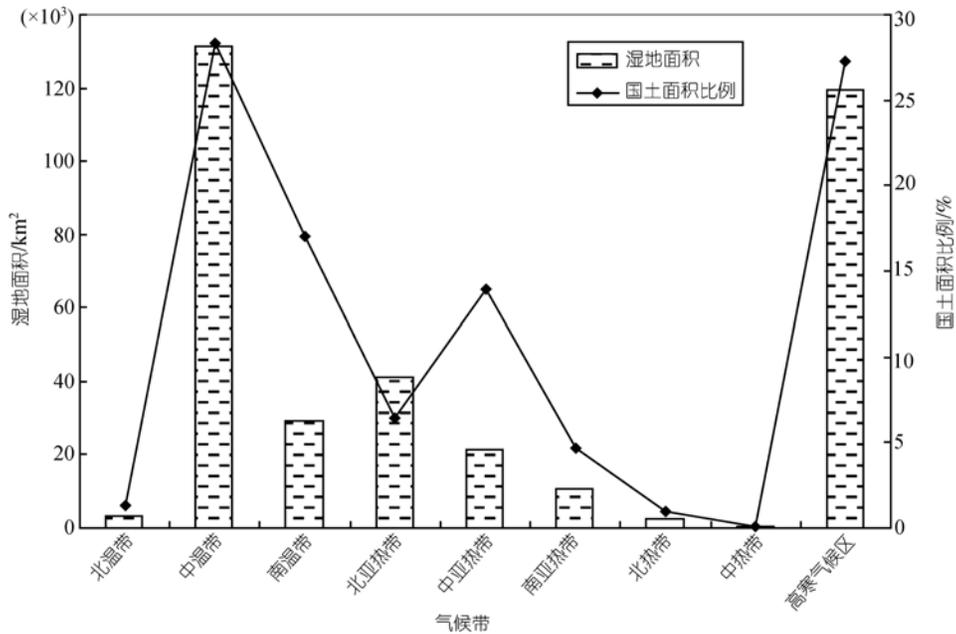


图 9 不同气候带湿地面积及国土面积比例

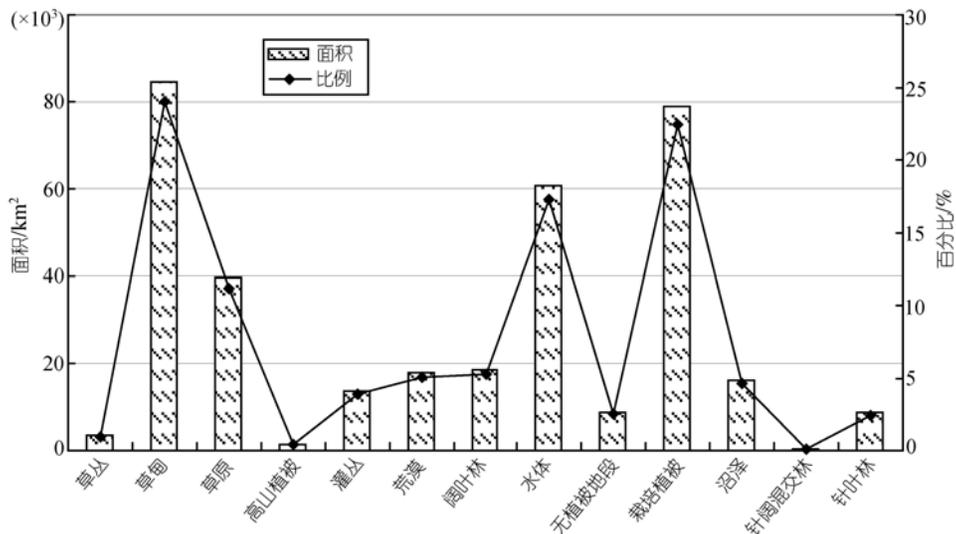


图 10 中国湿地的植被分布

由此当 2 个数据进行空间分析时会出现大比例的栽培作物类型. 另外当然也存在湿地被开垦为农田这方面的原因. 传统的沼泽植被的湿地仅占湿地面积的 4.59%, 主要分布在东北和若尔盖地区, 另外在新疆也有部分分布.

4 讨论

(1) 虽然我国开展湿地研究多年, 但是目前还没

有一个全面按照《湿地公约》定义进行的详细湿地分布制图及数据库. 例如就海涂面积而言, 就存在不同的数据. 即使经过海岸带和海涂资源调查(1981~1985年), 对于海涂资源较为准确的地理分布还是不准确的. 由于沼泽湿地只是作为湿地的一种类型, 仅仅反映了我国湿地环境状况的部分状况. 国家林业局花 5 a 多时间, 对我国湿地资源的家底提供了较可靠的数据. 但是, 至今尚未完成湿地的空间分布制图. 我国

的土地利用遥感调查是在国家层面较为可靠的地表覆盖数据成果。但是, 由于出发点不同, 导致由此提取出的我国湿地面积远少于其他调查面积。综合看来, 本次湿地初步遥感制图得到了到目前为止在国家层面上一致性最强的湿地空间分布数据库。但是, 本次湿地遥感制图旨在确定湿地的地理分布范围。表 1 中的湿地类型的具体分布边界不是此次初步遥感制图的目的。下一步研究工作将着重解决这一问题。

(2) 空间信息技术应用于湿地制图, 较传统的调查具有相对客观、经济和快速的优势。随着遥感技术的发展和遥感数据源的不断增多, 特别是我国资源卫星和北京一号小卫星数据接收与处理能量的增强, 可以较大提高我国对湿地动态监测的能力。湿地作为水陆过渡带的生态系统, 其土壤、水文和植被是构成系统的 3 个组成部分, 湿地的遥感监测可以针对不同的组成部分分别开展。这将是今后大范围湿地遥感进一步的工作任务。从湿地面积监测而言, 湿地的水文特征可以作为主要的监测指标, 同时可以结合其他相关地理特征, 如地形地貌等。

(3) 湿地的面积监测与其定义密切相关, 湿地公约中关于湿地的定义过于广泛。不仅不适合于湿地的保护行动, 而且对湿地监测而言, 也需要进一步修改对湿地定义的范围和类型。本文的湿地制图结果就是在其基础上进行了部分修改而得到的初步结果。例如对滨海湿地中的浅海水域, 定义为低潮时水深 6 m 以内的水域, 包括海湾和海峡。这种类型的湿地在遥感制图时不具备可行性, 因此没有列入在内。因为它们需要依据海底地形和海面变化资料确定低潮位

界限。湿地公约中其他更为细致的分类, 如把湖泊湿地分为时令湖、盐湖、内陆盐湖和湖泊等, 则需要更加频繁的遥感数据和地面资料相结合才有可能实现。由于使用的遥感数据有限, 本次湿地遥感制图将这些类型都归并为湖泊湿地一类。显然, 本次全国范围的湿地初步遥感制图, 仅仅是第一步。

(4) 综合与目前各种相关湿地研究成果的对比分析, 本次湿地遥感制图在整体上基本反映了我国湿地的分布状况。不论与土地利用制图结果还是沼泽制图以及《中国沼泽志》^[30]关于主要沼泽的位置对比, 本次制图与前人的努力有较高的一致性。但是, 由于我国国土面积辽阔, 加之天气等原因, 获取相对集中时间范围内全国的遥感影像十分困难。加上湿地实际制图时间和图像获取时间的 5~8 a 的时间滞后性, 以及经费限制的经济原因, 本次制图没能开展野外验证。但是针对重点地区, 咨询相关部门与专家, 对结果进行了核对与修正。对过去湿地的制图, 无法得到准确的实地验证结果, 但是如果经费允许, 可以购买同期更高分辨率的图像(如航空摄影资料)进行辅助验证。野外实地验证可以寻访当地居民, 根据回忆提高验证精度。在对现在或未来的湿地遥感工作中, 则必须开展野外实地验证工作。

(5) 由于湿地系统的复杂性, 针对湿地的遥感监测, 今后要做大量的研究工作。如建立适合遥感监测的湿地定量评估指标体系, 更详细的湿地类型制图, 湿地变化监测技术, 湿地生物量估算方法, 不同遥感数据源湿地监测适宜性分析与评价以及湿地遥感数据库建设等, 都是值得深入研究和实践的湿地遥感内容。

致谢 中国科学院东北地理与农业生态研究所赵魁义、周德民、张树清和张树文以及多伦多大学陈镜明等老师对本研究提出指导意见; 国家林业局湿地资源监测中心张明祥、中国科学院地理科学与资源研究所王绍强、南京大学国际地球系统科学研究所居为民、江西省山江湖综合治理委员会办公室、江西师范大学鄱阳湖生态环境与资源研究教育部重点实验室和青海省湿地办公室提供资料; 审稿人提出建设性的修改建议; 在此一并致谢。

参考文献

- 1 Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands. New York: John Wiley & Sons, 1993

- 2 Brinson M M, Malvarez A I. Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environ Conserv*, 2002, 29(2): 115—133
- 3 Dahl T E. Wetlands Losses in the United States 1780's to 1980's. Washington D C: US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1990
- 4 Davidson N C, Laffoley D, Doody J P, et al. Nature Conservation and Estuaries in Great Britain. Peterborough: Nature Conservancy Council, 1991
- 5 侯伟, 匡文慧, 张树文, 等. 近 50 年来三江平原北部土地利用/土地覆被变化及生态效应分析. *生态环境*, 2006, 15(4): 752—756
- 6 Johnson R M, Barson M M. Remote-sensing of Australian wetlands——an evaluation of Landsat TM data for inventory and classification. *Aust J Mar Freshw Res*, 1993, 44(2): 235—252^[DOI]
- 7 Toyra J, Pietroniro A. Towards operational monitoring of a northern wetland using geomatics-based techniques. *Remote Sens Environ*, 1997, (2): 174—191
- 8 Wright C, Gallant A. Improved wetland remote sensing in Yellowstone National Park using classification trees to combine TM imagery and ancillary environmental data. *Remote Sens Environ*, 2007, 107(4): 582—605^[DOI]
- 9 刘红玉, 吕宪国. 三江平原湿地景观生态制图分类系统研究. *地理科学*, 1999, 19: 432—436
- 10 张柏. 遥感技术在中国湿地研究中的应用. *遥感技术与应用*, 1996, 11: 68—711
- 11 Wilen B O, Bates M K. The US-fish-and-wildlife services national wetland inventory project. *Vegetatio*, 1995, 118(1-2): 153—169
- 12 张树清. 中国湿地科学数据库简介. *地理科学*, 2002, (2): 189
- 13 雷昆, 张明祥. 中国的湿地资源及其保护建议. *湿地科学*, 2005, 3(2): 81—86
- 14 国家林业局《湿地公约》履约办公室. 湿地公约履约指南. 北京: 中国林业出版社, 2001
- 15 Cowardin L M, Carter V, Golet F C, et al. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. US Fish and Wildlife Service. FWS/OBS 79/31, 1979
- 16 Cowardin L M, Golet F C. US-Fish-and-Wildlife-Service 1979 wetland classification——a review. *Plant Ecol*, 1995, 118(1-2): 139—152^[DOI]
- 17 Scott D A, Jones T A. Classification and inventory of wetlands: a global overview. *Vegetatio*, 1995, 118: 3—16^[DOI]
- 18 Kwi-Gon, Mi-Young Park, Hee-Sun Choi. Developing a wetland-type classification system in the Republic of Korea. *Landsc Ecol Eng*, 2006, 2: 93—110^[DOI]
- 19 Pressey R L, Adam R. A review of wetland inventory and classification in Australia. *Vegetatio*, 1995, 118: 81—101^[DOI]
- 20 Shaw S P, Fredine C G. Wetlands of the United States Their Extent, and Their Value for Waterfowl and Other Wildlife. Washington D C: U.S. Department of Interior. Fish and Wildlife Service, circular 39, 1956. 67
- 21 Gopal B, Sah M. Inventory and classification of wetlands in India. *Vegetatio*, 1995, 118: 39—48^[DOI]
- 22 刘厚田. 湿地的定义和类型划分. *生态学杂志*, 1995, 14: 73—77
- 23 Canada National Wetlands Working Group. The Canadian Wetland Classification System. 2nd ed. In: Warner B G, Rubec C D A, eds. Wetlands Research Centre. Ontario: University of Waterloo, 1997
- 24 刘子刚, 马学慧. 湿地的分类. *湿地科学与管理*, 2006, 2: 60—63
- 25 倪晋仁, 殷康前, 赵智杰. 湿地综合分类研究: I 分类. *自然资源学报*, 1998, 13(3): 214—221
- 26 唐小平, 黄桂林. 中国湿地分类系统的研究. *林业科学研究*, 2003, 16: 531—539
- 27 陈建伟, 黄桂林. 中国湿地分类系统及其划分指标的探讨. *林业资源管理*, 1995, (5): 65—71
- 28 Ozesmi S L, Bauer M. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecol Manage*, 2002, 10: 381—402
- 29 杨宝国, 王颖, 朱大奎. 中国的海洋海涂资源. *自然资源学报*, 1997, 12(4): 307—316
- 30 赵魁义. 中国沼泽志. 北京: 科学出版社, 1999
- 31 陆健健. 中国湿地. 上海: 华东师范大学出版社, 1990
- 32 Lu J J. Ecological significance and classification of Chinese wetlands. *Vegetatio*, 1995, 118: 49—56
- 33 陈君, 陆丽云. 江苏沿海滩涂后备土地资源的开发研究. *海洋科学*, 2001, 25(10): 23—25
- 34 刘友兆, 吴春林, 马欣. 江苏滩涂资源开发利用研究. *中国农业资源与区划*, 2004, 25(3): 6—9
- 35 陈基炜, 梅安新, 袁江红. 从海岸滩涂变迁看上海滩涂土地资源的利用. *上海地质*, 2005, (9): 18—21
- 36 Shi X Z, Yu D S, Warner E D, et al. A framework for the 1:1,000,000 soil database of China. In: Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science, Bangkok. International Union of Soil Sciences, 2002
- 37 International Panel on Climate Change. Land-use, land-use change, and forestry. In: Watson R T, Noble I R, Bolin B, et al, eds.

Land-use, Land-use Change, and Forestry, A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 1—51

- 38 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算. 地理研究, 1999, 18(4): 349—356
- 39 Yu D S, Shi X Z, Wang H J, et al. Regional patterns of soil organic carbon stocks in China. J Environ Manage, 2007, 85: 680—689 [DOI](#)
- 40 Liu Y H, Niu Z. Regional land cover image classification and accuracy evaluation using MODIS data. Remote Sens Technol Appl, 2004, (25): 217—224
- 41 Shi X Z, Yu D S, Warner E D. Cross-Reference System for translating between genetic soil classification of China and soil taxonomy. Soil Sci Soc Am J, 2006, 70: 78—83 [DOI](#)
- 42 侯学煜. 1:1000000 中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001