

地形因子对三江平原土地利用/覆被变化的影响研究

王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 张柏, 李方, 张树清, 张春华, 杨婷

(中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012)

摘要: 在遥感和地理信息系统技术支持下, 分析了 1954—2005 年海拔高度和坡度因素对三江平原土地利用/覆被变化过程的影响。结果表明, 过去近 50 a, 三江平原土地利用/覆被变化剧烈, 其中耕地增加了 2.25 倍。与耕地面积急剧增加相对应的是湿地、林地和草地的大幅度减少。各土地利用类型的动态变化在不同海拔高度的地表区域有不同的表现, 其中耕地的增加主要发生在海拔 200 m 以下的地貌部位, 尤其是海拔 100 m 以下的地貌部位; 湿地面积的减少也主要发生在海拔 200 m 以下的地貌部位, 其中大部分发生在海拔 100 m 以下的地表单元。林地与草地在各个海拔高度区间的变化趋势呈波动状态。城乡工矿用地在各个海拔高度区间都有一定的变化, 其中海拔 200 m 以下变化尤为明显。三江平原耕地面积在各个坡度级别上均呈增长趋势, 在坡度小于 1 的地貌部位增加最多。坡度大于 10 时, 耕地面积的增长比例非常小。林地、草地和湿地的变化均主要发生在坡度小于 1 的地貌部位。水域、城乡工矿用地的变化主要发生在坡度较小的地貌部位。

关键词: 土地利用/覆被变化; 遥感; 海拔高度; 坡度; 三江平原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)06-0010-06

中图分类号: F301.24

Impacts of Topographic Features on Landuse/ Cover Change in Sanjiang Plain

WANG Zong-ming, SONG Kai-shan, LIU Dian-wei, ZHANG Bai,

LI Fang, ZHANG Shu-qing, ZHANG Chur-hua, YANG Ting

(Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract: Based on remote sensing and geographic information system technologies, the effects of altitude and slope factors on the process of land use/ cover changes in Sanjiang Plain during 1954—2005 were studied. Results showed that during the past five decades, landuse in Sanjiang Plain changed substantially and cropland increased by 2.25 times. In contrast, wetland, woodland, and grassland decreased considerably. Changes of land use types have different features in altitude classes. Cropland increased mainly at the locations below 200 m, especially at locations below 100 m. Wetland decreased mainly in the same way as cropland in terms of altitude. Woodland and grassland showed a fluctuant changing trend in all altitude classes during different periods. Built-up land changed in all altitude classes, but mainly happened below 200 m. For slope degree, cropland increased at all slope classes and increased mainly at locations below 1°. The area of cropland had a relatively small increase at locations above 10°. Changes of woodland, grassland, and wetland mainly happened on > 1° slope degree class. Water body and built-up land also changed mainly at sites with small slope gradients.

Keywords: land use/ cover change; remote sensing; altitude; slope; Sanjiang Plain

随着全球变化研究的深入开展, 土地利用/覆被变化成为目前全球环境变化研究的热点和前沿问题^[1]。分析土地利用变化的时空过程与主要影响因素, 有助于深入了解引起土地利用变化的驱动机制, 为区域土地管理决策提供有价值的科学依据^[2-5]。

作为我国重要的粮食生产基地和淡水湿地集中分布区, 我国东北三江平原对于保障国家粮食安全和区域生态安全具有举足轻重的地位。在过去的 50 a 内, 区域土地利用/覆被发生了剧烈变化, 产生了一系列环境问题。研究长时间序列内三江平原土地利用/覆

收稿日期: 2008-04-09

修回日期: 2008-08-18

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目课题(2009CB421103); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-356)

作者简介: 王宗明(1976—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 副研究员, 从事生态遥感信息与全球变化的区域响应研究。E-mail: zongmingwang@neigae.ac.cn。

通信作者: 宋开山(1974—), 男(汉族), 吉林省靖宇市人, 博士, 副研究员, 主要从事定量遥感研究。E-mail: songks@neigae.ac.cn。

被变化过程及其主要的驱动机制,对于区域土地资源保护、管理与可持续利用具有重要的借鉴意义。相关学者针对三江平原沼泽湿地景观变化、土地利用/覆被变化及其生态效应等方面已开展了大量的研究工作^[6-13],但是尚缺乏对于区域土地/利用覆被变化过程中自然因素影响的研究。地形条件是构成土地的重要基础,地表起伏状况、坡度和坡向影响农、林、牧业用地的分布、作物种植、旱涝和水土流失状况,制约土地资源利用的方式及其难易程度。因此,研究地形要素对区域土地利用/覆被变化过程的影响对于区域土地利用规划具有重要意义。本文通过集成遥感与GIS技术,综合应用地形图和遥感影像数据,研究过去50 a地形要素对三江平原土地利用/覆被变化过程的影响,以期为区域土地资源合理利用、生态环境保护提供决策支持与科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

三江平原位于黑龙江省的东北部,总面积 $1.089 \times 10^5 \text{ km}^2$,占黑龙江省土地总面积的22.6%。是由黑龙江、松花江、乌苏里江冲积形成的低平原,地理坐标为北纬 $45^{\circ}01'05''$ — $48^{\circ}27'56''$,东经 $130^{\circ}13'1''$ — $135^{\circ}05'26''$ 。该区西南高东北低,广阔的冲积低平原和河流形成的阶地、河漫滩上广泛发育着沼泽和沼泽化草甸。该区气候为温带湿润、半湿润大陆性季风气候,1月平均气温低于 -18°C ,7月平均气温 $21^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$,年降水量 $500 \sim 650 \text{ mm}$ 。该区河流大多具有平原沼泽性河流的特点,纵比降小,河槽弯曲系数大,一般在 $1.5 \sim 3.0$ 之间。植被种类属于长白植物区系,土壤以暗棕壤、黑土、白浆土、草甸土和沼泽土为主。

1.2 数据获取与分析方法

1.2.1 数据来源 土地利用/覆被数据获取流程如下:将1:100 000地形图扫描输入计算机,进行投影处理。以1:100 000地形图作为主控数据源,将2000年Landsat TM (ETM)数据与1:100 000地形图进行配准。在GIS环境下,根据不同土地覆盖类型的影像色调、纹理等特征,建立相应的遥感解译标志,进行人机交互式判读,进行查错修改和拼接,得到2000年土地利用/覆被数据。将1976年Landsat MSS影像,1986年Landsat TM影像,2005年CBERS影像分别与2000年遥感影像进行纠正,平均位置误差控制在两个像元以内。在GIS软件ArcView环境中,提取各土地利用类型发生变化的动态图斑,获得不同时段土地利用动态数据。同时,通过处理得到1976年,1986年,1995年和2005年的土地利用/覆被现状数据。1954年土地利

用/覆被数据的提取以1954年的全要素1:100 000地形图作为数据源,采用直接通过地形图图例判读的方法,进行土地利用数据矢量化获取,方法见文献^[14-16]。数据处理平台为ENVI 4.0, ArcView 3.2和ArcGIS 9.0。根据研究区的特点和分析精度要求,参照《GB/T21010—2007土地利用现状分类》^[17]和《20世纪90年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究》^[18],将研究区土地利用类型进行归并处理,共分为7种类型进行统计分析。这7种类型分别为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿用地、未利用地和湿地。其中,湿地包括沼泽地和滩地等天然湿地,不包括人工湿地。耕地包括旱地和水田。在应用地形图和遥感影像提取土地利用信息的过程中,应用了不同时期各种来源的与土地利用相关的图件数据(如不同时期的地形图、三江平原植被图、土地利用规划图、沼泽分布图、中低产田分布图等)作为辅助参考数据,以提高解译精度。1986, 1995和2000年土地利用/覆被矢量数据来自中国科学院资源环境科学数据中心沼泽湿地与东北数据分中心,已得到广泛的验证和应用。2005年土地利用/覆被矢量数据经2005年7—8月和2006年7—8月进行野外调查、考察、验证,验证结果表明,各土地利用类型的解译精度在83%~90%之间。

1.2.2 数据分析方法 在地理信息系统软件ArcGIS 9.0环境的GRID模块中,将由1:100 000地形图提取的等高线与高程点数据生成TIN,然后再由LATTICE命令生成DEM,其格网大小设置为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$,对数字高程模型DEM进行分级,并输出为矢量文件,将数字高程矢量文件与各时期土地利用数据进行Tabulate Areas运算,得到各时期不同海拔高度区间内各土地利用类型的面积,进而得到不同时段内各海拔高度区间各土地利用类型的变化面积。通过ArcGIS SLOPE命令由DEM产生坡度数据,与土地利用数据进行叠加,得到不同坡度范围各土地利用类型的面积以及不同时段内不同坡度范围内各土地利用类型的变化面积,数据处理流程同上。在获取以上数据的基础上,分析地形要素对区域土地利用/覆被变化的影响。

2 过去50 a三江平原土地利用/覆被变化过程分析

过去50 a三江平原不同时期各土地利用/覆被类型的面积及占研究区比例见表1。各时段(1954—1976, 1976—1986, 1986—1996, 1996—2000, 2000—2005)不同土地利用类型的变化量和年变化率见表2。不同时期三江平原土地利用/覆被空间格局见附图1。

表 1 三江平原各土地利用/覆被类型面积变化(1954—2005)

土地利用类型		耕地	林地	草地	水域	城乡工矿用地	未利用地	湿地
1954	面积/ hm ²	1 713 382	4 111 555	996 478	310 019	46 484	227 696	3 525 887
	比例/ %	15.91	38.18	9.13	2.88	0.43	2.11	32.74
1976	面积/ hm ²	3 586 682	3 598 897	833 437	320 074	173 964	2 612	2 230 633
	比例/ %	32.88	32.99	7.74	2.93	1.59	0.02	20.45
1986	面积/ hm ²	4 524 880	3 728 141	747 993	278 107	213 226	1 305	1 389 296
	比例/ %	41.58	34.26	6.87	2.56	1.96	0.01	12.77
1995	面积/ hm ²	4 940 456	3 851 080	410 799	282 445	222 652	2 109	1 173 407
	比例/ %	45.40	35.39	3.77	2.60	2.05	0.02	10.78
2000	面积/ hm ²	5 240 891	3 604 376	420 625	282 199	222 359	1 433	1 122 066
	比例/ %	48.16	33.12	3.86	2.59	2.01	0.01	10.31
2005	面积/ hm ²	5 568 845	3 442 328	419 992	280 201	211 433	1 433	958 716
	比例/ %	51.17	31.63	3.86	2.57	1.94	0.01	8.81

表 2 不同时段内三江平原各土地利用/覆被类型变化特征(1954—2005)

土地利用类型		耕地	林地	草地	水域	城乡工矿用地	未利用地	湿地
1954—1976	变化总量/ hm ²	1 873 300	- 512 657	- 163 041	10 055	127 480	- 225 084	- 1 295 254
	年变化量/ hm ²	85 150	- 23 303	- 7 411	457	5 795	- 10 231	- 58 875
	年变化率/ %	4.97	- 0.57	- 0.89	0.15	12.47	- 4.49	- 1.67
1976—1986	变化总量/ hm ²	938 198	129 244	- 98 485	- 41 967	39 262	- 1 307	- 841 337
	年变化量/ hm ²	93 820	12 924	- 9 849	- 4 197	3 926	- 131	- 84 134
	年变化率/ %	2.62	0.36	- 1.49	- 1.31	2.26	- 5.01	- 3.77
1986—1995	变化总量/ hm ²	415 576	122 939	- 337 194	4 338	9 427	805	- 215 890
	年变化量/ hm ²	46 175	13 660	- 37 466	482	1 047	89	- 23 988
	年变化率/ %	1.02	0.37	- 5.01	0.17	0.49	6.86	- 1.73
1995—2000	变化总量/ hm ²	300 436	- 246 704	9 825	- 246	- 294	- 676	- 51 341
	年变化量/ hm ²	60 087	- 49 341	1 965	- 49	- 59	- 135	- 10 268
	年变化率/ %	1.22	- 1.28	0.48	- 0.02	- 0.11	- 6.41	- 0.88
2000—2005	变化总量/ hm ²	432 755	- 150 413	- 139 847	- 2 223	6 399	373	- 148 824
	年变化量/ hm ²	86 551	- 30 083	- 27 969	- 445	1 280	75	- 29 765
	年变化率/ %	1.55	- 0.87	- 6.66	- 0.16	0.61	5.2	- 3.1

表 1 和表 2 的分析结果表明,从 1954 到 1976 年,三江平原土地利用/覆被变化显著。1954 年三江平原耕地面积为 1 713 382 hm²,占土地总面积的 15.91%;至 1976 年,耕地面积增加到 3 586 682 hm²,为三江平原总面积的 32.88%。在此期间,林地共计减少了 512 657 hm²,平均每年减少 23 303 hm²;草地面积减少 163 041 hm²,平均每年减少 7 411 hm²。水域的面积变化相对较小,面积的增加主要是水库修建以及水渠建设引起的。城乡工矿用地变化显著,由 1954 年的 46 484 hm² 扩展到 1976 年的 173 964 hm²,净增加了 127 480 hm²。在 1954—1976 年的 20 a 余间,三江平原湿地面积发生了重大变化,由最初的 3 525 887 hm² 迅速减少到 2 230 633 hm²,共计减少了 1 295 254 hm²,平均每年减少 58

875 hm²。1976—1986 年期间,三江平原土地利用/覆被变化依然非常显著(表 2)。总体表现为耕地持续增加,十年间净增加了 938 198 hm²。在此期间,草地、湿地面积净减少面积分别为 98 485 hm² 和 841 337 hm²。水域面积与未利用地面积持续降低,各类城乡建设用地涨幅依然较大。林地在 1976—1986 年间面积有所增加,面积比重也由 32.99% 增加到 34.26%,共计增加 129 244 hm²。

1986—1995 年期间,三江平原耕地持续增长,共计增长了 415 576 hm²,平均每年增长 46 175 hm²。与其对应的是湿地和草地大规模减少,湿地由 1 389 296 hm² 递减到 1 173 407 hm²,面积百分比由 12.77% 下降到 10.78%,共计减少 215 890 hm²。草地面积持续减少,由 747 993 hm² 迅速减少到了

410 799 hm², 面积比重也由 6.87% 降低为 3.77%。水域面积变化较小, 未利用地面积总体变化不大, 林地依然保持增加趋势。1995—2000 年期间, 三江平原耕地的增幅仍比较大, 面积百分比由 45.40% 增加到 48.16%, 共计增长了 300 436 hm²。同期对应的是湿地和林地大规模减少, 面积百分比进一步下降到 10.31%, 共计减少 51 341 hm²。与前两个时期形成鲜明对比的是, 林地面积开始迅速下降, 面积百分比也由 35.39% 迅速下降到 33.12%, 在短短 5 a 时间里总计减少 246 704 hm², 年平均减少 49 341 hm², 动态变化率为 -1.28%。草地面积略有增加, 总计增加了 9 825 hm²。水域面积变化较小, 未利用地总体面积变化不大。在 2000—2005 年期间, 三江平原耕地增幅仍较大, 面积百分比由 48.16% 增加到 51.17%, 共计增长了 432 755 hm²。同期对应的是湿地和林地大规模减少, 湿地由 958 716 hm² 递减到 809 891 hm², 减少了 148 824 hm², 动态变化率高达 -3.1%。林地面积进一步下降, 由 3 442 328 hm² 下降到 3 291 915 hm², 在短短 5 a 时间里总计减少 150 413 hm²。草地面积在此期间大幅度减少, 动态变化率为 6.66%。居民与建设用地的面积有所增加, 在 5 a 期间共计增加 6 399 hm², 平均每年增加 1 280 hm²。

3 海拔高度对区域土地利用变化的影响

图 1 为 1954—1976, 1976—1986, 1986—1995, 1995—2000 和 2000—2005 年期间不同海拔高度区间各土地利用类型的变化量与变化方向。可以看出, 1954—1976 年期间, 各种土地利用类型的变化主要发生在海拔 100 m 以下, 而且耕地、草地、水域、城乡工矿用地在此地貌部位呈增长趋势, 其中草地面积的增加主要是由湿地转化而来。林地、未利用地、湿地则处于

减少趋势, 尤其是湿地和未利用地减少面积较大, 随着高程的增加, 林地减少的比例在缩小。城乡工矿用地在海拔 500 m 以下的地貌部位均有所增加, 但是主要在海拔 200 m 以下的地貌部位增加明显。1976—1986 年期间, 各种土地利用类型的变化主要发生在海拔 200 m 以下, 耕地、林地、城乡工矿用地在海拔 100 m 以下地貌部位呈增长趋势。草地、水域、湿地在 0—100 m 海拔区间处于减少趋势, 尤其是湿地面积减少较多。草地在不同海拔高度都呈减少趋势, 但是主要在海拔 300 m 以下的地貌部位减少明显。1986—1995 年期间, 各种土地利用类型的变化主要发生在海拔 100 m 以下, 而且耕地、林地、城乡工矿用地在此地貌部位呈增长趋势, 而草地、湿地则处于减少趋势, 尤其是湿地和未利用地减少面积较大。随着高程的增加, 林地减少的比例在缩小。城乡工矿用地在海拔 100~300 m 以下的地貌部位都有所增加。1995—2000 年期间, 耕地、林地的变化发生在各个海拔高度上, 林地的减少与耕地的增加密切相关, 草地在此期间变化较少, 主要是由于可开垦的草地已经很少。城乡工矿用地的减少主要发生在工矿区, 由于采矿区的废弃而转变为其它土地利用类型。湿地减少的面积不仅发生在海拔 100 m 的地貌部位, 同时在 100~200 m 高度范围内也减少较多。2000—2005 年期间, 耕地、草地、湿地的变化均主要发生在海拔高度 100 m 以下, 其中只有耕地面积大量增加, 其它的大部分类型面积都在减少。耕地的增加来源于林地、草地、湿地的转化, 耕地面积在 0~100 m 和 100~200 m 海拔高度范围内均有较大面积的增加。林地在各海拔高度均有所减少; 水域的变化不明显。湿地减少的面积不仅发生在海拔 100 m 的地貌部位, 同时在海拔 100~200 m 高度的部位也变化明显。

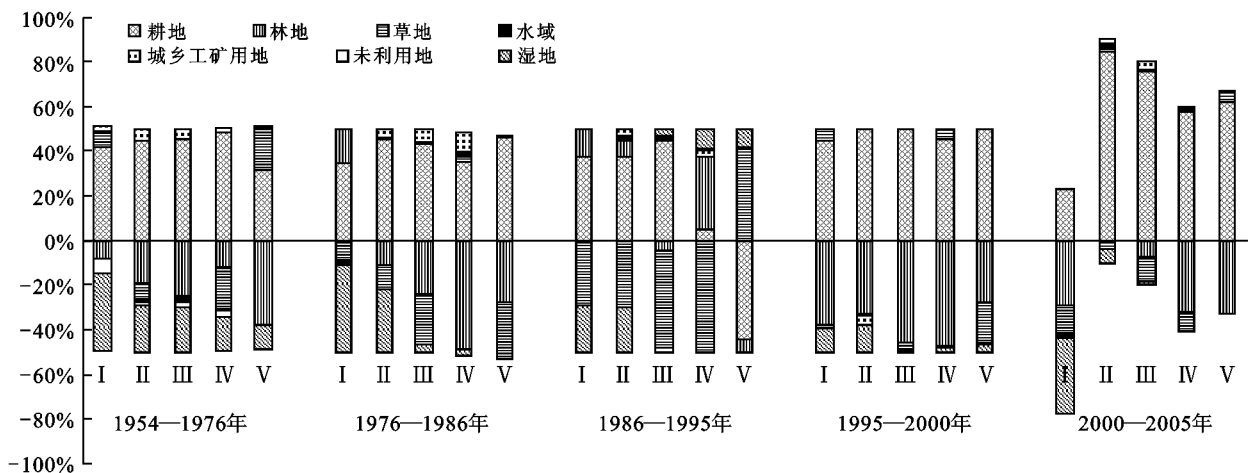


图 1 各时段内不同海拔高度区间各土地利用类型的变化趋势

0~100 m; 100~200 m; 200~300 m; 300~500 m; >500 m

以上分析表明,各种土地利用类型的动态变化在不同海拔高度的地表有不同的表现,其中耕地的增加主要发生在海拔 200 m 以下的地貌部位,尤其是海拔 100 m 以下的地貌部位。而相应地湿地面积的减少也主要发生在海拔 200 m 以下的地貌部位,尤其是海拔 100 m 的地表单元。林地与草地在不同历史时期,不同海拔高度的变化表现有所不同,林地、草地在各个海拔高度的变化趋势呈波动状态,但绝大部分研究阶段内林地、草地呈减少趋势。城乡工矿用地在各个海拔高度都有一定的变化,其中海拔 200 m 以下变化尤为明显。

4 坡度对区域土地利用变化的影响

图 2 表现了不同时期内,三江平原不同坡度级别上各种土地利用类型的变化趋势。由图中可以看出,

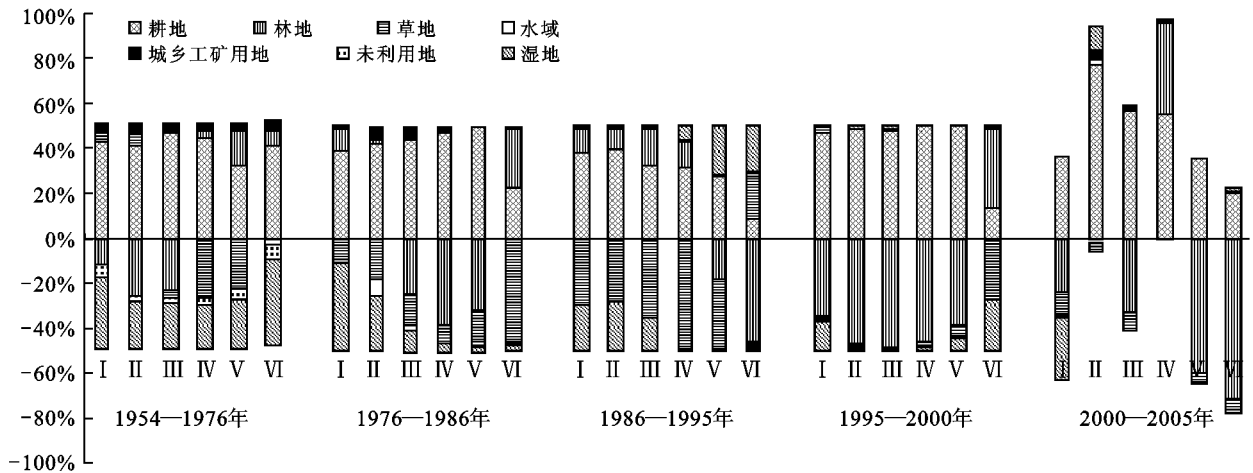


图 2 各时段内不同坡度区间各土地利用类型的变化趋势

0°~1°; 1°~2°; 2°~5°; 5°~10°; 10°~15°; >15°

通过不同土地利用类型的增减趋势可以看出,林地绝大部分转化为耕地;总体看来,林地在坡度小于 1 的地貌部位变化较大。草地在整个研究时段内呈波动状态,同样草地面积的变化也主要发生在坡度小于 1 的地貌部位。水域、城乡工矿用地因地势特征的限制,其变化也主要发生在坡度较小的地貌部位。在研究时段内,湿地面积变化主要发生在坡度小于 1 的地貌部位;其它坡度地表湿地面积比例小,总体上处于减少趋势。

5 结论

本文的研究表明,过去 50 a 期间,三江平原土地利用/覆被发生了显著变化,主要特征为耕地面积的快速扩展,进而引起湿地面积急剧减少,林地退缩,草地几乎被农田所代替,这一切说明三江平原土地利用方式的变化最直接的因素是农业开垦。三江平原土

三江平原耕地面积在各个坡度级别上均呈增长趋势,在坡度小于 1 的地貌部位增加最多。坡度大于 10 时,耕地面积也有一定数量的增长,但是比例很小。相对减少较快。1954—1995 年期间,耕地增加绝大部分发生在 1 以下的坡度范围。但随着 1 以下可垦荒地的减少和农业机械化能力的增强,1995—2005 年期间,1°~2° 坡度范围内,耕地也有大面积的增加。林地在 1954—1976 年期间呈减少趋势,减少的部分基本发生在坡度小于 5 的地貌部位;1976—1986 年期间林地在坡度小于 1 的区域呈增长趋势,其它坡度则略有减少;1986—1995 年期间林地主要在坡度为 5 以下的区域有所增加;1995—2000 年期间林地面积减少较快,主要发生在坡度为 15 以下的区域,而在坡度 > 15 的区域,林地面积有所增加。2000—2005 年期间,林地在各个坡度级别内均呈减少趋势。

地利用变化与地势、坡度关系密切,在地势低平、坡度较小的平原区土地利用变化较为剧烈,而且变化首先在这些地貌单元开始;随着可开发资源的短缺,土地利用变化开始在地势、坡度相对不宜农田开垦的地貌部分发生快速变化。

土地利用/覆被变化是一个非常复杂的现象和过程。影响土地利用/覆被变化的因素涉及自然、社会、经济和发展历史等诸多领域,不同类型的因素对土地利用/覆被变化的作用方式、范围和强度不同,在时空尺度上叠合交叉,致使土地利用/覆被变化的复杂性和不可预见性增强。总的说来,引起区域土地利用/覆被变化的驱动因子可归为两大类,即自然控制因子和社会经济驱动因子。自然控制因子作为土地覆被与土地利用分布的生态环境基础,在某些程度上制约着土地利用/覆被及其变化的基本模式。人类活动对土地利用方式的强度、速度起决定性作用,但不同自

然条件的约束在一定程度上还是会通过某些土地利用方式显示出来。对于三江平原而言,土地利用变化最为剧烈的地区为坡度小于 1 的区域。由于土地利用空间布局的差异性限制,三江平原各种不同土地利用类型在不同坡度地貌部位的变化趋势具有一定的差异,如林地、耕地、草地在各种不同坡度地表都有一定的变化,而水域、城乡工矿用地的变化则主要发生在地势平坦的地貌部位,以上现象是自然环境因子与人类活动选择的结果。

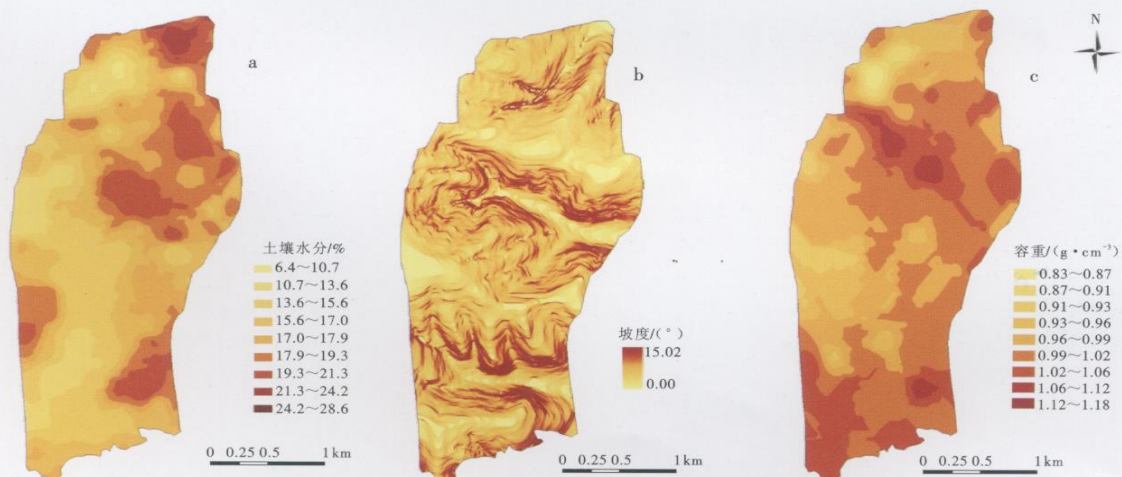
海拔高度和坡度因子对区域的水热分配具有重要的影响,但是自然因子只能是对区域土地利用方式起到一定制约作用,或对其利用起到基底作用,而近代土地利用方式中人类活动是更为活跃的因子。对于我国三江平原地区而言,建国以来的 50 a 集中体现了以上特征。对于不同时期三江平原土地利用/覆被变化的其它自然控制因子(如气温、降水)和人文因素(如人口增加、经济发展等)驱动机制的研究有待深入。

[参 考 文 献]

- [1] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land Use and Land Cover Change, Implementation Strategy [R]. IGBP Report No. 48/ IHDP Report No. 10. Stockholm: IGBP. 1999: 78—80.
- [2] 李锐, 杨勤科, 温仲明. 区域土地利用变化环境效应研究综述[J]. 水土保持通报, 2002, 22(2): 65—70.
- [3] 刘纪远. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229—239.
- [4] 李晓文, 方精云. 近 10 年来长江下游地区耕地动态变化特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 562—567.
- [5] 喻锋, 李晓兵, 陈云浩, 等. 皇甫川流域土地利用变化与土壤侵蚀评价[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1947—1956.
- [6] 刘兴土, 马学慧. 三江平原大面积开荒对自然环境影响及区域生态环境保护[J]. 地理科学, 2000, 20(1): 14—19.
- [7] 刘红玉, 张世奎, 吕宪国. 20 世纪 80 年代以来挠力河流域湿地景观变化过程研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 698—705.
- [8] 汪爱华, 张树清, 张柏. 三江平原沼泽湿地景观空间格局变化[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 237—243.
- [9] 王宗明, 张树清, 张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响研究[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 125—128.
- [10] 匡文慧, 张树文, 侯伟, 等. 三江平原宝清县土地利用变化图谱分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 2006, 23(2): 242—250.
- [11] 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[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 752—756.
- [12] 叶宝莹, 祝艳, 季玮, 等. 基于遥感和 GIS 的三江平原农业景观空间格局与土地利用变化研究[J]. 国土资源遥感, 2007(3): 78—81.
- [13] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明, 等. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J]. 地理学报, 2008, 63(1): 93—104.
- [14] Xiao J, Shen Y, Ge J, et al. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing [J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 75: 69—80.
- [15] Li X, Wang Z, Song K, et al. Assessment for salinized wasteland expansion and land use change using GIS and remote sensing in the west part of Northeast China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, 131: 421—437.
- [16] 王宗明, 张柏, 宋开山, 等. 基于地形图与知识规则的土地利用信息提取. 地球信息科学, 2008, 10(1): 67—73.
- [17] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB/T21010—2007 土地利用现状分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 66—68.
- [18] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 142—146.



附图1 三江平原土地利用覆被的空间格局 (1954—2005)



附图2 东北黑土区海伦市前进小流域土壤水(a)、容重(c)与坡度(b)的空间分布图