

基于遥感的中国北方风沙地貌类型分析

刘海江^{1,2}, 柴慧霞^{1,3}, 程维明¹, 钟德才⁴, 周成虎¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

4. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要: 风沙地貌在我国有广泛的分布, 特别在北方, 对区域生态安全、社会经济发展有重大影响。为了了解我国风沙地貌最新状况, 通过解译 2000~2002 年的 Landsat7 ETM 影像, 建立了我国风沙地貌类型数据库。对北方风沙地貌的分析表明: 1. 我国北方风沙地貌主要分布在新疆、内蒙古、青海、宁夏、甘肃、陕西、吉林、黑龙江 8 省区, 其中以新疆、内蒙古的面积最广、地貌类型最丰富; 2. 类型多样性上, 干旱区沙漠的地貌类型远比半干旱区的沙地丰富, 其中有些类型分布普遍, 还有些类型仅仅局限于特定区域, 是在特定的风力、风向、植被等作用下形成的; 3. 沙丘动态上, 沙漠除古尔班通古特与乌兰布和沙漠以固定、半固定为主外其他都以流动为主, 沙地沙丘则以固定、半固定状态占优势。本文从沙丘形态类型角度分析了我国风沙地貌的最新特征, 具有定位、定量特点, 所建数据库不仅能用于风沙地貌的定期遥感监测, 还能对沙丘形态演化进行定位监测研究。

关键词: 风沙地貌; 遥感; 沙漠; 地貌类型

文章编号: 1000-0585(2008)01-0109-10

1 引言

风沙地貌是指由于风对地表松散沙物质的吹蚀、搬运和堆积而形成的地貌^[1], 是陆地地貌的重要组成部分。我国的风沙地貌主要分布在北方, 从东北到西北形成一条沙漠带, 比较著名的有: 塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、库姆塔格沙漠、柴达木盆地沙漠、腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、毛乌素沙地、浑善达克沙地、科尔沁沙地、呼伦贝尔沙地(图 1)。

风沙地貌研究不论在理论上还是实践中都具有重要价值。风沙地貌属于变化较快的地貌类型, 流沙在风力作用下, 沙丘形态短期内即可发生明显变化, 从而形成风沙地貌多样性的形态类型, 因此风沙地貌是研究地貌演化过程的很好的对象, 一些学者利用风沙地貌来构建地貌演化模型、验证风沙活动理论模型^[2~8]; 而其他大多数地貌类型变化缓慢, 研究中常常把地貌作为稳定的环境要素对待。风沙地貌也是气候变化的指示器, 气候干湿会导致植被覆盖的变化, 而植被变化又会导致风沙活动强度、风沙地貌过程的变化, 最终造成沙丘形态变化、沙漠的扩展与收缩, 一些研究通过分析不同时期沙丘的固定与活化或沙粒特征来推断历史时期的气候变化过程^[9~11]。风沙地貌对人类生产生活也有重要影响,

收稿日期: 2007-04-19; 修订日期: 2007-10-28

基金项目: 科技部科学数据平台(2005DKA32300-07); 中国科学院知识创新工程领域前沿项目

作者简介: 刘海江(1978-), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 博士研究生。专业为地图学与地理信息系统。

E-mail: liuhj@lreis.ac.cn

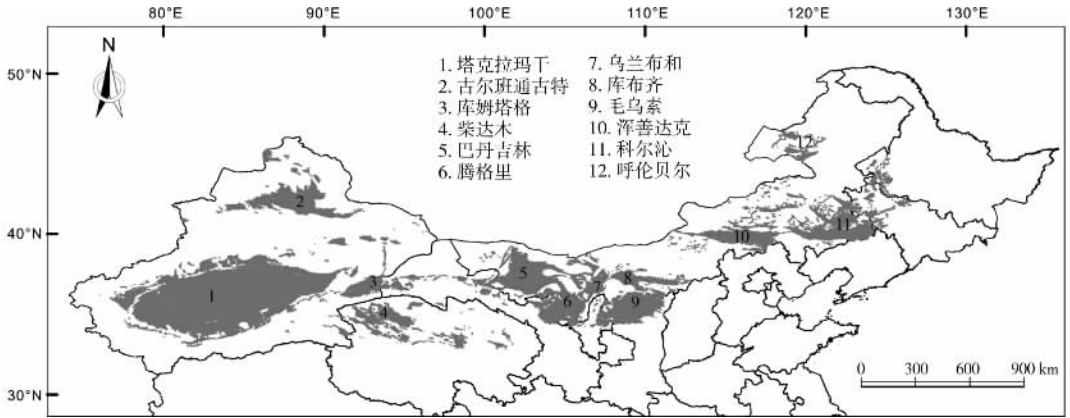


图 1 中国北方风沙地貌分布区

Fig. 1 Aeolian landform regions in northern China

风力形成的风沙流使得流沙蔓延, 掩埋农田、阻塞河道、切断道路, 对工农业生产、人民生活造成影响, 甚至形成灾害; 沙漠化使得原来非沙漠地带出现了沙漠景观, 造成土壤、植被、生态系统的全面退化, 同时也改变了地表能量收支平衡, 对区域大气环流、降水、温度造成影响。

我国风沙地貌的系统研究始于新中国成立后, 经过半个世纪的探索, 我国科学家在风沙物理、沙漠形成与演化、沙漠改造与利用、沙漠化理论与实践等方面都取得了巨大进步, 建立了相对完整的科学体系, 形成了许多沙漠分支学科^[12,13]。在沙漠地貌分类及沙漠制图方面也取得了不俗成绩, 出版了一系列沙漠类型图, 但还存在不足之处: 1. 缺乏风沙地貌类型数据库, 特别是缺乏每种地貌类型边界、位置及面积大小的数据。沙漠图对风沙地貌的表达是示意性的, 用象形符号定性表示沙丘形态, 没有明确的边界, 定量、定位特征差; 2. 风沙地貌以纸质图的表达和分发不利于深入分析, 也不利于风沙地貌的动态监测和数据更新, 在一定程度上限制了风沙地貌的研究和发展。目前随着地理信息系统、遥感、数据库等空间信息获取、处理、集成、表达技术的发展, 能够建立陆地地表各种要素的专题数据库, 可进行地表生物地理格局与过程、环境监测、灾害评价研究, 也有利于数据共享和更新。

遥感技术在我国广大的风沙地貌区域具有重要的价值, 可以实时监测人们难以到达的区域, 特别是沙漠腹地, 获得传统手段难以获得的信息; 地理信息系统能够对多源空间数据进行有效的组织、管理并且进行空间分析, 二者紧密结合形成了一个增益系统, 大大方便了空间数据的存储、共享和更新及数据的分析和模拟, 是实现数字地球的核心部分。本文利用遥感和 GIS 技术, 解译 2000~2002 年间的 Landsat7 ETM 卫星影像的风沙地貌类型数据, 建立了风沙地貌类型数据库, 然后分析了我国北方主要风沙地貌区域沙丘类型、空间分布、数量特征, 以期了解中国风沙地貌的最新情况, 为科研、决策部门提供资料和信息。

2 数据与方法

图 2 为风沙地貌类型提取的流程, 遥感数据经辐射、几何校正、假彩色合成(742 波段)、图像拼接、增强等一系列处理后, 用于地貌类型的解译。首先根据已有图件诸如植

被图、沙漠图、沙漠化图和相关的文献资料建立多层次的分类系统，分类系统遵循形态成因统一原则，综合考虑风向、风力、植被等因素；其次在分类系统基础上，结合遥感影像特征建立风沙地貌类型的遥感影像特征标志库；然后进行基于专家知识的类型解译；最后对解译结果进行评价及检查，修订有争议的界线，同时完善属性库，最终形成风沙地貌类型数据库。风沙地貌由于土壤基质的特殊性，具有独特的光谱特征，在遥感影像上容易识别，但是沙丘形态类型的识别对一般人而言还是有困难的，因为沙丘实际形态并不像其名字描绘的那样形象逼真，为了提高数据的科学性和可靠性，风沙地貌的解译由沙漠专家钟德才研究员完成。数据解译比例尺为 1:10 万，最小图斑 1.5km²，最终结果存储为 ArcGIS Geodatabase 数据库，坐标系统为双标准纬线的 Albers 等积割圆锥投影(图3)。

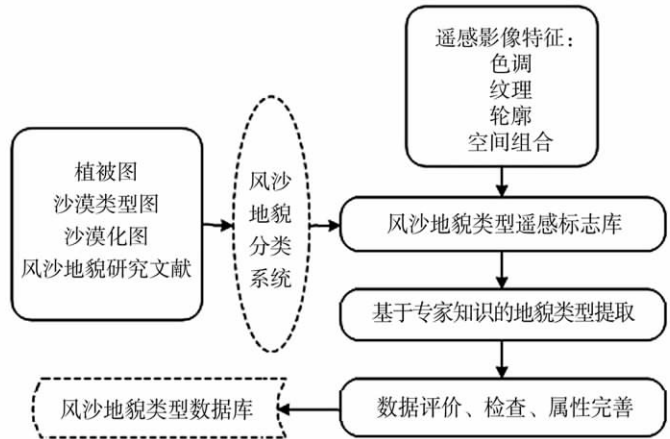


图 2 风沙地貌遥感解译流程

Fig. 2 Workflow of aeolian landform extraction based on remote sensing images

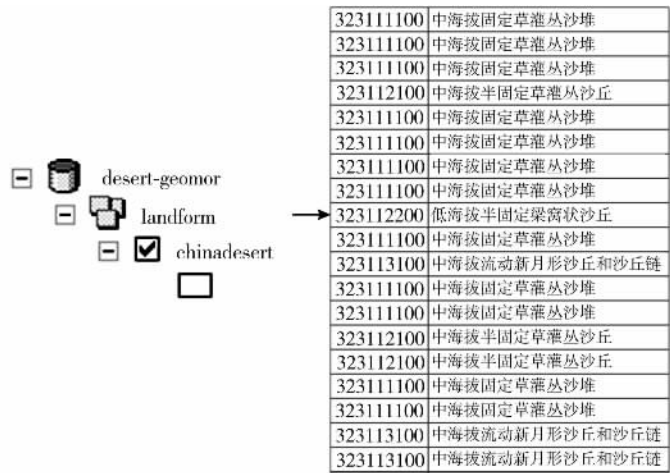


图 3 风沙地貌类型 GIS 数据库

(数据库结构，地貌类型编码及名称)

Fig. 3 GIS database of aeolian landform

(Database structure, landform coding and name)

此数据库具有以下特点：1. 全数字形式。利用遥感和地理信息系统技术，整个数据生产过程都在计算机上完成。与传统制图相比，这种方法效率高、发现错误易修改、工作流程简单。最终结果以数字形式存储和分发，便于进行查询、分析、显示、更新及共享；2. 定量、定位与定性结合。传统沙漠制图以象形符号来表达各种类型，是示意性的表达，不具有定位功能，也无法进行定量分析。而在 GIS 数据库下，每种地貌类型都以多边形表示，多边形之间具有拓扑关系，具有确定的空间位置和相应的数量特征(图 4)，这样就使得针对具体地貌类型的分析成为可能，还方便与其他类型的地表环境要素数据结合起来进行深入分析。

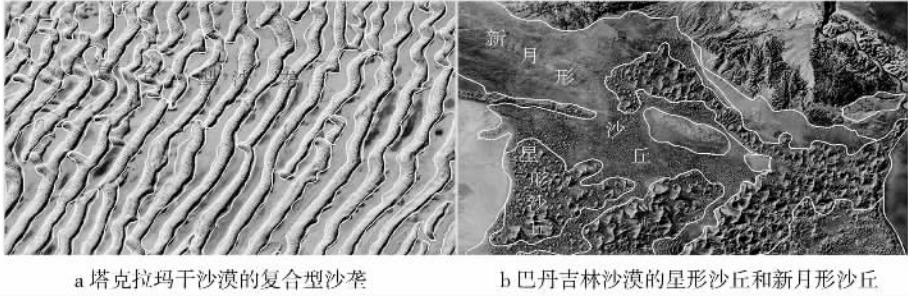


图 4 基于 ETM 影像解译的风沙地貌类型边界示例

Fig. 4 Examples of borderline of aeolian landform types interpreted by ETM images (Left: Compound longitudinal dunes in Taklimakan Desert, Right: Star dunes and barchan dunes in Badain Jaran Desert)

3 结果与分析

3.1 主要风沙地貌区域的类型特征

沙漠(地)是风沙地貌集中分布的区域,也是风沙活动最为活跃的区域,在我国北方有 28 种沙丘形态类型。表 1 为我国 12 块沙漠(地)的地貌类型特征。

表 1 中国主要风沙地貌区的沙丘类型 (km^2)
Tab. 1 Aeolian landform types in aeolian areas of China

风沙地貌类型	塔克拉玛干	古尔班通古特	库姆塔格	柴达木盆地
平沙地	214.78	49.14	137.83	16.42
缓起伏沙地	26463.21	1062.28	1668.58	2441.84
草灌丛沙丘	44702.28	4135.51	260.05	1065.73
梁窝状沙丘	7397.30	3516.95	155.85	2626.89
抛物线状沙丘				
蜂窝状沙丘	1158.86	3373.17		
沙垄	25124.15	16640.24	697.27	616.55
蜂窝状沙垄		6996.22		
树枝状沙垄		9708.62		
羽毛状沙垄			5400.22	
新月形沙垄	2344.85	116.96	252.80	21.86
线状沙丘	13732.00	30.78	1680.75	490.12
鱼鳞状沙丘	23237.32			
新月形沙丘和沙丘链	65638.43	400.29	2522.44	2690.05
格状沙丘和沙丘链	4042.53	287.39	1191.16	2569.37
星形沙丘和沙丘链	628.85	37.33	1.33	28.16
复合型沙丘链		933.80		
复合型沙垄	95535.57		139.75	
复合型沙丘和沙丘链	35056.63		275.30	153.44
复合型穹状沙丘	13502.90			
复合型链垄状沙丘	57792.50			

复合型链状沙丘	2580.54		75.76	
综合型星链状沙丘	5572.66		5351.94	510.34
综合型星垄状沙山			760.93	210.78
综合型星链状沙山				
星链状沙山				54.44
复合型链状沙山	8511.72			
风蚀地貌	3234.63		124.39	20139.63
总面积	438471.72	47288.81	20696.38	33635.63
类型数	20	14	17	15
风沙地貌类型	巴丹吉林	腾格里	乌兰布和	库布齐
平沙地	4.39	12.34		4.19
缓起伏沙地	5929.23	1711.07	165.74	250.66
草灌丛沙丘	10608.61	3482.35	1556.34	8281.31
梁窝状沙丘	1192.69	3477.15	2883.40	553.81
沙垄	699.28	1839.98	2195.64	138.06
新月形沙垄	2021.76	584.53		105.26
线状沙丘	1230.99	14694.38	585.52	
新月形沙丘和沙丘链	14837.62	9336.23	1433.47	4552.66
格状沙丘和沙丘链	1096.12	440.67	1157.67	1448.66
星形沙丘和沙丘链	5310.82	42.90	78.19	
复合型沙垄	772.41		234.60	
复合型沙丘和沙丘链	3356.31	4880.09	248.51	698.61
复合型穹状沙丘			393.33	
复合型链垄状沙丘	907.44			
综合型星链状沙丘	7535.96			
综合型星链状沙山	1569.76			
复合型链状沙山	10455.30			
风蚀地貌	249.93			
总面积	67778.62	40501.69	10932.41	16033.24
类型数	17	11	11	9
风沙地貌类型	浑善达克	科尔沁	呼伦贝尔	毛乌素
平沙地		17.67		63.21
缓起伏沙地	4755.76	16688.17	320.47	10370.20
草灌丛沙丘	86.13	9473.71	1497.45	4216.73
梁窝状沙丘	20428.52	13685.51	4755.51	19627.63
抛物线状沙丘	1565.20			
沙垄	2965.61	1456.19		198.11
线状沙丘				18.8
新月形沙丘和沙丘链	237.90	2395.40	197.41	8668.32
格状沙丘和沙丘链	187.38	645.55		3400.48
总面积	30226.51	44362.21	6770.83	46563.50
类型数	7	7	4	8

可以看出,在类型多样性上,沙漠比沙地丰富,其中塔克拉玛干沙漠沙丘类型最多,有 20 种,库姆塔格沙漠、巴丹吉林沙漠有 17 种,柴达木盆地 15 种,古尔班通古特沙漠 14 种,腾格里、乌兰布和沙漠 11 种,库布齐沙漠、毛乌素沙地、浑善达克沙地、科尔沁沙地和呼伦贝尔沙地则不足 10 种。在面积上,塔克拉玛干沙漠有 10 种沙丘超过 1 万 km^2 ,其中复合型沙垄、新月形沙丘和沙丘链最多,为 $9.55 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $6.56 \times 10^4 \text{ km}^2$;古尔班通古特沙漠的沙垄分布最多,为 $1.66 \times 10^4 \text{ km}^2$;库姆塔格沙漠的羽毛状沙垄和复合型星链状沙丘分布最多,分别为 $0.54 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $0.53 \times 10^4 \text{ km}^2$;柴达木盆地风蚀地貌最多,达到 $2.01 \times 10^4 \text{ km}^2$,此外新月形沙丘和沙丘链、梁窝状沙丘及格状沙丘和沙丘链分布较多,分别为 $0.27 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $0.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $0.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。巴丹吉林沙漠、库布齐沙漠最多的沙丘为新月形沙丘和沙丘链、草灌丛沙丘;腾格里沙漠的线状沙丘、新月形沙丘和沙丘链最多;乌兰布和沙漠以梁窝状沙丘和沙垄分布最多;而半干旱区的毛乌素沙地、浑善达克沙地、科尔沁沙地和呼伦贝尔沙地中以缓起伏沙地、草灌丛沙丘、新月形沙丘和沙丘链、梁窝状沙丘为主。

从表 1 可知,有些沙丘类型是普遍存在于各区域的,比如平沙地、缓起伏沙地、草灌丛沙丘、梁窝状沙丘、沙垄、新月形沙丘和沙丘链、格状沙丘和沙丘链。还有些类型则只分布在个别地区,如:抛物线状沙丘多分布在浑善达克沙地;鱼鳞状沙丘只见于塔克拉玛干沙漠;树枝状沙垄、蜂窝状沙垄只分布在古尔班通古特沙漠;羽毛状沙垄只见于库姆塔格沙漠,这些特殊地貌类型出现,主要是由于局部的地形、气候和植被等自然环境条件所造成的。

3.2 基于行政区域的风沙地貌特征分析

表 2 为根据省级行政边界提取的风沙地貌类型,可以看出我国北方风沙地貌主要分布在新疆、青海、内蒙古、甘肃、宁夏、陕西、吉林和黑龙江 8 省区,其中新疆沙漠面积最大,内蒙古次之,青海和甘肃位列第三和第四。

在地貌类型多样性上,新疆最丰富,有 26 种;内蒙古、甘肃和青海分别为 19、17 和 14 种,其余 4 省区都不到 10 种(表 2)。各行政区优势沙丘类型也有差别,新疆分布最广泛的沙丘类型是复合型沙垄(表 2),近 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$;而面积在 5 km^2 以上的类型就有 4 种,分别为复合型沙垄、新月形沙丘和沙丘链、复合型链垄状沙丘和草灌丛沙丘;面积在 1 万 km^2 以上的类型有 12 种,此外,还有缓起伏沙地、梁窝状沙丘、沙垄、线状沙丘、鱼鳞状沙丘、复合型沙丘和沙丘链、复合型穹状沙丘、复合型星链状沙丘,这主要是因为新疆分布有中国第一大沙漠塔克拉玛干沙漠和第三大沙漠古尔班通古特沙漠造成的。内蒙古面积超过 1 万 km^2 的沙丘有 6 种(表 2),分别是梁窝状沙丘、草灌丛沙丘、新月形沙丘和沙丘链、缓起伏沙地、线状沙丘及复合型链状沙山。青海的风蚀地貌面积最多(表 2),为 $2.01 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要分布在柴达木盆地,风积地貌中新月形沙丘和沙丘链、格状沙丘和沙丘链、缓起伏沙地和梁窝状沙丘比较多。甘肃省的主要风沙地貌类型是新月形沙丘和沙丘链、草灌丛沙丘;宁夏、陕西、吉林、黑龙江的风沙地貌主要是缓起伏沙地、草灌丛沙丘和梁窝状沙丘(表 2)。

3.3 沙丘动态特征

沙丘按照植被覆盖程度,可分为固定、半固定和流动三种。图 5 是不同区域的沙丘动态特征,各动态类型面积百分比是根据某一区域固定、半固定及流动的面积除以三者之和得到。沙漠主要是以流动沙丘为主,而古尔班通古特沙漠、乌兰布和沙漠以固定、半固定为主;毛乌素沙地、浑善达克沙地、科尔沁沙地和呼伦贝尔沙地主要以固定、半固定沙丘

表 2 基于行政区域的风沙地貌类型特征 (km²)
 Tab. 2 Aeolian landform types distributed in different provinces

风沙地貌类型	新疆	青海	内蒙古	甘肃
平沙地	403.97	16.42	65.22	12.34
缓起伏沙地	30614.20	2788.68	33316.29	857.75
草灌丛沙丘	52774.94	1319.02	36860.17	4461.73
梁窝状沙丘	12738.01	2684.67	63707.36	1699.35
抛物线状沙丘			1565.20	
蜂窝状沙丘	4532.04			
沙垄	44399.18	635.52	9298.37	1460.87
蜂窝状沙垄	7253.29			
树枝状沙垄	9708.62			
羽毛状沙垄	5705.97			
新月形沙垄	2871.49	8.22	2601.47	686.54
线状沙丘	15075.50	490.12	15588.02	1533.08
鱼鳞状沙丘	25237.32			
新月形沙丘和沙丘链	71659.73	2704.82	35142.75	8359.84
格状沙丘和沙丘链	5576.16	2448.50	6769.91	584.40
星形沙丘和沙丘链	713.78	81.60	3081.29	565.52
复合型沙丘链	933.80			
复合型沙垄	95959.97		1007.01	95.71
复合型沙丘和沙丘链	35290.48	9.93	6968.66	2453.12
复合型穹状沙丘	13502.90		393.33	
复合型链垄状沙丘	58768.19		907.44	
复合型链状沙丘	2580.54			
综合型星链状沙丘	11444.19	36.77	7535.96	64.19
综合型星垄状沙山	681.48	96.89		605.04
综合型星链状沙山			1569.76	
星链状沙山	54.44			144.85
复合型链状沙山	9032.11		10455.30	75.76
风蚀地貌	3740.44	20139.63	249.93	887.47
总面积	521252.74	33460.79	237083.44	24547.56
类型数	26	14	19	17
风沙地貌类型	宁夏	陕西	吉林	黑龙江
平沙地	24.24			6.97
缓起伏沙地	3185.53	1046.36	6150.55	3821.48
草灌丛沙丘	1493.14	718.61	16.73	124.37
梁窝状沙丘	622.25	6365.29	157.55	
线状沙丘	368.81			
新月形沙丘和沙丘链	493.92	1017.50	1.89	2.02
格状沙丘和沙丘链	601.79	1294.59		
综合型星链状沙山	6.75			
总面积	6796.43	10442.35	6326.72	3954.84
类型数	8	5	4	4

状态为主，流沙比例较低（图 5）。

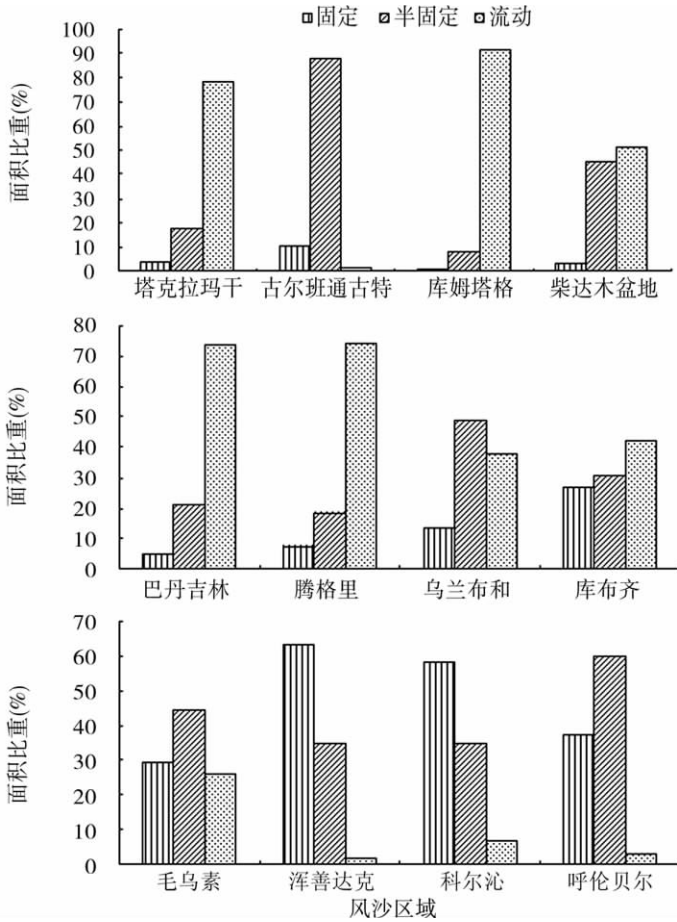


图 5 不同风沙地貌区的沙丘动态特征

Fig. 5 Features of dune activity different aeolian regions

我国沙漠主要分布在西部干旱荒漠区，这里降水稀少，气候干旱，植被非常稀疏，流动沙丘占绝对优势，但古尔班通古特沙漠、乌兰布和沙漠以半固定状态为主，这是由于区域地理位置、气候特征造成的。古尔班通古特沙漠的降水受西风环流影响，主要集中在冬季，地表能够覆盖 20~30cm 的积雪，春季随着气温回升，积雪融化，土壤含水量全年最高，而且此时也是植物萌发季节，有利于植物生长，形成稳定的植物群落，植被的存在大大限制了风沙活动，沙丘形成固定、半固定状态^[14,15]。乌兰布和沙漠位于我国荒漠的东界，属于荒漠边缘地带，自然条件相对较好，发育草原化荒漠植被，覆盖度较高，另外该沙漠处于黄河岸边，可以引用黄河水进行灌溉使得种植人工植被成为可能，以固定、半固定为主^[16]。沙地主要分布在半干旱、半湿润草原区，自然条件比干旱或极端干旱的荒漠地区优越，沙丘植被覆盖度高，沙丘以固定、半固定为主，流动沙丘面积比较低，但是由于这些地区人口密度高，开发利用强度大，是当地主要的农牧业生产基地，目前存在的问题是由于过度利用造成的沙漠化，流沙面积扩大^[17]，需要加强植被的保护和恢复，实现可持续发展。

4 结论

本文利用由最新遥感影像建立的我国风沙地貌数据库, 对我国北方风沙地貌主要分布区的地貌类型进行了分析。该数据库首次对每种风沙地貌类型进行定位、定量和定性表达, 不仅能用于计算机制图, 以传统纸质地图形式发布; 也可以以数据库形式共享, 并且能够与其他地表要素数据进行复合分析, 对我国风沙地貌定期监测、地貌格局分析研究, 以及生产实践都有重要价值。本文得到以下主要结论:

(1) 不同风沙地貌区地貌多样性和优势地貌类型不同, 沙漠的地貌多样性普遍高于沙地; 在所有地貌类型中, 既有普遍分布的类型, 也存在一些局限于特定区域的类型, 普遍分布的类型有平沙地、缓起伏沙地、草灌丛沙丘、梁窝状沙丘、沙垄、新月形沙丘和沙丘链、格状沙丘和沙丘链, 特有类型比如有塔克拉玛干沙漠的鱼鳞状沙丘, 古尔班通古特分布的蜂窝状沙垄、树枝状沙垄, 库姆塔格沙漠的羽毛状沙垄及浑善达克沙地的抛物线状沙丘。

(2) 中国北方的风沙地貌主要分布在新疆、内蒙古、青海、宁夏、甘肃、陕西、吉林、黑龙江 8 省区内, 新疆最多, 地貌类型也最为丰富, 内蒙古次之、青海和甘肃分列第三和第四, 其余 4 省区则相对较少, 各地貌类型的面积在不同行政区域内具有不同特征。

(3) 沙丘动态特征上, 沙漠除古尔班通古特、乌兰布和外都以流动沙丘为主, 沙地以固定、半固定为主。本文结果也间接说明, 遥感、地理信息系统技术在风沙地貌监测、定量、定位研究中有不可替代的作用, 二者形成的增益系统改变了传统研究方法, 获得了传统方法达不到的结果。

参考文献:

- [1] 吴正. 风沙地貌学. 北京: 科学出版社, 1987. 1~18.
- [2] Gary Kocurek, Ryan C E. Aeolian dune field self-organization: Implications for the formation of simple versus complex dune-field patterns. *Geomorphology*, 2005, 72: 94~105.
- [3] Herrmann H J, Sauer mann G, Schwämmle V. The morphology of dunes. *Physica A*, 2005, 358: 30~38.
- [4] Al-dabi H, Koch M, Al-Sarawi, *et al.* Evolution of sand dune patterns in space and time in north-western Kuwait using Landsat images. *Journal of Arid Environments*, 1997, 36: 15~24.
- [5] Bullard J E, Thomas D S G, Livingstone I, *et al.* Analysis of linear sand dune morphological variability, south-eastern Kalahari Desert. *Geomorphology*, 1995, 11: 189~203.
- [6] Okin G S, Gillette D A, Herrick J E. Multi-scale controls on and consequences of aeolian processes in landscape change in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments*, 2006, 65: 253~275.
- [7] Wang X M, Dong Z B, Yan P, *et al.* Wind energy environments and dunefield activity in the Chinese deserts. *Geomorphology*, 2005, 65: 33~48.
- [8] Feagin R A, Wu X B, Smeins F E, *et al.* Individual versus community level processes and pattern formation in a model of sand dune plant succession. *Ecological Modelling*, 2005, 183: 435~449.
- [9] Thomas D S G, Leason H C. Dunefield activity response to climate variability in the southwest Kalahari. *Geomorphology*, 2005, 64: 117~132.
- [10] Chris H H, Stephen A W. Recent stabilization of active sand dunes on the Canadian prairies and relation to recent climate variations. *Geomorphology*, 2005, 68: 131~147.
- [11] 张洪, 靳鹤龄, 苏志珠, 等. 全新世浑善达克沙地粒度旋回及其反映的气候变化. *中国沙漠*, 2005, 25: 1~7.
- [12] 王涛, 赵哈林. 中国沙漠科学的 50 年. *中国沙漠*, 2005, 25(2): 145~165.
- [13] 董治宝, 王涛, 曲建军. 100a 来沙漠科学的发展. *中国沙漠*, 2003, 23: 1~5.
- [14] 王雪芹, 等. 古尔班通古特沙漠南部沙垄水分动态——兼论积雪融化和冻土变化对沙丘水分分异作用. *冰川冻*

士, 2006, 28(2): 262~268.

[15] 季方, 叶玮, 魏文寿. 古尔班通古特沙漠固定与半固定沙丘成因初探. 干旱区地理, 2000, 23(1): 32~36.

[16] 王涛 主编. 中国沙漠与沙漠化. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003. 641~648.

[17] Zhao H L, Zhao X Y, Zhou R L, *et al.* Desertification processes due to heavy grazing in sandy rangeland, Inner Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 2005, 62: 309~319.

A research of aeolian landform in northern China based on remote sensing imagery

LIU Hai-jiang^{1,2}, CHAI Hui-xia^{1,3}, CHENG Wei-ming¹,
ZHONG De-cai⁴, ZHOU Cheng-hu¹

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System,
Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

4. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Aeolian landform, mainly distributed in northern China, has important impacts on regional ecological security and socioeconomic development. Although great successes were obtained in aeolian landform research in the past decades, timely monitoring of aeolian landform still need improvement because of its inconstant characteristics. In order to investigate recent situation of sandy deserts in China, an aeolian landform dataset was built by extracting landform information from Landsat 7 ETM imageries which were acquired in 2000. In the present study, we focused on aeolian landform in northern China, which is the main aeolian landform region of China, and analyzed characteristics of different sand dune types quantitatively. The results showed that: 1) Aeolian landform is distributed mainly in eight provinces. They are Xinjiang Uygur Autonomous Region, Inner Mongolia Autonomous Region, Qinghai Province, Ningxia Hui Autonomous Region, Gansu Province, Shaanxi Province, Jilin Province and Heilongjiang Province, among them Xinjiang and Inner Mongolia have the largest area and the richest diversity of aeolian landform. 2) As for the sand dune morphology diversity, sandy deserts in arid regions are much richer than in sandy lands of semi-arid regions. Among all landform types, some types are generally distributed in all aeolian regions, while some morphologic types are only limited in specific areas, resulting from actions of specific wind velocity, wind direction, vegetation coverage. 3) In consideration of dune activity, floating dunes are prevalent in deserts except the Gurbantuggut Desert and the Ulan Buh Desert which are mainly covered by inactive and semi-fixed dunes. In contrast with deserts, sandy lands are dominant by inactive dunes and semi-fixed dunes. This analysis summarized the recent situation of aeolian landform in northern China, and the dataset is important in aeolian landform periodical monitoring and morphologic evolution research.

Key words: aeolian landform; remote sensing; sandy desert; sand dune morphology