

中国北方草原区积雪遥感监测 ——2007. 10~ 2008 3 期间

杨秀春¹, 曹云刚², 徐 斌¹, 朱晓华^{3*}

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2 西南交通大学土木工程学院测量工程系, 成都 610031; 3 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 着眼于我国草原防灾减灾以及国家开展重特大雪灾应急响应工作的极迫切现实需求, 基于 NASA MODIS 数据, 以天为监测 (响应) 时间单元, 以旬为监测集成时段, 对 2008 年春节大雪灾期间我国草原积雪状况实现了系统的遥感监测, 获取了 2007 年 10 月至 2008 年 3 月期间中国北方 9 省区草原积雪发生范围及其面积等数据信息, 揭示了监测期间我国草原积雪发生的时空特征。青藏高原与内蒙古为我国持续降雪的核心区域, 其他地区降雪情况随时出现一定的波动; 除东北地区外, 积雪面积均在 1 月下旬达到最大值; 各省区草原积雪面积占草原总面积的比例随时间的变化总体持续增加。

关键词: 草原积雪; 遥感; 监测

文章编号: 1000-0585(2008)05-1109-09

冰雪灾害亦称白灾, 是指因长时间大量降雪造成大范围积雪成灾的自然现象。冰雪灾害可严重影响甚至破坏交通、通讯、输电线路等生命线工程, 影响城镇居民的正常生产、生活, 对工农业带来巨大破坏和影响。2008 年春节前后的雪灾, 给我国造成直接经济损失约 1111 亿元^[1], 损失惨重! 雪灾也是我国草原区冬春季的主要气象灾害之一, 每次雪灾发生, 夺去牲畜轻则几十万头, 重则几百万头。长期以来, 雪灾对我国草原地区农牧业生产的持续、稳定发展造成了极其严重的危害。因此, 快速、及时与准确地进行我国草原雪灾的监测就显得尤为重要和迫切。

在草原雪灾的防灾减灾工作中, 能否快速、及时、全面准确地获取积雪信息不仅是认识积雪灾害特征、机制的基础, 而且是救灾的关键所在。常规的积雪监测主要使用气象站点的观测数据, 观测站点的空间分布特征, 要求将点状的信息映射到面状的区域中去, 由此通常采用空间内插的方法来实现由点到面的信息转化。虽然地面观测数据可靠度较高, 但其在空间和时间上的不连续性, 则极大地限制了对大范围积雪覆盖的有效了解。而遥感技术观测范围广、观测周期短, 已成为目前进行积雪监测的最为有效的手段^[2~8]。从国外来看, 早期的积雪遥感监测只是用于较小的研究范围, 真正实现大范围的积雪监测则是从 20 世纪 60 年代初开始^[9]; 到 20 世纪 80 年代, 随着地面观测数据、NOAA AVHRR、MSS、TM 以及 MODIS 积雪制图算法在时空尺度上的深入研究, 积雪监测的精度不断得

收稿日期: 2008-03-26; 修订日期: 2008-07-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2007-3); “十一五”国家科技支撑计划 (2006BAD16B05-2, 2006BAD16B04) 资助

作者简介: 杨秀春 (1975-), 女, 河北迁安人, 博士, 副研。主要从事草原遥感监测和土地退化研究。

* 通讯作者: 朱晓华, 博士, 副研, 硕士生导师。E-mail: zhuxh@igsnrr.ac.cn

到提高。我国从 80 年代起, 开始应用遥感技术进行积雪制图算法。但是目前这些研究都处于方法的探讨阶段, 没有进行大范围应用研究, 而且还没有适合于大面积自动化积雪遥感监测的方法^[4~12]。已有积雪判读算法虽然相对成熟, 但是在应用过程中, 区域性客观差异仍然存在; 再者, 关于雪灾及灾情评估研究虽然取得了一定的研究进展, 但是仍存在各自分散的特点。本文一方面结合中国草原的客观实际, 对现有一些算法进行了修正, 提高了监测精度; 另一方面, 系统集成了雪盖、雪深及灾情等级的系统算法。本文即应用该系统, 基于 NASA MODIS 数据, 以天为监测 (响应) 时间单元, 以旬为监测集成时段, 对 2008 年春节大雪灾期间我国草原积雪状况进行了系统遥感监测, 成功地获取了 2007 年 10 月 15 日至 2008 年 3 月 20 日期间我国草原积雪发生范围及其面积等数据信息。对我国草原雪灾及其灾情研究、对政府农业部门科学决策等都具有重要的数据集成意义和参考价值。

1 监测区和监测方法

1.1 监测区域

监测区域包括内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、四川、西藏、甘肃、青海、新疆等 9 省区的草原区, 草原总面积 309773km², 占全国草原面积的 87.92%。具体分布范围见图 1。

1.2 监测方法

冰雪灾害监测的主要目的就是要确定积雪覆盖的范围和持续时间。对于光学积雪遥感来说, 主要是根据雪

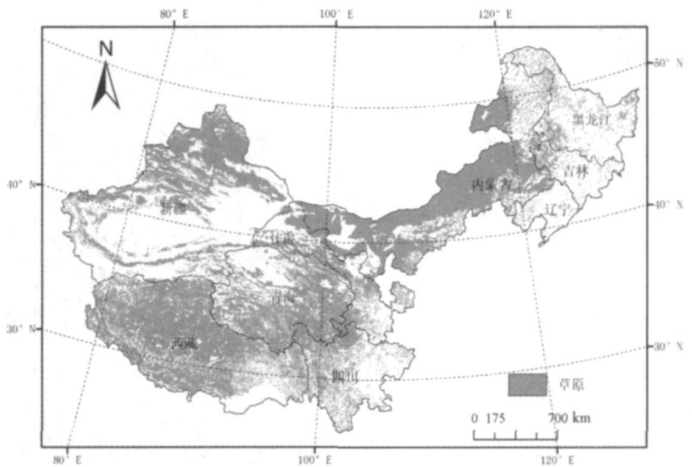


图 1 监测区域草原分布范围

Fig 1 Spatial distribution of grassland in monitoring regions

在可见光-红外通道内的反射率差异来判识积雪像元。积雪在波长为 0.5μm 左右有较高的反射率, 而在波长为 1.6μm 和 2.1μm 左右反射率较低, 通常在可见光范围内纯净的新雪表面反射率在 0.8 以上。遥感雪盖信息的提取主要就是根据积雪的这种反射特性, 通过一定的数字图像处理技术, 来获得积雪覆盖信息^[5]。由于雪具有很强的可见光反射和强的短波红外吸收特性, 归一化差分积雪指数 (NDSI, Normalized Difference Snow Index) 是分辨积雪和许多地表的有效方法^[10~12]。NDSI 用于识别雪、冰, 并能区分雪与大量的积云。NDSI 对大范围的光照条件不敏感, 对大气作用可使其局地归一化并且不依赖于单通道的反射值。

$$NDSI = \frac{R_{0.5} - R_{1.6}}{R_{0.5} + R_{1.6}} \tag{1}$$

式中, $R_{0.5}$ 和 $R_{1.6}$ 分别表示传感器在 0.5μm 和 1.6μm 附近通道内的反射率值。

为了确定出积雪的像元, 还需要设定一个 NDSI 阈值来进行逐个像元的判识。NDSI 阈值的确定通常基于这样一个原则, 也就是要满足像元的积雪覆盖率大于 50%。除此之外, 由于积雪和水体有着相近的 NDSI 值, 这时还应该使用红或近红外通道的数据来对两

者进行区分。考虑到某些低反射率植被和积雪也会有相近的 NDSI 值, 这时还需要使用可见光 (绿通道) 来加以区别。根据前人研究结果^[12, 13], 对于 MODIS 数据, 本文采用下面的识别算法:

$$\begin{cases} NDSI \geq 0.4 \\ R_{band2} > 0.11 \\ R_{band4} \geq 0.1 \end{cases} \quad (2)$$

式中, NDSI 采用前述的公式进行计算, R_{band2} 和 R_{band4} 则分别是传感器中 2 波段和 4 波段的反射率。

由于光学传感器数据受云层的影响比较严重, 因此在使用 MODIS 数据进行草原积雪像元识别之前, 必须使用云检测算法生成云掩膜图像。当像元状态为无云时, 才进一步使用相关的识别算法来进行积雪判识。针对 MODIS 数据的多种云识别算法已经被提出并得到了广泛应用。由于草原积雪监测的目的只是进行云检测, 并不需要确定其为何种云层类型, 故仅选择了以下几个判定条件。本文的云检测算法中, 主要使用了波长为 0.66 μm、0.87 μm、3.9 μm、1.38 μm、6.7 μm、11 μm、13.9 μm 等处的反射或辐射数据, 对应的 MODIS 波段为 1、2、22、26、27、31、35^[13]。

本文基于 Microsoft Visual Studio 2005 软件开发工具和 Microsoft .NET Framework 2.0 程序开发框架, 将积雪遥感监测算法通过系统软件工程的方法进行了集成开发, 所研发的系统可完成 MODIS 数据的预处理, 并实现积雪识别、面积统计、专题制图等功能。通过调用 IDL 控件实现原始 HDF 数据的读取和几何校正、辐射校正等工作; 通过调用 Arc Engine 中的相关函数, 完成图像显示、空间分析、信息统计等工作, 并通过矢量-栅格叠加显示的方式, 输出积雪分布等专题图。各旬积雪数据采用 10 天最大值, 当合成周期内任意一天该像元为积雪像元, 则合成图中该像元为积雪像元。

2 中国草原积雪遥感监测结果及其分析

2.1 各监测区域各旬草原积雪面积随时间的动态变化

2007 年 10 月 15 日至 2008 年 3 月 20 日期间, 各监测区域各旬草原积雪面积见表 1。由表 1, 随着时间变化, 除东北地区外, 积雪面积均在 1 月下旬达到最大值, 其中, 内蒙古积雪面积为 594295 km², 四川为 105804 km², 西藏为 451385 km², 甘肃为 178162 km², 青海为 374824 km², 新疆为 484249 km², 分别是各自初期 (2007 年 10 月 15~ 20 日) 积雪面积的 12.39 倍、1.07 倍、2.63 倍、7.81 倍、1.53 倍和 10.11 倍; 而黑龙江和吉林在 1 月上旬达到最大面积, 分别为 53915 km² 和 22035 km², 是初期各自积雪面积的 2.53 倍和 4.78 倍; 10 月中旬到 1 月下旬, 积雪面积呈现波动变化, 1 月下旬以后, 积雪面积总体上呈现迅速减少的态势。

对于内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、四川、西藏、甘肃、青海、新疆等 9 省区草原积雪面积大小的绝对比较而言, 在监测各时段内, 新疆积雪面积的平均值最大, 达到 291485 km²; 辽宁积雪面积的平均值最小, 为仅 2483 km²。在监测各时段内各省区草原积雪面积平均值大小排序为: 新疆> 内蒙古> 西藏> 青海> 四川> 甘肃> 黑龙江> 吉林> 辽宁。

各监测区域草原积雪面积占各监测区域草地总面积的比例见表 2。

表 1 各监测区域各旬草地积雪面积 (单位: km²)

Tab 1 Grassland snow area in different monitoring provinces (unit: km ²)										
时段	省区	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	四川	西藏	甘肃	青海	新疆
2007 年 10 15~ 10 20		47957	1548	4606	21319	99256	171479	22819	244877	47902
2007 年 10 月下旬		311325	8859	8551	31746	75979	180252	112998	181345	291640
2007 年 11 月上旬		106289	1678	2870	13324	77681	219455	34711	102552	91058
2007 年 11 月中旬		203618	5232	19685	10053	80119	253058	12899	124610	134554
2007 年 11 月下旬		172152	1807	19930	19736	44803	90704	21569	74522	237726
2007 年 12 月上旬		301164	3187	520	12920	93240	206971	16171	121901	283547
2007 年 12 月中旬		361872	7481	11652	12964	40823	319056	14218	113008	341542
2007 年 12 月下旬		252588	7089	6826	11518	19665	61634	10256	17360	306637
2008 年 1 月上旬		184065	1039	22035	53915	6141	55121	2588	28422	280421
2008 年 1 月中旬		420871	202	12894	53907	53047	239060	141264	138615	460584
2008 年 1 月下旬		594295	156	9232	53034	105804	451385	178162	374824	484249
2008 年 2 月上旬		510350	58	5530	50411	103583	378654	166460	334746	432880
2008 年 2 月中旬		329599	18	2398	40816	100237	359672	126238	284114	402608
2008 年 2 月下旬		173883	561	1430	39923	125068	285692	82161	328792	431984
2008 年 3 月上旬		181963	272	884	26009	102716	193775	42146	228802	252679
2008 年 3 月中旬		76851	545	782	12232	101482	318536	48857	193388	183756
平 均		264303	2483	8114	28989	76853	236532	64595	180742	291485

表 2 各监测区域各旬草地积雪面积占各自草原总面积比例 (单位: %)

Tab 2 Rate of grassland snow area to the total grassland area in different monitoring provinces (unit: %)										
时段	省区	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	四川	西藏	甘肃	青海	新疆
2007 年 10 15~ 10 20		4 18	1. 07	2 4	4 74	20 58	14 23	5 64	34 14	2 93
2007 年 10 月下旬		27. 13	6 11	4 46	7 06	15 75	14 96	27. 94	25 29	17. 83
2007 年 11 月上旬		9 26	1. 16	1 5	2 96	16 11	18 21	8 58	14 3	5 57
2007 年 11 月中旬		17. 75	3 61	10 26	2 23	16 61	21	3 19	17. 37	8 22
2007 年 11 月下旬		15	1. 25	10 39	4 39	9 29	7 53	5 33	10 39	14 53
2007 年 12 月上旬		26 25	2 2	0 27	2 87	19 33	17. 17	4	17	17. 33
2007 年 12 月中旬		31. 54	5 16	6 08	2 88	8 46	26 48	3 52	15 76	20 88
2007 年 12 月下旬		22 02	4 89	3 56	2 56	4 08	5 11	2 54	2 42	18 74
2008 年 1 月上旬		23 18	8 47	66 93	69 33	3 31	6 81	1 38	6 83	48 29
2008 年 1 月中旬		53 00	1. 65	39 17	69 32	28 56	29 52	75 24	33 29	79 31
2008 年 1 月下旬		74 83	1. 27	28 04	68 19	56 96	55 75	94 89	90 02	83 39
2008 年 2 月上旬		64 26	0 47	16 80	64 82	55 76	46 76	88 66	80 39	74 54
2008 年 2 月中旬		41. 50	0 15	7 28	52 48	53 96	44 42	67. 24	68 23	69 33
2008 年 2 月下旬		21 90	4 57	4 34	51 34	67 33	35 28	43 76	78 96	74 39
2008 年 3 月上旬		22 91	2 22	2 69	33 44	55 29	23 93	22 45	54 95	43 51
2008 年 3 月中旬		9 68	4 44	2 38	15 73	54 63	39 34	26 02	46 44	31. 64
平 均		29 02	3 04	12 91	28 40	30 38	25 41	30 02	37. 24	38 15

由表 2, 就积雪面积占草原面积的比例而言, 随着时间的推移, 除东北地区在 2008 年 1 月上旬达到最大比例外, 其他监测地区均在 2008 年 1 月下旬达到最大值, 这种趋势与积雪面积分布趋势基本一致。2008 年 1 月下旬, 草原积雪面积占草原面积比例达到最大值的省区为: 内蒙古 74.83%、四川 56.96%、西藏 55.75%、甘肃 94.89%、青海 90.02% 和新疆 83.39%, 分别是初期 10 月 15~20 日的 17.90 倍、2.77 倍、3.92 倍、16.82 倍、2.64 倍和 28.46 倍; 东北地区在 1 月上旬达到最大值, 草原积雪面积占草原面积比例分别为: 辽宁 8.47%、吉林 66.93% 和黑龙江 69.33%, 分别是初期比例的 7.92 倍、27.89 倍和 14.63 倍。

对于内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、四川、西藏、甘肃、青海、新疆等 9 省区草原积雪面积大小占各自草原总面积比例的相对比较而言, 在监测各时段内, 新疆草原积雪面积占草原总面积的平均值相对最大, 达到 38.15%; 辽宁草原积雪面积占草原总面积的平均值相对最小, 为仅 3.04%。在监测各时段内各省区草原积雪面积占草原总面积比例的平均值大小排序为: 新疆> 青海> 四川> 甘肃> 内蒙古> 黑龙江> 西藏> 吉林> 辽宁。

总体而言, 对于被监测的 9 省区来说, 只有新疆、吉林、辽宁的积雪绝对范围与积雪占各自草原面积相对比例存在对应关系, 新疆积雪面积绝对大小与占草原面积相对大小在 9 省区中都位居第一位, 而吉林、辽宁积雪面积绝对大小与占草原面积相对大小两指标在 9 省区中位居倒数第二位、第一位。对于青海、四川、甘肃、内蒙古、黑龙江、西藏而言情况则出现变化, 西藏积雪面积绝对大小位居倒数第三, 但是其积雪面积占草原面积相对比例则位居第三; 青海积雪面积绝对大小位居第二, 但是其积雪面积占草原面积相对比例则位居第四。

2.2 各监测区域草原积雪的空间发生特征

2007 年 10 月 15 日至 2008 年 3 月 31 日期间我国各监测区域各旬草原积雪空间发生状况见表 3、图 1。

2007 年 10 月 15 日到 10 月下旬, 监测区域内积雪分布向东部和北部扩展, 主要是向内蒙古东北部和中部、东北地区、甘肃中部扩展; 到 11 月上旬, 监测区域东部积雪分布范围有所减小; 11 月中旬, 内蒙古东部地区、东北地区和青藏高原积雪分布面积又有所增加; 11 月下旬, 青藏高原地区积雪分布范围有所减小, 新疆积雪面积增大; 12 月上旬, 内蒙古中部、四川北部积雪面积有增加的趋势; 12 月中旬, 内蒙古东部、东北地区和新疆北部积雪面积继续增加; 12 月下旬, 青藏高原地区、内蒙古和东北地区积雪分布范围有所缩减; 2008 年 1 月上旬, 新疆北部积雪范围有所增加; 1 月中旬, 新疆北部、内蒙古中西部、青藏高原东南部积雪分布范围都呈增加的态势; 1 月下旬, 积雪分布在甘肃大部、四川北部、新疆北部、青藏高原东部、内蒙古西部范围继续增加; 2 月上旬, 除内蒙古北部积雪有所减少以外, 其他地区积雪面积仍较多; 2 月中旬, 内蒙古北部、青藏高原、新疆北部和东北地区积雪范围继续减小; 2 月下旬, 内蒙古中西部积雪分布继续减少、四川西北部和青海积雪分布面积有所增加; 3 月上旬, 青藏高原、新疆北部、东北地区和四川北部积雪面积继续减少; 3 月中旬, 新疆北部、内蒙古北部、东北地区和四川北部积雪面积继续缩减。

总体而言, 在监测时段内, 青藏高原与内蒙古为我国持续降雪的核心区域, 其他地区降雪情况随时间出现一定的波动。

表 3 2007 年 10 月 15 日至 2008 年 3 月 20 日期间各监测区域各旬草原积雪遥感监测结果

时段	主要草原积雪区域
2007. 10 15~ 10 20	青海中部、西藏北部、四川西北部 and 西南部、内蒙古呼伦贝尔地区
2007 年 10 月下旬	新疆北部、内蒙古中部、甘肃南部、青海南部、西藏北部
2007 年 11 月上旬	青藏高原中部、四川西部、内蒙古东北部与东南部、黑龙江北部、甘肃中部、新疆北部
2007 年 11 月中旬	内蒙古东南部、新疆北部、青藏高原中东部、四川西北部
2007 年 11 月下旬	内蒙古东部、新疆北部、西藏东南部、青海北部、东北地区西部
2007 年 12 月上旬	内蒙古中部与东北部、新疆北部、青藏高原西南部、四川西北部、黑龙江北部
2007 年 12 月中旬	内蒙古中东部、黑龙江北部、吉林与辽宁西部、新疆北部、西藏北部、青海局部
2007 年 12 月下旬	东北地区中西部、内蒙古东部、新疆北部、西藏东南部、四川局部
2008 年 1 月上旬	东北地区西部、内蒙古东北部、新疆北部、西藏西部和青海中部
2008 年 1 月中旬	内蒙古东北部和中西部地区、新疆大部、甘肃北部和中部、青海北部和东南部、西藏西部和东南部、黑龙江西部和东部局部、吉林西部
2008 年 1 月下旬	黑龙江西部和东部、内蒙古中西部和东北部、新疆大部、青海大部、西藏西南部和东北部、甘肃中部和北部、四川西北部
2008 年 2 月上旬	黑龙江中部、内蒙古地区中部和东北部、甘肃东北部和南部、四川北部、青海南部、西藏东部和北部、新疆北部
2008 年 2 月中旬	黑龙江中部、内蒙古地区西南部和东北部、甘肃南部和东部、四川北部、青海南部、西藏南部局部、新疆北部
2008 年 2 月下旬	黑龙江中西部、内蒙古东北部局部、青海南部和东部、四川北部、西藏东南部、新疆大部
2008 年 3 月上旬	黑龙江中部局部、内蒙古呼伦贝尔地区、青海南部、四川西北部、西藏东南部、新疆北部局部
2008 年 3 月中旬	青海南部局部、四川西北部、西藏东南部、新疆北部局部

2 3 我国草原积雪发生的总体状况

在监测时段内，被监测区域草原积雪的发生面积呈现出总体扩大的格局与态势（图 2），即 2007 年 10 月 15 日开始进行监测，此后草原积雪面积出现上下波动，积雪面积总体增大，到 2008 年 1 月下旬草原积雪面积达到最大，此后草原积雪面积呈持续减少的态势。总体而言，监测时段内我国草原积雪面积总体持续增加。2007. 10 15~ 10 20 期间，监测区域内总的草原积雪面积为 661763km²，到 2008 年 1 月下旬达到 2251141km²，此监测时段积雪面积达到到 2007 年 10 月中旬的

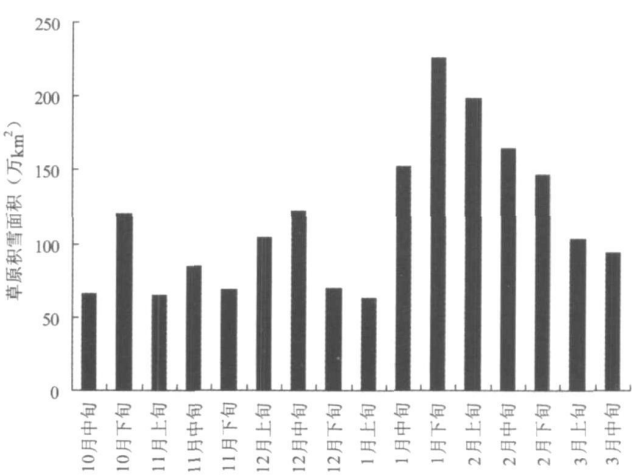


图 2 监测区域总的积雪面积随时间的波动
Fig. 2 Fluctuation of the total grassland snow area in nine monitoring provinces in different periods of time

3.4 倍；到监测结束的 2008 年 3 月中旬，监测区域内总的积雪面积为 936429km²，为 2007 年 10 月中旬的 1.42 倍。

就内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、四川、西藏、甘肃、青海、新疆等 9 省区的平均状况而言，也呈现出总体扩大的格局与态势（图 3）。2007. 10. 15 ~ 2007. 10. 20 期间草原积雪面积占草原总面积的比例平均为 9.99%，即对 9 省区而言，各自平均约有 1/10 的草原被积雪覆盖；到 2008 年 1 月下旬，草原积雪面积占草原总面积的比例平均达到 61.48%，即对 9 省区而言，各自平均约有

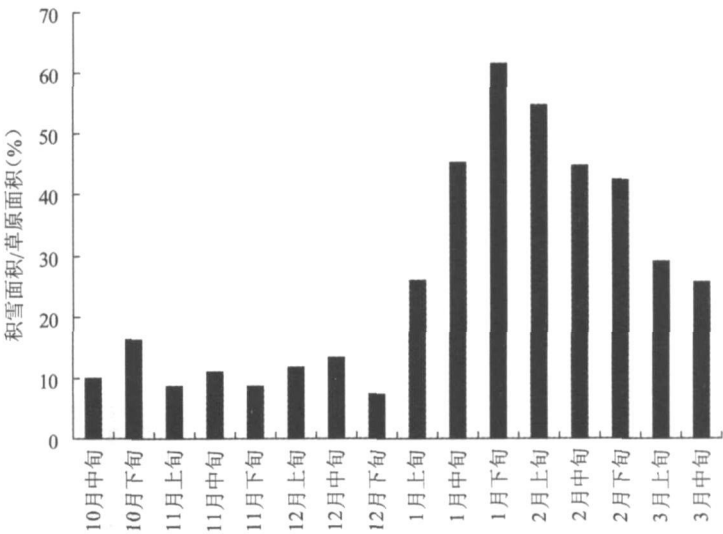


图 3 监测 9 省区草原积雪面积占草原总面积的平均比例变化

Fig 3 Proportion of grassland snow area to the total grassland in nine monitoring provinces in different periods of time

3/5 的草原被积雪覆盖；到监测结束的 2008 年 3 月中旬，监测区域内总的草原积雪面积平均为 25.59%，即对 9 省区而言，各自平均仍约有 1/4 的草原被积雪覆盖。总体而言，监测时段内我国草原积雪面积占草原总面积的比例总体持续增加。

草原积雪时空变化，究其原因，主要是受气候异常影响。2007 年冬季至 2008 年春季，大气环流异常使冷空气自西北方向沿河西走廊连续不断入侵；冷空气活动频繁，造成我国大部地区气温偏低、降水偏多。其中，四川、甘肃、青海 3 省降水量达 1951 年以来同期最大值，甘肃、青海、四川、西藏 4 个省区的降水量超过 20 年一遇。

3 结论与讨论

本文着眼于我国草原防灾减灾以及国家开展重特大雪灾应急响应工作的极迫切现实需求，基于 NASA MODIS 数据，在成功研发出我国草原雪灾遥感监测软件系统的基础上，实现了对 2007 年 10 月 15 日至 2008 年 3 月 20 日期间我国草原积雪的遥感监测，获取了监测时段各天、各旬的草原积雪范围及其面积数据，为政府农业部门防灾减灾与应急响应决策提供了全面、及时而准确的科学参考。

(1) 随着时间变化，除东北地区外，积雪面积均在 1 月下旬达到最大值，而黑龙江和吉林在 1 月上旬达到最大面积。总体而言，在 10 月中旬到 1 月下旬，草原积雪面积呈现波动变化，1 月下旬以后，积雪面积总体上呈现迅速减少的态势。在监测各时段内各省区草原积雪面积平均值大小排序为：新疆> 内蒙古> 西藏> 青海> 四川> 甘肃> 黑龙江> 吉林> 辽宁。

(2) 就积雪面积占草原面积的比例而言，随着时间的推移，除东北地区在 08 年 1 月上旬达到最大比例外，其他监测地区均在 08 年 1 月下旬达到最大值，这种趋势与积雪面

积分布趋势基本一致。东北地区在 1 月上旬达到最大值。在监测各时段内各省区草原积雪面积占草原总面积比例的平均值大小排序为: 新疆> 青海> 四川> 甘肃> 内蒙古> 黑龙江> 西藏> 吉林> 辽宁。

(3) 从空间上看, 青藏高原与内蒙古为我国持续降雪的核心区域, 其他地区降雪情况随时间则出现一定的波动。

(4) 在监测时段内, 被监测区域草原积雪的发生面积呈现出总体扩大的格局与态势。2007. 10 15~ 10 20 期间, 监测区域内总的草原积雪面积为 661763 km²。2008 年 1 月下旬草原积雪面积是 2007 年 10 月中旬的 3 4 倍; 2008 年 3 月中旬是 2007 年 10 月中旬的 1. 42 倍。

当然, MODIS 数据虽然具有较高的时空分辨率和光谱分辨率, 为积雪监测研究及应用提供了良好的条件, 但也还存在一些制约因素^[14, 15], 例如天气情况、混合像元现象等, 但是就目前进行我国大范围的积雪监测来讲, 其仍不失为一种最为有效的方法。再者, 光学传感器 (如 MODIS) 始终受到天气的影响严重, 这就限制了光学遥感数据的应用。被动微波遥感 (如 AMSR-E 数据) 不受云层等因素的影响, 能够全天候地进行地表积雪信息的获取, 因此, 如何将光学与微波遥感数据两者结合起来实现草原积雪信息的全天候监测是本文下一步的工作方向。

参考文献:

- [1] 民政部. 冰冻雪灾已造成 1111 亿元直接经济损失. <http://news.sohu.com/20080213/n255143433.shtml>
- [2] Andrew G K, Dorothy K H, George A R. Improving snow-cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model. *Hydrological Processes*, 1998, 12: 1723~ 1744
- [3] Chang A T C, Foster J L, Owe M, *et al.* Passive and active microwave studies of wet snowpack properties. *Nordic Hydrology*, 1985, 16: 57~ 66
- [4] 冯学智, 李文君, 柏延臣. 雪盖卫星遥感信息的提取方法探讨. *中国图象图形学报*, 2000, 5(10): 836~ 839
- [5] 冯学智, 鲁安新, 曾群柱. 中国主要牧区雪灾遥感监测评估模型研究. *遥感学报*, 1997, 1(2): 129~ 134
- [6] 梁天刚, 刘兴元, 郭正刚. 基于 3S 技术的牧区雪灾评价方法. *草业学报*, 2006, 15(4): 122~ 128
- [7] 刘兴元, 陈全功, 梁天刚, 等. 新疆阿勒泰牧区雪灾遥感监测体系构建与灾害评价系统研究. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 215~ 220
- [8] 陈贤章, 李新, 鲁安新, 等. 积雪量化遥感研究进展. *遥感技术与应用*, 1996, 11(4): 46~ 52
- [9] Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V. Theoretical Basic Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice Mapping Algorithms, 2001, NASA.
- [10] GESELL G. An algorithm for snow and ice detection using AVHRR data: An extension to the APOLLO software package. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10: 897~ 905
- [11] Baum B A, Trepte Q. A grouped threshold approach for scene identification in AVHRR imagery. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1999, 16(6): 793~ 800.
- [12] 延昊. NOAA 16 卫星积雪识别和参数提取. *冰川冻土*, 2004, 26(3): 369~ 373
- [13] Dozier J. Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 1989, 28: 9~ 22
- [14] 曹云刚, 杨秀春, 徐斌, 等. MODIS 在青藏高原大范围积雪制图中的应用及存在的问题. *科技导报*, 2007, 25(21): 51~ 54
- [15] 曹云刚, 刘闯. 从 AVHRR 到 MODIS 的雪盖制图研究进展. *地理与地理信息科学*, 2005, 21(5): 15~ 19

Remote sensing monitoring of grassland snow in China: From October 2007 to March 2008

YANG Xiu-chun¹, Cao Yun-gang², XU Bin¹, ZHU Xiao-hua³

(1 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China;

2 Department of Survey Engineering, School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

3 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Snow disaster is one of the main meteorological disasters in the grassland pasturing area of China in winter and spring. Based on the NASA MODIS data, remote sensing was used to monitor the grassland snow disaster in early 2008. The data of grassland snow was successfully obtained covering from October 15th, 2007 to March 20th, 2008 of nine provinces, including Inner Mongolia, Liaoning, Jilin, Heilongjiang, Sichuan, Tibet, Gansu, Qinghai and Xinjiang. It can provide complete, timely and exact science reference for the agriculture department to make decisions about disaster prevention and reduction. The results show:

(1) For the absolute comparison of the grassland area in the nine provinces, during the whole monitoring period, the average snow area of grassland in Xinjiang is the largest, which is 291485 km². The least is Liaoning, which is 2483 km². In the period, the order of snow area of all the provinces is Xinjiang, Inner Mongolia, Tibet, Qinghai, Sichuan, Gansu, Heilongjiang, Jilin and Liaoning.

(2) As the proportion of snow area of every province to its own total grassland area, in each phase of the period, Xinjiang has the largest proportion to the whole province's total grassland area, which is 38.15%. Liaoning's grassland snow area is the least, which is 3.04%. In each monitoring phase, every province grassland snow area to the total grassland area is ordered by Xinjiang, Qinghai, Sichuan, Gansu, Inner Mongolia, Heilongjiang, Tibet, Jilin and Liaoning.

(3) During the monitoring time period, Qinghai-Tibet Plateau and Inner Mongolia are the core snowing areas, and there are fluctuations of snowing in the other areas.

(4) Monitoring started from October 15th, 2007, when fluctuations of grassland snow area existed, the total snow area increased. In the late January of 2008, the grassland snow area reached the maximum value, and then it tended to decrease. The total grassland snow area in the monitoring area reached the maximum value in the late January of 2008, which is 2251141 km².

(5) At the beginning of the monitoring period, 10% of the grassland was covered by snow on average in every province. In the late January of 2008, the proportion of grassland snow area to the total grassland became 61.48% on average. At the end of monitoring period, which is mid-March, about a quarter of grassland was covered by snow in every province of the nine.

Key words: grassland snow; remote Sensing; monitoring