

阿尔泰山小东沟林区植被随地形分布规律*

井学辉^{1,3} 曹磊¹ 郭仲军^{2**} 臧润国³ 黄继红³ 王计平³ 丁易³

¹承德市环境保护局 承德 067000

²新疆林业科学院森林生态研究所 乌鲁木齐 830000

³国家林业局森林生态环境重点实验室,中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 北京 100091

摘要 在高度异质性的山区景观中,地形通过不同生态因子时空分布的影响而成为植被分布的决定性因素。在野外调查的基础上,将植被遥感影像分类图基本像元分别与由DEM推算出来的坡度、坡向、海拔和剖面曲率图相叠加,定量分析新疆阿尔泰山小东沟林区不同植被类型分布与地形因子之间的关系。通过遥感影像并结合地面调查数据,可将阿尔泰山小东沟林区的植被划分为针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌木林和草地5种类型。该区域的地形特征如下:坡度以斜陡坡为主,占总面积的64.32%;坡向以西南坡最多,其次是东北坡,分别占总面积的15.02%和14.78%,东南坡和南坡所占面积较少,分别占总面积的9.30%和10.20%;海拔以1 200-2 000 m居多,占总面积的87.19%,是整个研究区的主要海拔分布范围;剖面曲率以5-10°面积最大,占总面积33.31%,其次是剖面曲率3-5°和0-3°,分别占总面积的22.84%和22.44%。剖面曲率>10°的区域占总面积比例较小。各植被类型分布频率最高的地形生境因子组合分别为:针叶林是坡度15-35°的斜陡坡,西北坡,海拔1 800-2 000 m,剖面曲率0-3°;阔叶林是坡度15-35°的斜陡坡,西北坡,海拔1 400-1 600 m,剖面曲率5°-10°;针阔混交林是坡度15-35°的斜陡坡,北坡,海拔1 600-1 800 m,剖面曲率5-10°;灌木林是坡度15-35°的斜陡坡,西坡,海拔1 400-1 600 m,剖面曲率5-10°;草地是坡度15-35°的斜陡坡,南坡,海拔1 200-1 400 m,剖面曲率5-10°。研究不同植被类型随地形生境的变化规律可为生物多样性保育宏观规划和森林可持续经营提供重要科学依据。图3表3参42

关键词 阿尔泰山; 小东沟; 植被类型; 地形; 生境

CLC Q948.114 (245)

Distribution of vegetation types with topography in the Xiaodonggou forest region of Altai Mountains, northwest China*

JING Xuehui^{1,3}, CAO Lei¹, GUO Zhongjun^{2**}, ZANG Runguo³, HUANG Jihong³, WANG Jiping³ & DING Yi³

¹Chengde Bureau of Environmental Protection of Hebei, Chengde 067000, China

²Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830000, China

³Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract The distribution of vegetation often changes along habitat gradient. To a large extent, the patch mosaic pattern of vegetations in a landscape can reflect the spatial heterogeneity of habitats. In the heterogeneous landscapes of mountainous areas, topography is regarded as the most important factor of restricting vegetation distributions. In this paper, our aim was to explore the general distribution of major vegetation types with the variation of topography, and to select the optimum combination of topographic factors for each vegetation type, so that rational conservation management plan can be made based on the optimum mosaics of vegetation types in the landscape. Filed sample plot investigation was carried out to get vegetation data. Topographic factors were calculated by digital elevation model (DEM). Vegetation types were classified by ground investigation and remote sensing imagery interpretation. The relationship between vegetation distribution and topographic factors was analyzed by overlaying the remote sensing classification pixel map and maps of slope, aspect, altitude, and profile curvature. The vegetation in Xiaodonggou of Altai Mountains could be classified into five types including coniferous forest, broadleaved forest, conifer-broadleaf mixed forest, shrubs, and grassland. The topographic features in the study region are as follows: the slope mainly ranges from 15° to 35°, accounting for 64.32% of the study area. West-south aspect is the main aspect, followed by east-north aspect, accounting for 15.02% and 14.78% respectively of the study area. There are lesser areas

收稿日期 Received: 2014-10-11 接受日期 Accepted: 2015-01-21

*国家“十二五”科技支撑课题(2012BAD22B0301-2)资助 Supported by the Sci-tech Pillar Project of the Twelfth Five-year Plan of China (2012BAD22B0301-2)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: gjj19641101@sina.com)

in east-south and south aspect, accounting for 9.30% and 10.20% of the study area respectively. In the Xiaodonggou of Altai Mountains, the main altitude gradient ranges from 1 200 m to 2 000 m, accounting for 87.19% of the study area. The value of profile curvature ranges from 5° to 10°, accounting for 33.31% of the study area, while the ranges from 3° to 5° and from 0° to 3°, accounting for 22.84% and 22.44% of the study area respectively. The optimal (high frequency of distribution) combination of topographic factors for different vegetation types are as follows: coniferous forest mainly distributed in slopes from 15° to 35° on west-north aspects with altitude of 1 800 m to 2 000 m, and profile curvature from 0° to 3°. Broadleaved forest is mainly distributed in slopes from 15° to 35° on west-north aspects, with altitude of 1 400 m to 1 600 m, and profile curvature of 5° to 10°. Conifer-broadleaf mixed forest is mainly distributed in slopes from 15° to 35° on north aspects, with altitude of 1 600 m to 1 800 m, and profile curvature from 5° to 10°. The optimal combination of topographic habitat for shrubs is in slopes from 15° to 35° on west aspects, with altitude of 1 400 m to 1 600 m, and profile curvature from 5° to 10°. The optimal combination of topographic habitat for grassland distribution is in slopes from 15° to 35° on south aspects, with altitude from 1 200 m to 1 400 m, and profile curvature from 5° to 10°. The results of this paper can be an important reference for biodiversity conservation, resources utilization and sustainable management planning at landscape scale.

Keywords Xiaodonggou; Altai Mountain; vegetation type; topography; habitat

植物群落的本质特征之一是群落中的植物与环境之间存在着一定的相互关系。环境既是形成群落的要素，也是群落存在的条件^[1]。环境对植物物种分布的影响依赖于观察的尺度^[2-3]。在较大的尺度上，气候和地理是控制植被分布的主要因素，而在较小研究尺度上，过去的土地利用历史、土壤特性和生物学特性等因素则成为影响物种分布的主要因子^[4-5]。在较为宏观的生态学分析中，地形对植被格局的影响越来越受到广泛的关注^[6-9]。地形因子包括坡度、坡向、海拔高度以及局部的小地形变化等。地形对植被分布的影响主要是间接地通过影响其它生态因子（如光照、温度、水分、土壤等）的时空分布而发生作用的。如坡度因其倾斜程度不同，单位面积所接受的能量不一样，从而影响土壤水分和养分的流失状况。一般情况下，坡度大的地方土层较薄，土壤水分较少，无机盐容易淋失；坡度平缓处，土壤较深厚的地方，土壤水分也多，因此不同坡度上发育的植被会有所不同。坡向通过对小气候的改变，从而影响植物的空间分布格局^[10]。如在北半球，阴坡与阳坡相比因其受到光照较少，会比较阴暗、潮湿和寒冷^[11]。海拔是一个对不同的小地形和生态因子起间接作用的主导地形因子，因其影响温度、降水和地形条件，从而影响土壤湿度和光照条件，因此海拔也是影响山区森林植被组成的主要自然梯度^[12-13]。国内外学者开展了一系列山区植被与地形因子关系的研究案例^[14-17]，探讨了控制山区植被类型分布的主要影响因素。然而基于遥感和地理信息系统相结合的方法，分析不同植被类型在不同生境条件下分布规律的研究并不多。

阿尔泰山脉是亚洲的宏伟山系之一，东起蒙古巴彦温都尔，经我国新疆北部向西延至俄罗斯的鲁布佐夫斯克，横亘蒙古、中国、哈萨克斯坦、俄罗斯4国。中国境内的阿尔泰山属于其中段的西南坡，它由一系列南西向北东逐渐升高的阶梯状山地组成，切割强烈。地形呈带状排列，由平原、低山、中山及高山4部分组成。本文所指的阿尔泰山山地植被主要指分布于我国境内阿尔泰山南坡中段的小东沟林区辖域范围内的植被。其中，森林主要分布在陡斜的阴坡，在趋于干旱的阳坡多为草甸草原。人类干扰对生态系统造成的破坏到处可见，而且破坏的频率和数量呈增加趋势^[18]。阿尔泰山小东沟

林区是阿勒泰牧民的夏季放牧场，也是著名的旅游景点。放牧和旅游对小东沟林区植被类型造成一定的破坏性影响。

有关阿尔泰山林区的研究主要集中在森林经营、幼苗更新、森林植物区系划分和生物多样性等方面^[19-22]，地形因子对植被类型分布的影响目前还没有开展过。通过外业调查时对阿尔泰山小东沟林区的初步观察，发现这里的植被类型呈现明显的随地形条件起伏而变化的现象，如我们观察到阴坡的森林覆盖度明显高于阳坡，即使在阴坡，草地和灌木类型斑块往往和不同类型的森林斑块呈现镶嵌分布。在某些地段，乔木植被通常分布在有一定的下凹的小沟中，而临近的凸起的小山梁上则分布草地斑块。是什么地形条件控制阿尔泰山小东沟林区不同的植被类型出现在特定的地形条件下是一个非常值得去探讨的问题。为此，我们选择阿尔泰山小东沟林区为研究对象，在外业调查的基础上，应用遥感（RS）和地理信息系统（GIS）相结合的方法，在对小东沟林区遥感影像分类的基础上，定量分析地形因子对小东沟林区植被类型分布的影响。本研究分析的主要内容有：（1）阿尔泰山小东沟的植被类型划分；（2）阿尔泰山小东沟林区的地形因子特征；（3）不同植被类型在不同地形因子分级中的分布规律；（4）找出不同植被类型分布生境的最佳或较适合的生境地形因子组合。期望通过本研究，能够为今后该区域自然资源管理、生物多样性保护和景观规划提供一定的依据。

1 研究区概况

阿尔泰山在行政上属于新疆阿勒泰地区，阿勒泰地区地理位置N45°59' -49°10'，E85°31' -91°01'。属于大陆性寒温带气候。气候多严寒，冷暖悬殊，年较差大，日较差也显著。年均温4.5 °C，极端最低气温-43.5 °C，极端最高温度37.6 °C。年均降水量183 mm，主要集中在6-12月份，占年降水量的70%-80%。年均日照时数3 010.8 h。年均风速1.0-5.0 m/s，多八级以上大风，春季最多，夏季次之，秋冬空气比较稳定。年降雪140-150 d，积雪深度50-60 cm，最深可达89 cm。

研究区位于小东沟林区内的小东沟山系，距离阿勒泰市区北约10 km处。年均温度-4 °C - -2 °C。年降水较丰

富,且降水量随海拔的升高而递增,同时也从北向南,从西向东逐渐减少。林区主要土壤有山地栗钙土和山地灰色森林土。该林区乔木树种比较单纯,主要有西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*),还有较少的西伯利亚云杉(*Picea obovata*)、西伯利亚冷杉(*Abies sibirica*),落叶阔叶树树种主要有欧洲山杨(*Populus tremula*)、疣枝桦(*Betula pendula*)和苦杨(*Populus laurifolia*)等。灌丛种类丰富,有多种刺柏属(*Juniperus*)、圆柏属(*Sabina*)、蔷薇属(*Rosa*)、栒子属(*Cotoneaster*)、忍冬属(*Lonicera*)、小檗属(*Berberis*)、绣线菊属(*Spiraea*)的种类等。

2 研究方法

2.1 研究材料及处理

收集覆盖研究区的ETM+影像一景,成像时间2003年8月16日。利用1:50 000数字化地形图,在Erdas8.7软件的支持下,采用Date Preparation模块的Image Geometric Correction功能对影像采用3次多项式法进行精确校正。校正精度控制在1个像元(30 m × 30 m)以内。对配准过的影像做了辐射校正。为能与由地形图生成的坡度、坡向等图叠加,对配准过的影像进行重采样,像元输出大小均为30 m × 30 m。

2.2 影像分类

依据影像的分辨率并结合2006年的外业调查资料和阿尔泰林场二类调查的林班资料和小东沟林相图,本研究最终确定将小东沟影像划分为5种植被类型(表1)。分类后的阿尔泰山小东沟林区景观类型图见图1。

表1 小东沟植被类型

Table 1 Vegetation types in Xiaodonggou

代码 Code	植被类型 Vegetation type	面积 (A/km ²) Area	面积百分比 (P/%) Area percentage
1	针叶林 Coniferous forest	2.39	8.59
2	阔叶林 Broadleaved forest	11.20	40.33
3	针阔混交林 Conifer-broadleaf mixed forest	1.58	5.71
4	灌丛 Shrubs	6.16	22.19
5	草地 Grassland	6.43	23.18

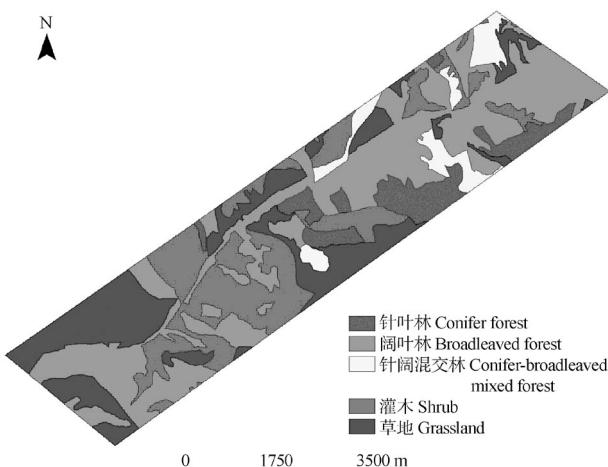


图1 小东沟植被类型图。

Fig. 1 Map of vegetation types in Xiaodonggou.

2.3 地形空间数据及其分级

本研究的DEM采用1:50 000数字化地形图在具有水文增强作用的地形插值程序ANUDEM4.6中完成^[23]。选择最终输出栅格大小为30 m。利用产生的DEM在地理信息系统软件ArcGIS9.1中生成海拔、坡度、坡向、剖面曲率4个栅格数据^[24]。剖面曲率是对地面坡度变化率的度量,它是一个具有微观区域特征的地形因子,是反映地形起伏变化特征的重要指标^[25-26]。

为了详细分析小东沟植被类型与地形因子之间的关系,将研究区地形因子中的海拔按照每200 m划分一个海拔段,共划分成6段。将坡度划分为平缓坡(0-15°)、斜陡坡(15-35°)、危险坡(>35°)3个等级。坡向划分成北坡(338-360°,0-22°)、东北坡(23-67°)、东坡(68-112°)、东南坡(113-157°)、南坡(158-202°)、西南坡(203-247°)、西坡(248-292°)和西北坡(293-337°)8个坡向。按照水保通用的分级标准^[27]对剖面曲率进行分级,共分成0-3°、3-5°、5-10°、10-15°、15-20°和>20°共6级。为了便于制图,对坡度、坡向、海拔和剖面曲率的划分区间用代码表示(表2)。由DEM生成的坡度、坡向、海拔和剖面曲率图,按照上面的划分标准进行划分,然后统计每个等级的面积占总面积百分比。

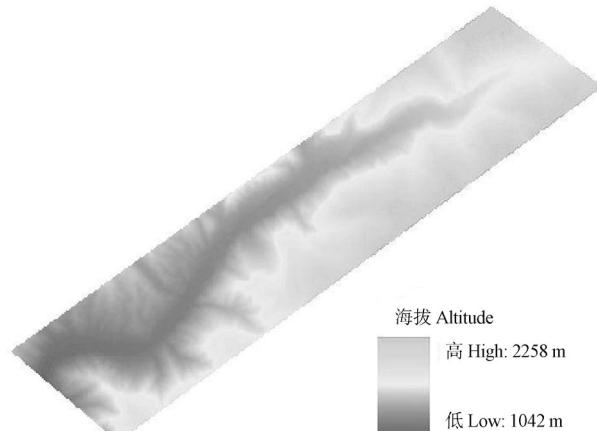


图2 研究区海拔分布图。

Fig. 2 Altitude of the study area.

2.4 数据分析

研究区总面积为27.76 km²。在ArcGIS9.1软件支持下,将小东沟影像分类后得到的植被类型图与由DEM推算出来的坡度、坡向、海拔和剖面曲率图分别叠加,通过统计不同植被类型在不同的坡度、坡向、海拔、剖面曲率级别中出现的像元分布频率,从而计算出不同植被类型在不同地形因子等级中出现的频率,将出现频率最高的地形因子等级视为植被分布最佳的等级。

3 结果

3.1 地形因子特征分析

由图3可见,阿尔泰山小东沟林区坡度分布中,以斜陡坡居多,占研究区总面积的64.32%,危险坡次之,占总面积的21.80%,平缓坡在研究区所占面积最少,仅占3.88%。斜陡坡

和危险坡共占总面积的86.12%，比例很大，说明研究区地形比较陡峭。

研究区的坡向因子中，以西南坡面积最多，占总面积的15.02%，东北坡次之，占总面积的14.78%，其次是东坡和西坡，各占研究区总面积的13.82%和13.44%。东南坡占总面积最少，仅占9.30%，其次是南坡，占总面积的10.20%。

研究区的海拔因子中，最低海拔是1 042 m，最高海拔是2 258 m，海拔1 400-1 600 m所占面积最多，占总面积的27.87%，其次是海拔1 200-1 400 m，占总面积的26.54%，再次是海拔1 600-1 800 m，占研究区总面积的19.17%。海拔2 000-2 258 m所占面积最少，仅为4.84%，其次是海拔1 042-1 200 m，占总面积的7.97%。总的来看，海拔1 200-2 000 m占研究区总面积的87.19%，是整个研究区的主要海拔分布范围。

从研究区的剖面曲率统计看，阿尔泰山小东沟林区剖面

曲率中以5-10°面积最多，占总面积33.31%，其次是剖面曲率3-5°和0-3°，分别占总面积的22.84%和22.44%。剖面曲率>10°的区域占总面积比例较小，其中剖面曲率>20°的面积仅占研究区总面积的2.7%。

3.2 不同植被类型在不同地形因子等级中的分布比例

为了分析地形因子对植被类型分布的影响，在ArcGIS9.1软件的支持下，将小东沟影像分类后的植被类型图与研究区的坡度、坡向、海拔和剖面曲率图分别叠加，找出坡度、坡向、海拔和剖面曲率的不同区间各个植被类型分布情况，统计各植被类型在不同地形因子区间所占面积比例。

由表3可见，不同坡度等级中植被类型分布规律如下：针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌木和草本均主要分布在斜陡坡，各占其总面积比例分别为81.43%、59.29%、64.15%、62.15%和68.45%；其次均分布在危险坡，分别占其总面积的14.77%、

表2 不同地形因子分级

Table 2 Grading of topographic factors

地形因子 Topography factor	代码 Code	分级 Grade	地形因子 Topography factor	代码 Code	分级 Grade
坡度 Slope	1	0-15°	海拔 Altitude	1	1042-1200 m
	2	15-35°		2	1200-1400 m
	3	> 35°		3	1400-1600 m
坡向 Aspect	1	北坡 North slope		4	1600-1800 m
	2	东北坡 East-north slope		5	1800-2000 m
	3	东坡 East slope		6	2000-2258 m
	4	东南坡 East-south slope	剖面曲率 Profile curvature	1	0-3°
	5	南坡 South slope		2	3-5°
	6	西南坡 West-south slope		3	5-10°
	7	西坡 West slope		4	10-15°
	8	西北坡 West-north slope		5	15-20°
				6	> 20°

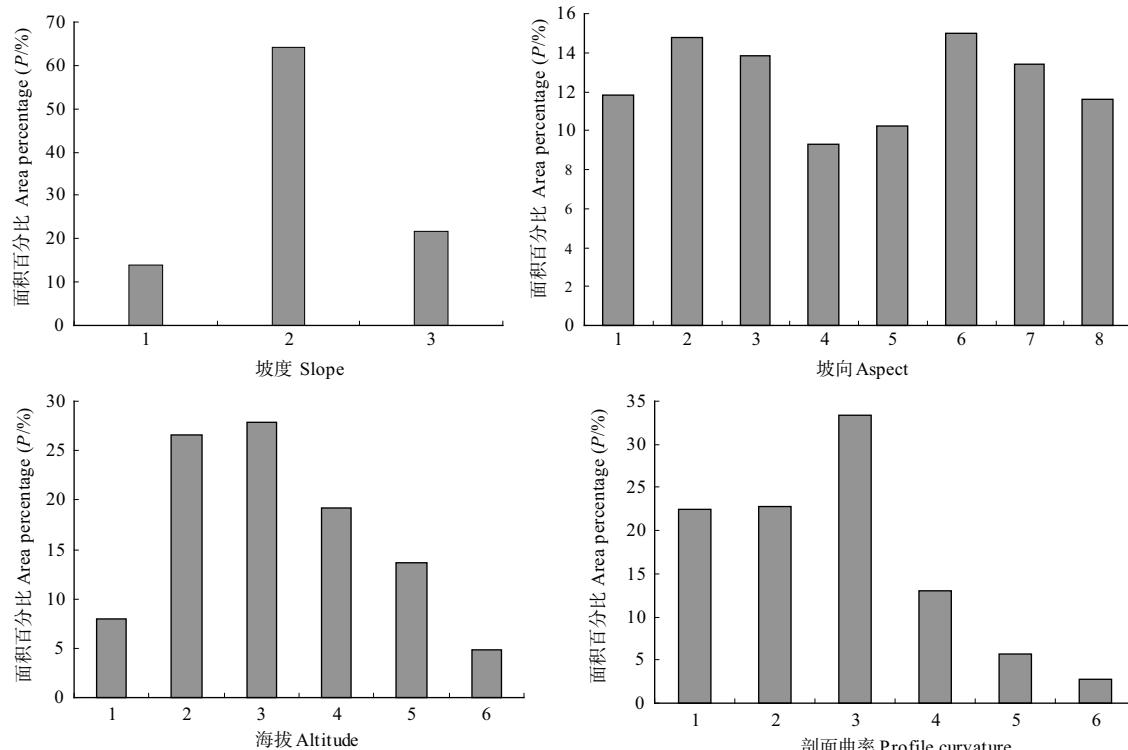


图3 研究区地形特征分析。

Fig. 3 Topography characteristic of study area.

表3 不同地形因子条件下各植被类型面积百分比 (P/%)

Table 3 Area percentage of vegetation types in different topographic factors (P/%)

地形因子 Topography factor	分级 Grade	针叶林 Coniferous forest	阔叶林 Broadleaved forest	针阔混交林 Conifer-broadleaf mixed forest	灌木 Shrub	草本 Grassland
坡度 Slope	1	3.8	16.58	8.81	15.5	13.4
	2	81.43	59.29	64.15	62.15	68.45
	3	14.77	24.13	27.04	22.35	18.15
坡向 Aspect	1	26.16	26.14	25.79	5.71	6.94
	2	8.86	8.11	4.4	2.45	3.15
	3	2.11	2.55	7.55	4.89	7.1
	4	0.42	7.29	18.87	13.05	20.82
	5	1.27	9.93	13.84	19.58	21.45
	6	2.53	7.74	6.29	14.52	18.45
	7	10.97	8.56	11.95	20.23	11.51
	8	47.68	29.68	11.31	19.57	10.58
海拔 Altitude	1	0	9.02	0	6.2	11.99
	2	9.28	22.13	8.17	29.2	42.9
	3	10.12	36.25	15.73	34.59	16.71
	4	21.1	20.31	33.34	21.37	10.88
	5	35.87	10.93	27.04	7.18	13.4
	6	23.63	1.36	15.72	1.46	4.12
剖面曲率 Profile curvature	1	35.86	22.86	30.19	16.80	20.19
	2	25.74	24.13	29.56	18.92	21.61
	3	25.74	31.69	31.45	37.03	35.80
	4	8.02	13.48	5.03	15.17	14.35
	5	2.95	4.64	2.52	8.48	6.31
	6	1.69	3.20	1.26	3.59	1.74

24.13%、27.04%、22.35%和18.15%。5种植被类型在平缓坡分布的面积均较少。

不同坡向因子中, 针叶林和阔叶林都主要分布在西北坡, 分别占其总面积的47.68%和29.68%, 其次均主要分布在北坡, 分别占其总面积的26.16%和26.14%。针阔混交林主要分布在北坡, 占其总面积25.79%, 其次是东南坡, 占其总面积18.87%, 再次是南坡、西坡和西北坡, 分别占其总面积的13.84%、11.95%和11.31%。灌丛主要分布在西坡, 占研究区总面积的20.23%, 其次是西北坡和南坡, 分别占总面积的19.58%和19.57%。草地主要分布在南坡和东南坡, 分别占研究区总面积的21.45%和20.82%, 其次是西南坡, 占研究区总面积的18.45%。

海拔梯度上, 针叶林主要分布在海拔1 800-2 000 m, 占其总面积的35.87%, 其次是海拔2 000-2 258 m, 占总面积23.63%, 再次是海拔1 600-1 800 m, 占总面积21.10%。阔叶林主要分布在海拔1 400-1 600 m, 占其总面积36.25%, 其次是海拔1 200-1 400 m和海拔1 600-1 800 m, 分别占其总面积22.13%和20.31%。针阔混交林主要分布在海拔1 600-1 800 m, 占其总面积33.34%, 其次是海拔1 800-2 000 m, 占其总面积27.04%。灌丛主要分布在海拔1 400-1 600 m, 占其总面积34.59%, 其次是海拔1 200-1 400 m, 占其总面积的29.20%, 再次是海拔1 600-1 800 m, 占其总面积的21.37%。草地主要分布在海拔1 200-1 400 m, 占其总面积的42.90%, 其次是海拔1 400-1 600 m, 占其总面积的16.71%。

各植被类型在剖面曲率因子中分布规律如下: 针叶林主要分布在剖面曲率0-3°, 占其总面积的35.86%; 阔叶林、针阔混交林、灌木和草本均主要分布在剖面曲率5-10°, 分别占其总面积的31.69%、31.45%、37.03%和35.80%; 其次, 针叶林主要分布在剖面曲率3-5°和5-10°, 分别占其总面积的25.74%

25.74%; 阔叶林、灌木和草本均主要分布在剖面曲率3-5°, 分别占其面积的24.13%、18.92%和21.61%; 针阔混交林其次主要分布在剖面曲率0-3°, 占其总面积的30.19%。

由此可见, 针叶林分布的最佳生境地形因子组合是: 坡度15-35°的斜陡坡, 西北坡, 海拔1 800-2 000 m, 剖面曲率0-3°; 阔叶林的最佳生境地形因子组合是: 坡度15-35°的斜陡坡, 西北坡, 海拔1 400-1 600 m, 剖面曲率5-10°; 针阔混交林的最佳生境地形因子组合是: 坡度15-35°的斜陡坡, 北坡, 海拔1 600-1 800 m, 剖面曲率5-10°; 灌丛的最佳生境地形因子组合是: 坡度15-35°的斜陡坡, 西坡, 海拔1 400-1 600 m, 剖面曲率5-10°; 草地的最佳生境地形因子组合是: 坡度15-35°的斜陡坡, 南坡, 海拔1 200-1 400 m, 剖面曲率5-10°。

针叶林比较适合的生境地形因子组合是: 坡度>35°的急险坡, 北坡, 海拔2 000-2 258 m, 剖面曲率3-10°; 阔叶林分布比较适合的生境地形因子组合是: 坡度>35°的急险坡, 北坡, 海拔1 200-1 400 m, 剖面曲率3-5°; 针阔混交林比较适合的生境地形因子组合是: 坡度>35°的急险坡, 东南坡, 海拔1 800-2 000 m, 剖面曲率0-3°; 灌丛分布比较适合的生境地形因子组合是: 坡度>35°的急险坡, 南坡和西北坡, 海拔1 200-1 400 m, 剖面曲率3-5°; 草地分布比较适合的生境地形因子组合是: 坡度>35°的急险坡, 东南坡, 海拔1 400-1 600 m, 剖面曲率3-5°。

4 讨论

环境异质性是植被类型分异的重要因素。地形虽然不是植物生长发育所需的直接生态因子, 但它却通过对不同生态因子的时空分布及其组合具有重要的控制作用。在高度异质性的山区景观中, 地形虽然是间接因子, 但它却是山区植被

类型分布的最终决定性因素。因此，在山区植被的研究中，重视地形因子的主导作用，找出植被分布的主导性地形因子及其组合，实际上就是寻找植被最佳生境的过程。而在此类研究中，单独依靠传统的野外调查是不可能实现的。随着3S技术的发展，在景观水上剖析植被分布的因素已成为可能。本文在野外调查的基础上，将植被遥感影像分类图基本像元分别与由DEM推算出来的坡度、坡向、海拔和剖面曲率图相叠加，定量分析了新疆阿尔泰山典型林区——小东沟林区不同植被类型分布与地形因子之间的关系。本研究是探讨植被宏观分布规律的重要尝试，对于理解生物多样性的空间异质性机制具有重要的理论意义，同时对于景观水平上的植被管理与森林经营规划具有重要参考价值。

物种或群落分布的控制因素一直以来是生态学研究的热点问题^[28]。从生物学角度看，地形变量是间接因子，地形并不像温度、光照及土壤养分等直接因子对物种产生生理上的影响^[29-30]。然而，对物种产生直接影响的因子数据并不是都能够容易收集到，尤其当研究区域面积较大并涉及到偏远的很少能到达的区域时，数据收集工作更是困难。另外，在景观或区域水平进行生态学问题分析时，具体的生态因子的细致分析往往不是十分必要。而地形因子因其特征变化比较明显，且从数字化地形图中很容易提取各种尺度上的研究范围内的地形信息，因此被广泛用于宏观生态学分析。许多地形因子特性对植物和生物多样性的分布具有重要的影响^[31-35]。如Pausas等研究发现地形异质性对物种丰富度具有显著影响^[36]，特别是在寒冷和干旱地区，坡向对植物物种分布具有显著影响^[37]。有关森林和草地的研究案例表明，坡向对生物多样性、植被类型和物种组成具有非常重要的影响^[38-40]。海拔也是影响物种分布的一个重要因素，如Parker研究了美国加州拉森火山国家公园(Lassen Volcanic National Park)森林类型分布与环境因子的关系，DCA排序表明，海拔是控制拉森火山国家公园森林类型格局和树种分布的最主要影响因子，地形和土壤养分的作用仅次于海拔，位居第二^[41]。

在以往的研究中我们采用数量分类和DCCA排序技术相结合的方法，对阿尔泰山小东沟林区木本植被类型进行了划分，并分析了影响阿尔泰山小东沟林区植被分布的主要控制因子。结果表明，控制小东沟林区植被类型分布格局的最重要因素是地形因子，其次是土壤因子，即小东沟林区不同群落类型的分布格局受地形和土壤因子共同作用的影响^[42]。本研究在此基础上，定量研究了阿尔泰山小东沟林区不同植被类型与该区植被分布最主要的影响因子——地形之间的关系，分析了不同植被类型在坡度、坡向、海拔和剖面曲率地形中分布的规律，并找出了各个植被类型的最佳和较适合的生境分布地形因子组合，可为今后对该区域自然资源管理、生物多样性保护和景观规划提供依据。由于遥感影像的分辨率等技术限制，本研究中的植被类型不能分辨出优势种，因此我们采用了比上次群落学研究更高级的植被分类单位，以便于配合遥感信息，对植被的宏观分布规律进行研究和探讨。本研究中我们给出了不同植被类型分布频率最高的不同地形因子组合，将其视为各植被类型最佳的地形生境。至于在所考察的地形因子中，哪些地形因子对植被分布的影响最为关键或最大，基于本研究野外及遥感和地理信息数据

中是难以确定的，这需要在进一步的深入研究中进行探讨。开展此类研究，需要野外调查的植被数据覆盖更多的空间点，从而涉及更加多的地形等级及每个等级内足够的重复数量，同时也要求更加高的影像分辨率，也要求有精度及分辨率更高的基础地理信息(如DEM)数据，才能在每个不同的地形因子细化分级中耦合足够数量植被像元，从而在此基础上应用线性混合模型或逐步回归等数量化统计分析方法，剔除随机因素和交互作用的影响，筛选出影响植被分布的具体的重要地形因子及这些因子的排序等级。

随着计算机的快速发展，数字化地形图的可获得性及各种土地覆盖类型图的易获得性，使得定量研究物种与地形因子关系成为可能。随着高分辨率卫星影像的出现，如Quickbird卫星影像数据，分辨率达到0.61 m，可供小尺度上研究重点区域或脆弱区域进行深入研究植被分布和生境因子关系，这也是今后研究的方向和趋势。尽管只是初步的分析，本研究所得到的结果亦可为今后在阿尔泰林区开展宏观水平上的精细研究奠定基础。

参考文献 [References]

- 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001 [Song YC. Vegetation ecology [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2001]
- Levin SA. The problem of pattern and scale in ecology [J]. *Ecology*, 1992, **73** (6): 1943-1967
- Turner MG, Gardner RH, O'Neill RV. Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process [M]. New York: Springer, 2001
- Gerhardt F, Foster DR. Physiographical and historical effects on forest vegetation in central New England, USA [J]. *J Biogeogr*, 2002, **29**: 1421-1437
- Muster S, Elsenbeer H, Conedera M. Small-scale effects of historical land use and topography on post-cultural tree species composition in an Alpine valley in southern Switzerland [J]. *Landscape Ecol*, 2007, **22** (8): 1187-1199
- 张庆, 牛建明, Buyantuyev A, 韩芳, 董建军, 张艳楠, 康萨如拉, 杨艳. 不同坡位植被分异及土壤效应——以内蒙古短花针茅草原为例[J]. 植物生态学报, 2011, **35** (11): 1167-1181 [Zhang Q, Niu JM, Buyantuyev A, Han F, Dong JJ, Zhang YN, Kang S, Yang Y. Vegetation differentiation and soil effect at different slope locations - a case study of Stipa breviflora grassland in Inner Mongolia, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2011, **35** (11): 1167-1181]
- Hassler SK, Kreyling J, Beierkuhnlein C, Eisold J, Samimi C, Wagenseil H, Jentsch A. Vegetation pattern divergence between dry and wet season in a semiarid savanna-spatio-temporal dynamics of plant diversity in northwest Naibia [J]. *J Arid Environ*, 2010, **74**: 1516-1524
- Hara M, Hirata K, Oono K. Relationship between microlandform and vegetation structure in an evergreen broad-leaved forest on Okinawa Island, S-W, Japan [J]. *Nat Hist Res*, 1996, **4** (1): 27-35
- Pinder JE. The relationship between vegetation types and topography in Lassen Volcanic National Park [J]. *Plant Ecol*, 1997, **131**: 17-29
- Åström M, Dynesius M, Hylander K, Nilsson C. Slope aspect modifies community responses to clear-cutting in boreal forests [J]. *Ecology*, 2007, **88** (3): 749-758
- Holland PG, Steyn DG. Vegetation responses to latitudinal variations in slope angle and aspect [J]. *J Biogeogr*, 1975, **2**: 179-183
- Fonda RW, Bliss LC. Forest vegetation of the montane and subalpine zones, Olympic Mountains, Washington [J]. *Ecol Monogr*, 1969, **39**: 271-301
- Whittaker RH. A consideration of climax theory: the climax as a

- population and pattern [J]. *Ecol Monogr*, 1953, **23**: 41-78
- 14 刘秋锋, 康慕谊, 刘全儒. 中条山混沟地区森林乔木种的数量分类与环境解释[J]. 植物生态学报, 2006, **30** (3): 383-391 [Liu QF, Kang MY, Liu QR. Quantitative classification and environmental interpretation of forest tree species in Hungou, Zhongtiao Mountain [J]. *J Plant Ecol*, 2006, **30** (3): 383-391]
- 15 王国宏, 杨利民. 祈连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2001, **25** (6): 733-740 [Wang GH, Yang LM. Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of the northern slopes of Qilian Mountain, Gansu, China [J]. *Acta Phytocen Sin*, 2001, **25** (6): 733-740]
- 16 郭沫, 余世孝, 夏北成, 许佐荣. 地形对山地森林景观格局多尺度效应[J]. 山地学报, 2006, **24** (2): 150-155 [Guo L, Yu SX, Xia BC, Xu ZR. Analysis of the multi-scale effect of topography on forest landscape pattern of mountains [J]. *J Mount Sci*, 2006, **24** (2): 150-155]
- 17 郭晋平, 王俊田, 李世光. 关帝山林区景观要素沿环境梯度分布趋势的研究[J]. 植物生态学报, 2000, **24** (2): 135-140 [Guo JP, Wang JT, Li SG. Distribution of landscape elements along environmental gradients in Guandishan Forest Region [J]. *Acta Phytocen Sin*, 2000, **24** (2): 135-140]
- 18 Gergel SE. Assessing cumulative impacts of levees and dams on floodplain ponds: a neutral- terrain model approach [J]. *Ecol Appl*, 2002, **12** (6): 1740-1754
- 19 臧润国, 成克武, 李俊清, 张炜银, 陈雪峰, 陶建平. 天然林生物多样性保育与恢复[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005 [Zang RG, Cheng KW, Li JQ, Zhang WY, Chen XF, Tao JP. Biodiversity conservation and restoration of natural forests [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2005]
- 20 曾东, 李行斌, 于恒. 新疆落叶松、新疆云杉迹地天然更新特点与规律的辨析[J]. 干旱区研究, 2000, **17** (3): 46-52 [Zeng D, Li XB, Yu H. The analysis on Slash regeneration characteristic of *Larix sibirica* and *Picea obvata* in Altai Mountains [J]. *Arid Zone Res*, 2000, **17** (3): 46-52]
- 21 时旭辉, 周林生. 新疆天山北坡及阿尔泰山两大林区森林资源动态的研究[J]. 八一农学院学报, 1995, **18** (2): 9-15 [Shi XH, Zhou LS. A study on dynamics of forest resources in the Tianshan Mountains and the Altay Mountains in Xinjiang [J]. *J August 1st Agric Coll*, 1995, **18** (2): 9-15]
- 22 陈文俐, 杨昌友. 中国阿尔泰山种子植物区系研究[J]. 云南植物研究, 2000, **22** (4): 371-378 [Chen WL, Yang CY. A floristic study on the seed plant in Mts. Altay of China [J]. *Acta Botan Yunnan*, 2000, **22** (4): 371-378]
- 23 阎洪. 薄板光顺样条插值与中国气候空间模拟[J]. 地理科学, 2004, **24** (2): 163-169 [Yan H. Modeling spatial distribution of climate in China using thin plate smoothing spline interpolation [J]. *Sci Geogr Sin*, 2004, **24** (2): 163-169]
- 24 张志东, 臧润国. 海南岛霸王岭热带天然林景观中主要木本植物关键种的潜在分布[J]. 植物生态学报, 2007, **31** (6): 1079-1091 [Zhang ZD, Zang RG. Predicting potential distributions of dominant woody plant key-stone species in a natural tropical forest landscape of Bawangling, Hainan Island, South China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2007, **31** (6): 1079-1091]
- 25 朱红春, 汤国安, 张友顺, 易红伟, 李明. 基于DEM提取黄土丘陵区沟沿线[J]. 水土保持通报, 2003, **23** (5): 43-45 [Zhu CH, Tang GA, Zhang YS, Yi HW, Li M. Thalweg in Loess Hill area based on DEM [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2003, **23** (5): 43-45]
- 26 杨昕, 汤国安, 刘咏梅, 张友顺, 陈卫荣. 基于计曲线的DEM生成与地形分析——以在黄土高原的试验为例[J]. 水土保持通报, 2003, **23** (3): 48-50, 54 [Yang X, Tang GA, Liu YM, Zhang YS, Chen WR. Accuracy analysis and production of DEM based on index contour [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2003, **23** (3): 48-50, 54]
- 27 张徽徽, 武伟, 刘洪斌. 不同比例尺DEM提取地形信息的比较分析——以重庆市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, **29** (7): 153-157 [Zhang WW, Wu W, Liu HB. Comparative analysis of terrain information derived from different scaled DEMs - a case study of Chongqing [J]. *J Southwest Univ*, 2007, **29** (7): 153-157]
- 28 Virgos E, Casanovas JG. Environmental constraints at the edge of a species distribution, the Eurasian Badger (*Meles meles* L.): a biogeographic approach [J]. *J Biogeogr*, 1999, **26** (3): 559-564
- 29 Austin MP, Smith TM. A new model for the continuum concept [J]. *Vegetation*, 1989, **83**: 35-47
- 30 Austin MP, Cunningham RB, Fleming PM. New approaches to direct gradient analysis using environmental scalars and statistical curve fitting procedures [J]. *Vegetatio*, 1984, **55**: 11-27
- 31 Coblenz DD, Riitters KH. Topographic controls on the regional-scale biodiversity of the south-western USA [J]. *J Biogeogr*, 2004, **31** (7): 1125-1138
- 32 Allen RB, Peet RK, Baker WL. Gradient analysis of latitudinal variation in southern Rocky Mountain forests [J]. *J Biogeogr*, 1991, **18** (2): 123-139
- 33 Burke IC, Lauenroth WK, Riggie R, Brannen P, Madigan B, Beard S. Spatial variability of soil properties in the shortgrass steppe: the relative importance of topography, grazing, microsite, and plant species in controlling spatial patterns [J]. *Ecosystems*, 1999, **2** (5): 422-438
- 34 Whittaker RH, Niering WA. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: a gradient analysis of the south slope [J]. *J Ecol*, 1965, **46**: 429-452
- 35 Peet RK. Latitudinal variation in Southern Rocky Mountain forests [J]. *J Biogeogr*, 1978, **5**: 275-289
- 36 Pausas JG, Carreras J, Ferré A, Font X. Coarse-scale plant species richness in relation to environmental heterogeneity [J]. *J Veget Sci*, 2003, **14**: 661-668
- 37 沈泽昊, 赵俊. 基于植物-地形关系的物种丰富度空间格局预测[J]. 生态学报, 2007, **27** (3): 953-963 [Shen ZH, Zhao J. Prediction of the spatial patterns of species richness based on the plant-topography relationship: an application of GAMs approach [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27** (3): 953-963]
- 38 Bale CL, Williams JB, Charley JL. The impact of aspect on forest structure and floristics in some eastern Australian sites [J]. *For Ecol Manage*, 1998, **110**: 363-377
- 39 Sebastia MT. Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales [J]. *Basic Appl Ecol*, 2004, **5** (4): 331-346
- 40 Hofer G, Wagner H H, Herzog F, Edwards PJ. Effects of topographic variability on the scaling of plant species richness in gradient dominated landscapes [J]. *Ecography*, 2008, **31**: 131-139
- 41 Parker AJ. Forest/ environment relationships in Lassen Volcanic National Park, California, U. S. A. [J]. *J Biogeogr*, 1991, **18** (5): 543-552
- 42 臧润国, 井学辉, 丁易, 成克武, 白志强, 张新平, 郭仲军, 张炜银. 新疆阿尔泰山小东沟林区木本植物群落的数量分类、排序及其环境解释[J]. 林业科学, 2010, **46** (2): 24-31 [Zang RG, Jing XH, Ding Y, Cheng KW, Bai ZQ, Zhang XP, Guo ZJ, Zhang WY. Quantitative classification, ordination and environmental analysis of woody plant communities in Xiaodonggou Forest area of the Altai Mountain, Xinjiang [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46** (2): 24-31]