doi: 10. 13866/j. azr. 2016. 03. 09

阿尔泰山小东沟乔木生物量空间分布规律[®]

井学辉¹², 曹 磊¹, 刘云生³, 郭仲军⁴, 黄继红², 臧润国² (1. 承德市环境保护局 河北 承德 067000; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境国家重点实验室 北京 100091; 3. 包钢绿化有限公司,内蒙古 包头 014010; 4. 新疆林业科学研究院森林生态研究所 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要:以中国境内阿尔泰山小东沟林区 ETM + 遥感影像数据和林分乔木生物量抽样调查数据为基础,选取比值 植被指数、归一化差异植被指数、土壤调节植被指数、差值植被指数和近红外光百分比植被指数,分析了该林区植 被指数与乔木地上生物量之间的相关性,并对生物量相关性最高的植被指数建立了植被指数与乔木地上生物量的 线性回归预测模型。以预测模型为基础,利用 AreGIS 9.1 软件的空间分析功能生成了小东沟林区乔木地上生物量 空间分布图。生物量残差图中较强、中等和较低预测面积分别为 66.60%、30.31% 和 3.09% 表明小东沟林区生物 量空间分布的预测效果较好。将生物量空间分布预测图分别与坡度、坡向和海拔图叠加分析表明:小东沟林区乔 木地上部分的生物量以斜陡坡(15°~35°)的最高(200~250 t • hm⁻²),平缓坡(0°~15°)次之(150~200 t • hm⁻²),急险坡(>35°)的最低(100~150 t • hm⁻²)。东南、南坡向的生物量较低,而其余坡向的生物量较高。较低 海拔(1042~1400 m)的生物量最低(100~150 t • hm⁻²),中海拔(1400~1900 m)的最高(200~250 t • hm⁻²), 高海拔(>1900 m)生物量居中(150~200 t • hm⁻²)。说明利用遥感影像提取的植被指数可以很好地预测小东沟 林区乔木的地上生物量,生物量的空间变化与地形因子有着密切的关系。 关键词:植被指数;乔木;生物量;回归模型;小东沟;阿尔泰山

随着全球气候变化加剧和京都协议的实施,作 为陆地生态系统功能主体的森林生态系统已成为全 球关注的重点。森林生态系统在全球碳循环中具有 不可替代的作用⁽¹⁾,准确估测森林生态系统碳储量 对于了解全球碳循环、认识人类土地利用方式改变 对碳循环的影响、监测造林对减少二氧化碳的作用 等具有重要意义⁽²⁾。森林植被生物量占全球陆地 植被生物量的 80% 以上⁽³⁻⁴⁾,森林生物量不仅能反 映生态系统在特定时间段内积累有机物质的能力, 而且是描述森林结构和功能变化的重要指标⁽⁵⁾。 因此,森林生物量评估成为当今生态学研究的一项 重要的基础性工作⁽⁶⁾。

研究和分析宏观尺度上的许多生态学规律在很 大程度上都依赖于对该尺度上植被生物量状况的了 解。在大尺度上估测生物量需要大量人力、物力和 财力,因此,单靠传统的生物量测定方法不可能达到 目标。随着遥感和地理信息系统技术的快速发展, 高分辨率影像的获得更加方便,基于遥感影像的地 上生物量估测成为一种新的方法,已成为监测植被 碳储量和碳收支变化的重要技术之一⁽⁷⁾。基于遥 感影像和典型抽样调查数据的生物量空间分布预测 是了解生物量宏观变化规律的重要手段。目前,遥 感技术已广泛应用于森林⁽⁸⁻⁹⁾、草地⁽¹⁰⁻¹¹⁾、荒漠⁽¹²⁾ 和湿地⁽¹³⁾生态系统的生物量估测。因不同植被对 太阳光的反射具有不同的光谱范围 因此 可借助遥 感影像研究植被生物量与植被指数的相关关系。植 被指数是不同遥感光谱波段之间的线性或非线性组 合 用以表征绿色植物生物量和盖度等的生物物理 特征。研究表明 植被指数与绿色植被盖度、叶面积 指数、生物量等具有较好的相关性⁽¹⁴⁾,因此被逐渐 用于作物产量估测⁽¹⁵⁾、森林地上生物量估测⁽¹⁶⁾、景 观生态类型遥感解译与分类⁽¹⁷⁾、物种丰富度预 测⁽¹⁸⁻¹⁹⁾等方面。目前 近红外波段和红光波段计算 的植被指数在生物量估测中应用较广泛⁽²⁰⁻²¹⁾。

通讯作者: 郭仲军. E-mail: gzj19641101@ sina. com

511 - 518 页

http://azr. xjegi. com

① 收稿日期: 2014-09-05; 修订日期: 2015-03-20

基金项目:国家十二五科技支撑课题(2012BAD22B0301-2)资助

作者简介:井学辉(1979-) 友 博士研究生 主要从事环境生态和生物多样性保育方面的研究与管理工作. E-mail: jingxuehui19@126.

阿尔泰山是亚洲的宏伟山系之一。中国境内的 阿尔泰山位于其中段的西南坡,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。一般 海拔在1000~3500m,其中北部最高的友谊峰海 拔4374m。本文阿尔泰山山地植被是指分布于我 国境内阿尔泰山南部中段的小东沟林区辖域范围内 的植被。小东沟林区山地植被随着地貌和海拔变化 呈现明显的更替现象。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。乔木林 群落层次结构简单,树种组成单一,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 阔叶树种主要有欧洲山杨(*Populus tremula*)、疣枝桦 (*Betula pendula*)和河谷中的苦杨(*Populus laurifolia*)等。

阿尔泰山小东沟是阿勒泰地区牧民的夏季放牧 场,夏季牲畜在林区内啃噬,严重影响幼苗幼树的生 长,草地破坏严重。尤其低海拔地区,是牧民上山必 经之路,对植被的破坏相对更严重一些。目前,有关 阿尔泰山林区植被生物量方面研究很少,基于遥感 影像的生物量空间预测研究更少。本文以新疆阿尔 泰山小东沟为例,利用野外调查的样地数据和遥感 影像资料相结合,分析了阿尔泰山小东沟林区乔木 树种的生物量空间分布格局,这对阿尔泰山森林资 源的保护、监测和可持续经营都具有重要的意义。

1 研究区概况

阿勒泰地区位于新疆最北部,有山地、平原、荒 漠三大地貌特征。地理位置 45°59′~49°10′N, 85°31′~91°01′E。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。年平均 气温 4.5 °C,1月平均气温 – 16.7 °C,7月平均气温 22.1 °C,极端最低气温 – 43.5 °C,极端最高气温 37.6 °C。冬季寒冷期 > 110 d,严寒期(≤ -20 °C) 58~63 d。年平均降水量 183 mm,主要集中在 6— 12月,占年降水量的 70%~80%。年平均日照时数 3 010.8 h。年平均风速 1.0~5.0 m·s⁻¹,多八级以 上大风,春季最多,夏季次之,秋冬季空气比较稳定。 年降雪日数 140~150 d,积雪深度 50~60 cm,最深 可达 89 cm。

研究区位于小东沟森林公园内的小东沟山系, 距阿勒泰市区北约10 km 处。年平均气温-4~-2 ℃。年降水较丰富,降水量随海拔的升高而递增,同时从北向南,从西向东逐渐减少。年降水量中山带 300~500 mm,高山带600~800 mm,海拔升高100 m降水量以30~80 mm递增。夏季多雨,冬季积 雪,气候、地貌和植被垂直带分布明显。

2 研究方法

2.1 调查方法

2006 年7-8 月在小东沟的南、北两坡面分别

			mormation abo	u	, the	sample	piors	
样地 号	坡度	坡向	坡位	Ä	每拔 /m	平均胸 径/cm	平均树 高/m	郁闭 度
1	18°	北坡	上坡	2	206	39.54	16.81	0.3
2	20°	北坡	中上坡	2	178	32.09	21.93	0.35
3	18°	北坡	下坡	2	130	38.63	23.92	0.2
4	30°	北坡偏西	中上坡	2	100	15.48	10.73	0.4
5	24°	北坡	中坡	2	040	32.33	15.34	0.2
6	16°	北坡偏点西	i 中下坡	2	001	13.48	11.19	0.3
7	40°	北坡	坡上	1	568	10.09	9.83	0.46
8	35°	北坡	中上坡	1	474	8.30	8.41	0.6
9	25°	北坡	中坡	1	358	23.26	16.31	0.55
10	20°	北坡	中下坡	1	279	16.27	11.95	0.5
11	14°	北坡	中坡	2	013	17.81	11.60	0.3
12	14°	北坡	中下坡	1	982	11.57	8.62	0.3
13	13°	北坡	下坡	1	943	17.54	13.09	0.35
14	20°	北坡	中下坡	1	902	5.87	5.75	0.64
15	12°	北坡	下坡	1	841	7.55	6.14	0.3
16	24°	北坡	中坡	1	858	6.73	5.70	0.5
17	23°	北坡	近沟谷下坡	1	809	12.70	9.21	0.3
18	25°	北坡	中坡	1	420	25.34	14.62	0.6
19	26°	北坡	中坡	1	390	17.98	12.18	0.5
20	20°	北坡	近沟谷底较平缓处	1	303	31.83	19.33	0.45
21	18°	北坡	沟谷底部	1	239	25.27	15.81	0.5
22	24°	西北坡	中下坡	1	774	17.27	11.38	0.5
23	25°	北坡	中下部近沟谷	1	730	21.83	15.37	0.4
24	20°	北坡	沟谷下部	1	680	15.13	13.27	0.4
25	13°	北坡	沟谷上沿 ,下坡	1	610	14.28	9.03	0.4
26	30°	南坡	中下坡	1	683	26.03	13.87	0.2
27	15°	南坡	下坡	1	649	23.59	9.76	0.3
28	8°	西南坡	河谷林	1	260	39.59	18.18	0.5
29	30°	南坡	中坡	1	315	12.85	7.45	0.35
30	4°	西南坡	河谷林	1	161	33.36	14.11	0.4
31	15°	西坡	河谷林	1	614	23.27	10.54	0.4
32	18°	南坡	下坡	1	567	16.81	10.29	0.3
33	9°	西南坡	河谷林	1	506	20.79	10.07	0.4
34	22°	南坡	中坡	1	472	28.31	12.39	0.4
35	5°	东坡	河谷林	1	185	39.88	17.27	0.3
36	5°	东南坡	河谷林	1	104	37.51	22.20	0.6

表1 样地信息

在海拔1100~1700 m 和1200~2200 m 的范围内 各设置一条调查样带。在每个样带内以海拔每50 m 为间隔,各设置一个20 m×20 m 的乔木样地。调 查内容包括:① 群落特征:在每个样地内记录 *DBH*≥1 cm 的乔木种名、胸径(1.3 m 处)和树高。 ② 环境因子:利用 GPS 在样地中心位置记录样地的 地理坐标和海拔,用罗盘实测样地坡度,同时记录样 地所在坡向、坡位,样方内巨石含量及受放牧干扰与 否。各样地的基本信息见表1。

2.2 生物量估算

植被生物量包括地上和地下两部分,由于对地 下生物量的准确估测相当困难,因此,对生物量的研 究多集中在地上部分^(16,22)。本研究样地生物量计 算也主要是地上部分,包括树干生物量、树枝生物量 和树叶生物量。各乔木树种生物量的计算方法见 表 2。

表 2 各优势树种生物量估算方程

Tab. 2	Allometric	biomass	equations	for	the	dominant	species
140.2	¹ momente	oronnass	cquations	101	unc	uommunu	species

树种	树干生物量(W_s)	树枝生物量(W _B)	树叶生物量(W_L)	文献来源
云杉	$W_S = 0.047 465 712 (D^2 H)^{0.882 17}$	$W_B = 0.001 891 47 (D^2 H)^{-1.039 81}$	$W_L = 0.01451443(D^2H)^{0.78914}$	(23)
落叶松	$W_S = 0.039 84(D^2 H)^{0.8718}$	$W_B = 0.033 89(D^2 H)^{0.5511}$	$W_L = 0.138 8(D^2 H)^{0.843 8}$	(24)
冷杉	$W_S = \exp^{[0.882\ 17\log D^2 H - 1.323\ 62]}$	$W_B = \exp^{[1.039\ 81\log D^2 H - 2.723\ 42]}$	$W_L = \exp^{[0.789\ 14 \log D^2 H - 1.838\ 20]}$	(24)
欧洲山杨	$W_S = 0.226 8 (D^2 H)^{0.693 3}$	$W_B = 0.024$ 7($D^2 H$) ^{0.737 8}	$W_L = 0.010 8 (D^2 H)^{0.818 1}$	(24)
疣枝桦	$W_S = 0.049 \ 39(D^2 H)^{-0.901 \ 1}$	$W_B = 0.014 \ 17(\ D^2 H)^{0.768 \ 6}$	$W_L = 0.010 9 (D^2 H)^{0.647 2}$	(24)
苦杨	$W_S = 0.037 \ 4D^{2.5985}$	$W_B = 0.084 \ 7D^{1.593 \ 3}$	$W_L = 0.022 \ 7D^{1.6454}$	(25)

D 为胸径(cm); H 为树高(m)。

2.3 影像收集及处理

收集了涵盖研究区的 Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM + ,成像时间 2003 年 8 月 17 日)影像一景。影像由近红外波段(0.76 ~ 0.90 μm)、短红外波段(1.55 ~ 1.75 μm)和红光波段 (0.63 ~ 0.69 μm)3 个波段组合而成。基于研究 区 1:50 000 地形图,对影像采用3 次多项式法进行 了精确校正。对配准过的影像进行了几何校正和辐 射校正。

根据指数的特征并结合以往的研究案例,本文 选取了归一化差异植被指数、比值植被指数、土壤调 节植被指数、差值植被指数和近红外光百分比植被 指数。利用 Erdas 8.7 软件从 ETM + 影像中派生出 上述植被指数。

2.4 空间分析和数据处理

为了详细分析小东沟林区生物量的空间分布规 律 把小东沟林区的地形按照 400 m 左右划分为 3 个海拔高度区间 即规定低海拔(1042~1400 m)、 中海拔(1400~1900 m)和高海拔(1900~2300 m)。坡度、坡向分级见表 3。利用 ArcGIS 9.1 软件 的区域统计分析功能 ,将生物量空间分布图分别与 坡度图、坡向图和海拔图相叠加 统计不同地形因子 的各个等级中生物量的空间分布情况。

利用 SPSS 16.0 for Windows 软件,对样地生物 量与比值植被指数、归一化差异植被指数、土壤调节

表3 不同地形因子分级

Tab. 3 Classification different topographic factors

地形因子	分级
坡度	平缓坡(0°~15°)
	斜陡坡(15°~35°)
	急险坡(>35°)
坡向	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°)
	西北坡(293°~337°)

植被指数、差值植被指数和近红外光百分比植被指数5个植被指数之间的相关性进行了分析;利用线性回归分析,对样地生物量与植被指数构建了回归模型。借助ArcGIS9.1软件的空间分析功能,生成了阿尔泰山小东沟林区乔木地上生物量空间分布图。为了评价生物量空间分布预测精度高低,对样地生物量空间分布图进行了残差统计,并计算了残差类型面积比例⁽²⁶⁾。残差是由各调查样地的预测值与实测值相减所得,残差图是用于评价生物量预测精度高低的。在ArcGIS9.1软件中借助空间分析模块的插值分析方法利用样地点的残差值,通过反距离权重插值方法生成生物量残差图。选择输出

栅格大小 30 m。利用标准差显示残差图。依据标 准差的范围大小,将其分成弱(Std. Dev < -2 或 > 2)、中(Std. Dev -2 ~ -1 或 1 ~ 2)和强(Std. Dev -1 ~ 1)3个水平。

3 结果分析

3.1 生物量与植被指数的相关性分析

利用 SPSS 16.0 for Windows 软件检验阿尔泰山 小东沟乔木地上生物量(以下简称生物量)与各个 植被指数间是否具有正态分布。统计结果表明,小 东沟地上生物量与5个植被指数间均呈正态分布, 因此 利用 Pearson 相关性分析小东沟地上生物量 与各植被指数的关系。由表4可见,样地内乔木的 地上部分生物量与归一化差异植被指数、土壤调节 植被指数和近红外光百分比植被指数相关性均显著 (P < 0.05),其中生物量与归一化差异植被指数相 关性相对较高;与近红外光百分比植被指数相关性 次之。生物量与比值植被指数和差值植被指数相关 性不显著(P > 0.05)。

表4 生物量与植被指数的相关性分析

 Tab. 4
 Correlation between the tree aboveground biomass and the vegetation index

	归一化差异	比值植被	土壤调节	差值植被	近红外光百分
	植被指数	指数	植被指数	指数	比植被指数
生物量	0.366*	0.288	0.362^{*}	0.227	0.364*

* 表示相关性在 0.05 水平上显著。

3.2 生物量空间分布预测

利用归一化差异植被指数与小东沟林分乔木地 上生物量作线性回归分析。回归分析结果表明,小 东沟林区乔木地上生物量与归一化差异植被指数回



Fig. 1 Spatial distribution of the tree aboveground biomass in the Xiaodonggou forest region

归关系明显(P < 0.05)。利用 ArcGIS 9.1 软件的空 间分析功能 ,生成小东沟林区乔木地上生物量的空 间分布图(图1)。

3.3 残差分析

由图 2 可见,生物量残差图中较强预测面积达 到 66.60%,中等预测面积达到 30.31%,较强和中 等预测面积占总面积的 96.91%,仅有 3.09% 的面 积预测能力较低,表明小东沟林区乔木生物量空间 分布预测效果较好。

3.4 不同地形条件下生物量频率最高的数值分布

利用 ArcGIS 9.1 软件的区域统计分析功能,将 林分乔木生物量空间分布图分别与坡度图、坡向图 和海拔图相叠加,统计不同地形因子的各个等级中 生物量出现频率最高的数值分布情况(表 5)。由表 5 可见,小东沟林区在平坡和缓坡生物量出现频率 最高的数值范围在 150~200 t•hm⁻²,斜坡和陡坡 地区生物量出现频率最高的数值范围在 200~250



图 2 生物量残差及其各类型面积百分比

Fig. 2 Residual of the tree aboveground biomass and the percentages of various types

表 5 不同地形因子条件下乔木地上生物量出现频率最高的数值空间分布规律

Tab. 5 Spatial distribution pattern of the tree aboveground biomass with the highest frequency

under different topographic conditions

地政田子	分级	生物量频率最高的数值范围	地形田子	分级	生物量频率最高的数值范围
地心口丁		/(t • hm ⁻²)	地形凶丁		/(t • hm ⁻²)
	北坡	200 ~ 250	坡度	$0^{\circ} \sim 15^{\circ}$	150 ~ 200
	东北坡	200 ~ 250		15° ~35°	200 ~ 250
	东坡	200 ~ 250		>35°	100 ~ 150
坡向	东南坡	100 ~ 150	海拔	1 042 $\sim 1 400~{\rm m}$	100 ~ 150
	南坡	100 ~ 150		1 400 $\sim 1 \ 900 \ {\rm m}$	200 ~ 250
	西南坡	200 ~ 250		1 900 ~2 258 m	150 ~ 200
	西坡	200 ~ 250			
	西北坡	200 ~ 250			

 $t \cdot hm^{-2}$ 坡度继续变陡 ,生物量开始下降 ,出现频率 最高的数值范围在 100 ~ 150 t · hm⁻²。总的来看 , 小东沟林区斜陡坡(15° ~ 35°) 的生物量最高 ,平缓 坡(0° ~ 15°) 生物量次之 ,急险坡(> 35°) 分布的生 物量最低。

小东沟生物量空间分布图与坡向图叠加分析表 明,东南坡和南坡生物量出现频率最高的数值范围 在100~150 t•hm⁻²,其余坡向生物量出现频率最 高的数值范围均集中在200~250 t•hm⁻²。总体来 看,小东沟林区东南坡和南坡地形下的生物量较低, 而其余坡向地形下的生物量较高。

将小东沟林区乔木生物量图与海拔图叠加分析,统计结果表明,海拔1042~1400m生物量出现频率最高的数值范围在100~150t•hm⁻²,海拔1400~1900m生物量出现频率最高的数值范围在200~250t•hm⁻²,海拔继续上升,生物量又开始下降,达到150~200t•hm⁻²。总的来看,随海拔上升,生物量表现为中间海拔范围最高的趋势。

4 讨论

近年来 随着遥感技术的快速发展,用以表征地 表植被数量分配和质量情况的植被指数获得迅速发 展。各类植被指数通常是由影像的不同波段信息组 合计算所得,目前已产生了几十种植被指数,如较常 见的归一化差异植被指数被广泛应用于估测温带植 被特性。由于归一化差异植被指数对含有较高植被 盖度的敏感程度差,因此,很少被成功应用于热带森 林植被的研究⁽⁹⁾。Body等⁽²⁷⁾对喀麦隆 50 000 km² 的热带森林生物量进行了研究,结果表明,中红外植 被指数与生物量之间的相关性比可见光、近红外光 和归一化差异植被指数与生物量之间的相关性要好 很多。

李建龙等⁽²⁸⁾利用 NOAA 和 TM 遥感资料,研究 了新疆天山北坡4种类型草地产草量与归一化差异 植被指数和比值植被指数的相关性 结果表明 除草 地类型1外 其他3种类型草地产草量与比值植被 指数相关性好于归一化差异植被指数。然而,黄敬 峰等⁽²⁹⁾利用 NOAA/AVHRR 数据研究了新疆不同 类型天然草地产草量与归一化差异植被指数和比值 植被指数关系 结果表明 由于降水量少和植被盖度 与牧草产量低 因此 归一化差异植被指数和比值植 被指数建立的监测模型无显著差异。本研究选取了 归一化差异植被指数、比值植被指数、土壤调节植被 指数、差值植被指数和近红外光百分比植被指数 通 过与小东沟林区样地乔木生物量数据进行相关性分 析 最终发现阿尔泰山小东沟林区乔木林分生物量 与归一化差异植被指数回归效果较好。与以往利用 遥感影像提取植被指数 结合样地生物量数据建立 生物量估算模型 预测区域森林生物量分布所不同 的是 本研究将预测的生物量空间分布图与研究区 的地形因子图进行了叠加 从坡度、坡向和海拔3个 方面统计了不同地形条件下的不同数量级生物量出 现的频率 这为今后开展该区域宏观水平上的其他 生态学研究奠定了基础。

本研究结果表明,小东沟林区乔木地上部分的 生物量以斜陡坡($15^{\circ} \sim 35^{\circ}$)的最高($200 \sim 250$ t・ hm⁻²),平缓坡($0^{\circ} \sim 15^{\circ}$)次之($150 \sim 200$ t・ hm⁻²),急险坡($> 35^{\circ}$)的最低($100 \sim 150$ t・ hm⁻²)。平、缓坡因地势相对平坦,在研究区范围 内,平坡主要分布在阳坡,受土壤和水分条件影响,

林分在平坡分布相对少,生长较差,因而其生物量 低。而斜陡坡在整个研究区占很大面积,且以阴坡 为主,土壤和水分条件相对较好,适宜林分生长,乔 木分布较多 从而其生物量很高。急险坡因地势条 件恶劣 土壤和水分条件变差 树木生长缓慢 因此, 其生物量最低。生物量预测图与坡向图叠加分析表 明 小东沟林区东南坡和南坡的生物量较低 而其余 坡向的生物量较高。东南坡和南坡在研究区范围内 主要分布在阳坡,因受水分、光照和土壤等条件影 响,乔木树种分布相对较少且生长缓慢,因此,生物 量相对较低。海拔梯度上,生物量空间分布呈现先 增加后减少的趋势,较低海拔(1042~1400 m)的 生物量最低(100~150 t • hm⁻²),中海拔(1 400~ 1 900 m)的最高(200~250 t • hm⁻²),高海拔 (>1 900 m) 生物量居中(150~200 t • hm⁻²)。低 海拔地区 阔叶树种生长受降水影响 林分稀疏 ,牲 畜活动相对较多 对植被影响严重 影响乔木物种的 更新和幼苗幼树的生长,因而生物量较低。中海拔 地区气温、地形和土壤等条件相对较好,随海拔升 高 降水也增加 植物生长良好 ,而且中海拔范围也 是针叶和阔叶混交分布的区域,因而生物量最高。 高海拔地区 ,受气温条件影响 ,仅有针叶树种分布 , 人类活动和放牧影响小,乔木物种幼树幼苗更新和 生长较好 因此 生物量高于低海拔地区。

本研究表明,利用遥感影像提取的植被指数 可以很好地预测小东沟林区乔木的地上生物量, 生物量的空间变化与地形因子有着密切的关系。 为提高森林生物量的估算精度,一是可以增加野 外样地调查的数量并提高其空间分布的均匀性和 代表性 ,二是随着商用高空间分辨率卫星数据的 出现,借助微波雷达和激光雷达等遥感数据,可以 进行地上生物量精确估算。在今后的生物量宏观 分析中 需要在以下几个方面开展深入细致的工 作:① 利用更加精确的生物量测定数据,建立更加 精确的生物量回归模型; ② 利用高分辨率遥感数 据⁽³⁰⁾ 构建高精度的生物量与植被指数预测模型; ③ 利用高分辨率遥感数据,对地形因子进行更加 细致的提取与分析,构建更加精确的生物量与地 形因子关系的模型;④逐渐开展包括地下生物量 的全林生物量预测; ⑤ 基于生态站等监测资料,利 用空间插值等技术,分析气象、地形和干扰等因子 对生物量空间分布的影响机制,开展生物量的景

观情景动态分析。

参考文献(References):

- 李鑫 欧阳勋志,刘琪璟. 江西省 2001 2005 年森林植被碳储 量及区域分布特征 (J). 自然资源学报,2011,26(4):655 -665. (Li Xin ,Ouyang Xunzhi ,Liu Qijing. Carbon storage of forest vegetation and its geographical pattern in china's Jiangxi province during 2001 - 2005 (J). Journal of Natural Resources,2011,26 (4):655 - 665.)
- (2) Lefsky M A ,Cohen W B ,Harding D J ,et al. Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes (J). Global Ecology and Biogeography 2002, 11(5): 393 – 399.
- (3) Cao M K ,Woodward F I. Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecoststems and their response to climate change (J). Global Change Biology ,1998 A: 185 – 198.
- (4) 方精云 陈安平,赵淑清,等.中国森林生物量的估算:对 Fang 等 Science 一文(Science 2001 291:2 320 - 2 322)的若干说 明(J).植物生态学报 2002 26(2):243 - 249.(Fang Jingyun, Chen Anping,Zhao Shuqing, et al. Estimating biomass carbon of China's forests: Supplementary notes on report published in science (291:2 320 - 2 322) by Fang et al.(2001) [J). Acta Phytoecologica Sinica 2002 26(2):243 - 249.)
- (5) Brown S L Schroeder P ,Kern J S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA (J). Forest Ecology and Management , 1999 ,123(1):81-90.
- (6) Clark D B Clark D A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest (J). Forest Ecology and Management 2000 ,137:185 – 198.
- (7) Running S W ,Baldocchi D D ,Turner D P ,et al. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes flask sampling ecosystem modeling and EOS satellite data (J). Remote Sensing of Environment ,1999 ,70(1): 108 - 127.
- (8) Saatchi S S ,Houghton R A ,Dos Santos Alvalá R C ,et al. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin (J). Global Change Biology 2007 ,13:816 – 837.
- (9) Foody G M ,Cutler M E ,Mcmorrow J ,et al. Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remotely sensed data (J). Global Ecology and Biogeography 2001 ,10(4): 379 – 387.
- (10) Todd S W ,Hoffer R M ,Milchunas D G. Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices (J). International Journal of Remote Sensing ,1998 ,19(3):427-438.
- (11) Ikeda H ,Okamoto K ,Fukuhara M. Estimation of aboveground grassland phytomass with a growth model using Landsat TM and climate data (J). International Journal of Remote Sensing ,1999 20 (11):2 283 - 2 294.
- (12) 卢丽萍 赵成义. 基于 MODIS 数据不同荒漠植被指数的空间 变化研究——以新疆三工河流域为例 (J). 干旱区地理 2005, 28(3):381-385. (Lu Liping Zhao Chengyi. Study on the spatial change of the different desert vegetation index based on Modis data: A case study of Sangong river basin (J). Arid Land Geography, 2005 28(3):381-385.)
- (13) 张杰,沈芳,刘志国.长江口潮滩湿地植被光谱分析与遥感检

测(J). 华东师范大学学报: 自然科学版,2007(4):42-48. (Zhang Jie, Shen Fang, Liu Zhiguo. Spectral analysis and remote sensing detection of tidal shoal's vegetation in the Estuary of Yangtse River(J). Journal of East China Normal University: Natural Science Edition 2007(4):42-48.)

- (14) Davi H Soudani K Deckx T et al. Estimation of forest leaf area index from SPOT imagery using NDVI distribution over forest stands (J). International Journal of Remote Sensing 2006 27(5):885 – 902.
- (15) Vicente-serrano S M , Cuadrat-Prats J M ,Romo A. Early prediction of crop production using drought indices at different time-scales and remote sensing data: Application in the Ebro Valley(north-east Spair) [J]. International Journal of Remote Sensing ,2006 ,27 (3):511-518.
- (16) Lefsky M A ,Harding D ,Cohen W B ,et al. Surface lidar remote sensing of basal area and biomass in deciduous forests of eastern Maryland ,USA (J). Remote Sensing of Environment ,1999 ,67 (1):83-98.
- (17) 曹宇 陈辉 欧阳华 等. 基于多项植被指数的景观生态类型遥感解译与分类——以额济纳天然绿洲景观为例(J). 自然资源学报 2006 21(3):481-488. (Cao Yu ,Chen Hui ,Ouyang Hua, et al. Landscape ecological classification using vegetation indices based on remote sensing data: A case study of Ejin natural oasis landscape (J). Journal of Natural Resources 2006 21(3):481-488.)
- (18) Seto K C ,Fleishman E ,Fay J P ,et al. Linking spatial patterns of bird and butterfly species richness with Landsat TM derived NDVI (J). International Journal of Remote Sensing ,2004 ,25 (20): 4 309 - 4 324.
- (19) Levin N ,Shmida A ,Levanoni O ,et al. Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices (J). Diversity and Distributions 2007 ,13(6):692 - 703.
- (20) Phua M-H Saito H. Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data (J). Canadian Journal of Remote Sensing 2003 29(4):429-440.
- (21) Lorenzen B Jensen A. Reflectance of blue green red and near infrared radiation from wetland vegetation used in a model discriminating live and dead above ground biomass (J). New Phytologist , 1988 ,108(3): 345 - 355.
- (22) Keeling H C ,Phillips O L. The global relationship between forest productivity and biomass (J). Global Ecology and Biogeography ,

2007 ,16(5):618-631.

- (23) 刘贵峰 刘玉平,郭仲军,等. 天山云杉林生物量及其变化规律的研究(J). 西北林学院学报,2013,28(5):13 17. (Liu Guifeng Liu Yuping Guo Zhongjun et al. Study of biomass of Picea schrenkiana var. tianschanica and its variation (J). Journal of Northwest Forestry University 2013,28(5):13 – 17.)
- (24) 冯宗炜,王效科,吴刚.中国森林生态系统的生物量和生产力 (M).北京:科学出版社,1999. (Feng Zongwei, Wang Xiaoke, Wu Gang. Biomass and Productivity of Forest Ecosystem in China (J). Bejing: Science Press, 1999.)
- (25) 臧润国,井学辉,刘华,等. 北疆森林植被生态特征(M). 北京: 现代教育出版社 2011. (Zang Runguo Jing Xuehui ,Liu Hua ,et al. Forest Vegetation Ecological Characteristics of Northern Xinjiang (M). Beijing: Modern Education Press 2011.)
- (26) Dogan H M ,Dogan M. A new approach to diversity indices-modeling and mapping plant biodiveristy of Nallihan(A3 – Ankara/Turkey) forest ecosystem in frame of geographic information systems (J). Biodiversity and Conservation 2006 ,15:855 – 878.
- (27) Boyd D S ,Foody G M ,Curran P J. The relationship between the biomass of Cameroonian tropical forests and radiation refected in middle infrared wavelengths (3.0 ± 5.0) mm (J). International Journal of Remote Sensing ,1999 20(5):1017-1023.
- (28) 李建龙 蔣平 戴若兰. RS GPS 和 GIS 集成系统在新疆北部天 然草地估产技术中的应用进展(J). 生态学报,1998,18(5): 504-510. (Li Jianlong Jiang Ping Dai Ruolan. Advances in study on the remote sensing technology and GPS and GIS integration systems in estmating grassland yield applications in the north of Xinjiang China (J). Acta Ecologica Sinica,1998,18(5):504 -510.)
- (29) 黄敬峰, 王秀珍, 胡新博. 新疆北部不同类型天然草地产草量 遥感监测模型(J). 中国草地,1999,21(1):7-11,18. (Huang Jingfeng, Wang Xiuzhen, Hu Xinbo. Studies on grass yield monitoring models for different natural grassland types using remote sensing data in northern Xinjiang (J). Grassland of China,1999,21 (1):7-11,18.)
- (30) 黄金龙 居为民 郑光 等. 基于高分辨率遥感影像的森林地上 生物量估算(J). 生态学报,2013,33(20):6497-6508. (Huang Jinlong Ju Weimin Zheng Guang et al. Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery (J). Acta Ecologica Sinica,2013,33(20):6497-6508.)

Spatial Distribution Pattern of Biomass of Arbor Species in Xiaodonggou in the Altay Mountains ,China

JING Xue-hui¹², CAO Lei¹, LIU Yun-sheng³, GUO Zhong-jun⁴, HUANG Ji-hong², ZANG Run-guo² (1. Chengde Environmental Protection Agency Chengde 067000 Hebei China;

2. National Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration Institute of Forest Ecology and Environmental Protection Chinese Academy of Forestry Beijing 100091 China;

3. Baotou Steel Greening Co. Ltd Baotou 014010 Inner Mongolia China; 4. Institute of Forest Ecology Xinjiang Academy

of Forestry ,Urumqi 830000 ,Xinjiang ,China)

Abstract: It is an important approach for understanding the spatial variation of biomass at large scale to predict the spatial distribution of biomass based on remote sensing data and typical field investigation data. The Pearson correlations between RVI NDVI SAVI DVI and IPVI and plot biomass were made separately using the Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper data and the biomass investigation in the typical sample plots, the linear regression models between biomass and vegetation indexes were established for the Xiaodonggou forest region in the Altay Mountains. The spatial distribution map of aboveground biomass of arbor species in the Xiaodonggou was produced by the regression model and by using the spatial analysis function in ArcGIS 9.1 software. The residual type analysis showed that the strongly predicting area , moderately predicting area and lowly predicting area occupied 66.60% 30.31% and 3.09% respectively which revealed that the predicted results of the spatial distribution of biomass in the study area were ideal. The results of overlay analysis of spatial distribution of aboveground biomass of arbor species with the slope aspect and elevation revealed that the aboveground biomass of arbor species was in an order of steep slope $(15^\circ - 35^\circ 200 - 250 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2})$ > gentle slope $(0^\circ - 15^\circ 150 - 200 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2})$ > very steep slope ($>35^{\circ}$,100 – 150 t • hm⁻²). In slope aspect the biomass on the southeast slope and south slope was lower than that on other slope aspects. In elevation the biomass was in an order of low elevation (1042 - 1400 m, $100 - 150 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ > high elevation (>1 900 m ,150 - 200 t $\cdot \text{hm}^{-2}$) > moderate elevation (1 400 -1 900 m 200 - 250 t • hm⁻²). This study showed that the aboveground biomass of arbor species can be well predicted with the vegetation indexes derived from remote sensing images and the spatial distribution of biomass is significantly related to the topographical factors.

Key words: vegetation index; arbor species; biomass; regression model; Xiaodonggou; the Altay Mountains