

天山林区不同地段6种灌木生物量组成

王文栋^{1,2}, 李建贵¹, 张毓涛², 李吉玫², 李翔², 芦建江²

(1. 新疆农业大学 林业研究所, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆林科院 森林生态研究所, 乌鲁木齐 830063)

摘 要: 分布于天山云杉林下线的山地灌丛是天山重要的植被类型之一,也是天山相对稳定的生态系统类型,在天山水土保持中发挥着重要的作用。以天山6种常见的灌木为研究对象,在天山西部、中部、东部设置调查样地,并用平均标准木收获法获得6种常见灌木各营养器官的生物量。从而探讨了6种灌木在天山三段的分布特征以及各营养器官的分配差异。结果表明:(1)同种灌木在天山西部、中部、东部单株生物量存在着差异,其中天山西部6种灌木生物量明显大于天山中部和东部。主要是由于天山西部水热条件优于天山中部和东部;(2)在天山6种常见灌木类型中,单株生物量从大到小排序为:刚毛忍冬(8 549 g/株)>黑果枸杞(7 943 g/株)>黑果小檗(7 880 g/株)>新疆方枝柏(3 014 g/株)>天山绣线菊(2 837 g/株)>密刺蔷薇(2 615 g/株);(3)天山6种常见灌木在天山三段各器官生物量分配比例不同,天山西部主要表现为枝生物量(53.30%)大于根生物量(27.32%),而天山中部和东部则为根生物量(75.90%)大于枝生物量(19.06%),这种分配比例的差异体现了物种对其生境选择的适应性。本研究结果可为对于天山灌丛植被的保护及其退化生态系统的恢复重建提供科学依据。

关键词: 灌木; 生物量; 分布格局; 天山

中图分类号: S718.55⁺6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)05-0127-06

Biomass Formation of Six Shrub Species in Several Zones of Tianshan Mountains

WANG Wendong^{1,2}, LI Jianguai¹, ZHANG Yutao², LI Jimei², LI Xiang², LU Jianjiang²

(1. Institute of Forestry, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830063, China)

Abstract: The shrub which distribute in the Tianshan Mountain spruce forests offline is one of important plant bush fallow types of Tianshan Mountains and is a relatively stable ecosystem playing an important role in the process of soil and water conservation. In this paper, six common shrubs spotted in survey plots which had been set in the western, eastern and middle areas of Tianshan Mountain were selected for the study. And the biomass of vegetative organs of six kinds of shrubs was measured using average standard method. Thereby, the differences in the distribution of six shrubs in the Tianshan Mountains and in the distribution of the three sections of different organs were explored. The results showed that: (1) the distribution of biomass of the same shrubs in the western, eastern and middle areas of Tianshan Mountain was different, the reason why biomass of western was significantly greater than the central and eastern area was that the condition of water and heat of western area was better than eastern and middle areas of Tianshan Mountains; (2) the biomass of six-kind of shrubs is in a descending order: *Lonicera hispidula* Pall. (8 549 g/plant) > *Cotoneaster melanocarpus* Lodd. (7 943 g/plant) > *Berberis atrocarpa* Schneid. (7 880 g/plant) > *Sabina pseudosabina* (Fisch. et Mey.) Cheng et W. T. Wang (3 014 g/plant) > *Spiraea tianschanica* Pojark (2 837 g/plant) > *Rosa spinosissima* L. (2 615 g/plant); (3) there were differences in the distribution ratios of six kinds of shrubs, reflecting the shrub adaptability to habitat selection. The limb biomass of shrubs (53.30%) was greater than root biomass (27.32%) in the western area, the opposite biomass results were found in the eastern and middle areas. The results of this study may provide the scientific basis for the protection of the shrub vegetation and for restoration of degraded ecosystems in Tianshan Mountains.

Keywords: shrubs; biomass; distribution pattern; Tianshan Mountains

收稿日期: 2014-09-17

修回日期: 2014-11-09

资助项目: 自治区公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“天山中部灌木林生物量和生产力研究”; 新疆林业生态服务功能监测评估 [xjlk(2013)001]

第一作者: 王文栋(1979—), 男, 甘肃武威人, 本科, 助理研究员, 主要从事森林生态、森林水文研究。E-mail: wn8001@126.com

通信作者: 李建贵(1971—), 男, 山东平度人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物群落生态学和植物生理生态学研究。E-mail: lijian-gui1971@163.com

生物量是生态系统基本特征的重要指标之一,它不仅反映了生态系统生产力水平的高低,也是植被固碳能力的重要标志和评估植被碳收支的重要参数,其测定在碳循环及气候变化等研究中具有重要意义^[1-5]。灌木群落作为地球上一种重要的生态类型,有其自身形成、发展以及演化机制,它不仅是衡量生产力的重要指标,而且对群落的功能、演替阶段和特征有很好的指示作用。尤其对生态脆弱区而言,灌木生物量的研究对保护生态和生物多样性具有重要意义^[6]。

近几年,研究灌木生物量已是植被生态学的主要内容之一,国内外对灌木生物量的研究主要集中在生物量模型的估测^[7-9]、生物量分配特征^[10-11]及生物量与其他相关环境因子之间关系^[12-14]等方面。而对同一山地灌木在不同气候条件下的地上、地下生物量分布特征、相互关系研究较少。作为全球7大山系之一的天山,在新疆干旱、少雨的气候特征中扮演重要的角色,天山森林生态系统垂直结构分层明显,灌木层植物在天山生态系统中具有重要的生态学地位,因此研究山地灌木生物量的空间分布特征及生长过程中各器官生物量分配规律显得极为重要。

密刺蔷薇(*Rosa spinosissima* L.)、黑果小檗(*Berberis atrocarpa* Schneid.)、刚毛忍冬(*Lonicera hispida* Pall.)、天山绣线菊(*Spiraea tianschanica* Pojark.)、新疆方枝柏(*Sabina pseudosabina* (Fisch. et Mey.) Cheng et W. T. Wang)和黑果柃(*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.)是天山常见的6种灌木。本文以该6种灌木为研究对象,充分考虑水热空间分布梯度因素的影响,在天山西、中、东部分别设置灌木样地进行群落调查,利用标准收获法探讨天山不同地区灌木生物量分布特征,深入分析6种灌木生物量在地上和地下生物量分布及其各营养器官上的分配规律。以期探讨新疆天山灌木的生长分布特征提供基础数据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

天山山脉在新疆境内绵延1760 km,自东向西分为东、中、西3段,存在明显的水热梯度。研究地点设置在天山东部的哈密林场、中部的天山森林生态系统定位研究站(板房沟林场)和西部的昭苏林场。

哈密林场位于天山山脉最东端(91°06'33"—96°23'00"E,43°11'41"—43°25'46"N)。试验地选择在哈密林场的口门子营林区(E93°47',N48°18'),海拔2200 m。年均气温-0.2℃,≥10℃积温为1437℃,年降水量250 mm,年蒸发量1672 mm,属典型的温

带大陆性干旱气候。立地条件相对较差,为荒漠化和水土流失严重地区。主要物种为雪岭云杉(*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.)与天山桦树(*Betula Tianschanica* Rupr.)混交林。

新疆天山森林生态系统定位研究站位于天山中段(87°27'28.5"—87°28'47.7"E,43°24'48.3"—43°26'17.9"N)。海拔1900~2700 m,年平均气温2.0℃,≥10℃积温为1170.5℃,年降水量572.7 mm,属温带大陆性气候,受造山运动、第四季冰川及独特的生物气候等因素的长期综合作用,形成了以天山绣线菊、黑果柃、黑果小檗、密刺蔷薇、刚毛忍冬、天山方枝柏等为主体的寒温带山地浅山带灌木林地。林下土壤为山地灰褐色森林土。

昭苏林场位于天山山脉的西部(80°17'15"—81°44'21"E,42°26'13"—43°02'42"N),是伊犁河谷中上部支流的上游山区,海拔1924~2760 m,气候湿润,年平均气温2.9℃,年平均降水量632 mm,降水多集中在5—8月,占全年降水量的65%。无霜期60~98 d。土壤以黄母质的灰褐色森林土为主,土壤有机质丰富,碳酸钙淋溶强,盐基饱和度高,微偏酸,土壤肥力较高。

1.2 样地设置

在实地踏查的基础上,选择具有代表性的灌木分布地段,设置密刺蔷薇(A)、黑果小檗(B)、刚毛忍冬(C)、天山绣线菊(D)、新疆方枝柏(E)和黑果柃(F)6种优势灌木为优势种的灌木林调查样地,样地大小为5 m×5 m,共布设54块,记录样方的地理位置、海拔、物种数、灌木的名称、数量、地径、高度、冠幅等参数(表1)。为减少同一灌木生物量积累过程在不同地区产生的季节性差异,本试验在2013年7月底至8月中旬完成了全部样品的采集。

1.3 生物量的测定

灌木生物量分为地上和地下两部分,两者之和为单株生物量(W_T),地上部分包括树枝(W_B)、树叶(W_L)和果(W_F)的干重量等,地下部分指根的干重量(W_R)。

地上生物量以基径和枝长为基准的分级标准枝法,测定方法为:(1)将树冠分上、中、下3层,按顺序测定每个枝条基径(D_0)和枝长,并计算出各层平均基径和枝长。(2)选取标准枝:按平均基径和枝长,每个样方中选择大、中、小3株同一类型灌木,将3株灌木的对应值分别相加并求平均值,即代表一个样方中单株灌木生物量。(3)标准枝摘叶,分别测定枝量和叶量,并在每一层取烘干样品(叶50 g、枝100 g)。(4)根据每层标准枝分别测定各层枝、叶、果的鲜重和干重,然后将各层枝、叶、果重量相加,得到树木的枝重、叶重和果重。

表 1 样方调差统计

树种	地区	样方数/个	海拔/m	地径/cm	树高/m	冠幅面积/m ²
密刺蔷薇	天山西部	3	1904~1927	0.87~1.16	1.9~2.2	1.95~8.96
	天山中部	3	1815~1859	0.85~1.05	1.2~2.0	1.96~2.86
	天山东部	3	1913~1920	0.78~0.86	1.2~1.3	1.21~1.56
黑果小檗	天山西部	3	1914~1925	1.57~1.81	2.8~3.3	5.68~9.46
	天山中部	3	1811~1815	1.32~2.27	1.8~3.5	6.8~8.4
	天山东部	3	1935~1950	1.95~1.23	2.5~3.2	4.14~7.5
刚毛忍冬	天山西部	3	1950~1959	3.08~3.34	2.2~2.7	5.9~9.3
	天山中部	3	1801~1811	2.15~2.66	2.4~2.4	2.08~7.28
	天山东部	3	1905~1920	2.10~2.34	2.2~2.4	1.68~6.5
天山绣线菊	天山西部	3	1951~1960	1.20~1.32	1.5~1.8	1.54~4.25
	天山中部	3	1810~1819	0.66~0.93	1.2~1.7	1.43~2.24
	天山东部	3	1918~1926	0.56~0.73	1.1~1.5	1.32~1.82
新疆方枝柏	天山西部	3	2174~2247	1.21~1.73	0.3~0.7	7.28~11.2
	天山中部	3	1821~1826	1.24~1.50	0.5~0.8	7.29~16.07
	天山东部	3	2630~2680	1.14~1.19	0.6~1.2	8.25~9.45
黑果柆子	天山西部	3	1946~1946	1.75~2.03	2.6~3.3	5.25~10.00
	天山中部	3	1808~1830	2.12~2.45	2.2~4.1	5.28~8.45
	天山东部	3	1914~1921	1.95~2.13	2.5~3.4	3.6~8.39

根系生物量测定方法:以样木之伐根为中心,清除灌木地下草本根系,将树冠投影面积下的土壤按照 0—30,30—50,50—80 cm 分层挖出全部根系,按粗度分级(<0.2 cm 为细根,0.2~0.5 cm 为小根,0.5~1 cm 为中根,1~2 cm 为大根,>2 cm 为粗根),分别测量其鲜重,并按根的粗度等级留取一定量的标准样,称其鲜重后装入样方袋带回实验室测量。根桩部分单独称重并取样。所采集的样品在 105℃ 下烘干至恒重,计算根系的生物量。

$$P_i=(1-\frac{W_{i干重}}{W_{i鲜重}})$$

(1)

$$W_i=W_{i鲜重}(1-P_i)$$

(2)

式中: P_i ——含水率; W_i ——各器官的生物量; i ——根、枝、叶。各级器官的生物量及根生物量相加便得灌木单株生物量^[15]。

1.4 数据分析

用 Excel 2003 统计数据,用统计软件 SPSS 17.0 对试验数据进行相关分析和多重比较(LSD)。

2 结果与分析

2.1 天山三段 6 种灌木生物量及地上/地下生物量的特征

天山三段 6 种灌木的地上、地下生物量及 A/U 均不相同(表 2),天山西部地上生物量远远高于地下生物量,而天山中部和东部却表现为地下生物量大于地上生物量。如不考虑天山三段的差异,天山地上生

物量从大到小排序为黑果小檗>刚毛忍冬>黑果柆子>密刺蔷薇>天山绣线菊>新疆方枝柏,黑果柆子与其他 5 种灌木差异显著($p<0.05$)。地下生物量与地上生物量不同,从大到小的排列顺序为:黑果柆子>黑果小檗>刚毛忍冬>新疆方枝柏>天山绣线菊>密刺蔷薇,物种间差异不显著;总生物量表现为:刚毛忍冬>黑果柆子>黑果小檗>新疆方枝柏>天山绣线菊>密刺蔷薇,其中黑果柆子与其他 5 种灌木差异显著($p<0.05$)。A/U 反映了植物地上/地下生物量的分配策略,天山 6 种灌木的 A/U 表现为差异不显著($p>0.05$),其中黑果小檗、密刺蔷薇和刚毛忍冬 A/U 值均大于 1;天山绣线菊、新疆方枝柏和黑果柆子的 A/U 值均小于 1。这表明 6 种灌木的地上/地下生物量分配策略不同,黑果小檗、密刺蔷薇、刚毛忍冬将更多的生物量分配到了地上器官中,而天山绣线菊、新疆方枝柏和黑果柆子将更多物质分配到了地下根系中。

2.2 天山三段灌木营养器官生物量分配特征

对天山三段灌木生物量在营养器官根、枝、叶间的分配进行比较分析,进行地段间的差异比较(图 1)。天山三段灌木在营养器官根、枝、叶、果间的生物量分配呈现出大体相同的趋势,但同一器官在不同地段生物量中所占比例不同。

由图 1 可见,各营养器官生物量分配总体上表现为根生物量>枝生物量>叶生物量>果生物量。天

山三段灌木根、枝、叶生物量占全株生物量的比例各不相同,根生物量所占比例为 19.6%~53.3%,天山西部与天山中部差异不显著($p>0.05$),天山西部与天山东部差异显著($p<0.05$);枝条生物量所占比例为 19.6%~53.3%,天山西部与天山中部差异不显著,天

山西部与天山东部差异显著($p<0.05$);而叶生物量所占比例最小,为 4.43%~8.12%,地段间差异不显著;果生物量所占比例为 0.06%~1.26%,各地段间差异不显著,即不同地段间灌木各营养器官生物量在果、叶上的分配差异不显著,在根、枝上的分配有差异。

表 2 6 种灌木地上、地下、单株生物量及地上/地下生物量

地区	生物量	密刺蔷薇	黑果小檗	刚毛忍冬	天山绣线菊	新疆方枝柏	黑果枸杞	平均值
天山西部	地上生物量/(g/株)	3421.5	13124.6	15718.7	3071.5	2293.0	8188.9	7636.4
	地下生物量/(g/株)	3002.3	3105.7	5680.8	2338.5	2061.4	5670.5	3643.2
	地上/地下	1.1	4.2	2.8	1.3	1.1	1.4	2.0
天山中部	地上生物量/(g/株)	445.1	853.1	1679.9	234.7	495.8	1686.9	899.3
	地下生物量/(g/株)	244.6	4375.6	821.5	1631.6	2672.5	2671.1	2069.5
	地上/地下	1.8	0.2	2.0	0.1	0.2	0.6	0.8
天山东部	地上生物量/(g/株)	177.3	1442.3	163.4	91.5	225.9	1268.6	561.5
	地下生物量/(g/株)	554.3	739.6	1585.1	1144.1	1293.5	4343.6	1610.0
	地上/地下	0.3	2.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5
平均值	地上生物量/(g/株)	1348.0a	5140.0a	5854.0a	1132.6a	1004.9a	3714.8b	3032.4
	地下生物量/(g/株)	1267.1a	2740.3a	2695.8a	1704.7a	2009.1a	4228.4a	2440.9
	单株生物量/(g/株)	2615.1a	7880.3a	8549.8a	2837.3a	3014.0a	7943.2b	5473.3
	地上/地下	1.1a	2.1a	1.6a	0.5a	0.5a	0.8a	1.1

注:同行不同小写字母表示不同物种之间的差异显著($p<0.05$)。

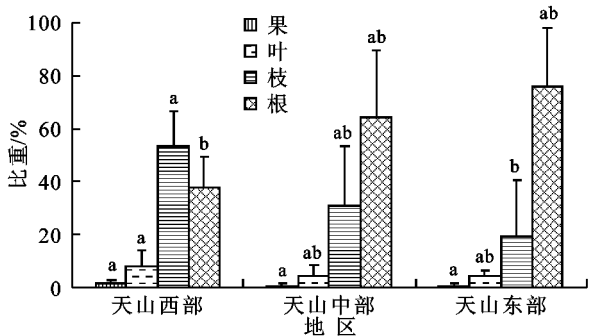


图 1 天山三段灌木单株生物量在各营养器官中的分配

若不考虑天山地段差异对 6 种灌木生物量的影响,对天山 6 种灌木生物量在营养器官根、枝、叶间的分配进行比较分析,进行物种间的差异比较(图 2),可见 6 种灌木同一器官在不同灌木单株生物量中所占比例不同。

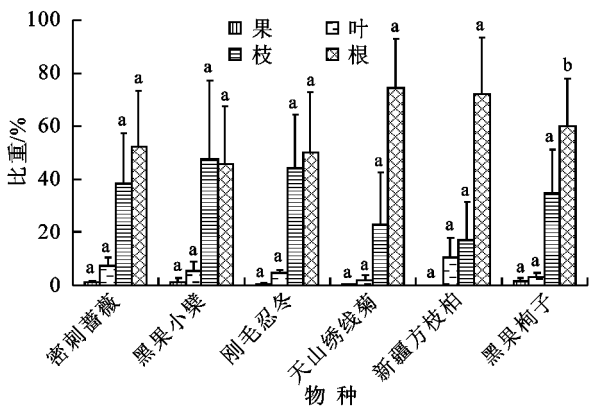


图 2 6 种灌木单株生物量在各营养器官中的分配

在果生物量的分配上,黑果枸杞最大(1.88%),新疆方枝柏无果实,物种间无显著性差异;在叶生物量的分配上,新疆方枝柏最大(10.58%),黑果枸杞最小(3.33%),种间差异不显著;在枝生物量的分配上,黑果小檗最大(47.93%),新疆方枝柏最小(17.14%),种间差异不显著;在根生物量的分配上,天山绣线菊最大(74.41%),黑果小檗最小(45.57%),黑果枸杞与其他 5 种灌木差异显著($p<0.05$)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 天山三段 6 种灌木生物量及地上/地下生物量特征 天山山地生态系统地域广阔,自然条件复杂多样,并存在明显的水热梯度,因此,天山 6 种常见灌木生物量的空间分布存在异质,通过分析 6 种灌木在天山三段单株生物量发现,天山西部 6 种灌木单株生物量范围为 4 354.4~21 399.5 g/株,平均单株生物量为 5 473.3 g/株。总体分布特征是天山西部显著高于天山中部和东部(表 2),这与不同研究区的水热条件、地形特征、土壤以及灌木类型的分布有关。天山西部伊犁昭苏虽然处于温带干旱区,但是,因受大西洋气流影响,气候比较湿润,因此 6 种灌木平均单株生物量为 11 279.6 g/株,明显高于天山中部和东部;而天山东部受强大性气候控制,降水稀少,海拔较高,因此 6 种灌木平均单株生物量仅为 2 171.5 g/株。天山

中部灌木单株生物量则处于天山西部和天山东部之间,为2 968.8 g/株。若不考虑天山水热条件及其他影响因素,天山6种常见灌木单株生物量从大到小排列顺序为:刚毛忍冬>黑果枸杞>黑果小檗>新疆方枝柏>天山绣线菊>密刺蔷薇。说明刚毛忍冬灌木对天山灌木生物量的贡献率最大,并且具有较强的适应性生物量是植物积累能量的主要体现,其在各器官中的分配方式不仅受植株年龄及植株大小的限制,同时也受外界环境的影响。本研究中,不同研究区灌木地下、地上生物量所占比例具有一定的差异(表2)。天山西部灌木地下生物量均小于地上生物量,而天山东部灌木生物量除黑果小檗外,其他5种灌木地下生物量大于地上生物量。

最优分配理论认为,植物可以通过调节生物量在各器官中的分配来适应外界的环境条件,从而最大限度地获取光照、水分和养分等受限的资源,以维持其生长速率的最大化^[16-18]。这一理论得到了很多研究的证实,主要表现为当光照资源受到限制或水分、养分可利用性较高时,植物将更多的资源分配到地上器官,而当水分和养分受限时,植物将更多的资源分配到地下根系中^[19-21]。在天山东部,光照充足,平均年降水量为250 mm,且地下水埋藏较深,植物只能利用自然降雨,天山东部土壤碳酸盐灰褐色土,其剖面旱化程度较深^[22],养分较为贫瘠,因此水分和养分为灌木生长的主要限制因子。按照最优分配理论,天山东部灌木会将更多的资源分配到地下部分,以发达的根系来适应干旱胁迫。因此在天山东部6种灌木地下生物量所占比例最大。

3.1.2 天山三段6种灌木各营养器官生物量分布特征 平衡生长假说认为植物在响应环境条件的时候,可以通过调节不同器官中的生物量分配,来最大化地获取水分、营养和光等受限资源,从而维持其生长速率达到最大^[16],大量研究表明,受限的资源影响植物各器官生物量的分配,均符合这一理论^[23]。

总体来看,天山6种常见灌木各营养器官根、枝、叶、果占单株生物量的比例整体呈现出根生物量>枝生物量>叶生物量的现象(图2),与前人研究结果一致^[11,24-25]。但对比分析天山三段各器官所占单株生物量的比例可知,天山西部6种灌木均表现为枝生物量>根生物量>叶生物量>果生物量,但天山东部却是根生物量>枝生物量>叶生物量>果生物量(图1)。

在天山从东部到西部,呈现出明显的水热梯度,导致生长在不同地段的同种灌木在营养器官的生物量分配比例上产生一定的差异,灌木的叶生物量和果生物量与植物的生长和繁殖策略有关,在天山西部,

灌木果生物量明显高于天山中部和东部,尤其是黑果小檗、天山绣线菊、黑果枸杞,这3种灌木在天山西部根系分布较浅,地上生物量所占比例大于50%,可见天山西部灌木的繁殖能力远远大于天山中部和东部。叶片是植物光合作用的主要器官,因此叶生物量与灌木的生长息息相关,叶生物量含量较高的植物能积累更多的营养物质用于植物的生长。在天山西部6种灌木叶生物量所占比例大于5.12%,而在天山东部6种灌木叶生物量所占比例较小。同一物种在不同地段间各营养器官的分配规律体现了物种的生态适应性。

3.2 结论

(1) 天山6种常见的灌木单株生物量从大到小排序为:刚毛忍冬(8 549 g/株)>黑果枸杞(7 943 g/株)>黑果小檗(7 880 g/株)>新疆方枝柏(3 014 g/株)>天山绣线菊(2 837 g/株)>密刺蔷薇(2 615 g/株)。在天山三段6种常见灌木中,天山西部6种灌木单株生物量、地上生物量大于天山中部和东部。这主要是天山三段水热条件、地形特征以及土壤差异引起的。

(2) 天山6种常见灌木各营养器官根、枝、叶、果占单株生物量的比例整体呈现出根生物量>枝生物量>叶生物量的现象;6种灌木枝生物量和根生物量所占比重在80%以上。天山西部至东部灌木各营养器官生物量分配所占比例不同,天山西部灌木单株生物量的主要贡献者为枝生物量;天山中部和东部灌木单株生物量的主要贡献者为根生物量。天山西部叶生物量和果生物量明显高于天山中部和东部,因此天山西部单株生物量较大,繁殖速度较快。

本文分析了天山西、中、东部6种灌木单株生物量,并深入分析了它们在营养器官上的分配规律及其所体现出的生态适应性,为天山林区灌木生物量的估算、植被的保护及其退化生态系统的恢复重建提供依据。

参考文献:

- [1] 方精云,陈安平.中国森林植被碳库的动态变化及其意义[J].植物学报,2001,43(9):967-973.
- [2] 方精云,杨元合,马文红,等.中国草地生态系统碳库及其变化[J].中国科学:生命科学,2010,40(7):566-576.
- [3] 方精云.中国森林生产力及其对全球气候变化的响应(英文)[J].植物生态学报,2000,43(5):967-973.
- [4] 王根绪,胡宏昌,王一博,等.青藏高原多年冻土区典型高寒草地生物量对气候变化的响应[J].冰川冻土,2007,29(5):671-679.
- [5] 程瑞梅,封晓辉,肖文发,等.北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应[J].生态学报,2011,31(8):2086-2095.
- [6] 袁素芬,陈亚宁,李卫红,等.新疆塔里木河下游灌丛地

- 上生物量及其空间分布[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1818-1824.
- [7] 李刚, 赵祥, 刘碧荣. 晋北 4 种灌木地上生物量预测模型的构建[J]. 林业资源管理, 2014(1): 71-76.
- [8] 翟晓江, 郝红科, 麻坤, 等. 基于 TM 的陕北黄龙山森林生物量模型[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 41-45.
- [9] 鲁绍伟, 陈波, 潘青华, 等. 北京山地不同林分乔木层生物量和生产力研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 155-159.
- [10] 杨昊天, 李新荣, 刘立超, 等. 荒漠草地 4 种灌木生物量分配特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1340-1348.
- [11] 金铭, 李毅, 王顺利, 等. 祁连山高山灌丛生物量及其分配特征[J]. 干旱区地理, 2012, 35(6): 952-959.
- [12] 陈生云, 刘文杰, 叶柏生, 等. 疏勒河上游地区植被物种多样性和生物量及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 70-83.
- [13] 雷蕾, 刘贤德, 王顺利, 等. 祁连山高山灌丛生物量分配规律及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1602-1607.
- [14] 张佳, 温仲明, 杨尚斌. 基于自然植被的延河流域生物量空间分布格局评估[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 35-39.
- [15] 王淑元, 林升寿. 我国森林生态系统定位研究的进展[J]. 世界林业研究, 1995(4): 44-49.
- [16] McConnaughay K D M, Coleman J S. Biomass allocation in plants: Ontogeny or optimality? A test along three resource gradients[J]. Ecology, 1999, 80(8): 2581-2593.
- [17] Schenk H J, Jackson R B. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems[J]. Journal of Ecology, 2002, 90(3): 480-494.
- [18] Bloom A J, Chapin F S, Mooney H A. Resource limitation in plant: An economic analogy[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1985, 16: 363-392.
- [19] Ryser P, Eek L. Consequences of phenotypic plasticity vs. interspecific differences in leaf and root traits for acquisition of aboveground and belowground resources[J]. American Journal of Botany, 2000, 87(3): 402-411.
- [20] Chapin F S, Bloom A J, Field C B, et al. Plant responses to multiple environmental factors[J]. BioScience, 1987, 37: 49-57.
- [21] Bloom R G, Mallik A U. Indirect effects of black spruce (*Picea mariana*) cover on community structure and function in sheep laurel (*Kalmia angustifolia*) dominated heath of eastern Canada[J]. Plant & Soil, 2004, 265(1/2): 279-293.
- [22] 陆平, 严庚雪. 新疆森林[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1989.
- [23] 黎磊, 周道玮, 盛连喜. 密度制约决定的植物生物量分配格局[J]. 生态学杂志, 2011, 30(8): 1579-1589.
- [24] 牛存洋, 阿拉木萨, 宗芹, 等. 科尔沁沙地小叶锦鸡儿地上—地下生物量分配格局[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 1980-1986.
- [25] 黎燕琼, 郑绍伟, 龚固堂, 等. 不同年龄柏木混交林下主要灌木黄荆生物量及分配格局[J]. 生态学报, 2010, 30(11): 2809-2818.



(上接第 126 页)

- [12] 王丙文, 迟淑绮, 田慎重. 不同玉米秸秆还田方式对冬小麦田土壤呼吸的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1374-1380.
- [13] 李元, 时伟宇, 闫美杰, 等. 土壤呼吸影响因素概述及展望[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 311-316.
- [14] 马涛, 周金星. 滩地人工杨树林土壤呼吸变化规律与环境因子的关系研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 31-36.
- [15] Fiener P, Dlugob V, Korres W, et al. Spatial variability of soil respiration in a small agricultural watershed: Are patterns of soil redistribution important[J]. Catena, 2012, 94: 3-16.
- [16] Van Hemelryck H, Govers G, Van Oost K, et al. Evaluating the impact of soil redistribution on the in situ mineralization of soil organic carbon[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2011, 36(4): 427-438.
- [17] Li Y, Zhang Q W, Reicosky D C, et al. Changes in soil organic carbon induced by tillage and water erosion on a steep cultivated hillslope in the Chinese Loess Plateau from 1898—1954 and 1954—1998[J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112(G1): 531-532.
- [18] Bajracharya R M, Lal R, Kimble J M. Erosion effects on carbon dioxide concentration and carbon flux from an Ohio Alfisol[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(2): 694-700.