

DOI: 10.5846/stxb201405130984

王文栋, 白志强, 阿里木·买买提, 刘端, 郭忠军. 天山林区 6 种优势种灌木林生物量比较及估测模型. 生态学报, 2016, 36(9): - .

Wang W D, Bai Z Q, Alimu M M T, Liu D, Guo Z J. Biomass comparison and estimation models for six dominant species of woody shrubs in the forest zones of the Tianshan Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(9): - .

天山林区 6 种优势种灌木林生物量比较及估测模型

王文栋*, 白志强, 阿里木·买买提, 刘端, 郭忠军

新疆林业科学院森林生态研究所, 乌鲁木齐 830063

摘要: 采用平均标准木收获法测定了天山东、中、西部林区 6 种优势种灌木, 多刺蔷薇 (*Rosa spinosissima* L.)、黑果小檗 (*Berberis heteropoda* Schrenk.)、刚毛忍冬 (*Lonicera hispida* Pall.)、天山绣线菊 (*Spiraea tianschanica* Pojark.)、新疆方枝柏 (*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.) 和黑果柃 (*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.) 的地上和地下生物量并构建基于 D^2H 变量的个体生物量模型。结果表明: (1) 天山西部林区灌木林的总生物量大于中部和东部的; (2) 6 种灌木的平均生物量大小排序为刚毛忍冬 > 黑果柃 > 黑果小檗 > 新疆方枝柏 > 天山绣线菊 > 多刺蔷薇; (3) 6 种灌木的生物量贡献主要源于根和枝生物量, 不同器官生物量的大小排序根 > 枝 > 叶; 6 种灌木叶生物量的大小与枝的生物量之间呈极显著相关 ($P < 0.01$); (4) 以 D^2H 为自变量建立 6 种灌木不同器官及个体生物量估测模型 24 个, 除黑果小檗和新疆方枝柏叶生物量模型达到显著水平, 其他各组成生物量模型均达到极显著水平, 模型模拟结果达到了较高的准确度, 可用于推算灌木生物量。本研究可为定量评估天山森林生态系统的固碳功能提供数据支撑, 也可为进一步开展森林生态系统服务功能评价提供依据。

关键词: 灌木; 生物量模型; 生物量分配; 天山

Biomass comparison and estimation models for six dominant species of woody shrubs in the forest zones of the Tianshan Mountains

WANG Wendong*, BAI Zhiqiang, ALIMU Maimaiti, LIU Duan, GUO Zhongjun

Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830000, China

Abstract: The woody shrub layer in the Tianshan Mountains comprises a large proportion of the plant biomass of the entire forest ecosystem, significantly affecting estimates of the total forest biomass. Therefore, using an average wood-harvesting method, this study measured both the aboveground and belowground biomasses of six species of dominant woody shrubs (*Rosa spinosissima* L., *Berberis heteropoda* Schrenk., *Lonicera hispida* Pall., *Spiraea tianschanica* Pojark, *Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey., and *Cotoneaster melanocarpus* Lodd.) in eastern, central, and western areas of the Tianshan Mountains. A series of individual biomass models inferred from the variable D^2H were established. The results are as follows: (1) The total biomass of the forest in the western areas of the Tianshan Mountains was larger than that in the central and eastern areas. The average biomass of an individual plant of the six woody shrubs was in the order of *Lonicera hispida* > *Cotoneaster melanocarpus* > *Berberis heteropoda* > *Juniperus pseudosabina* > *Spiraea tianschanica* > *Rosa spinosissima*. (2) In the western areas of Tianshan Mountains, the ratio of aboveground biomass to belowground biomass was greater than 1 for all six species; in the central area, it was less than 1 for all species except *R. spinosissima* and *L. hispida*; and in the eastern area, it was less than 1 for all species except *B. heteropoda*. (3) In all species, roots and branches were the major contributors to the biomass. The plant organ biomass was in the order of root < branch < leaf. The biomass of

基金项目: 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 号); 新疆阿尔泰山森林生态系统定位研究站开放基金

收稿日期: 2014-05-13; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wn8001@126.com

different root sizes was in the order of thick root > large root > medium root > small root > fine root. The variation in biomass distribution among different nutritive organs and diameter-class roots reflects the strategies that species employed to adapt to selected habitats. (4) Twenty-four biomass estimation models, with D^2H as an independent variable, were established to evaluate organ biomass and individual biomass in the six species. The established models included 10 linear models, eight power function models, four polynomial models, and two logarithmic models. Except for *B. heteropoda* and *J. pseudosabina*, which reached only the significant level, the biomass models for all species reached the extremely significant level. The results indicate that the models can provide highly accurate estimates that could be used to evaluate the biomass of woody shrubs. This study provides supporting data for quantitative assessment of carbon fixation capacity of the Tianshan Mountains forest ecosystem. In addition, it provides strong evidence for further evaluation of the service capacity of forest ecosystems.

Key Words: woody shrubs; biomass model; biomass allocation; Tianshan mountains

气候变化问题已成为当今全球共同面临的重大课题。碳源/碳汇的定性和定量分析,对于研究气候变化对生态系统的影响、决策生态系统的应对策略等具有支持作用。近年来,各国学者围绕森林碳储量、碳汇功能以及碳循环做了许多研究^[1-3]。对森林生态系统来说,生物量是生态系统物质生产量累积的重要体现,而且能够反映出生态系统生产者的生产力和固碳能力^[4-5]。灌木层植物生物量占到整个森林生态系统的 10%—30%^[6],对森林生态系统总生物量的估算有着重要影响^[7]。对灌木生物量的科学估计能为森林生态系统的生物量等研究提供精确估算的依据^[4,8]。

国内外学者对生物量的研究主要集中在乔木层的生产力^[9-11]、遥感估测^[12-13]、生物量估算模型^[14-15]、碳储量^[16-17]和生物量分布格局^[18]等方面。平均标准木收获法虽费时费力,但是可以获得精确数据,为建立模型提供精确的数据源。天山林区植被生物量及固碳能力的研究主要在对乔木生物量的研究,对灌木生物量及其模型的估测研究较少,特别是对同一灌木在不同气候条件下的地上和地下生物量的分布特征、相互关系、和生长模型的研究。

天山林区在改善新疆生态环境、维持生态系统稳定、调节区域气候等方面起着极其重要的作用。多刺蔷薇(*Rosa spinosissima* L.)、黑果小檗(*Berberis heteropoda* Schrenk.)、刚毛忍冬(*Lonicera hispida* Pall.)、天山绣线菊(*Spiraea tianschanica* Pojark.)、新疆方枝柏(*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.)和黑果枸杞(*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.)是天山林区的优势种灌木,也是天山森林生态系统的重要组成部分。因此,本文以分布在天山东、中和西部的 6 种优势种灌木为研究对象,利用平均标准木收获法测定不同地点 6 种灌木的生物量分配特征,并以 D^2H 为自变量建立不同灌木各营养器官及个体的生物量模型,可为定量评估天山森林生态系统的固碳功能提供数据支撑,也可为深入开展森林生态系统服务功能评价提供依据。

1 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、西三段,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、中部的新疆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(图 1)。

哈密林场位于天山山脉最东端($E91^{\circ}06'33''-96^{\circ}23'00''$; $N43^{\circ}11'41''-43^{\circ}25'46''$)。试验地选择在哈密林场的口门子营林区($E93^{\circ}47'$; $N48^{\circ}18'$),海拔 2200 m。年均气温 -0.2°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 1437°C ,年降水量 512.4 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。主要物种组成为天山云杉与桦树混交林。

新疆天山森林生态系统定位研究站位于天山中段($E87^{\circ}27'28.5''-87^{\circ}28'47.7''$, $N43^{\circ}24'48.3''-43^{\circ}26'17.9''$);海拔 1900—2700 m,年平均气温 2.0°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 1170.5°C ;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、黑果枸

子、黑果小檗、多刺蔷薇、刚毛忍冬、天山绣线菊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。

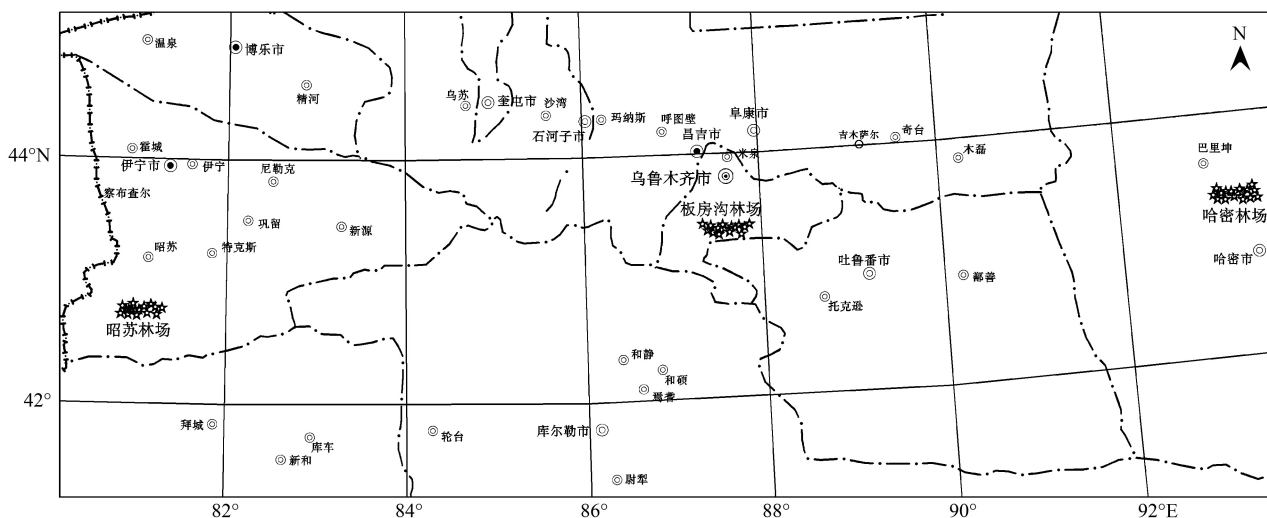


图 1 研究区样方调查点位

Fig. 1 The quadrat survey in the study area

昭苏林场位于天山山脉的西部($E80^{\circ}17'15''-81^{\circ}44'21''$, $N42^{\circ}26'13''-43^{\circ}02'42''$), 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°C , 年平均降水量 720.5 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。主要物种组成为天山云杉林。

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, 设置多刺蔷薇(A)、黑果小檗(B)、刚毛忍冬(C)、天山绣线菊(D)、新疆方枝柏(E)和黑果枸杞(F)等 6 种优势种灌木为建群种的灌木林调查样地, 样地大小为 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$, 共布设 54 块(图 1), 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 月中旬进行了部分样品的采集, 并于 2014 年 7 月底至 8 月中旬进行了补充采集。

1.3 生物量的测定

灌木生物量分为地上和地下两部分, 两者之和为总生物量(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、下三层, 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。

根系生物量测定方法: 以样木之伐根为中心, 将树冠投影面积下的土壤按照 0—30 cm、30—50 cm、50—80 cm 分层挖出全部根系, 按粗度分级($<0.2\text{ cm}$ 为细根; $0.2-0.5\text{ cm}$ 为小根; $0.5-1\text{ cm}$ 为中根; $1-2\text{ cm}$ 为大根; $>2\text{ cm}$ 为粗根), 分别称其鲜重, 根桩部分单独称重并取样。所采集的样品在 105°C 下烘干至恒重, 计算根系的生物量^[11]。

1.4 数据分析

自变量的选取是构建模型的关键^[19]。只有选择与灌木生物量相关性较高的自变量来拟合生物量模型,

才能提高模型精度.影响灌木生物量的主要因子有地径(D, cm)、树高(H, m)、冠幅(CA, m^2)。以往的研究表明,基径平方与株高乘积对灌木生物量模型拟合具有较好的效果^[15, 20-21]。因此本文选取 D^2H 作为自变量,选取线性模型,多项式,对数函数模型,幂函数模型 4 种模型类型分别对 6 种灌木进行各器官及个体生物量模型拟合。

表 1 样方调查统计表

Table 1 The result of sampleplot survey

树种 Species	地区 Region	样方数/个 Number of plots/n	海拔/m Elevation/m	地径 D/cm Diameter	树高 H/m Height	冠幅面积 CA/m^2 The area of crown
A	W	3	1904—1927	0.87—1.16	1.9—2.2	1.95—8.96
	M	3	1815—1859	0.85—1.05	1.2—2.0	1.96—2.86
	E	3	1913—1920	0.78—0.86	1.2—1.3	1.21—1.56
B	W	3	1914—1925	1.57—1.81	2.8—3.3	5.68—9.46
	M	3	1811—1815	1.32—2.27	1.8—3.5	6.8—8.4
	E	3	1935—1950	1.95—1.23	2.5—3.2	4.14—7.5
C	W	3	1950—1959	3.08—3.34	2.2—2.7	5.9—9.3
	M	3	1801—1811	2.15—2.66	2.4—2.4	2.08—7.28
	E	3	1905—1920	2.10—2.34	2.2—2.4	1.68—6.5
D	W	3	1951—1960	1.20—1.32	1.5—1.8	1.54—4.25
	M	3	1810—1819	0.66—0.93	1.2—1.7	1.43—2.24
	E	3	1918—1926	0.56—0.73	1.1—1.5	1.32—1.82
E	W	3	2174—2247	1.21—1.73	0.3—0.7	7.28—11.2
	M	3	1821—1826	1.24—1.50	0.5—0.8	7.29—16.07
	E	3	2630—2680	1.14—1.19	0.6—1.2	8.25—9.45
F	W	3	1946—1946	1.75—2.03	2.6—3.3	5.25—10.00
	M	3	1808—1830	2.12—2.45	2.2—4.1	5.28—8.45
	E	3	1914—1921	1.95—2.13	2.5—3.4	3.6—8.39

A: 多刺蔷薇 (*Rosa spinosissima* L.) B: 黑果小檗 (*Berberis heteropoda* Schrenk.) C: 刚毛忍冬 (*Lonicera hispida* Pall.) D: 天山绣线菊 (*Spiraea tianschanica* Pojark.) E: 新疆方枝柏 (*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.) F: 黑果枸杞 (*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.) ; W: 天山西部 West ; M: 天山中部 Middle; E: 天山东部 East。

用 Excel2003 作图,用统计软件 SPSS 17.0 对实验数据进行统计分析,显著度水平设为 0.05。用单因素方差分析 (ANOVA) 检验不同营养器官和不同根系之间生物量差异性,并用最小显著差异法 (LSD) 进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 天山 6 种灌木个体生物量特征

表 2 显示天山东部、中部和西部的 6 种优势种灌木的生物量及其分配。6 种优势种灌木平均生物量大小排序为刚毛忍冬>黑果枸杞>黑果小檗>新疆方枝柏>天山绣线菊>多刺蔷薇。在天山东部,6 种灌木生物量大小排序为黑果枸杞>黑果小檗>刚毛忍冬>新疆方枝柏>天山绣线菊>多刺蔷薇,除黑果小檗外地上生物量小于地下生物量;在天山中部,6 种灌木生物量大小排序为黑果小檗>黑果枸杞>新疆方枝柏>刚毛忍冬>天山绣线菊>多刺蔷薇,除多刺蔷薇和刚毛忍冬外其它 4 种灌木地上生物量小于地下生物量;在天山西部,6 种灌木生物量大小排序为刚毛忍冬>黑果小檗>黑果枸杞>多刺蔷薇>天山绣线菊>新疆方枝柏;6 种灌木地上生物量大于地下生物量。

除天山东部的黑果枸杞生物量大于中部的,不同地点多刺蔷薇、黑果小檗、刚毛忍冬、天山绣线菊和新疆方枝柏的生物量排序为天山西部>天山中部>天山东部,且西部的生物量显著高于中部和东部地区的 ($P <$

0.05)。天山西部 6 种灌木的地上生物量均高于其地下的生物量($P<0.05$);天山中部除多刺蔷薇和刚毛忍冬的地上生物量高于其地下生物量外,其他 4 种均为地下生物量显著高于地上生物量($P<0.05$);天山东部除黑果小檗外,其他 5 种灌木的地下生物量远高于地上生物量($P<0.05$)。

表 2 天山山脉东、中和西部 6 种灌木的生物量分配

Table 2 Biomass allocation of 6 kinds of shrub in the east, middle, and west of the Tianshan Mountains

树种 Species	地区 Region	总生物量/(g/株) Total Biomass	地上生物量/(g/株) Aboveground biomass	地下生物量/(g/株) Underground biomass	地上生物量/地下生物量 A/U
A	W	6423.8c	3421.5c	3002.3b	1.1
	M	689.7f	445.1f	244.6h	1.8
	E	731.6f	177.3h	554.3g	0.3
	平均生物量 Averagebiomass	2615.03	1347.95	1267.07	1.09
B	W	16230.3b	13124.6ab	3105.7b	4.2
	M	5228.7d	853.1e	4375.6ab	0.2
	E	2181.8e	1442.3d	739.6f	2
	平均生物量 Averagebiomass	7880.28	5139.99	2740.29	2.12
C	W	21399.5a	15718.7a	5680.8a	2.8
	M	2501.4e	1679.9d	821.5f	2
	E	1748.5e	163.4h	1585.1e	0.1
	平均生物量 Averagebiomass	8549.80	5854.00	2695.80	1.64
D	W	5410.0cd	3071.5c	2338.5d	1.3
	M	1866.3e	234.7g	1631.6e	0.1
	E	1235.6ef	91.5h	1144.1ef	0.1
	平均生物量 Averagebiomass	2837.30	1132.57	1704.73	0.51
E	W	4354.4d	2293.0cd	2061.4d	1.1
	M	3168.3d	495.8f	2672.5bc	0.2
	E	1519.4e	225.9g	1293.5e	0.2
	平均生物量 Averagebiomass	3014.03	1004.90	2009.13	0.49
F	W	13859.4bc	8188.9b	5670.5a	1.4
	M	4358.0d	1686.9d	0.6	
	E	5612.2d	1268.6de	4343.6ab	0.3
	平均生物量 Averagebiomass	7943.20	3714.81	4228.39	0.79

A: 多刺蔷薇 (*Rosa spinosissima* L.) B: 黑果小檗 (*Berberis heteropoda* Schrenk.) C: 刚毛忍冬 (*Lonicera hispida* Pall.) D: 天山绣线菊 (*Spiraea. tianschanica* Pojark.) E: 新疆方枝柏 (*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.) F: 黑果枸杞 (*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.) W: 天山西部 West ;M: 天山中部 Middle;E: 天山东部 East。同列不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.2 不同营养器官生物量分配

6 种优势种灌木不同营养器官的生物量所占比例见图 2。6 种灌木枝与根的生物量所占比例之和均在 80% 以上,即枝和根为灌木个体总生物量大小的主要贡献者;其中,枝生物量从高到低依次为黑果小檗、刚毛忍冬、多刺蔷薇、黑果枸杞、天山绣线菊和新疆方枝柏;根系生物量从高到低依次为天山绣线菊、新疆方枝柏、黑果枸杞、多刺蔷薇、刚毛忍冬和黑果小檗。6 种灌木叶生物量占总生物量的 5.95%,其从高到低依次为新疆方枝柏、多刺蔷薇、黑果小檗、刚毛忍冬、黑果枸杞和天山绣线菊;果的生物量占总生物量比例基本不足 2%。

各营养器官相关结果表明(表 3),6 种灌木叶的生物量与枝的生物量间存在极显著的相关性($P<0.01$);

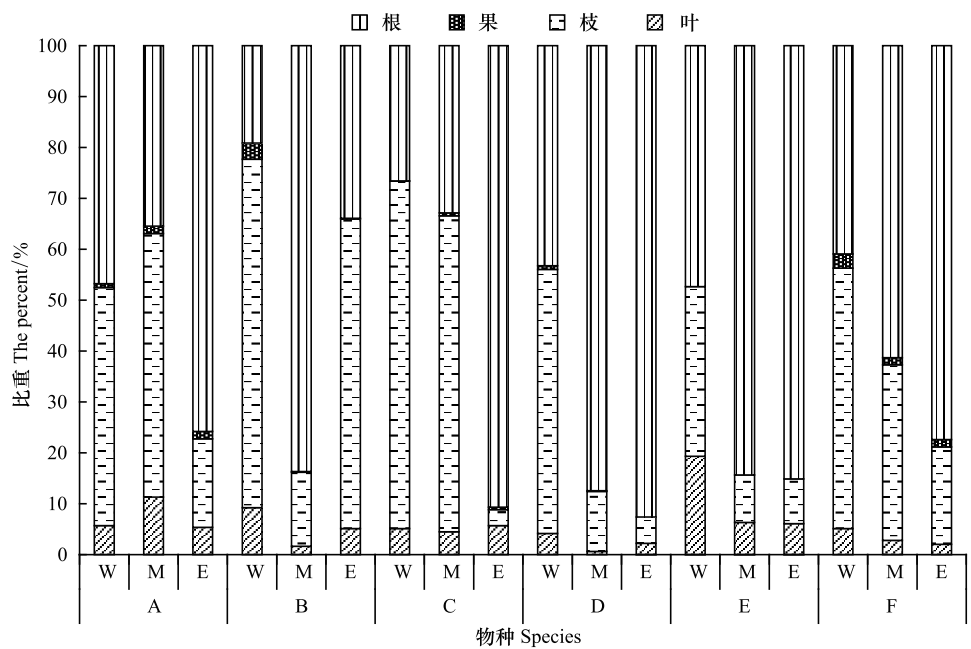


图 2 6 种灌木各营养器官的生物量分配格局

Fig. 2 Biomass allocation pattern of different organs of 6 kinds of shrub

A:多刺蔷薇(*Rosa spinosissima* L.) B:黑果小檗(*Berberis heteropoda* Schrenk.) C:刚毛忍冬(*Lonicera hispidula* Pall.) D:天山绣线菊(*Spiraea tianschanica* Pojark.) E:新疆方枝柏(*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.) F:黑果枸杞(*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.); W:天山西部 West; M:天山中部 Middle; E:天山东部 East,下同。

除刚毛忍冬外,其他 5 种灌木的叶生物量与果生物量之间及其根生物量与果生物量之间均呈极显著相关关系 ($P<0.01$);多刺蔷薇和天山绣线菊 2 种灌木的叶与根和枝与根生物量的相关性达到显著水平 ($P<0.05$),其他灌木相关性不显著 ($P>0.05$)。

表 3 不同营养器官之间生物量相关关系

Table 3 Relationship among different vegetative organs biomass

树种 Species	叶-枝 Foliage-Branch	叶-果 Foliage-Fruit	叶-根 Foliage-Root	枝-果 Branch-Fruit	枝-根 Branch-Root	果-根 Fruit-Root
A (n=9)	0.999 **	0.991 **	0.978 *	0.995 **	0.988 *	0.967 *
B (n=9)	0.999 **	0.999 **	0.155	0.999 **	0.123	0.177
C (n=9)	0.997 **	0.761	0.988 *	0.811	0.971 *	0.649
D (n=9)	0.993 **	0.991 **	0.885	0.999 **	0.933	0.939
E (n=9)	0.999 **	—	0.199	—	0.177	—
F (n=9)	0.998 **	0.997 **	0.824	0.993 *	0.794	0.862

A:多刺蔷薇(*Rosa spinosissima* L.) B:黑果小檗(*Berberis heteropoda* Schrenk.) C:刚毛忍冬(*Lonicera hispidula* Pall.) D:天山绣线菊(*Spiraea tianschanica* Pojark.) E:新疆方枝柏(*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.) F:黑果枸杞(*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.)。 ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。 — 表示无数据(新疆方枝柏无果实),下同。

2.3 天山 6 中灌木地下生物量特征

根系是灌木生长的基础,根系的分布与生物量体现了植物对土壤水分和无机养分的吸收能力^[22]。由于新疆特殊的气候类型,根系生物量占总生物量很大比重,因此分析根系生物量有利于了解灌木的潜在生产能力,揭示灌木对自然资源的利用效率。

对于 6 种灌木类型根系生物量分布,总体表现为生物量粗根>大根>中根>小根>细根,其中大根和粗根生物量之和占根系总生物量的 80%以上;除黑果小檗粗根生物量天山东部>西部>中部外,其他灌木粗根生物量

均表现为天山西部>东部>中部,大根生物量均为天山东部>西部>中部,6 种灌木细根、小根和中根基本呈天山东部>中部>西部。

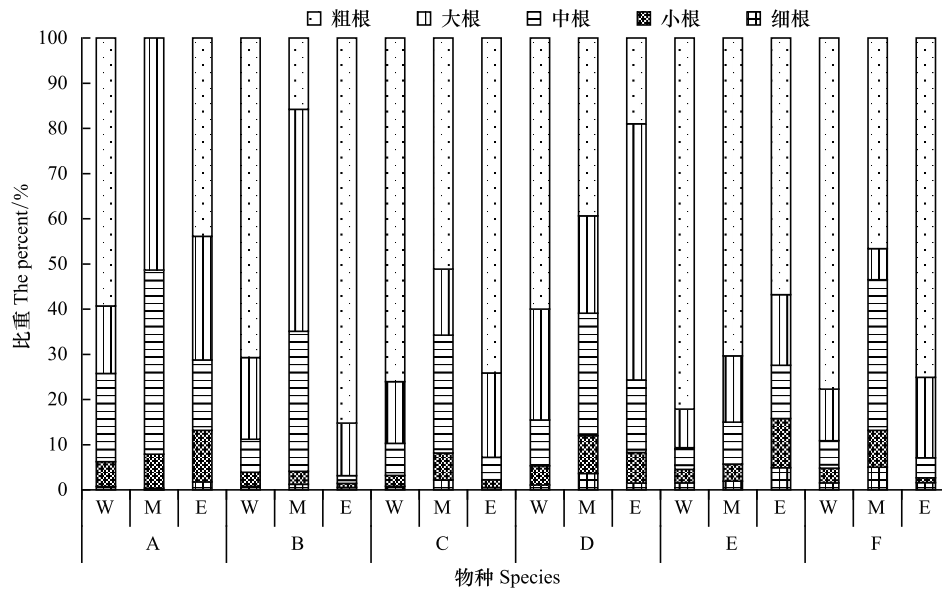


图 3 地下生物量分配格局

Fig. 3 Underground biomass allocation pattern

A:多刺蔷薇(*Rosa spinosissima* L.) B:黑果小檗(*Berberis heteropoda* Schrenk.) C:刚毛忍冬(*Lonicera hispida* Pall.) D:天山绣线菊(*Spiraea tianschanica* Pojark.) E:新疆方枝柏(*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.) F:黑果枸杞(*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.); W:天山西部 West ;M:天山中部 Middle;E:天山东部 East。

多刺蔷薇不同根系间均呈显著相关,除细根和大根外均达到极显著水平;黑果小檗除粗根与其他根系均无相关性,其他根系间均呈显著相关;刚毛忍冬除中根和粗根无相关性外,其他根系均呈显著相关;天山绣线菊和新疆方枝柏只有细根和小根达到显著相关,黑果枸杞只有大根和粗根相关性达到显著水平。

表 4 地下生物量不同根系间相关关系

Table 4 Underground biomass correlation between different roots

树种	细根-小根 Fine root- Small root	细根-中根 Fine root- Middle root	细根-大根 Fine root- Big root	细根-粗根 Fine root- Thick root	小根-中根 Small root- Middle root	小根-大根 Small root- Big root	小根-粗根 Small root- Thick root	中根-大根 Middle root- Big root	中根-粗根 Middle root- Thick root	大根-粗根 Big root- Thick root
A	0.987 **	0.913 **	0.845 *	0.901 **	0.959 **	0.919 **	0.957 **	.973 **	0.991 **	0.992 **
B	0.850 *	0.943 **	0.951 **	-0.535	0.781 *	0.747 *	-0.234	0.990 **	-0.701	-0.653
C	0.984 **	0.734 *	0.783 *	0.871 **	0.827 **	0.853 **	0.888 **	0.741 *	0.591	0.847 **
D	0.825 *	0.766	-0.315	0.03	0.33	-0.209	0.112	-0.057	0.068	0.16
E	0.798 *	0.497	0.323	-0.01	0.465	-0.006	-0.059	0.693	0.37	0.219
F	0.709	0.648	-0.587	-0.208	0.709	-0.105	0.346	-0.636	-0.324	0.887 *

A:多刺蔷薇(*Rosa spinosissima* L.) B:黑果小檗(*Berberis heteropoda* Schrenk.) C:刚毛忍冬(*Lonicera hispida* Pall.) D:天山绣线菊(*Spiraea tianschanica* Pojark.) E:新疆方枝柏(*Juniperus pseudosabina* Fisch. et Mey.) F:黑果枸杞(*Cotoneaster melanocarpus* Lodd.)。

2.4 单株生物量生长模型构建

6 种灌木均以 D^2H 作为自变量,选取线性模型,多项式,对数函数模型,幂函数模型 4 种模型类型进行拟合,对得到的模型进行回归显著性检验,经决定系数 R、F 值和显著性 (sig) 检验,通过模型之间比较,推断模型之间的拟合优度,选取了最佳生物量拟合模型(表 5)。尽管目前在生物量模型中,多采用 $w=a(D^2H)^b$ 模型模拟^[23-24],用该模型拟合时发现该模型不能完全对各项组分生物量准确预测,笔者在模型选取时对各项组分分别用线性模型、幂函数模型、多项式模型、对数模型进行拟合,然后对四个不同模型分别就决定系数、F 值和显

著性对比检验,最终选取最优模型,然后采用最小二乘法求解出模型中的参数 a 、 b 、 c 。由于多刺蔷薇、黑果小檗、刚毛忍冬、天山绣线菊、新疆方枝柏果实生物量和黑果小檗的根生物量与地径、树高相关性不显著,因此未拟合方程。

通过表 5 中生物量模型及相关参数可以看出,以显著性水平 $\alpha=0.05$ 进行 F 检验,6 种灌木各项模型均存在显著相关关系,除黑果小檗和新疆方枝柏叶生物量模型外,其他各组成生物量模型均达到极显著水平,模型拟合较好。在 24 个拟合模型中,线性模型 10 个,幂函数模型 8 个,多项式模型 4 个,对数模型 2 个。刚毛忍冬和天山绣线菊总生物量分别为多项式模型和幂函数模型,其他灌木总生物量均为线性模型;黑果小檗叶、枝、果、根和总生物量模型均为线性模型;多刺蔷薇的叶、枝和根生物量模型分别为线性、对数和多项式模型;天山绣线菊和新疆方枝柏的叶为多项式模型,新疆方枝柏的根为对数模型,其他不同灌木营养器官均为幂函数模型。

表 5 6 种灌木树种的生物量回归方程及系数*
Table 5 The biomass regression equation and coefficients of six kinds of shrub species

树种 Species	生物量类型 The biomass type	方程 Equation	a	b	c	R	F 值	sig
A	W _L	$w=a+b(D^2H)$	-163.5	252.8	/	0.996	387.1	0.000
	W _B	$w=a+b\ln(D^2H)$	715.3	3152.7	/	0.993	225.2	0.001
	W _R	$w=a(D^2H)^2+b(D^2H)+c$	1829.7	-3657	2243.7	0.997	178.8	0.006
	W _T	$w=a+b(D^2H)$	-3428	4747.7	/	0.999	1036	0.000
B	W _L	$w=a(D^2H)^b$	1.86	2.33	/	0.912	14.9	0.031
	W _B	$w=a(D^2H)^b$	0.02	4.94	/	0.97	48.5	0.006
	W _T	$w=a+b(D^2H)$	-3061.6	1251.5	/	0.962	37.4	0.009
C	W _L	$w=a(D^2H)^b$	0.275	2.47	/	0.971	66.9	0.002
	W _B	$w=a(D^2H)^b$	2.95	2.58	/	0.946	34.1	0.004
	W _R	$w=a(D^2H)^b$	4.02	2.68	/	0.956	42.8	0.003
	W _T	$w=a(D^2H)^2+b(D^2H)+c$	31.7	-326.9	947.3	0.988	62.3	0.004
D	W _L	$w=a(D^2H)^2+b(D^2H)+c$	123.7	-253.4	132.1	0.996	141.1	0.004
	W _B	$w=a(D^2H)^b$	314.4	2.36	/	0.976	60.6	0.004
	W _R	$w=a(D^2H)^b$	1306.2	0.71	/	0.944	24.6	0.016
	W _T	$w=a(D^2H)^b$	1990	0.97	/	0.892	11.6	0.042
E	W _L	$w=a(D^2H)^2+b(D^2H)+c$	79.2	-130.3	110.7	0.997	266.1	0.000
	W _B	$w=a+b(D^2H)$	22.6	291.6	/	0.963	50.8	0.002
	W _R	$w=a+b\ln(D^2H)$	1799.7	700	/	0.945	33.6	0.004
	W _T	$w=a+b(D^2H)$	1120.7	879.1	/	0.994	307.3	0.000
F	W _L	$w=a+b(D^2H)$	-49.6	19	/	0.991	283.8	0.000
	W _B	$w=a+b(D^2H)$	83.3	160.8	/	0.969	77.1	0.000
	W _F	$w=a+b(D^2H)$	-78.6	12.5	/	0.983	116.7	0.000
	W _R	$w=a+b(D^2H)$	2112.7	102.7	/	0.942	39.1	0.002
	W _T	$w=a+b(D^2H)$	1547.9	304.2	/	0.976	102.0	0.000

W 表示不同灌木单株各组分生物量(单位:克),D 表示地径(单位:厘米),H 表示灌木高度(单位:米),a、b 和 c 表示系数。

3 结论与讨论

3.1 天山 6 种灌木的生物量及其分配格局

植物生物量分配格局的差异是植物生理和形态因素共同作用的结果,也受物种、个体大小和可利用资源的限制^[25]。不同植株不同器官中生物量的分配也是不等量的,而且存在不同的分配中心^[26]。6 种灌木枝和根生物量所占比例之和达到 80% 以上,且枝生物量明显高于地上部分其他营养器官的生物量,即枝和根生物量为总生物量的主要贡献值,该结论与曾立雄^[18]和樊后保^[22]研究结果相同,由于新疆特殊的气候条件,不同地区灌木各营养器官生物量呈不同差异。地上部分生物量相关性结果表明,不同灌木叶与枝生物量相关性达

到极显著水平,果和根生物量与其他营养器官之间的相关性在不同灌木之间有所不同。6 种灌木根系生物量分布总体表现为粗根>大根>中根>小根>细根,除黑果小檗外根系外总生物量从大到小依次为天山西部、东部和中部,各灌木类型细根和小根的生物量相关性达到显著水平,多刺蔷薇不同根系生物量之间存在显著相关性。地下水埋深是影响灌木分布和生物量大小的主导因素^[27],研究区域地下水埋较深,灌木根系比较发达,浅层土壤含水率极少,要维持灌木的正常生长,根系必须通过更深层次的生长才能保证地上部分充足的水分供应。因此天山东部和中部除个别灌木外,地上生物量远低于地下生物量。另外,同种灌木天山西部生物量大于天山中部和天山东部,且差异显著,产生这种现象的主要原因是因为天山西部土壤肥力高于天山中部和东部,并且夏季温度较高,蒸腾作用强,灌木生长旺盛,年均降雨量大,相反中部和东部属典型的温带大陆性干旱气候,长年干燥少雨,降雨量小,立地条件相对较差,其中哈密林场区域尤为明显,蒸腾作用比较强烈,地下水埋较深,灌木根系比较发达,浅层土壤含水率极少。因此要维持灌木的正常生长,根系必须通过更深层次的生长才能保证地上部分充足的水分供应。因此,6 种灌木全株生物量在营养器官上的分配差异以及根系生物量在径级上的分配差异均体现了各物种对其生境选择的适应策略。

3.2 天山常见 6 种灌木生物量个体和各器官估算模型

陈遐林等^[8]认为灌木树种的总生物量、枝干生物量及叶生物量与基径平方乘高(D^2H)之间存在极为显著的相关关系。本文利用收获法以(D^2H)为自变量构建天山西、中、东部 6 种优势种灌木的生物量模型拟合效果较好,其总生物量、根生物量、枝生物量及叶生物量与之间的相关性除黑果小檗和新疆方枝柏达到显著水平外,其他模型均达到极显著水平。在建立的 24 个估测模型中,刚毛忍冬和天山绣线菊总生物量分别为多项式模型和幂函数模型,其他灌木总生物量均为线性模型;黑果枸杞叶、枝、果、根和总生物量模型均为线性模型;多刺蔷薇的叶、枝和根生物量模型分别为线性、对数和多项式模型;天山绣线菊和新疆方枝柏的叶为多项式模型,新疆方枝柏的根为对数模型,其他不同灌木营养器官均为幂函数模型。与以往学者认为幂指数模型是最适合估算灌木生物量的模型^[28]具有一定的差异,可能是由于新疆的地理条件和气候条件的特殊性,导致估测模型与其它学者的研究具有一定的差异。并且不同树种之间的差异也会导致估测模型不同。

本文样方调查时间选择在新疆生物量相对鼎盛时期进行,但该模型是否满足其它季节各营养器官生物量,同时拟合模型只针对灌木类型,能否满足不同部位灌木各营养器官生物量,在以后的工作中会进一步增加样方数、补充相关数据,进一步验证模型。

3.3 结论

(1)天山林区 6 种优势种灌木平均生物量大小依次为刚毛忍冬>黑果枸杞>黑果小檗>新疆方枝柏>天山绣线菊>多刺蔷薇,单株生物量均表现为天山西部均大于天山中部和东部的。

(2)天山林区 6 种优势种灌木的全株生物量在营养器官根、枝、叶上的分配均为根>枝>叶,绣线菊的根生物量占总生物量的比例较高,可达 73.17%,而绣线菊的叶生物量所占比例少,仅为 2.45%

(3)6 种灌木根系生物量分配特征为粗根>大根>中根>小根>细根,其中大根和粗根生物量之和占根系总生物量的 80%以上;多刺蔷薇不同根系间均呈显著相关,黑果小檗除粗根与其他根系均无相关性,其他根系间均呈显著相关;刚毛忍冬除中根和粗根无相关性外,其他根系均呈显著相关;天山绣线菊和新疆方枝柏只有细根和小根达到显著相关,黑果枸杞只有大根和粗根相关性达到显著水平。

(4)以 D^2H 选为天山林区 6 种常见灌木全株生物量估测模型的自变量,共估测模型 24 个,其中线性模型 10 个,幂函数模型 8 个,多项式模型 4 个,对数模型 2 个。刚毛忍冬和天山绣线菊总生物量分别为多项式模型和幂函数模型,其他灌木总生物量均为线性模型;黑果枸杞叶、枝、果、根生物量模型均为线性模型;多刺蔷薇的叶、枝和根生物量模型分别为线性、对数和多项式模型;天山绣线菊和新疆方枝柏的叶为多项式模型,新疆方枝柏的根为对数模型,其他不同灌木营养器官均为幂函数模型;除黑果小檗和新疆方枝柏叶生物量模型达到显著水平,其他各组成生物量模型均达到极显著水平,模型拟合较好。

参考文献 (References):

- [1] 朱超, 赵淑清, 周德成. 1997—2006 年中国城市建成区有机碳储量的估算. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1195-1202.
- [2] 刘世荣, 王晖, 栾军伟. 中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展. 生态学报, 2011, 31(19): 5437-5448.
- [3] 吴鹏飞, 朱波, 刘世荣, 王小国. 不同林龄栎-柏混交林生态系统的碳储量及其分配. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1419-1424.
- [4] 赵雪, 张小由, 李启森, 周茅先. 额济纳绿洲沙漠化对怪柳群落影响的研究. 中国沙漠, 2004, 24(4): 467-472.
- [5] 张峰, 上官铁梁, 李素珍. 关于灌木生物量建模方法的改进. 生态学杂志, 1993, 12(6): 67-69.
- [6] Lieth H, Whittaker R H. Primary Productivity of The Biosphere. New York: Springer, 1975.
- [7] 俞海生, 李宝军, 张宝文, 姚洪林. 灌木林主要生态作用的探讨. 内蒙古林业科技, 2003, (4): 15-18.
- [8] 陈遐林, 马钦彦, 康峰峰, 曹文强, 张国华, 陈宗伟. 山西太岳山典型灌木林生物量及生产力研究. 林业科学研究, 2002, 15(3): 304-309.
- [9] Ter-Mikaelian M T, Korzukhin M D. Biomass equations for sixty-five North American tree species. Forest Ecology and Management, 1997, 97(1): 1-24.
- [10] Keeling H C, Phillips O L. The global relationship between forest productivity and biomass. Global Ecology and Biogeography, 2007, 16(5): 618-631.
- [11] 刘兴良, 马钦彦, 杨冬生, 史作民, 宿以明, 周世强, 刘世荣, 杨玉坡. 川西山地主要人工林种群根系生物量与生产力. 生态学报, 2006, 26(2): 542-551.
- [12] 翟晓江, 郝红科, 麻坤, 李鹏, 杨延征. 基于 TM 的陕北黄龙山森林生物量模型. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 41-45.
- [13] 于嵘, 蔡博峰, 温庆可, 王长耀. 基于 MODIS 植被指数的西北农业灌溉区生物量估算. 农业工程学报, 2008, 24(10): 141-144.
- [14] Morales P, Hickler T, Rowell D P, Smith B, Sykes M T. Changes in European ecosystem productivity and carbon balance driven by regional climate model output. Global Change Biology, 2007, 13(1): 108-122.
- [15] 曾慧卿, 刘琪璟, 冯宗炜, 马泽清, 胡理乐. 红壤丘陵区林下灌木生物量估算模型的建立及其应用. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2185-2190.
- [16] 郭月峰, 姚云峰, 秦富仓, 祁伟. 燕山典型流域两种造林树种生态系统碳储量及固碳潜力研究. 生态环境学报, 2013, 22(10): 1665-1670.
- [17] 李瑞霞, 凌宁, 郝俊鹏, 闵建刚, 陈信力, 关庆伟. 林龄对侧柏人工林碳储量以及细根形态和生物量的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2013, 37(2): 21-27.
- [18] 曾立雄, 王鹏程, 肖文发, 万睿, 黄志霖, 潘磊. 三峡库区主要植被生物量与生产力分配特征. 林业科学, 2008, 44(8): 16-22.
- [19] Woods K D, Feiveson A H, Botkin D B. Statistical error analysis for biomass density and leaf area index estimation. Canadian Journal of Forest Research, 1991, 21(7): 974-989.
- [20] 李晓娜, 国庆喜, 王兴昌, 郑海富. 东北天然次生林下木树种生物量的相对生长. 林业科学, 2010, 46(8): 22-32.
- [21] 唐守正, 张会儒, 胥辉. 相容性生物量模型的建立及其估计方法研究. 林业科学, 2000, 36(专刊1): 19-27.
- [22] 樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 林德喜, 刘春华, 蒋宗培. 马尾松—阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局. 生态学报, 2006, 26(8): 2463-2473.
- [23] Chapman J L, Reiss M J. Ecology: Principles and Application. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [24] 田大伦. 马尾松和湿地松林生态系统结构与功能. 北京: 科学出版社, 2005.
- [25] 程远峰, 国庆喜, 李晓娜. 东北天然次生林下木树种的生物量器官分配规律. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2146-2154.
- [26] 冯丽, 张景光, 张志山, 郭群, 李新荣. 腾格里沙漠人工固沙植被中油蒿的生长及生物量分配动态. 植物生态学报, 2009, 33(6): 1132-1139.
- [27] 袁素芬, 陈亚宁, 李卫红, 刘加珍, 孟丽红, 张丽华. 新疆塔里木河下游灌丛地上生物量及其空间分布. 生态学报, 2006, 26(6): 1818-1824.
- [28] 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. 林业资源管理, 2014, (1): 71-76.