

青藏高原主要植被类型生物生产量的比较研究

罗天祥¹, 李文华¹, 罗 辑², 王启基³

(1. 中国科学院自然资源综合考察委员会, 北京 100101; 2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 3. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

摘要:以18种群落类型的实测数据和1013块森林测树样地的估算数据为基础,首次系统地分析和比较了青藏高原主要植被类型生物生产量的构成规律及分布格局。亚高山暗针叶林的生物量一般在300t/hm²以上,最高可达约1600t/hm²,叶生物量8~39t/hm²,根茎比0.1~0.2,生产量8~13t/hm²。a;高山灌木丛类型生物量20~40t/hm²,叶生物量3~6t/hm²,根茎比0.4~0.8,生产量4~7t/hm²。a;高寒草甸生物量一般为20~60t/hm²,沼泽草甸高达100t/hm²以上,叶生物量2.5~5.5t/hm²,根茎比8~20,生产量4~9t/hm²。a;高原冬小麦和春小麦年生物产量高达26~30t/hm²,叶生物量12~16t/hm²,根茎比约0.06。在垂直分异方面,随着海拔升高,生物量呈递增,在一定海拔高度达最大,海拔继续升高生物量则迅速下降;而生产量随海拔升高一般呈递减趋势,反映出热量条件随海拔升高而递减的限制作用。与全国相比,青藏高原同一森林植被类型的生物量均高于全国的平均水平,而其生产量基本持平。

关键词:青藏高原;植被类型;生物量;生产量

A comparative study on biological production of major vegetation types on the Tibetan Plateau

LUO Tian-Xiang¹, LI Wen-Hua¹, LUO Ji², WANG Qi-Ji³ (1. Commission for Integrate Survey of Natural Resources Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. Northwest Plateau Institute of Biology Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract Based on the field data of 18 plant communities and the estimated data from 1013 forest inventory plots, biomass and NPP (net primary productivity) of major vegetation types on the Tibetan Plateau were analyzed. The results indicate as follows: (1) In alpine *Picea-Abies* forest, the total live-biomass is more than 300 t/hm² in general, with maximum up to 1600 t/hm². The leaf biomass is from 8 to 40 t/hm²; the rate of the underground to aboveground live-biomass is about 0.1~0.2, and the NPP is 8~13 t/hm². (2) In alpine scrub, the total live-biomass is mostly between 20 and 40 t/hm². the leaf biomass is from 3 to 6 t/hm². the rate of the underground to aboveground live-biomass is 0.4~0.8, and NPP is 4~7 t/hm². (3) In alpine meadow, the total live-biomass is generally 20~60 t/hm², but more than 100t/hm² in the swamp meadow. The leaf biomass is from 2.5 to 5.5 t/hm², the rate of the underground to aboveground live-biomass is up to 8~20, and the NPP is 4~9 t/hm². (4) The annual biomass accumulation of wheat on the plateau can be up to 26~30 t/hm². The leaf biomass is 12~16 t/hm² and the rate of the underground to aboveground live-biomass is only 0.06. (5) As for the altitudinal distribution patterns, biomass increases from lower to higher altitudes until the maximum reaches in an optimum elevation, and then biomass declines as the altitude continues increasing. In contrast, NPP decreases progressively. It indicates that the decrease in thermal indices limits the biological production. (6) In comparison with the other part of

基金项目:国家重点基础研究专项经费资助和中国科学院青藏高原研究项目成果(KZ951-A1-204, KZ-95T-06)

收稿日期:1997-03-08; **修订日期:**1998-06-10

China, there is a higher biomass on the plateau for the same forest types, but there are not significant differences in their NPP.

Key words: Tibetan Plateau; vegetation; biomass; net primary productivity

文章编号:1000-0933(1999)06-0823-09 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

青藏高原地域辽阔,南北跨13个纬度,东西越31个经度,海拔从100~8846m,具有独特的植被地理和气候带,且在不少地区保持着原始状态,为研究各种植被类型的生物生产量格局及其与气候的相关规律提供了理想的场所。早在50~60年代,尤其在1973~1976年的青藏高原综合科学考察期间,对该地区的各种植被类型的分布、区系组成及其生物生产量进行以线路调查为主的地理学和生态学的探索;近年来,结合生态系统定位研究和国家“八五”攀登项目课题,选典型的植被类型开展了不同深度的结构和功能研究,积累了丰富的第一手材料,为进一步的综合分析研究提供了基础。本文以科考期间所积累的样地资料及“八五”定位研究取得的数据为基础,同时收集有关青藏高原地区的生物生产量研究报道资料,对青藏高原不同气候环境下主要植被类型的生物生产量进行比较研究,分析不同植被类型生物产量的构成规律及分布格局,为进一步研究高原植被类型的高产机制及寻找提高生产量途径提供科学基础和依据。

1 资料的收集和整理

1.1 生物量实测数据

数据来自于李文华等早期(1973~1976年)在西藏察隅和波密林区的测定样地,中国科学院贡嘎山森林生态站、海北高寒草甸生态站和拉萨农业生态站的最新测定数据以及其他文献报道数据^[1~20](表1)。其测定方法为森林地上部分以相对生长收获法,地下部分以土柱样方法(个别以样木全挖法);灌木类及农作物均以样方收获法。未考虑凋落物量及动物啃食部分。

1.2 森林测树样地资料

分别来自于1973~1976年中科院青藏高原科考队林业组的标准地材料(376块)、四川省林勘院森林调查固定样地资料(497块)和云南省林勘院森林调查固定样地资料(140块)。采用的各主要森林树种(类型)不同器官生物量的相对生长方程为:常绿阔叶林、硬叶常绿阔叶林和常绿落叶阔叶林^[21~22];杨桦林^[5,18];华山松林^[24];云南松林^[5,25~28];油松林^[29];柏木林^[30~32];落叶松(含红杉)林^[12,33];云杉、冷杉、高山松(含乔松)等的方程详见表2。

1.3 森林树干解析木资料及其材积生长率模型

采用作者所建立的180个树种1616株树干解析木的数据库资料以及据此所建立的材积生长率模型^{*}。

1.4 森林测树样地生物量和生产量的估算

根据不同树种/林分类型的相对生长方程以测树样地的林分平均树高和胸径计算乔木单株生物量(包括茎、枝、叶、根),乘上林分密度得各器官全林的乔木生物量。以材积生长率模型计算近期(5~10a)的材积生长率,乘上茎、枝、根的生物量得其年净生物产量。叶的年净产量以叶的宿存年龄除其生物量而得。各树种叶子的宿存年龄^①,分别为:云冷杉5a,落叶松1a,松类2a,常绿阔叶树种平均1.5a,落叶阔叶树种1a。茎、枝、叶、根的生物量和生产量合计得乔木层的生物量和年净生产量。灌木层和草本层的生物量根据有关文献中的灌木层和草本层生物量与乔木层生物量的平均比例系数推算而得,其年净生物产量以其平均年龄除以其生物量而得。未考虑凋落物量及动物啃食部分。

1.5 林分叶面积指数的计算

以不同建群树种的比叶面积系数乘上叶的生物量而得。

2 结果与分析

① 罗天祥,1996.中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型(中国科学院博士论文)。

表 1 生物量实测样地资料概况

Table 1 Description of the field plots of standing biomass and NPP on the Tibetan Plateau

样地号 Plot No.	研究地点 Location	植被类型 Vegetation type	主要建群种 Dominant species	资料来源 Source of data
1	西藏察隅 察东林区	常绿阔叶林 Evergreen broadleaved forest	曼青冈 <i>Cyclobalanopsis oxyodon</i> 楠木 <i>Phoebe</i> sp.	李文华等(1998)
2	西藏察隅 吉公林区	山地松林 Mountain pine	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i> 蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	李文华等(1998)
3	西藏察隅 竹瓦根	亚高山暗针叶林 Alpine spruce-fir forest	川西云杉 <i>Picea likiangensis</i> var. <i>balfouriana</i> 冷杉 <i>Abies salauensis</i>	李文华等(1998)
4	西藏波密 高产林区	亚高山暗针叶林 Alpine spruce-fir forest	林芝云杉 <i>Picea likiangensis</i> var. <i>linzhiensis</i>	徐凤翔(1995)
5,6	四川贡嘎 山林区	亚高山暗针叶林 Alpine spruce-fir forest	峨眉冷杉 <i>Abies fabri</i>	罗 辑(1998)
7	青海大通 东峡林区	亚高山暗针叶林 Alpine spruce-fir forest	青海云杉 <i>Picea crassifolia</i>	房昌琳等(1991)
8	青海大通 东峡林区	落叶阔叶林 Deciduous broadleaved forest	山杨 <i>Populus davidiana</i>	朱兴武等(1988)
9	西藏察隅 竹瓦根	高山灌丛 Alpine scrub	龙蜀杜鹃 <i>Rhododendron przewalskii</i>	李文华等(1998)
10	青海大通 宝库林区	高山灌丛 Alpine scrub	柳类灌丛 <i>Salix</i> sp.	朱兴武等(1993)
11	青海大通 宝库林区	高山灌丛 Alpine scrub	杜鹃灌丛 <i>Rhododendron</i> sp.	朱兴武等(1993)
12	青海大通 宝库林区	高山灌丛 Alpine scrub	小檗灌丛 <i>Berberis</i> sp.	朱兴武等(1993)
13	青海大通 宝库林区	高山灌丛 Alpine scrub	金露梅灌丛 <i>Potentilla</i> sp.	朱兴武等(1993)
14	青海海北 生态站	高寒草甸 Alpine meadow	矮蒿草 <i>Kobresia humilis</i>	杨福国等(1988)
15	青海海北 生态站	高寒草甸 Alpine meadow	小蒿草 <i>Kobresia pygmaea</i>	李文华等(1998)
16	青海海北 生态站	沼泽化草甸 Alpine swamp meadow	藏高草 <i>Kobresia tibetica</i>	李文华等(1998)
17	西藏拉萨 生态站	农田冬小麦 Cultivated winter wheat	冬小麦 Winter wheat	李文华等(1998)
18,19	青海柴达 木盆地	农田春小麦 Cultivated spring wheat	春小麦 Spring wheat	鲍新奎等(1982)

表 2 青藏高原云杉、冷杉和高山松等单株生物量相对生长方程^{*}Table 2 The exponential allometric regressions of live-biomass for individual trees of *Picea*, *Abies* and *Pinus densata* on the Tibetan Plateau

地点 Place	树种 Species	茎干 Stem equation	枝条 Branch equation	树叶 Leaf equation	根系 Root equation	作者 Authors
西藏 波密	高山松	$W = 0.0628^2 4992.1$ $r = 0.9957, n = 13$	$W = -25.9827 + 2.2091D$ $r = 0.8758, n = 13$	$W = -15.2597 + 1.2074D$ $r = 0.8757, n = 13$	引用江洪等(1986)	李文华(1973~1976) 西藏森林调查资料 ¹⁾
	高山松	$W = 0.0211(D^2H)^{0.96231}$ $r = 0.9999, n = 13$	$W = 0.2491(D^2H)^{0.50695}$ $r = 0.8494, n = 13$	$W = 0.1463(D^2H)^{0.50991}$ $r = 0.8494, n = 13$		
	高山松	$W = 0.0650D^2 5101.9$ $r = 0.9871, n = 27$	$W = -66.4532 + 72.0622lg(D)$ $r = 0.8419, n = 27$	$W = -36.9181 + 40.0343lg(D)$ $r = 0.8417, n = 27$		
西藏 波密	冷杉	$W = 0.0449(D^2H)^{0.90167}$ $r = 0.9998, n = 27$	$W = 9.8858 \pm 0.0160D^2$ $r = 0.8577, n = 8$	$W = 6.0591 \pm 0.0098D^2$ $r = 0.8570, n = 8$	引用江洪等(1986)	李文华(1973~1976) 西藏森林调查资料 ¹⁾
	冷杉	$W = 0.1587D^2 3994.9$ $r = 0.9766, n = 8$				
	冷杉	$W = 0.0393(D^2H)^{0.91460}$ $r = 0.9987, n = 8$				
四川 松潘	紫果云杉	$W = 0.0204(D^2H)^{0.9136}$ $r = 0.9070$	$W = -2.0644(D^2H)^{0.2721}$ $r = 0.9122$	$W = 1.1520(D^2H)^{0.2111}$ $r = 0.9276$	$W = 0.1976(D^2H)^{0.5058}$	江洪等(1986) ²⁾
	云杉	$W = 0.0209(D^2H)^{0.9285}$ $r = 0.9970, n = 9$	$W = 0.0134(D^2H)^{0.9870}$ $r = 0.9900, n = 9$	$W = 0.0079(D^2H)^{0.8991}$ $r = 0.9830, n = 9$	$W = 0.0077(D^2H)^{0.9316}$ $r = 0.9920, n = 9$	鄧武光等(1991)
	冷杉	$W = 0.0621(D^2H)^{0.87232}$ $r = 0.9900, n = 10$	$W = 0.0051(D^2H)^{0.9828}$ $r = 0.9914, n = 10$	$W = 0.00458(D^2H)^{0.97654}$ $r = 0.9857, n = 10$	$W = 0.0013(D^2H)^{1.2201}$ $r = 0.9993, n = 10$	唐巍等(1993)
青海 东峰	青海云杉	$W = 0.0198(D^2H)^{0.9390}$ $r = 0.9954, n = 19$	$W = 0.0086(D^2H)^{0.9375}$ $r = 0.9593, n = 19$	$W = 0.0051(D^2H)^{0.9562}$ $r = 0.9617, n = 19$	$W = 0.0024(D^2H)^{1.0749}$ $r = 0.9878, n = 19$	房吕林等(1991)

^{*} 在方程中, W 干重(kg), D 胸径(cm); H 树高(m); n 样本数; r 相关指数; Variables (unit); W dry matter weight(kg), D diameter at breast height(cm), H tree height(m), n sampled trees, r correlation coefficient.

1) 本文作者根据李文华先生的西藏森林考察资料(1973~1976)整理而得。茎干部分按二元材积公式和木材容重[34]估算; 枝、叶部分根据枝、叶重量与枝条基径之间的回归关系及解析木的枝径检尺资料估算而得。Collecting from W. H. Li's field data in Tibetan Forests (Li, 1985). Stem live-biomass was estimated from dual volume equations and unit weight; live biomass of branch and leaves were estimated through the regressions of their weights to the base diameter of sampled branches, and the measurements of base diameter of all branches for each of stem analysis trees.

2) 原作者已对原来的回归式作了修改, 这里是修改过的关系式。Dr. H. Jiang had modified the regressions in his published paper in 1986, here is the modified equations.

2.1 高原不同海拔垂直带下主要植被类型生物生产量的比较

青藏高原植被的垂直分布在不同的水平地带均具有其独特的垂直带类型,随之的生物生产量的垂直分异也复杂多样。从表 3 看出,在西藏察隅林区,海拔 2100m 的青冈-樟-楠山地常绿阔叶林(样地号 1)的生物量和生产量为 271.48t/hm² 和 17.669t/hm²·a;海拔 2200m 的蕨类云南松林(样地号 2)的生物量和生产量为 365.01t/hm² 和 13.449t/hm²·a;海拔 3500m 的杜鹃-苔藓冷杉林(样地号 3)的生物量和生产量为 511.62t/hm² 和 8.402t/hm²·a;海拔 4200m 的高山龙胆杜鹃灌丛(样地号 9)的生物量和生产量为 38.97t/hm² 和 3.864t/hm²·a。据成都山地研究所对贡嘎山林区不同海拔地带各森林类型的生物生产量测定^[1],位于海拔 2200m 的常绿落叶阔叶林(榉栎、香桦、槭)的生物量和生产量为 220.08t/hm² 和 9.96t/hm²·a;海拔 2570~2780m 的针阔混交林(麦吊杉、槭、桦)为 367~568t/hm² 和 9~10t/hm²·a;峨眉冷杉林在海拔 2900~3200m 处为 352~544t/hm² 和 11~13t/hm²·a,而海拔近 3600m 以上地带为 280~283t/hm² 和 1~5t/hm²·a。由此可见,对于未受人为干扰的以常绿阔叶林为基带的亚高山天然植被,随着海拔升高,生物量呈递增,在一定海拔高度达最大,海拔继续升高生物量则迅速下降,而生产量随海拔升高一般呈递减趋势,反映出热量条件随海拔升高而递减的限制作用。生物量的大小与林分年龄、密度、树冠形态、树种组成等密切相关。一般地,在亚高山地区,与阔叶树相比,暗针叶树的冠形较窄小而整齐,针叶寿命长,林相四季常青,树干通直而材积比例大,且更能适应较寒冷的气候环境,生长量虽较低但持续时间长,因此,以针叶树为建群种的森林类型常具有较高的生物量,海拔更高,即在林线附近或林线以上,森林将变得稀疏低矮或群落以灌草丛为主,因而生物量明显减少。

表 3 青藏高原主要植被类型生物生产量的比较

Table 3 Comparisons of standing biomass and NPP of vegetation types on the Tibetan Plateau

样地 编号** Plot No.	海拔 高度 Alt. (m)	年均 温度 Ann. Temp. (°C)	年降 水量 Ann. Pre. (mm)	地上部分 Aboveground		地下部分 Underground		叶量 Leaf mass (t/hm ²)
				生物量 Biomass (t/hm ²)	生产量 NPP (t/hm ² ·a)	生物量 Biomass (t/hm ²)	生产量 NPP (t/hm ² ·a)	
1	2100	13.0	800	249.75	16.843	21.73	0.826	14.07
2	2200	12.4	800	329.92	13.093	35.09	0.356	8.02
3	3500	4.6	800	477.98	8.046	33.64	0.356	14.31
4	2750	8.5	900	1438.61	15.280	131.33	0.525	38.72
5	3040	3.9	1938	275.59	9.578	59.31	2.149	7.97
6	3040	3.9	1938	211.29	14.382	48.02	2.087	11.36
7	3000	1.5	551	133.83	12.447	21.16	1.058	21.04
8	2650	2.9	552	65.10	14.369	9.41	1.000	9.40
9	4200	0.4	800	25.54	3.730	13.43	0.134	3.51
10	2970	2.0	570	21.89	5.586	12.43	0.731	4.16
11	3050	2.0	570	29.86	4.832	10.97	0.645	2.76
12	2733	2.0	570	10.63	6.251	6.03	0.670	5.70
13	2910	2.0	570	7.50	4.769	5.81	0.447	4.54
14	3250	-1.7	600	2.51	2.769	19.88	6.036	2.51*
15	3500	-1.7	600	3.68	3.684	56.05		3.68*
16	3500	-1.7	600	5.18	5.184	111.83		5.18*
17	3700	7.9	425	25.076	25.076	1.642	1.642	12.54*
18	2900	3.8	175	30.753	30.753			15.56*
19	2900	3.8	175	12.391	12.391			6.37*

* 草本植物的叶生物量指茎叶生物量。Green leaf mass of grasslands and croplands equals their shoot biomass.

** 样地编号同表 1。各样地的地理位置、植被类型及资料来源详见表 1。Site 1 is evergreen broad-leaved forest, site 2 montane pine forest, site 3~7 alpine spruce-fir forests, site 8 deciduous broad-leaved forest, site 9~13 alpine shrubs, site 14~16 alpine meadows, and site 17~19 croplands of wheat. The detailed information of location, dominant species and reference can be seen in table 1.

2.2 高原不同植被类型生物生产量的比较

从有限的实测样地数据可知,亚高山暗针叶林的生物量一般在 $300\text{t}/\text{hm}^2$ 以上,最高可达约 $1600\text{t}/\text{hm}^2$;其生产量一般为 $8\sim 13\text{t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ (样地号 1~8)。高山灌丛类型生物量一般为 $20\sim 40\text{t}/\text{hm}^2$,平均 $35.166\text{t}/\text{hm}^2$;生产量为 $4\sim 7\text{t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$,平均 $5.559\pm 1.165\text{t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ (样地号 9~13)。高寒草甸生物量一般为 $20\sim 60\text{t}/\text{hm}^2$,沼泽草甸高达 $100\text{t}/\text{hm}^2$ 以上,生产量为 $4\sim 9\text{t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ (样地号 14~16)。高原冬小麦和春小麦年生物产量高达 $26\sim 30\text{t}/\text{hm}^2$ (样地号 17~19)。显然,森林的生物量和生产量高于灌木(丛)、草甸类型。高原冬小麦和春小麦在水肥条件充分满足情况下具有最高的生物生产量(表 3)。

另外,从表 3 还看出,森林叶的生物量一般在 $8\text{t}/\text{hm}^2$ 以上,最高可达 $39\text{t}/\text{hm}^2$;其地下/地上生物量比例一般为 $0.1\sim 0.2$ 。高山灌丛叶的生物量一般为 $3\sim 6\text{t}/\text{hm}^2$,其地下/地上生物量比例为 $0.4\sim 0.8$ 。高寒草甸叶的生物量为 $2.5\sim 5.5\text{t}/\text{hm}^2$,地下/地上生物量比例约为 $8\sim 20$ 。高产冬小麦和春小麦田叶生物量 $12\sim 16\text{t}/\text{hm}^2$,与森林叶的生物量相当,其地下/地上生物量比例 0.06 。显然,这种差异在很大程度上与大气降水、土壤水分的多少和温度的高低密切相关。从表 3 还知道,按年均温度和年降水量大小排序为森林($3\sim 13^\circ\text{C}$ 和 $550\sim 900\text{mm}$)>灌丛($0.4\sim 2^\circ\text{C}$ 和 $570\sim 800\text{mm}$)>草甸(-1.7°C 和 600mm)。高产小麦由于得到充足的土壤水分和养分供应,尽管根系生物量比例小,但仍能保持很高的叶量,从而能截获更多的光能,这也是其高产的主要原因。另外,根系在土层中的分布特点也会造成叶生物量及地下/地上生物量比例的差异。表 4 表明,森林的根系在土层中的分布深度一般在 $70\sim 80\text{cm}$ 以内, $0\sim 10\text{cm}$ 土层的根系仅占 $12\%\sim 27\%$ 。而高山灌丛和高寒草甸的根系则分布在 $30\sim 40\text{cm}$ 以内,其中 83% 的根系分布在 $0\sim 10\text{cm}$ 的土层内。

表 4 青藏高原主要植被类型根系生物量在土层中的分布(t/hm^2)

Table 4 Distribution of root live-biomass in various layers of soil for major vegetation types on the Tibetan Plateau

地点 Location	植被类型 Vegetation type	海拔 Altitude (m)	0~10 Depth (cm)	10~20 Depth (cm)	20~30 Depth (cm)	30~40 Depth (cm)	40~60 Depth (cm)	60~80 Depth (cm)
西藏林芝 红卫林场 ^[1]	云杉林 <i>Picea forest</i>	3000	6.05	12.87	1.67	1.88	0.80	0.20
西藏察隅 竹瓦根 ^[1]	冷杉林 <i>Abies forest</i>	3500	9.20	17.60	5.57	0.68	0.56	
西藏察隅 吉公 ^[1]	云南松林 <i>Pinus yunnanensis forest</i>	2200	4.04	4.74	14.02	9.69	2.60	
西藏察隅 竹瓦根 ^[1]	杜鹃灌丛 <i>Rhododendron scrub</i>	4200	11.26	1.52	0.49	0.16		
青海海北 生态站 ^[18]	矮蒿草草甸 <i>Kobresia meadow</i>	3200	16.50	1.56	1.13	0.70		

表 5 是综合大量生物量实测样地和森林测树样地对 160 个林区数据点按不同森林类型的平均。按不同森林类型的生产量比较,其大小排序为($\text{t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$):常绿阔叶林(15~16)>暖性针叶林(云南松、柏木,12~15)>落叶阔叶林(山地杨桦林,13~14)>常绿落叶阔叶林(12~13)>硬叶常绿阔叶林(11~12)>温性针叶林(高山松、华山松、油松,10~16)>寒温性针叶林(云冷杉、落叶松,8~9)。

叶面积指数是评价植被生产量水平的重要指标之一。从表 5 中看出,温性/寒温性针叶林的叶面积指数一般比阔叶林的叶面积指数要高,例如,高山松林为 11.10 ± 2.86 ,华山松林为 11.26 ± 2.68 ,云冷杉林为 9.52 ± 3.58 ,而常绿阔叶林为 6.90 ± 2.28 ,常绿落叶阔叶林为 8.27 ± 1.78 ,硬叶常绿阔叶林为 $6.40\pm$

1.54,山地杨桦林为 8.80 ± 3.24 。

表 5 青藏高原不同森林类型生物量和生产量的统计平均

Table 5 Averaged standing biomass and NPP for different forest types on the Tibetan Plateau

森林植被类型 Forest types	生物量 Biomass (t/hm ²)	生产量 NPP (t/hm ² ·a)	LAI 平均值 Averaged LAI (hm ² /hm ²)	样地数 Plots
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	238.60	15.39	6.90 ± 2.2^A	48
硬叶常绿阔叶林 <i>Quercus</i> evergreen forest	237.04	11.65	6.40 ± 1.54	82
常绿落叶阔叶林 Evergreen-deciduous broad-leaved forest	296.95	12.81	8.27 ± 1.78	11
山地杨桦林 Mountainous <i>Betula</i> - <i>Populus</i> forest	151.27	13.41	8.80 ± 3.24	47
云冷杉林 Spruce-fir forest	281.22	8.15	9.52 ± 3.58	649
落叶松林 <i>Larix</i> forest	156.63	8.51	6.95 ± 0.37	17
高山松林 <i>Pinus densata</i> forest	149.97	10.30	11.10 ± 2.86	101
华山松林 <i>Pinus armandii</i> forest	269.64	16.35	11.26 ± 2.86	9
油松林 <i>Pinus tabulaeformis</i> forest	140.17	10.98	5.13 ± 0.37	4
云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i> forest	231.83	14.75	5.37 ± 0.11	64
柏木林 <i>Cupressus</i> forest	188.99	11.67	12.24 ± 4.00	20

2.3 青藏高原主要植被类型生物生产量与全国同类型的比较

表 6 表明,青藏高原东、东南部的云冷杉林生物量明显高于东北长白山的云冷杉林,而其生产量相当。在西藏察隅和四川贡嘎山林区,林分年龄 130~200a,年均气温 $3 \sim 5^\circ\text{C}$,年降水量 800~1900mm,其生物量和生产量为 $458.462 \pm 86.913\text{t/hm}^2$ 和 $12.958 \pm 2.014\text{t/hm}^2 \cdot \text{a}$;在长白山林区,林分年龄约 200a,年均气温 -1.8°C ,年降水量 940mm,其生物量和生产量为 285.240t/hm^2 和 $13.450\text{t/hm}^2 \cdot \text{a}$ 。贡嘎山的麦吊杉针阔混交林生物量也高于长白山的红松针阔混交林,即在贡嘎山为 $367 \sim 568\text{t/hm}^2$,在长白山为 329t/hm^2 ;但是其生产量低于长白山林区,这可能主要与林分年龄(或寿命)和密度有关(表 6)。

青藏高原主要森林类型的平均生物生产量(表 5)与全国同类型的平均水平^①相比,对典型的地带性森林植被类型而言,青藏高原同一森林植被类型的生物量均高于全国的平均水平,而其生产量基本持平,例

① 罗天祥,1996,博士论文。

如,常绿阔叶林为:青藏高原 $238.60\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 和 $15.39\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$, 全国 $179.41\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $15.59\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; 常绿落叶阔叶林为:青藏高原 $296.95\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $12.81\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$, 全国 $177.63\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $15.59\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; 山地杨桦林为:青藏高原 $151.27\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $13.41\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$, 全国 $125.03\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $13.27\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$; 云冷杉林为:青藏高原 $281.22\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $8.15\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$, 全国 $220.33\text{t}/\text{hm}^2$ 和 $8.40\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 。应该指出,青藏高原的森林受人为干扰少,林龄大,这在很大程度上也决定了该地区的生物量较高。但是,从以上的察隅和贡嘎山林区与长白山原始林区的比较中也看出,青藏高原森林的生物量高在很大程度上也归因于其气候条件的优越性。

表 6 青藏高原亚高山林区与东北长白山林区主要森林类型生物生产量的比较

Table 6 Comparisons of standing biomass and NPP for major forest types on the Tibetan Plateau and in Changbai Mountain of Northeastern China

地点 Location	林分类型 Forest type	海拔 Alt. (m)	降水 Pre. (mm)	温度 Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	林龄 Age (a)	密度 Density (株/ hm^2)	生物量 Biomass (t/hm^2)	生产量 NPP ($\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)
西藏波密 ^[2]	林芝云杉林	2750	880	8.5	350	172	1569.94	15.805
西藏察隅 ^[2]	杜鹃冷杉林	3500	800	4.6	200	230	511.620	8.402
贡嘎山站 ^[1]	峨眉冷杉林	3150	1881	3.0	131	274	544.519	12.930
贡嘎山站 ^[1]	峨眉冷杉林	3040	1938	3.9	126	211	351.844	11.335
贡嘎山站 ^[1]	峨眉冷杉林	2920	1898	4.3	128	164	425.863	11.762
贡嘎山站 ^[1]	阔叶麦吊杉林	2780	1774	5.4	460	117	568.008	10.067
贡嘎山站 ^[1]	阔叶麦吊杉林	2570	1620	6.2	310	186	302.225	9.850
长白山站 ^[1]	云杉-冷杉林	1400	940	-1.8	200	1432	285.240	13.450
长白山站 ^[1]	阔叶红松林	800	740	1.2	150	560	328.750	20.190

1)李文华等,1981.长白山主要生态系统生物量生产量的研究.中国科学院长白山森林生态定位站编《森林生态系统研究》试刊(2):34~50.

3 结 论

3.1 本文以 18 种植被类型的实测数据和 1013 块森林测树样地资料为基础,首次系统地分析和比较了青藏高原主要植被类型生物生产量的构成规律及分布格局。亚高山暗针叶林的生物量一般在 $300\text{t}/\text{hm}^2$ 以上,最高可达约 $1600\text{t}/\text{hm}^2$,叶生物量 $8\sim 39\text{t}/\text{hm}^2$,根茎比 $0.1\sim 0.2$,生产量 $8\sim 13\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$;高山灌丛类型生物量 $20\sim 40\text{t}/\text{hm}^2$,叶生物量 $3\sim 6\text{t}/\text{hm}^2$,根茎比 $0.4\sim 0.8$,生产量 $4\sim 7\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$;高寒草甸生物量一般为 $20\sim 60\text{t}/\text{hm}^2$,沼泽草甸高达 $100\text{t}/\text{hm}^2$ 以上,叶生物量 $2.5\sim 5.5\text{t}/\text{hm}^2$,根茎比 $8\sim 20$,生产量 $4\sim 9\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$;高原冬小麦和春小麦年生物产量高达 $26\sim 30\text{t}/\text{hm}^2$,叶生物量 $12\sim 16\text{t}/\text{hm}^2$,根茎比约 0.06 。显然,这种差异在很大程度上与大气降水、土壤水分的多少和温度的高低密切相关。

3.2 在垂直分异方面,随着海拔升高,生物量递增,在一定海拔高度达最大,海拔继续升高生物量则迅速下降;而生产量随海拔升高一般呈递减趋势,反映出热量条件随海拔升高而递减的限制作用。

3.3 与全国相比,对典型的地带性森林植被类型而言,青藏高原同一森林植被类型的生物量均高于全国的平均水平,而其生产量基本持平。

参考文献

- [1] 李文华,周兴民,主编.青藏高原生态系统及优化利用模式.广州:广东科技出版社,1998.183~268.
- [2] 徐凤翔.西藏波密林区高蓄积量云杉林的结构、生长与生物量研究.徐凤翔等著.西藏高原森林生态研究.沈阳:辽宁大学出版社,1995.44~58.
- [3] 罗 辑,等.贡嘎山东坡亚高山冷杉林生态系统生物量初步研究.见:陈富斌、罗 辑主编.贡嘎山高山生态环境研究第 2 卷.北京:气象出版社,1998.10~15.

- [4] 房昌琳,等.青海云杉天然次生林生物量和生产量初步研究.青海大学学报,1991,9(1):71~78.
- [5] 朱兴武,等.山杨天然次生林生物量的初步研究.青海农林科技,1988,(1):35~38.
- [6] 朱兴武,等.青海大通宝库林区乔灌木生物量的初步研究.青海农林科技,1993,(1):15~20.
- [7] 杨福园,等.矮嵩草草甸生物量季节动态与年间动态.中国科学院西北高原生物研究所编.高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集.北京:科学出版社,1988.61~71.
- [8] 鲍新奎,等.柴达木盆地高产春小麦的矿质营养及其与产量关系的研究.中国科学院西北高原生物研究所编.高原生物学集刊第一集.北京:科学出版社,1982.247~266.
- [9] 江 洪,等.紫果云杉天然中龄林分生物量和生产量的研究.植物生态学与地植物学学报,1986,10(2):146~152.
- [10] 鄯武先,等.云杉人工林生物量和生产量的研究.四川林业科技,1991,12(4):17~22.
- [11] 唐 巍,等.峨眉冷杉人工林生物量的研究.四川林勘设计,1993,(2):27~32.
- [12] 周世强,等.四川红杉人工林生物量和生产量的研究.植物生态学与地植物学学报,1991,15(1):9~16.
- [13] 刘兴聪.祁连山哈溪林场青海云杉林生物量的测定.甘肃林业科技,1992,(1):7~10.
- [14] 李学明.日本落叶松林的生物产量测定.四川林业科技,1984,5(1):27~29.
- [15] 江 洪,等.飞播云南松林分生物量和生产量的系统研究.四川林业科技,1985,6(4):1~10.
- [16] 关洪书,等.西藏一江两河中部流域杨树人工林生物量研究.林业科技通讯,1993,(9):20~22,32.
- [17] 马明东,等.四川盆地西缘楠木人工林分生物量的研究.四川林业科技,1989,10(3):6~14.
- [18] 王启基,等.高寒矮嵩草草甸地下生物量形成规律的初步研究.中国科学院西北高原生物研究所编.高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集.北京:科学出版社,1988.73~82.
- [19] 王启基,等.青藏高原金露梅灌丛的结构特征及其生物量.西北植物学报,1991,11(4):333~340.
- [20] 杨福园,等.青海高原海北高寒灌丛和高寒草甸初级生产量.见:夏武平主编.高寒草甸生态系统.兰州:甘肃人民出版社,1982.44~50.
- [21] 党承林,等.季风常绿阔叶林短刺栲群落的生物量研究.云南大学学报(自然科学版),1992a,14(2):95~107.
- [22] 党承林,等.季风常绿阔叶林短刺栲群落的净第一性生产量研究.云南大学学报(自然科学版),1992b,14(2):108~118.
- [23] 邱学忠,等.云南哀牢山徐家坝地区木果石栎林生物量的初步研究.云南植物研究,1984,6(1):85~92.
- [24] 陈存根.秦岭华山松林生产力的研究——华山松乔木层的生物产量.西北林学院学报,1984,(1):1~17.
- [25] 党承林,等.云南松林的生物量研究.云南植物研究,1991a,13(1):59~64.
- [26] 党承林,等.云南松林的净第一性生产量研究.云南植物研究,1991b,13(2):161~166.
- [27] 吴兆录,等.云南普洱地区思茅松林的生物量.云南大学学报(自然科学版),1992a,14(2):119~127.
- [28] 吴兆录,等.云南普洱地区思茅松林的净第一性生产力.云南大学学报(自然科学版),1992b,14(2):128~136.
- [29] 马钦彦.中国油松生物量的研究.北京林业大学学报,1989,11(4):1~10.
- [30] 安和平,等.板桥河小流域治理前期主要植被类型生物量生长规律及森林生物量变化研究.贵州林业科技,1991,19(4):20~34.
- [31] 费世民,等.四川盆地浅丘区农林复合系统模式区主要植被类型及生物量研究.四川林业科技,1993,14(2):1~10.
- [32] 杨 韧,等.川中丘陵区柏木人工林生物量的测定.四川林业科技,1987,8(1):21~24.
- [33] 陈传国,朱俊凤,编著.东北主要林木生物量手册.北京:中国林业出版社,1989.
- [34] 李文华,编著.西藏森林.北京:科学出版社,1985.