

甘肃天祝主要高山草地的 生物量及光能转化率

胡自治 孙吉雄 李洋* 龙瑞军 杨发林**

(甘肃农业大学草原系,兰州 730070)

摘要 本文报道了天祝高山草地的杜鹃+柳-苔藓草地、珠芽蓼草地、线叶蒿草地及其改良的禾草-杂类草半人工草地、多年生禾草人工草地和一年生燕麦人工草地的生物量特征,净第一性生产力和光能转化率。位于阴坡的天然杜鹃+柳-苔藓草地和珠芽蓼草地的地上和地下生物量都较大。灌溉、施肥、翻耕和播种措施,可提高培育的草地的地上生物量和现存量,并降低地下生物量和现存量(活根量)。天然草地中珠芽蓼草地的地上、地下和地上+地下的净第一性生产力均最高,杜鹃+柳-苔藓草地最小。三类培育的草地的地上部分净第一性生产力显著较其原生草地——线叶蒿草地为高,并依培育强度而递增;但地下部分显著较低,并依培育强度而递减。杜鹃+柳-苔藓草地、珠芽蓼草地和线叶蒿草草地的地上部分光能转化率分别为0.074、0.155和0.110%。三类培育的草地地上部分的光能转化率大于天然草地,地下部分小于天然草地,全群落的光能转化率只有燕麦草地大于天然草地。

关键词 高山草地;改良的草地;生物量;净第一性生产力;光能转化率

第一性生产力是草地生态系统最根本的能流基础,也是群落结构发育和功能发挥完善与否的数量指标,因此,通过较细致的生物量和净第一性生产力的研究,在理论和生产上都有重要意义。

高山草地是草地生态系统中净第一性生产力最低的类型之一,但在不同的类型之间具有较大的差异,并在经过培育之后有较大的提高。作者在近年来天祝祁连山高山草地主要类型的生物量、净第一性生产力和光能转化率研究的基础上,揭示不同类型的生产力特征、差异及其内在联系,以便为高山草地的培育和利用提供科学依据。

1. 材料与方法

1.1 试验地及草地类型

试验地设在天祝金强河上游永丰滩甘肃农业大学高山草原试验站附近,地理位置为N37°40', E180°32',海拔2930—3200m。年平均气温-0.1℃,7月12.7℃,1月-18.3℃,>0℃积温1380℃。年平均降水416mm。年蒸发量1430.4mm。无绝对无霜期,但植物的生长期仍有120—140天。杜鹃+柳-苔藓草地的土壤为在阴坡上发育的高山灌丛草甸土,土层厚50—70cm,表层5cm多为半分解状态的植物残体,40cm以下多砾石,通层十分潮湿,无石灰反应,pH6.5,40—60cm以下为永冻层。其他类型草地的土壤均为在阶地冲

积母质上发育的碳酸盐高山草甸土,土层厚 1—2 m 或更深,粉沙壤为主,0—10cm 表层的有机质含量达 14% 或更多, pH 6.5, 除表层外,石灰反应明显。

研究的 6 个草地类型分布在金强河南岸的北向坡和阶地上(图 1), 它们的名称和群落的主要特征分述如下。

1.1.1 杜鹃+柳-苔藓草地

分布在 3100m 以上的阴坡上, 阴湿、寒冷。群落的优势种为常绿革叶灌木头花杜鹃 (*Rhododendron capitatum*) 和百里香杜鹃 (*Rh. thymifolium*), 此外还有杯腺柳 (*Salix capularia*)。灌木平均高度 70cm, 分盖度 30—50%。草本层不太发达, 无明显优势种, 数量较多的有珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、箭舌苔 (*Carex ensifolia*)、里褐苔 (*C. atrofusca*)、喜马拉雅嵩草 (*Kobresia royleana*)、发草 (*Deschampsia caespitosa*) 等, 高度 10—30cm, 分盖度 15—35%。苔藓层十分发达, 分盖度 80—95%, 藓被层覆盖厚达 10—40cm, 平均 18cm, 优势种有 *Tortula rulalis* 和 *Enotodon concinnus*, 亚优势种有 *Ctenidium capillifolium*、*Abietinella abiefna* 等。

1.1.2 珠芽蓼草地

分布于半阴坡和高阶地上, 具肥大根茎的珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*) 为主要优势种。草层高 20—30cm, 总盖度 100%。7—8 月珠芽蓼的分盖度可达 75—80%。苔藓层明显, 多雨季节分盖度可达 30—50%。

1.1.3 线叶嵩草草地

分布于河谷 1—2 级阶地。优势种除线叶嵩草 (*Kobresia capillifolia*) 外, 还有异针茅 (*Stipa aliena*)、多种早熟禾 (*Poa* spp.) 和球花嵩 (*Artemisia smithii*) 等。草层高 20—30cm, 总盖度 90—95%。苔藓层不发达, 在多雨季节分盖度约 10%。

1.1.4 禾草-杂类草半人工草地

在线叶嵩草草地的基础上, 春季一次施 N 30kg/ha, 春夏三次灌溉, 灌水总量 1500—2000m³/ha 后形成的半人工草地。试验时为培育第三年的草地。禾草主要是垂穗披碱草

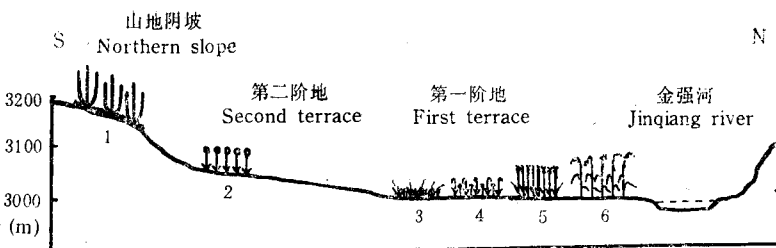


图 1 试验地及主要草地类型分布示意图

Fig.1 Site and distribution of main types of grasslands

1. 杜鹃+柳-苔藓草地 *Rhododendron* + *Salix* - moss grassland 2. 珠芽蓼草地
Polygonum viviparum grassland 3. 线叶嵩草草地 *Kobresia capillifolia* grassland
4. 禾草-杂类草半人工草地 grasse-forb semi-artificial grassland 5. 多年生禾草人工草地
Perennial grasse artificial grassland 6. 一年生燕麦人工草地 annual oat
artificial grassland

(*Clinelymus nutans*)、草地早熟禾 (*Poa pratense*), 杂类草种类较多, 无明显优势种。草层高40—50cm, 总盖度100%。苔藓层不发达, 在多雨季节分盖度约20%。

1.1.5 多年生禾草人工草地

这是线叶嵩草草地翻耕后播种无芒雀麦 (*Bromus inermis*)、垂穗披碱草 (*Clinelymus nutans*) 和老芒麦 (*C. sibiricus*) 建立起的多年生人工草地, 施N量和灌溉量同上述半人工草地。试验时为播种第三年的草地。草层高100—120cm, 总盖度90—95%。有较厚的凋落物层覆盖, 但不出现苔藓层。

1.1.6 一年生燕麦人工草地

这是线叶嵩草草地翻耕后, 播种“永久12号”燕麦建立的人工草地。施肥量同上, 但无灌溉。草层高度110—130cm, 生长的后期盖度可达95—100%。地面凋落物很少, 也不出现苔藓层。

1.2 生物量的测定

生物量¹⁾是生态系统全部活的和死的有机物量^[1], 活的包括地上和地下两部分, 死的有立枯量、凋落物量和死根量。本试验在生长季每月20日左右取样一次。地上生物量的取样面积, 杜鹃+柳-苔藓草地为1m×2.5m; 其余草地为0.5m×0.5m, 3—4次重复, 齐地面刈割。由于后5个草地类型的立枯物和凋落物难以准确区别, 因此在统计时合并处理。在地上部分取样后, 立即在同一样方上进行地下部分的取样。杜鹃+柳-苔藓草地和燕麦草地用0.5m×0.5m的样方分层取样, 其余草地用直径10cm的特制土钻分层取样, 每层10cm, 取样深度视土层特性为0—30或50cm, 3—4次重复。用TTC染色法确定了比重法的容许精度后, 再结合目测法将地下生物量区分为活根量和死根量。

1.3 净第一性生产力估测

杜鹃+柳-苔藓草地中的灌木用年轮回归法和标准株测定法; 苔藓则利用它的顶端生长方式, 用棉线标志其初始生长部位, 定期观测叶片增长数W, 当年新生部位(包括新叶附着的茎)单叶平均重量G, 单位面积苔藓平均株数N, $W \cdot G \cdot N$ 即为其地上净第一性生产力。其余草地类型的净第一性生产力(P_n)按下列公式计算:

$$P_n = \Delta B + L + G$$

对于地上部分, 式中 ΔB 为 $t_1 - t_2$ 期间现存量的增量, L为立枯量和凋落物量, G为大草食动物牧食量, 本试验样地有双层围栏保护, 无牧食损失, $G = 0$, 故 $P_n = \Delta B + L$ 。对于地下部分, 式中 ΔB 为 $t_1 - t_2$ 期间现存量(活根)的增量, L为死根的增量(暂略去难以测定的分解量), G为土壤动物对地下生物量的采食量, 但无法测定而略去, 故地下净第一性生产力近似为活根的增量与死根增量之和, 也就是当年最大总根量与最小总根量之差。

1.4 光能转化率的测定

根据净第一性生产力的能量值对实测并经地形坡度校正的太阳辐射量进行计算。

2. 结果与讨论

2.1 生物量

2.1.1 各类型生物量特征

1) 如果确指特定时刻, 则改称为现存量(Standing crop)。

杜鹃+柳-苔藓草地由于灌木、草本和苔藓等组成复杂,根据样方收获法逐月测定的生物量未显示规律性的变化,但以7月下旬草本植物地上生物量最高时全群落(地上+地下部分)的生物量最大,达14354.20g/m²干物质(DM),死生物量远大于活生物量,占75.62%。在灌木的现存量中,绿色部分很小,仅为91.43g/m²DM,而非绿色部分很大,为505.81g/m²DM。立枯量很大,为332.12g/m²DM。草本的现存量和立枯量相应为53.50和9.81g/m²DM。灌木和草本植物的凋落物总量为664.53g/m²DM。由于草本植物根系的70%左右,灌木根系的几乎一半分布于藓被层中,两部分占总根量的61%,因此,灌木和草本植物的地上与地下部分以活苔藓表层为界,它们的地下生物量为10936.82g/m²DM,活根比率很小,只占总根量的23.71%。苔藓未能区别地上与地下部分,它们的总生物量为1770.32g/m²DM,活的部分只占29.12%。

珠芽蓼草地的地上生物量在6—10月期间呈单峰曲线变化,可用多项式方程很好的表达, $Y = 8.65 + 10.06x - 0.05x^2$ ($r = 0.97$), Y 为生物量, x 为5月20日返青后的生长天数。生物量的峰值出现在大部分植物种子成熟的8月22日前后,为548.39g/m²DM,其中现存量为366.91g/m²DM,立枯量+凋落物量为181.48g/m²DM。如果按珠芽蓼、双子叶植物(珠芽蓼除外)和单子叶三部分计,6—10月平均,它们之间的百分比率为42:36:22。珠芽蓼生物量的相对量峰值在6月20日,为47.58%,几乎占地上生物量的一半,以后逐渐降低,8月22日为39.05%,10月22日为40.26%。双子叶植物的相对生物量呈相反趋势,春季低,秋季高;而单子叶植物的生物量变化与上述两者均不同,在7月20日出现占地上生物量26.15%的峰值。地下生物量很大,6—9月平均为5590.22g/m²DM,其中活根约占2/3。在时间变化上,地下生物量呈V形曲线,最小值出现在大部分植物开花结实盛期的7月中旬。

线叶嵩草草地地上生物量的季节变化呈单峰曲线,可用多项式 $Y = 10.98 + 2.43x + 1.12x^2 - 0.000089x^3$ ($r = 0.94$)表达, Y 为生物量, x 为5月1日返青后的生长天数。它的峰值在8月21日,为373.02g/m²DM,其中现存量为246.06g/m²DM。地下生物量平均值略小于珠芽蓼草地,为5162.57g/m²DM,活根占53.25%。在6—10月期间地下生物量呈U形曲线,在8月21日和9月20日出现两个极为接近的最低值。

禾草-杂类草半人工草地的地上生物量的季节变化相似于线叶嵩草草地,也呈单峰曲线,拟合的数学表达式为 $Y = -1.16 + 0.38x + 0.082x^2 - 0.004x^3$ ($r = 0.99$), Y 为生物量, x 为5月1日返青后的生长天数。峰值出现在8月23日,为535.83g/m²DM,其中现存量为405.30g/m²DM。由于灌水、施肥,各月同期的生物量均大于其原生草地——线叶嵩草草地。地下生物量明显较其原生草地为小,6—10月平均为3558.38g/m²DM,活根量的百分比明显增大,占总根量的76.99%。季节变化与地上部分相反,呈V形曲线,最小值出现在8月23日。

多年生禾草人工草地地上生物量6—10月的变化也呈单峰曲线,可用多项式 $Y = 5.14 - 1.79x + 0.0015x^2 - 0.0065x^3$ ($r = 0.99$)表达, Y 为生物量, x 为5月1日返青后的生长天数。最大生物量移后到9月22日出现,为948.17g/m²DM,其中现存量为650.78g/m²DM。值得提出的是各月同期的生物量均较半人工草地为大,这是因为多年生禾草人工草地较半人工草地多了翻耕和播种的培育措施。但地下生物量只有其原生草地线叶嵩草草

地的一半, 6—10月生长期的平均值为 2369.73g/m²DM, 其中活根量占 61.24%。季节变化呈 V 形曲线, 最小值在 8 月 20 日。

一年生燕麦人工草地的地上生物量在生长期呈逻辑斯谛曲线增长, 表达式为 $Y = 119.26 / (1 + 30.53e^{-0.049848x})$ ($r = 0.88$), Y 为生物量, x 为 6 月 4 日齐苗后的生长天数。它的最大生物量出现在乳熟—腊熟期的 9 月初, 为 1219.00g/m²DM。由于是一年生群落, 立枯物和凋落物在 8 月上旬的抽穗初期才出现, 且量很小, 到 9 月初也只占地上生物量的 2.25%。地下部分的生物量也和多年生草地类型有很大的区别, 其特点是从 0 开始, 呈逻辑斯谛曲线增长, 早期增长较快, 后期较为稳定, 没有多年生类型生长中期的低谷。此外, 地下生物量很小, 在 9 月 2 日乳熟—腊熟期出现的最大值也仅为 290.44g/m²DM。与地上部分的比率, 随生长期的推移而有规律地变小, 从 6 月 4 日幼苗期的 2.13:1, 到 9 月 22 日腊熟—黄熟期递减为 0.23:1。

2.1.2 各类型生物量比较 这里以地上、地下和全群落的最大生物量和最大现存量作指标, 列表如下, 以比较各类型之间生物量的主要差异。从表 1 资料可以看出:

地上部分最大生物量以杜鹃+柳-苔藓草地最大, 燕麦草地次之, 线叶嵩草草地最小。

表 1 天祝高山草地生物量特征表 (g/m²干物质)

Table 1 The characteristics of biomass in Tianzhu alpine grasslands (g/m² DM)

草地类型 Types of grassland(gl.)	地上部分 Aboveground		地下部分 Underground		全群落 Whole community		地上地下 生物量比 ¹⁾ Ratio of abovegro- und and undergro- und bio- mass ¹⁾
	最大生物量 Max. biomass	最大现存量 Max.stan- ding crop	最大生物量 Max. biomass	最大现存量 Max.stan- ding crop	最大生物量 Max. biomass	最大现存量 Max.stan- ding crop	
杜鹃+柳-苔藓草地 ¹⁾ <i>Rhododendron + Salix - moss</i> gl. ¹⁾	1647.11	650.70	10936.82	2333.51	12583.90	2984.22	1: 7.80
珠芽蓼草地 <i>Polygonum viviparum</i> gl.	548.39	366.91	6159.85	4205.48	6433.36	4290.16	1:10.29
线叶嵩草草地 <i>Kobresia capillifolia</i> gl.	373.02	246.06	5497.87	2930.18	5772.85	3014.00	1:13.65
禾草-杂类草半人工草地 Grasse-forb semi-artifi- cial gl.	535.83	405.30	3739.31	2939.30	4121.44	3153.81	1: 5.98
多年生禾草人工草地 Perennial grasse artificial gl.	948.17	650.78	2503.75	1543.63	3358.15	2117.55	1: 2.48
一年生燕麦草地 Annual oat gl.	1219.00	1191.50	290.44 ²⁾	290.44 ²⁾	1509.44	1481.94	1: 0.24

1) 不包括苔藓生物量。包括苔藓的全群落最大生物量和最大现存量分别为 14354.21 和 3499.70 g/m²
Not including the biomass of mosses. The maximum biomass and maximum standing
crop including mosses of the whole community are 14354.21 and 3499.70 g/m²

2) 未区分活根和死根 Including both live and dead roots

3) 地上部分生物量最大时之比 It is the ratio when the aboveground biomass reaches maximum

最大现存量以燕麦草地最大,其他两种培育的草地次之,线叶嵩草草地最小。这种情况表明,最大生物量大小的顺序是由环境条件造成的,而最大现存量大小的顺序是由草地培育条件造成的。草地最大生物量与最大现存量的比率可称为生物量的保存比,它可表明在生物量中死的部分相对量的多少。杜鹃+柳-苔藓草地的生物量的保存比最大(2.53),说明在生物量中保存有最大比率的死生物量,而燕麦草地的保存比最小(1.02),说明生物量几乎完全由活的部分组成。

地下部分的最大生物量表现为位于阴坡,生境较为阴湿、寒冷的杜鹃+柳-苔藓草地和珠芽蓼草地,显著地较平地的线叶嵩草草地为大,而培育的草地又显著地较天然的线叶嵩草草地为小。地下部分的最大现存量(活根量)之间的关系也相同于最大生物量。上述的情况表明,与地上部分相似,阴湿、寒冷环境下死根分解缓慢,导致地下生物量增大;而灌溉、施肥,尤其是耕作和播种措施,有助于培育的草地死根分解,并且提高活根的支持率(地上现存量/地下现存量),例如,线叶嵩草草地及其不同程度培育措施的培育的草地,活根的支持率从 8.39%,依次增加为 13.78%, 42.15%,燕麦草地高达 410.23%。此外,培育措施还可使地下生物量和现存量大大降低,例如,受到强烈耕作影响的禾草多年生草地,它的地下生物量可降低到其原生草地线叶嵩草草地的 45.53%,而燕麦一年生草仅为 1/19。

各草地类型全群落(地上+地下)的生物量和现存量的表现,除一年生燕麦草地以外,都相似于地下生物量和现存量的相互关系,这是因为这些草地的地下生物量远大于地上生物量,地下生物量的变化决定了全群落的变化。三种培育的草地与其原生草地相比,全群落的生物量有明显的降低,两种多年生培育的草地的最大现存量也有明显的降低。这是由于地下部分的生物量和现存量有明显降低的缘故。燕麦草地不仅最大生物量和最大现存量较其原生草地和多年生培育的草地为小,而且现存量极其接近生物量。三种培育的草地在地上生物量和现存量大幅度提高的同时,全群落的生物量和现存量却大幅度降低,其最主要的原因是培育措施大大减少了这些草地上死生物量和地下活的和死的生物量。

关于地上和地下生物量比率的关系,除燕麦草地外,其他各类型都是地下部分大于地上部分(表 1)。在地上部分生物量最大之时的地下/地上生物量之比(R/T)值,以线叶嵩草草地最大,为 13.65,珠芽蓼草地和杜鹃+柳-苔藓草地依次变小。培育措施使三种培育的草地 R/T 值急剧变小,燕麦草地的 R/T 值为 0.24,仅为线叶嵩草草地的 1/57。这种情况表明,培育措施在促进地下死生物量分解、活生物量降低的同时,使地上活生物量增加,好象将地下活生物量“转移”到了地上,培育强度越大,这种“转移”作用越强烈, R/T 值越小。

2.2 净第一性生产力

草地净第一性生产力是绿色植物单位时间和单位面积的光合量与呼吸量之差,也就是草地植物除去呼吸作用消耗后的总第一性生产力的剩余部分;它可被人收获或由家畜放牧收获并进一步转化为可用畜产品,也可以被腐生菌分解后归还于环境。因此,净第一性生产力是草地生产中人们最关注的核心问题之一。

天祝高山草地各类型用于物质、去灰分物质和能量表示的净第一性生产力如表 2,资

料表明:

地上部分的净第一性生产力以受放牧干扰最小、群落最稳定的杜鹃+柳-苔藓草地为最低。珠芽蓼草地高于线叶嵩草草地,而培育的草地均高于其原生草地——线叶嵩草草地,并依培育的强度逐渐增大。通过 30kg/ha 施 N 量和 1500m³ 的灌水量形成的半人工草地,可使地上部分净第一性生产力提高 52.04% (干物质);而通过一次翻耕和播种形成的多年生禾草人工草地,又可在半人工草地的基础上提高 73.34%;再通过多次翻耕和播种

表 2 天祝高山草地净第一性生产力表

Table 2 The net primary productivity in Tianzhu alpine grasslands (g/m²·yr⁻¹, g/m²·yr⁻¹)

草地类型 Types of grassland(gl.)	地上部分 Aboveground			地下部分 Underground			全群落 Whole community		
	干物质 DM	去灰分 物质 AFM	能 量 Energy	干物质 DM	去灰分 物质 AFM	能 量 Energy	干物质 DM	去灰分 物质 AFM	能 量 Energy
杜鹃+柳-苔藓草地 <i>Rhododendron+Salix</i> -moss gl.	262.47	—	3911.61	143.02	—	—	—	—	—
珠芽蓼草地 <i>Polygonum viviparum</i> gl.	481.05	430.25	8877.81	1440.01	1235.79	25163.80	1517.52	1144.44	26680.82
线叶嵩草草地 <i>Kobresia capillifolia</i> gl.	340.09	307.97	6319.39	780.36	671.15	17426.11	742.50	641.53	14856.59
禾草-杂类草半人工草地 Grasse-forb semi-art- ificial gl.	517.06	474.72	9835.24	676.10	523.57	9463.86	714.96	582.11	12198.46
多年生禾草人工草地 Perennial grasse artificial gl.	896.32	771.15	15897.87	452.10	371.74	7529.48	674.72	517.67	10606.25
一年生燕麦草地 Annual oat gl.	1219.00	1133.81	22849.42	290.44	248.23	4427.18	1509.44	1382.04	27229.71

DM—Dry matter AFM—Ash-free matter

形成的一年生燕麦草地,还能在多年生禾草人工草地的基础上提高 36.00%。

地下部分的净第一性生产力以具肥大根茎的珠芽蓼草地最高,杜鹃+柳-苔藓草地最低。各培育的草地与其原生草地相比,随培育程度的增大和地下生物量的减少,净第一性生产力依次降低。如果与地上部分结合起来看,线叶嵩草草地及其培育的草地随培育措施的强化,地上部分的净第一性生产力依次递增,而地下部分依次递减,与前述培育措施对生物量的影响一样,似乎灌水、施肥、耕作和播种等将地下部分的净第一性生产力“转移”到了地上。

各类型草地全群落的净第一性生产力与上述情况相比,表现出另外一种现象。珠芽蓼草地和燕麦草地分别基于最高的地下和地上净第一性生产力,而使全群落的净第一性生产力达到最高和次高。线叶嵩草草地及其培育的草地则表现了与地上和地下部分都不

相同的情况,除燕麦草地高于其原生草地外,另外两种草地均较低。

关于草地地上、地下和全群落的净第一性生产力之间的关系,表2表明,根据同时测定的地上和地下生物量,并据以计算出的草地全群落的净第一性生产力,均不等于地上和地下净第一性生产力之和(一年生燕麦草地除外)。这是因为计算全群落的净第一性生产力应以全群落的最大与最小生物量为基础,但地上部分的最大和最小生物量并不一定相应地与地下部分的最大和最小生物量同时出现(一年生草地有此可能)。因此,对多年生草地的全群落净第一性生产力,不能简单地用地上与地下净第一性生产力之和来计算。

Whittaker 和 Marks(1975)将现存量对净第一性生产力的比率称为生物量积累率^[2],用以说明群落生物量积累的程度,他们指出,陆地群落的比率为1—50,甚至更大,而大多数水域群落则是一个分数。本试验的资料表明,以生物量对年净第一性生产力计算的生物量积累率,可更好地说明这个问题,这是因为最大生物量既包含了生物量的各组成部分,也体现了全年中最典型时期的生物量。本试验六类草地类型的地上部分生物量积累率以杜鹃+柳-苔藓草地最大,达6.27,它的大量的生物量积累是由多年形成、冬季不死亡的常绿灌木和草本、苔藓现存量和多年积累的各生活型植物的死生物量两部分构成。一年生燕麦草地的生物量积累率最小,只有1.00,表明在较短的生长期内,最大生物量的各种成分都是当年的光合产物,因而就等于净第一性生产力。其余四类草地的生物量积累率十分接近,分别为1.14,1.10,1.04和1.06。这表明地上部分在冬季死亡的多年生草地,虽然存在一定量的死生物量的积累,但相对数量仍很有限。

2.3 光能转化率

如果将用能量表示的草地净第一性生产力与投射到其上的太阳总辐射量、生理辐射量和 0°C — $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 生长期的生理辐射量相比,则可获得草地对不同辐射的光能转化率(表3),它表明了草地群落对不同含意的太阳辐射的利用效率。

在三类天然草地中,地上部分对总辐射的转化率以珠芽蓼草地最高,线叶嵩草草地次之,杜鹃+柳-苔藓草地最低。三种培育的草地地上部分对总辐射的转化率,随培育措施的强化而依次递增,最高的燕麦草地约为其原生草地的5倍;但在同时,地下部分的转化率却依次递减,最低的燕麦草地仅为其原生草地的41.58%。

在生长期较长的温暖地区,年生理辐射量与生长期生理辐射量相差较小,因此,计算的植物群落对这两种辐射量的转化率差异也较小,在热带地区两者更可以相等。但在高寒地区,生长期很短,生长期生理辐射量远小于年总生理辐射量,因而两种转化率的差异较大。表3的资料说明了后一种情况,六类草地的生长期生理辐射转化率与年总生理辐射转化率的比值,生长期最短的杜鹃+柳-苔藓草地达2.59,生长期略长的后四类草地也达1.80。因此,在比较光能转化率时,需要说明生长期的长短,否则会失去比较的意义,对于总辐射的转化率,道理也同此。

草地地上部分与地下部分的光能转化率(或净第一性生产力)之比,可称为草地净能空间分配率,它可在某种程度上表明草地群落的光合净能在地上和地下存在的相对量,能指示草地培育的有效性和地上可利用牧草量的相对率。表3中珠芽蓼草地和线叶嵩草草地的净能空间分配率分别为0.35和0.36,表明能量净积累的2/3以上被作为贮藏的能量存在于地下,不能被家畜放牧利用,这是高寒天然草地对严酷环境和放牧的适应性。三类培

表3 天祝高山草地的光能转化率表

Table 3 The conversion efficiency of solar radiation in Tianzhu alpine grasslands (%)

草地类型 Types of grassland (gl.)	地上部分 Aboveground			地下部分 Underground			全群落 Whole community		
	总辐射转 化率 CETR	生理辐射 转化率 CEPR	生长期生 理辐射转 化率 CEPRGP	总辐射转 化率 CETR	生理辐射 转化率 CEPR	生长期生 理辐射转 化率 CEPRGP	总辐射转 化率 CETR	生理辐射 转化率 CEPR	生长期生 理辐射转 化率 CEPRGP
杜鹃+柳-苔藓草地 <i>Rhododendron + Salix</i> - moss gl.	0.074	0.151	0.391	—	—	—	—	—	—
珠芽蓼草地 <i>Polygonum viviparum</i> gl.	0.155	0.316	0.692	0.438	0.895	1.963	0.464	0.948	2.081
线叶嵩草草地 <i>Kobresia capillifolia</i> gl.	0.110	0.224	0.404	0.303	0.618	1.115	0.258	0.528	0.951
禾草-杂类草半人工草地 Grasse-forb semi-arti- ficial gl.	0.170	0.349	0.629	0.164	0.337	0.603	0.219	0.450	0.810
多年生禾草人工草地 Perennial grasse arti- ficial gl.	0.275	0.565	1.018	0.130	0.265	0.481	0.177	0.362	0.655
一年生燕麦人工草地 Annual oat gl.	0.549	0.128	2.017	0.106	0.213	0.467	0.654	1.341	2.484

CETR—Conversion efficiency of total radiation

CEPR—Conversion efficiency of physiological radiation

CEPRGP—Conversion efficiency of physiological radiation during the growing period

育的草地的净能空间分配率依次为 1.03、2.12 和 4.25, 表现为随培育程度的强化而呈指数增加, 说明培育措施很有效, 能将地下部分较大的不能被家畜直接利用的净光合能“转移”到地上, 使其成为可以直接和实际利用的牧草。

3. 小结

3.1 天祝高山草地的六个类型在生长期的生物量积累模式各有特点。杜鹃+柳-苔藓草地由于组成复杂, 生物量的积累没有表现出特定的规律, 但以 7 月为最大。珠芽蓼草地、线叶嵩草草地及其禾草-杂类草半人工草地、多年生禾草人工草地的地上部分增长均呈倒 V 形曲线, 地下部分均呈 V 形曲线。一年生燕麦草地的地上和地下生物量积累均呈逻辑斯谛增长 (S 形曲线)。

3.2 杜鹃+柳-苔藓草地和燕麦草地具有最大的地上生物量。天然草地的地下生物量较地上生物量大 7—13 倍, 同时也远较三类培育的草地的地下生物量为大。基于很大的地下生物量, 三类天然草地的全群落 (地上+地下部分) 生物量也远大于培育的草地。灌溉、施肥、翻耕和播种等措施, 可提高培育的草地的地上生物量, 降低地下生物量, 其提高

和降低的程度依培育的强度而递增。

3.3 天然草地中,珠芽蓼草地的地上净第一性生产力最大,杜鹃+柳-苔藓草地最小;培育措施能使培育的草地地上净第一性生产力较其原生草地提高50—160%。珠芽蓼草地和线叶嵩草草地地下部分的净第一性生产力远高于地上部分;培育措施可使培育的草地地下部分的净第一性生产力降低到其原生草地的37—86%。珠芽蓼草地和燕麦草地的全群落净第一性生产力,分别基于地下和地上净第一性生产力而达最高(绝对数十分接近)。多年生草地由于地上和地下的生物量积累模式不同,营养物质不断相互转移,其全群落的净第一性生产力,应以同期测定的地上和地下生物量为基础进行计算,不能简单地使用地上和地下净第一性生产力之和的方法。

3.4 六个草地类型的光能转化率,地上部分培育的草地较大,地下部分天然草地较大,全群落则以燕麦草地最大,珠芽蓼草地次之。草地的地上与地下光能转化率(或净第一性生产力)之比,即草地净能空间分配率,可表明草地光合净能在地上和地下存在的特点,能指示地上可利用牧草的相对多少和草地培育的有效性。

参 考 文 献

- [1] 迪维诺(李耶波译),1987: 生态学概论,科学出版社,北京,71。
- [2] Whittaker, R. H. and P. L. Marks (陈华豪译), 1985: 生物圈的第一性生产力 (H. Lieth, R. H. Whittaker 等著)科学出版社,北京, 50。

THE CHARACTERISTICS OF BIOMASS AND CONVERSION EFFICIENCY OF SOLAR RADIATION FOR PRINCIPAL TYPES OF ALPINE GRASSLANDS IN TIANZHU, GANSU PROVINCE, CHINA

Hu Zi-zhi Sun Ji-xiong Li Yang Long Rui-jun, Yang Fa-lin

(Department of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract

This article reports research results on the characteristics of biomass, net primary productivity and conversion efficiency of solar radiation in Tianzhu alpine *Rhododendron* + *Salix*-moss grassland (RMG), *Polygonum viviparum* grassland (PVG), *Kobresia capillifolia* grassland (KCG) and improved grass-forb semiartificial grassland, perennial grass artificial grassland and oat grassland. The aboveground and underground maximum biomass of RMG and PVG on the northern slope are larger. The maximum aboveground biomass and standing crop in the improved grasslands have been increased by irrigation, fertilization, ploughing and seeding, while the underground biomass has been decreased. Among the natural grasslands, the net primary productivity of the aboveground, underground and whole community (above underground part) of PVG are the highest, and that of RMG the lowest. The net primary productivity of the aboveground of the three types of improved grasslands are markedly higher than their original grassland-KCG and increases with the intensity of improvement, but that of underground is markedly lower and decreases with the intensity of improvement. The conversion efficiencies of total radiation for aboveground in RMG, PVG and KCG are 0.074%, 0.155% and 0.110%, respectively. The conversion efficiencies for aboveground of the three types of improved grasslands are higher than that of natural grassland with the exception of underground. The conversion efficiency for the whole community in oat grassland is higher than that of natural grassland.

Key words Alpin grassland; Improved grassland; Biomass; Net primary productivity; Conversion efficiency of solar radiation