

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)4 - 453 - 07

# 青藏高原东缘高寒草甸地上生物量的估测模型

张典业, 牛得草\*, 陈鸿洋, 张永超, 傅 华

(草地农业生态系统国家重点实验室 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:** 探索简单、快捷的获得草地单个物种及群落地上生物量资料的方法, 可以为合理保护和利用草地资源提供重要技术支持。在传统的直接收获法测定草地地上生物量的基础上, 结合物种的种群特点, 利用与生物量密切相关的高度、盖度、密度等植被生态参数, 建立了青藏高原东缘高寒草甸各植物种的最适地上生物量估测模型。其中禾叶嵩草、垂穗披碱草、高山韭等物种生物量最适模型为幂函数方程, 其他物种最适模型除却长毛风毛菊是二次项方程外均为线性方程。这些模型拟合精度较高, 经检验, 单个物种生物量估测值与实际观测值之间的相关系数均  $> 0.9$ , 且大部分平均相对误差  $< 10\%$ 。对于草地群落地上总生物量, 估测值与实际观测值相关系数为  $0.965$ , 各样方的相对误差大都  $< 10\%$ , 平均相对误差为  $5.672\%$ , 说明利用这些模型估算青藏高原东缘高寒草甸地上生物量切实可行。

**关键词:** 高寒草甸; 地上生物量; 估测模型; 生态参数

**中图分类号:** Q948.1, S812.8

**文献标志码:** A

植被生物量是全球碳循环的重要组成部分, 与全球气候变化息息相关<sup>[1-2]</sup>, 草地生态系统中, 地上生物量还直接决定其生态系统承载能力和畜牧生产能力<sup>[3-4]</sup>。因此快速、准确的获取地上生物量信息并研究其变化规律, 可以为预测草地生态系统对全球气候变化的响应和设计合理的草地资源管理措施提供重要技术支持<sup>[5-7]</sup>。同时, 准确估测单个物种生物量, 对于认识草地群落结构及各物种生态位的分化意义重大。直接收获法是草地地上生物量计算中最常用的方法, 这种方法虽然比较精确, 但费时费力, 同时还存在破坏草地, 无法进行连续观测等问题<sup>[8-10]</sup>, 尤其是基于群落物种竞争研究中固定样方的调查, 根本不能用直接收获法来获得单个植物种生物量资料。而基于植物生态参数及环境生态因素等间接观测指标<sup>[11]</sup>建立的生物量估测模型, 为我们

准确监测区域草地地上生物量提供了一条简单、快捷的途径。国内外关于建立数学模型来估测草地地上生物量的研究已有较多报道, 如陈章和<sup>[12]</sup>在热带草地建立了地上生物量和土壤肥力的回归模型, 刘正恩等<sup>[13]</sup>利用数量化理论构建了羊草草原地上生物量的预测模型, Flombaum 和 Sala<sup>[14]</sup>在阿根廷丘布特省干旱地区建立了草地生物量和植被盖度的线性方程。然而, 针对高寒草甸草地地上生物量估算的研究仍少见报道。

高寒草甸广泛分布于青藏高原地区, 是地球陆地生态系统中的重要组成部分, 对维持全球生态系统平衡起着十分重要的作用<sup>[15-16]</sup>; 同时, 该区牧草优良, 是我国重要的畜牧业生产基地。但由于其特殊的地理位置, 高寒草甸生态系统对人类活动和复杂的气候变化十分敏感, 且受损的生态系统, 往往在

**收稿日期** (Received date): 2013 - 10 - 15; **修回日期** (Accepted): 2014 - 03 - 20。

**基金项目** (Foundation item): 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (201203041)、长江学者和创新团队发展计划资助 (IRT13019)、国家科技支撑项目 (2012BAD13B05)、国家自然科学基金 (31201837, 31172258) 资助。[The project was financially supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201203041), Program for Changjiang Scholars and Innovative Research Team in University (IRT13019), the National Science & Technology in China (2012BAD13B05), the National Natural Science Foundation of China (31201837, 31172258).]

**作者简介** (Biography): 张典业 (1991 - ), 男, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事草地生态学等方面的研究。[Zhang Dianye, (1991 - ), male, born in Liaocheng Shandong province, master candidate, mainly engages in steppe ecology.] E-mail: zhangdianye1991@163.com

\* **通信作者** (Corresponding author): 牛得草, 男, 博士, 主要从事生态化学计量学方面的工作。[Niu Decao, male, doctor, mainly engages in ecological stoichiometry.] E-mail: xiaocao0373@163.com

短时间内很难恢复。因此,通过建立数学模型,快捷、精确地估测该区草地单个植物种和群落生物量,进而研究高寒草甸群落结构、草地生产力、碳循环过程<sup>[17]</sup>,提出合理保护和利用该区草地资源的策略意义重大。高寒草甸草地空间异质性大,植物生长季降雨频繁,利用气候、土壤养分等环境生态因素建立的生物量预测模型限制较多,而以植物自身生态参数建立的估测模型在大面积草地地上生物量估测时省时省工,可以得到较好的应用。甘肃省玛曲县位于青藏高原东部,境内高寒草甸物种多样性丰富、生产力较高<sup>[18]</sup>。但由于近年来该县过度放牧,草地退化、沙化现象十分严重,已成为我国推行草地恢复重建的主要地区之一。本研究分别于2011年和2012年,对玛曲县高寒草甸草地进行样方调查,利用调查数据中各物种的高度、盖度、密度等生态参数,分别建立不同物种地上生物量估测模型,并对其进行检验,以期为该地区退化草地恢复重建过程中群落结构及生物量的监测提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区自然概况

研究区在玛曲县阿孜畜牧科技园(101°31′59″N,33°24′17″E),海拔3 585 m,属于典型的高原大陆性季风气候;年平均温度1.2℃,1月平均温度-10℃,7月平均温度11.7℃;年降水量564 mm,且主要集中在5—9月,年蒸发量1 353.4 mm。该地区太阳辐射强,全年日照时数在2 613.9 h,一年的霜期>270 d,长冬无夏;土壤类型为高山草甸土;群落中植物以莎草科的禾叶嵩草(*Kobresia graminifolia*)和禾本科的披碱草属(*Elymus*)、早熟禾属(*Poa*)、剪股颖属(*Agrostis*)的一些种,以及菊科的风毛菊属(*Saussurea*)、橐吾属(*Liguria*),毛茛科的银莲花属(*Anemone*)和玄参科的马先蒿属(*Pedicularis*)等毒杂草为主,并伴有其他类杂草如米口袋(*Gueldenstaedtia multiflora*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、兰石草(*Lancea tibetica*)等<sup>[19]</sup>。

### 1.2 试验样地与观测项目

在研究区选择地势平坦的草地,从2010年5月开始进行围封休牧。分别于2011年和2012年,在牧草生长相对稳定的8月,于围封样地内随机选择50个50 cm×50 cm的样方,详细记录每个样方内

的物种名称,测量各物种的高度、密度,并利用目测法估计其盖度。之后将样方内植物齐地面剪下,分种装进信封袋,带回室内,置于烘箱中105℃杀青30 min,而后65℃烘干至恒重,称取地上生物量干重。

### 1.3 生物量估测模型的建立方法

研究以2011年植被调查数据为基础,建立群落植物的生物量估测模型,并利用2012年植被调查数据对以上模型的准确性进行检验。模型建立时,出于实用性和简便性选择各个物种的高度( $H$ )、盖度( $P$ )之积 $PH$ 作为自变量,而对于高寒草甸优势物种禾叶嵩草,考虑到其种群特点,选择其高度( $H$ )、盖度( $P$ )、密度( $N$ )之积 $PHN$ 作为自变量。之后,应用最常用的三种生物量估测模型,即 $y = ax + b$ 、 $y = ax^2 + bx + c$ 、 $y = ax^b$ ,分别建立各物种的生物量估测方程,并通过比较相关指数 $R^2$ 和 $F$ 值,确定最佳估测模型。

### 1.4 数据分析

利用Microsoft Excel 2003对各个物种的高度、盖度、密度进行统计,并利用SPSS 20.0对各物种地上生物量进行回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物种最适生物量估测模型的建立

通过比较相关指数 $R^2$ 和 $F$ 值得到玛曲县高寒草甸单个物种的最适生物量估测模型(表1),可以看出各个物种最优生物量估测方程的相关指数 $R^2$ 均在0.7以上,且经 $F$ 检验,所有方程均达到显著水平,由此可见,利用这些模型估算高寒草甸地上生物量切实可行。

### 2.2 不同植物种生物量估测模型的检验

利用2012年植被调查数据对以上模型的准确性进行检验,结果显示(表2),各物种生物量的估测值和实际值之间相关系数 $r$ 均>0.9,且除9种植物的平均相对误差介于10%~14%外,剩余31种植物的平均相对误差都<10%。

基于单个物种的生物量估测模型,通过累加样方内各物种生物量估测值来计算群落样方总生物量,并与实际观测值进行比较(图1)。结果发现估测值与实际观测值非常接近,即多数样方总生物量估测值靠近直线 $y = x$ 。在调查的50个样方中,除了6个样方外,其余44个样方数据均落在 $y = x/(1 \pm 10\%)$ 的两条虚线之间,但在 $y = x$ 直线下方数据

表 1 高寒草甸不同植物种最适生物量估测模型

Table 1 The optimal predicted models for different species existed at the alpine grassland

序号 Code	物种 Species	样本数 Sample number	方程 Equation	$R^2$	$F$
1	禾叶嵩草 <i>Kobresia graminifolia</i>	50	$Y = 0.033X^{0.496}$	0.707	115.742 *
2	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	48	$Y = 0.013X^{0.933}$	0.939	714.884 *
3	草地早熟禾 <i>Poa pretensis</i>	47	$Y = 0.008X - 0.006$	0.931	605.681 *
4	密花早熟禾 <i>P. pachyantha</i>	41	$Y = 0.009X - 0.576$	0.951	761.539 *
5	洽草 <i>Koeleria cristata</i>	46	$Y = 0.0115X - 0.213$	0.933	615.562 *
6	甘青剪股颖 <i>Agrostis hugoniana</i>	49	$Y = 0.0053X + 0.4065$	0.927	603.961 *
7	线叶垂头菊 <i>Cremanthodium lineare</i>	49	$Y = 0.012X - 0.047$	0.861	294.789 *
8	钝裂银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	50	$Y = 0.0458X^{0.749}$	0.879	347.809 *
9	条叶银莲花 <i>A. trullifolia</i>	47	$Y = 0.024X^{0.812}$	0.816	199.053 *
10	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	43	$Y = 0.0188X - 0.16$	0.888	326.24 *
11	莓叶委陵菜 <i>P. fragarioides</i>	48	$Y = 0.01X + 0.087$	0.955	927.229 *
12	甘肃风毛菊 <i>Saussurea kansuensis</i>	40	$Y = 0.028X^{0.869}$	0.787	140.292 *
13	长毛风毛菊 <i>S. hieracioides</i>	19	$Y = 3E - 05X^2 + 0.01X + 0.247$	0.884	61.291 *
14	星状风毛菊 <i>S. stella</i>	11	$Y = 3E - 05X^{2.233}$	0.972	307.213 *
15	圆叶筋骨草 <i>Ajuga ovalifolia</i> var. <i>calantha</i>	45	$Y = 0.057X - 0.144$	0.846	237.097 *
16	披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolate</i>	31	$Y = 0.0186X^{0.939}$	0.866	186.974 *
17	秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i>	32	$Y = 0.005X^{1.122}$	0.923	357.415 *
18	乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	49	$Y = 0.008X + 0.232$	0.887	367.351 *
19	鼠尾草 <i>Salvia japonica</i>	46	$Y = 0.008X + 0.118$	0.935	635.837 *
20	丝叶毛茛 <i>Ranunculus tanguticus</i>	48	$Y = 0.009X - 0.178$	0.897	400.78 *
21	小花草玉梅 <i>A. rivularis</i>	40	$Y = 0.017X^{0.852}$	0.904	356.673 *
22	甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>	20	$Y = 0.007X + 0.044$	0.93	239.397 *
23	短腺小米草 <i>Euphrasia vehelii</i>	20	$Y = 0.009X - 0.072$	0.938	235.865 *
24	棱子芹 <i>Pleurospermum camtschaticum</i>	41	$Y = 0.006X + 0.09$	0.927	498.667 *
25	矮火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	49	$Y = 0.013X + 0.188$	0.858	284.245 *
26	黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	22	$Y = 0.004X + 0.274$	0.949	371.153 *
27	多枝黄芪 <i>Astragalus polycladus</i>	31	$Y = 0.009X + 0.023$	0.943	483.321 *
28	华丽龙胆 <i>Gentiana sinoornata</i>	35	$Y = 0.021X + 0.07$	0.922	356.386 *
29	兰石草 <i>Lancea tibetica</i>	50	$Y = 0.039X + 0.046$	0.939	737.665 *
30	老鹳草 <i>Geranium pylzowianum</i>	48	$Y = 0.007X + 0.048$	0.897	491.063 *
31	米口袋 <i>Gueldenstaedtia multiflora</i>	40	$Y = 0.008X + 0.015$	0.91	387.021 *
32	黄帚橐吾 <i>Ligularia virgaurea</i>	11	$Y = 0.01X^{1.096}$	0.885	68.963 *
33	车前 <i>Plantago</i> sp.	20	$Y = 0.006X + 0.031$	0.802	74.72 *
34	高山紫菀 <i>Aster alpinus</i>	14	$Y = 0.019X - 1.218$	0.957	267.069 *
35	矮金莲花 <i>Trollius farreri</i>	26	$Y = 0.012X + 0.014$	0.882	180.319 *
36	高山韭 <i>Allium sikkimense</i>	17	$Y = 0.004X^{1.14}$	0.819	68.127 *
37	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	13	$Y = 0.015X + 0.065$	0.922	130.289 *
38	乳白香青 <i>Anaphalis lacteal</i>	14	$Y = 0.013X + 0.173$	0.852	68.796 *
39	蒲公英 <i>Taraxacum maurocarpum</i>	19	$Y = 0.005X + 0.071$	0.864	108.887 *
40	其他杂草 Other weeds	39	$Y = 0.007X + 0.013$	0.862	234.491 *

\*  $P < 0.05$

表 2 高寒草甸不同植物种最适生物量估测模型的检验

Table 2 Test of the optimal predicted models for different species existed at the alpine grassland

序号 Code	物种 Species	样本数 Sample number	$r$	平均相对误差 Average absolute relative deviation
1	禾叶嵩草 <i>Kobresia graminifolia</i>	50	0.936 *	9.178
2	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	48	0.991 *	7.331
3	草地早熟禾 <i>Poa pretensis</i>	44	0.982 *	7.888
4	密花早熟禾 <i>P. pachyantha</i>	43	0.996 *	3.717
5	洽草 <i>Koeleria cristata</i>	42	0.996 *	8.936
6	甘青剪股颖 <i>Agrostis hugoniana</i>	41	0.918 *	9.18
7	线叶垂头菊 <i>Cremanthodium lineare</i>	48	0.964 *	9.83
8	钝裂银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	49	0.957 *	6.2
9	条叶银莲花 <i>A. trullifolia</i>	38	0.974 *	10.11
10	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	36	0.998 *	8.929
11	莓叶委陵菜 <i>P. fragarioides</i>	44	0.987 *	7.096
12	甘肃风毛菊 <i>Saussurea kansuensis</i>	29	0.995 *	7.911
13	长毛风毛菊 <i>S. hieracioides</i>	18	0.986 *	8.6
14	星状风毛菊 <i>S. stella</i>	14	0.993 *	10.06
15	圆叶筋骨草 <i>Ajuga ovalifolia</i> var. <i>calantha</i>	33	0.995 *	8.867
16	披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolate</i>	38	0.995 *	6.131
17	秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i>	30	0.996 *	7.358
18	乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	44	0.988 *	7.473
19	鼠尾草 <i>Salvia japonica</i>	46	0.99 *	7.434
20	丝叶毛茛 <i>Ranunculus tanguticus</i>	37	0.99 *	7.13
21	小花草玉梅 <i>A. rivularis</i>	39	0.993 *	7.219
22	甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>	22	0.997 *	7.914
23	短腺小米草 <i>Euphrasia vehelii</i>	26	0.995 *	6.844
24	棱子芹 <i>Pleurospermum camtschaticum</i>	35	0.989 *	10.884
25	矮火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	29	0.999 *	9.173
26	黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	22	0.995 *	9.78
27	多枝黄芪 <i>Astragalus polycladus</i>	19	0.986 *	7.79
28	华丽龙胆 <i>Gentiana sinoornata</i>	42	0.996 *	7.414
29	兰石草 <i>Lancea tibetica</i>	48	0.989 *	8.098
30	老鹳草 <i>Geranium pylzowianum</i>	24	0.994 *	7.396
31	米口袋 <i>Gueldenstaedtia multijflora</i>	42	0.985 *	12.976
32	黄帚橐吾 <i>Ligularia virgaurea</i>	11	0.945 *	12.452
33	车前 <i>Plantago</i> sp.	22	0.982 *	9.626
34	高山紫菀 <i>Aster alpinus</i>	14	0.995 *	6.021
35	矮金莲花 <i>Trollius farreri</i>	20	0.991 *	10.899
36	高山韭 <i>Allium sikkimense</i>	24	0.988 *	6.957
37	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	14	0.999 *	7.884
38	乳白香青 <i>Anaphalis lacteal</i>	19	0.982 *	11.033
39	蒲公英 <i>Taraxacum maurocarpum</i>	22	0.987 *	10.909
40	其他杂草 Other weeds	37	0.984 *	13.852

\*  $P < 0.05$

较其上方较多。每个样方的绝对误差大都在  $\pm 36 \text{ g/m}^2$ , 相对误差在  $\pm 10\%$ , 同时, 所有样方总生物量的估测值与实际观测值之间的相关系数为 0.965 ( $P < 0.05$ ), 平均绝对误差为  $16.853 \text{ g/m}^2$ , 平均相对误差为 5.672%。

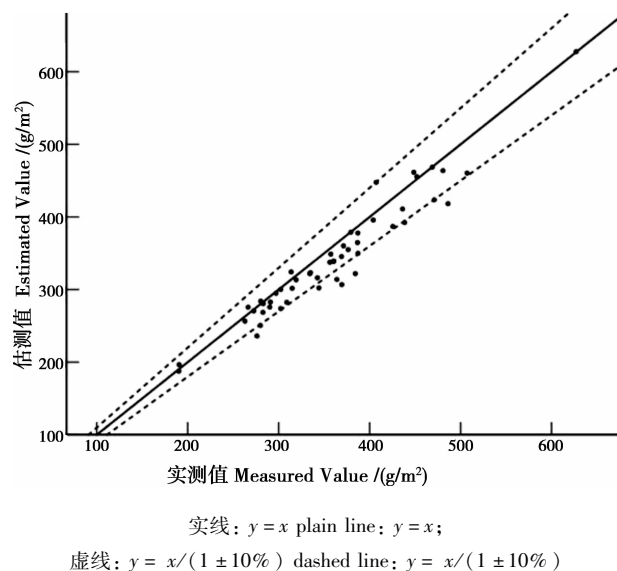


图1 地上总生物量实测值与估测值的对比

Fig. 1 Comparison of total aboveground biomass between measured value and estimated value

### 3 讨论

生物量是草地资源动态监测的重要指标之一。准确估测单个物种生物量, 对于认识群落结构及物种生态位的分化意义重大。本研究利用高度、盖度等植被生态参数建立了玛曲县高寒草甸各物种的生物量估测方程。结果表明, 各个物种的估测值和实际值之间相关系数  $r$  均  $> 0.9$ , 平均相对误差大部分  $< 10\%$ ; 总生物量的估测值与实际值之间的相关系数为 0.965, 各样方的相对误差  $< 10\%$ , 平均相对误差为 5.672%, 说明利用建立的模型估算玛曲县高寒草甸地上生物量是切实可行的。

植物形态结构对物种生物量估测模型的建立影响较大<sup>[21-22]</sup>, 本研究中垂穗披碱草、高山韭、小花草玉梅等生物量“头重脚轻”空间分配相似的物种, 其生物量最适估测模型均为幂函数方程, 这与赵成义等<sup>[23]</sup>估测具有同样分配模式的梭梭及怪柳属植物地上生物量的结果一致, 表明植物生物量与其形态结构密切相关。另外, 本研究中除长毛风毛菊外, 其他物种的生物量估测模型其二次项方程与线性方程

相比,  $R^2$  增幅较小。张修玉<sup>[24]</sup>等认为, 在草地地上生物量估测时, 线性回归方程具有简单、直观的优点。本着简单、准确的原则, 本研究选择线性方程作为这些物种的生物量估测模型, 而且从第二年野外采样检验的结果来看, 线性模型预测生物量的精确度较高。而对于长毛风毛菊, 可能由于其植株生长至一定阶段时会从基部长出生物量较大的生殖器官, 而我们采样时, 样方内处于营养生长与生殖生长两个阶段的长毛风毛菊都普遍存在, 从而使二次项生物量估测模型较线性模型更为合适。

植物生物量估测时自变量的选择是多样的<sup>[22]</sup>。本研究以实用性和简便性为主要考虑因素, 选择植物生态参数组合  $PH$  作为玛曲县高寒草甸各物种生物量的估测自变量, 其本质是用  $PH$  代表物种在样方内所占体积。以自变量  $PH$  建立估测模型操作简单, 精确度较高, 在很多研究中得到广泛应用<sup>[25]</sup>。此外, 在选择植物生物量估测参数时, 还要综合考虑植株密度对生物量的影响<sup>[26]</sup>。对于高寒草甸优势物种禾叶嵩草而言, 因其密度较大, 各植株在空间上相互覆盖竞争, 以  $PH$  建立禾叶嵩草生物量估测模型会产生较大误差, 因此, 本研究选择高度、盖度及密度之积  $PHN$  作为自变量, 建立禾叶嵩草生物量估测模型。

尽管本研究建立的各种生物量估测模型误差较小, 但累加得到的群落总生物量估测值表现出低于实际值的趋势(图1), 究其原因可能是建立模型时只考虑到植物自身的形态特征, 没有顾及物种间的交互作用。另外, 在通过累加样方内各物种生物量估测值来计算群落样方总生物量的过程中, 势必将单个物种生物量估测模型建立时产生的随机误差也进行了加和效应, 最终反映到群落水平生物量的估测值与实际观测值有一定差异。此外, 降雨、温度、地下动物活动等其他生态因素也可能影响地上总生物量的估计<sup>[23]</sup>。基于上述情况, 在许多生物量估测模型试验中, 为了减弱其他因素引起的误差, 提高模型的可靠性, 常常引入校正系数<sup>[27]</sup>。本研究中, 通过计算各样方地上生物量实测值与估测值的比, 求平均值得出估测模型的校正系数为 1.049。引入校正系数后, 各样方生物量均匀地分布于  $y = x$  两侧, 模型的平均相对误差降至 4.634%, 准确度显著提高。

本研究利用上述建立的生物量估测模型估算研究区域草地单个植物种和群落生物量, 具有较高的

精确度,简便实用。然而,高寒草甸各物种的生长状况可能因其所处的立地条件存在一定差异,同一物种在不同立地条件下的最适生物量估测模型可能也有所不同。因此,在本研究区建立的各种生物量估测模型,能否在比邻区域,甚至更广的地方应用,还有待进一步验证。

**致谢** 感谢张卫国老师在植物分类鉴定及韩潼同学在野外调查中给予的帮助。

## 参考文献 (References)

- [1] Houghton R A, Hall F, Goetz S J. Importance of biomass in the global carbon cycle [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, 114: G00E03
- [2] Solomon S, Plattner G. - K, Knutti R, et al. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(6): 1704 - 1709
- [3] Yahdjian L, Sala O E. Vegetation structure constrains primary production response to water availability in the Patagonian steppe [J]. *Ecology*, 2006, 87(4): 952 - 962
- [4] Yan Yan, Hu Yunfeng, Liu Yue, et al. Changes in aboveground biomass of grassland transect in Inner Mongolia Autonomous Region, China [J]. *Prataculture Science*, 2012, 29(10): 1497 - 1502 [ 艳燕, 胡云峰, 刘越, 等. 内蒙古草地样带地上生物量变化 [J]. *草业科学*, 2012, 29(10): 1497 - 1502 ]
- [5] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. Climate - driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 [J]. *Science*, 2003, 300: 1560 - 1563
- [6] Jobbágy E G, Sala O E. Controls of grass and shrub aboveground production in the Patagonian steppe [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(2): 541 - 549
- [7] Ma Wenhong, Fang Jingyun, Yang Yuanhe, et al. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982 - 2006 [J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2010, 40(7): 632 - 641 [ 马文红, 方精云, 杨元合, 等. 中国北方草地生物量动态及其与气候因子的关系 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(7): 632 - 641 ]
- [8] L. 't Mannetje, Jones R M. *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research* [M]. New York: CABI Press, 2000: 151 - 171
- [9] Jobbágy E G, Sala O E, Paruelo J M, et al. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach [J]. *Ecology*, 2002, 83(2): 307 - 319
- [10] Briggs J M, Knapp A K. Estimating aboveground biomass in tall-grass prairie with the harvest method: determining proper sample size using jackknifing and Monte Carlo simulations [J]. *The Southwestern Naturalist*, 1991, 36(1): 1 - 6
- [11] Redjadj C, Duparc A, Lavorel S, et al. Estimating herbaceous plant biomass in mountain grasslands: a comparative study using three different methods [J]. *Alpine Botany*, 2012, 122: 57 - 63
- [12] Chen Zhanghe. A study on the biomass of the grassland in Hainan Island [J]. *Journal of South China Normal University: Natural Science*, 1986(1): 93 - 101 [ 陈章和, 海南草地的生物量研究 [J]. *华南师范大学学报: 自然科学版*, 1986(1): 93 - 101 ]
- [13] Liu Zhengeng, Wang Yusheng, Pan Jiezheng, et al. Prediction of aboveground biomass of *Leymus chinensis* grassland. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(4): 179 - 183 [ 刘正恩, 王昱生, 潘介正, 等. 羊草草原地上生物量的预测 [J]. *生态学杂志*, 2004, 23(4): 179 - 183 ]
- [14] Flombaum P, Sala O E. A non - destructive and rapid method to estimate biomass and aboveground net primary production in arid environments [J]. *Journal of Arid Environments*, 2007, 69: 352 - 358
- [15] Wang Wenying, Wang Qiji, Wang Gang, et al. Effects of land degradation and rehabilitation on vegetation carbon and nitrogen content of alpine meadow in China [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(6): 1073 - 1078 [ 王文颖, 王启基, 王刚, 等. 高寒草甸土地退化及其恢复重建对植被碳、氮含量的影响 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31(6): 1073 - 1078 ]
- [16] Yao Tandong, Zhu Liping. The response of environmental changes on Tibetan Plateau to global changes and adaptation strategy [J]. *Advance in Earth Science*, 2006, 21(5): 459 - 464 [ 姚檀栋, 朱立平. 青藏高原环境变化对全球变化的响应及其适应对策 [J]. *地球科学进展*, 2006, 21(5): 459 - 464 ]
- [17] Zheng D L, Rademacher J, Chen J Q, et al. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM + data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 93: 402 - 411
- [18] Zhang Yongchao, Niu Decao, Han Tong, et al. Effects of reseeded on productivity and diversity on alpine meadows [J]. *Acta Prataculture Sincia*, 2012, 21(2): 305 - 309 [ 张永超, 牛得草, 韩潼, 等. 补播对高寒草甸生产力和植物多样性的影响 [J]. *草业学报*, 2012, 21(2): 305 - 309 ]
- [19] Han Tong, Niu Decao, Zhang Yongchao, et al. Effects of fertilization on characteristics of Maqu alpine meadow communities and production [J]. *Prataculture Science*, 2011, 28(6): 926 - 930 [ 韩潼, 牛得草, 张永超, 等. 施肥对玛曲县高寒草甸植物多样性及生产力的影响 [J]. *草业科学*, 2011, 28(6): 926 - 930 ]
- [20] Song Youhong, Guo Yan, Li Baoguo, et al. Virtual maize II. model plant morphological constructing based on organ biomass accumulation [J]. *Acta Ecology Sincia*, 2003, 23(12): 2579 - 2586 [ 宋有洪, 郭焱, 李保国, 等. 基于器官生物量构建植株形态的玉米虚拟模型 [J]. *生态学报*, 2003, 23(12): 2579 - 2586 ]
- [21] Wang Lei, Zhang Hong, Ha Si, et al. A study on the estimating method of shrub upper biomass based on the crown diameter and plant height [J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2004, 40(5): 700 - 704 [ 王蕾, 张宏, 哈斯, 等. 基于冠幅直径和植株高度的灌木地上生物量估测方法研究 [J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 40(5): 700 - 704 ]
- [22] Li Yanqiong, Zheng Shaowei, Gong Gutang, et al. Biomass and its allocation of undergrowth *Vitex negundo* L. in different age classes of mixed cypress forest [J]. *Acta Ecology Sincia*, 2010, 30(11): 2809 - 2818 [ 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]
- [23] Zhao Chengyi, Song Yudong, Wang Yuchao, et al. Estimation of aboveground biomass of desert plants[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 49–52 [赵成义, 宋郁东, 王玉潮, 等. 几种荒漠植物地上生物量估算的初步研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 49–52]
- [24] Zhang Xiuyu, Xu Zhencheng, Song Weiwei, et al. Selection of quadrat for biomass harvesting and model of Eupatorium denophorum in Xishuangbanna[J]. Prataculture Science, 2010, 27(10): 85–90 [张修玉, 徐振成, 宋巍巍, 等. 西双版纳紫茎泽兰生物量收获的样方选择与模型[J]. 草业科学, 2010, 27(10): 85–90]
- [25] Yang Kun, Guan Dongsheng. Selection of gaining quadrat for harvesting the undergrowth vegetation and its biomass estimation modeling in forest[J]. Acta Ecology Sincia, 2007, 27(2): 705–714 [杨昆, 管东生. 森林林下植被生物量收获的样方选择和模型[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 705–714]
- [26] Zeng Huiqing, Liu Qijing, Feng Zongwei, et al. Estimation models of understory shrub biomass and their applications in red soil hilly region[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(10): 2185–2190 [曾慧卿, 刘琪璟, 冯宗炜, 等. 红壤丘陵林区下灌木生物量估算模型的建立及其应用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2185–2190]
- [27] Zhao Zeying, Yue Yanbin, Nie Keyan, et al. Simulation analysis on geometrical parameters of pepper fruit based on biomass[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(3): 1005–1010 [赵泽英, 岳延滨, 聂可艳, 等. 基于生物量的辣椒果实几何参数模拟分析[J]. 西南农业学报, 2012, 25(3): 1005–1010]

## Estimation of Aboveground Biomass in an Alpine Meadow on the Eastern Qinghai – Tibetan Plateau

ZHANG Dianye, NIU Decao, CHEN Hongyang, ZHANG Yongchao, FU Hua

(State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, Gansu, China)

**Abstract:** It was essential to find a rapid and accurate way to get information of single species and community aboveground biomass of the grassland, which can provide technical support for the reasonable management of meadow. Based on the traditionally harvesting method which was usually used to measure aboveground biomass of the grassland and the single species' population characteristics, our research established biomass estimation models of different plants using the ecological characters such as the height, the coverage and the density, the whole research was accomplished in the alpine meadows at Maqu County Gansu, China which is located in the east of the Tibet Plateau. Some species such as Kobresia graminifolia, Elymus nutans, Allium sikkimense, their best biomass estimation models were the power function equation. As for the other species their best biomass estimation models were the linear equation except Saussurea hieracioides whose best model was the quadratic term equation. All of the estimation models provided good statistics, and the results showed that the correlation coefficients of species biomass between the estimated value and the measured value were greater than 0.9 while most species biomass' average relative errors were less than 10%. As for the community total biomass, the correlation coefficient between the estimated value and the measured value was 0.965; the average relative error was 5.672% with the relative error of most quadrat was less than 10%. Finally, we concluded that these estimated models were accurate, and could efficiently evaluate the aboveground biomass of the alpine meadows on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau.

**Key words:** alpine meadows; aboveground biomass; estimated models; ecological characters