

岷江上游干旱河谷引种番麻的生态适应性 及生物量预测模型

黎燕琼¹, 郑绍伟¹, 宿以明¹, 龚良春², 慕长龙^{1,*}

(1. 四川省林业科学研究院, 四川成都 610081; 2. 四川省阿坝州理县林业局, 四川理县 623100)

摘要:以岷江上游干旱河谷地区引种的番麻为研究对象, 通过对不同海拔番麻的株高、冠幅、单株叶片数以及萌芽数等生长指标的调查研究结果, 了解其在干旱河谷区的生长分布上限, 为该地区与类似地区引种该品种相关物种提供理论依据; 同时, 利用株高等简单生长指标与番麻生物量的关系进行拟合, 建立预测方程。通过高度、冠幅、单株叶片数、萌芽数(株/100m²)等生长指标比较表明, 番麻的最适生长区为海拔 1400 ~ 1500m。在干旱河谷阳坡的生长上限为海拔 1800m, 往上仅能成活, 不能自身繁殖。根据番麻的株高、冠幅、叶片数等简单生长指标与生物量呈显著相关($P < 0.01$), 分别建立了相应的回归模型, 其中地上生物量和单株生物量的最优回归模型 R^2 值均在 0.90 以上, 地下生物量的最优回归模型 R^2 值也在 0.75 以上。

关键词: 番麻; 生长概况; 生物量; 函数模型

文章编号: 1000-0933(2009)09-4820-07 中图分类号: Q141, Q145, Q948 文献标识码: A

Growth and allometric biomass equations of introduced *Agave americana* L. in upper reaches of Mingjiang River

LI Yan-Qiong¹, ZHENG Shao-Wei¹, SU Yi-Ming¹, GONG Liang-Chun², MU Chang-Long^{1,*}

1 Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China

2 Forestry Bureau of Lixian County, Lixian 623100, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4820 ~ 4826.

Abstract: *Agave americana* L., a drought-tolerant plant with high-value of medicinal use, was introduced to the arid valley of the upper reaches of the Mingjiang River in 2000. In order to evaluate its role in vegetation restoration and determine the optimal adaptation range in the area, plant traits such as height, crown diameter, leaf number and sprouts were measured along altitude ranging from 1400m to 2000 m for the purposes of assessing growth conditions and estimating above- and below-ground biomass. It was found that 1400 — 1500m above sea level is the optimal growing area of *Agave americana*. The mean height, crown diameter, leaf number and sprouts in this altitude were up to 62.7 cm, 0.385 m², 22 blades, 27 buds, which are larger than those in other altitudes. The upper limit of *Agave americana* is 1800 m and it can only survive but not reproduce above this altitudinal limit. The biomass is significantly correlated with height, crown diameter and leaf number, which can be used for estimating above- and below-ground biomass through established allometric biomass equation.

Key Words: *Agave americana* L.; growth traits; biomass; allometric equation

岷江上游干旱河谷区年降雨量少, 季节分配不均, 干湿季明显, 蒸发量大, 土壤干旱缺水严重; 再加上频繁

基金项目: 国家“十一五”科技攻关资助项目(2006BAD03A03)

收稿日期: 2008-10-09; 修订日期: 2008-12-22

致谢: 非常感谢中国科学院地理科学与资源研究所石培礼老师对本文的大力帮助。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mucl2006@yahoo.com.cn

的地质灾害等使该区成为我国最困难的造林与植被恢复区域之一。本着“宜林则林,宜草则草”的原则,2000年,在干旱河谷及阳坡的造林困难地段,从攀枝花引入番麻。番麻(*Agave americana* L.),属龙舌兰科龙舌兰属,多年生木质草本,生命周期 15a 以上,原产中美洲,19 世纪传入中国。番麻适应性强,能耐风、寒、旱、瘠,对病虫害有较强抵抗力。其叶汁含有较多的海柯吉宁,可制可的松、强的松和地塞米松等药品,具有药用价值。本文通过对不同海拔番麻生长状况的调查分析,确定其在干旱河谷区生长范围和种植上限,为该区引种提供依据。由于番麻的地上生物量(叶片生物量)占单株生物量比重较大,本文还根据番麻生长性状与生物量关系,建立地上、地下以及单株生物量的简单预测模型,以评估引种栽培的成效;也为以后快捷、准确掌握番麻的生物量,并根据地上生物量与叶汁的比例(生长季节末期比例约为 1:4)估测叶片的汁液含量奠定基础。

采用数理统计中的回归建模方法建立灌木生物量与易测因子之间对应关系,相对直接收割法测定灌木的生物量更加便捷,且不对植物不产生破坏性,已越来越受到国内外学者的关注^[1,2]。目前国内外探讨较多的易测因子是植株高度和地径^[3,4]及冠幅直径^[5]。王庆锁^[6]采用冠幅直径和植株高度之积对生物量具有较好的预测性。Harniss^[7]采用植株高度和冠幅周长的幂函数方程比较好地估算了山艾(*sagebrush*)灌丛的叶量,而 Rittenhouse^[8]采用的是植株高度和冠幅直径的一元和二元对数回归方程。由此可知,建立灌丛生物量与简单易测的生长性状之间的回归关系,能够较好地反映和预测灌丛植被的生长及其适应性。

1 研究区概况

研究区位于岷江上游干旱河谷的中心地带——杂谷脑河支流理县薛城镇,地处 31°31.4′~31°32.4N′, 103°14.6′~103°15.5′E 之间。该区年均气温 11.0℃,≥0℃积温 3 800~4 500℃,无霜期 190d,≥10℃的活动积温 3 200~3 800℃,全年日照时数在 1 200~2 000h。年降水量为 500~700mm,主要集中在 5~9 月份。年蒸发量 1 400~2 000mm,蒸发量为降水量的 2~4 倍,土壤水分严重亏缺,年干燥度 1.6~2.5。土壤类型以山地褐土为主,pH 值 7.4~8.4。植物群落层次结构单一,均为灌草丛,具有叶小、多毛、具刺、深根、低矮或匍匐生长等典型旱生植被特征。主要灌丛有黄花亚菊灌丛(Form. *Ajania nubigena*)、白刺花灌丛(Form. *Sophora viciifolia*)、小马鞍叶羊蹄甲灌丛(Form. *Bauhinia faberi*)、铁杆蒿灌丛(Form. *Artemisia gmelinii*)、金花蚤草灌丛(Form. *Pulicaria chrysantha*)、中亚紫菀木(Form. *Asterothamnus centralasiaticus*)、刺旋花灌丛(Form. *Convolvulus tragacanthoides*)等;草本主要有糙野青茅(*Deyeuxia scabrescens*)、细柄草(*Capillipedium parviflorum*)、黑穗画眉草(*Eragrostis nigra*)、川藏蒲公英(*Taraxacum maurocarpum*)等。

研究区内土壤石砾含量高,肥力低、保水性差,土体十分干燥,有效水分极少,造林难度大。20 世纪末期该区栽植的辐射松、新银合欢、四倍体刺槐等,树木平均保存率不到 10%。结合当地生境,2000 年从攀枝花引种了番麻,沿杂谷脑干旱河谷以及理县薛城镇对面的阳坡上,以每隔海拔 80~100m,共种植了 5×666.7~6×666.7m²。

2 样地设置和研究方法

在番麻种植海拔范围(1400~2000m)内每隔 80~110m 设置一个样地(表 1),根据番麻的分布现况,每个样地调查 3 个 10 m×10 m 样方,测定番麻保存率、萌芽数(株/100m²)、冠幅(直径_{东西}×直径_{南北})、株高、单株叶片数等指标。每个样地内选择对角线上的番麻 25 株,分地上部分、地下部分称重,取样,7 个样地共调查 175 个样本。调查时间为 2005 年生长初期(4 月底)和生长季末(10 月初)两次调查。

分析与建模:将野外样品在实验室以 80℃烘干至恒重,计算组织含水量,根据鲜重和样方资料计算单株生物量。采用 EXCEL 对番麻的株高、冠幅、叶片数以及萌芽数进行统计,采用 SPSS12.0 的 Bivariate Correlation 分析法对株高、冠幅、叶片数与番麻单株生物量的相关性进行分析,同时利用 Curve Estimation 分析法分别对株高与生物量、冠幅与生物量、叶片数与生物量进行拟合,建立生物量估测回归方程,比较各方程判别系数(R^2)大小,选出拟合较好、关系密切的模型作为生物量的估算模型,并以实测值与估计值间的相对误差进行精度检验。回归模型采用一次函数 $y = a + bx$ 、二次函数 $y = a + bx + cx^2$ 、三次函数 $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ 、对数函数 $y = a + b \ln x$ 、幂函数 $y = ax^b$ 、指数函数 $y = ae^{bx}$ 等。

表 1 样点的基本情况

Table 1 The basic characteristics of sampling spot

样地号 Site number	海拔(m) Elevation	坡向 Slope face	坡度(°) Slope	坡位 Slope position	灌丛高度(cm) Height	灌丛盖度(%) Coverage	主要灌丛 Major shrub
1	1410	SE68°	36°	下	50	75	①②③④⑤
2	1520	SE154°	45°	下	40	70	②③⑤⑥
3	1610	SE138°	42°	下	45	50	①②③④⑤
4	1700	SE138°	42°	下	35	35	⑤⑥⑦
5	1780	SE153°	41°	中下	25	50	②③⑤⑧
6	1880	SE164°	34°	中下	30	45	③⑤⑥⑨
7	1980	SE157°	27°	中	20	45	②⑤⑥⑦⑨

①黄花亚菊 *A. nubigena*; ②白刺花 *Sophora davidiana*; ③小马鞍羊蹄甲 *Bauhinia faberi* var. *microphylla*; ④铁杆蒿 *Artemisia gmelinii*; ⑤中亚紫菀木 *Asterothamnus centralasiaticus*; ⑥刺旋花 *Convolvulus tragacanthoides*; ⑦金花蚤草 *Pulicaria chrysantha*; ⑧枸杞 *Lycium chinense* ⑨四川扁桃 *Amygdalus dehiscens*

精度检验采用总相对误差和平均相对误差绝对值二种方法进行双重检验:

平均相对误差 = $\Sigma (| (\text{实际值} - \text{估计值}) / \text{实际值} |) / N_{\text{样本数}} \times 100\%$

总相对误差 = $| (\Sigma \text{实际值} - \Sigma \text{估计值}) | / \Sigma \text{实际值} \times 100\%$

预测方程的相对误差越小越好,一般 <20% 即说明该方程比较符合实际^[9]。

3 结果与分析

3.1 番麻生长概况

图 1 是番麻的 4 月份和 10 月份的各项生长指标随海拔的变化图,检验结果表明均符合正态分布,以下均以平均值表示。从海拔梯度上,番麻的生长指标的变化趋势基本一致,表现为海拔 1500m 各生长指标数值最高,随着海拔高度增加,生长指标数值逐渐降低。4 月、10 月份,番麻株高(平均)最高分别达到 48.7、62.7cm,

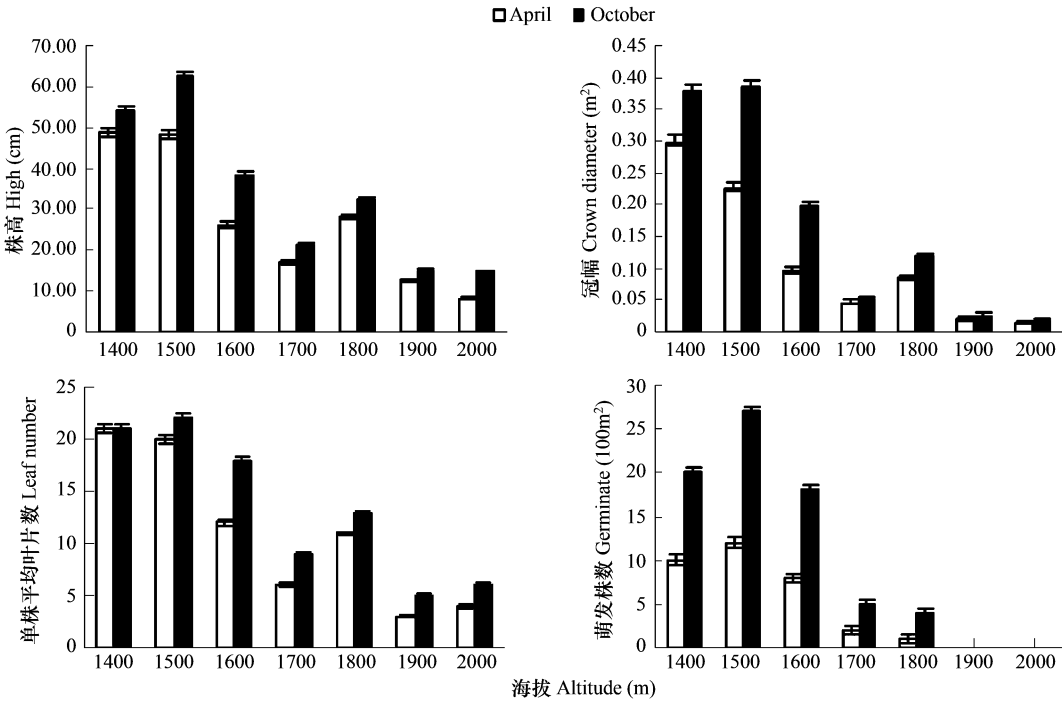


图 1 不同海拔上番麻的生长概况
Fig. 1 Growth traits of *Agave americana* L. in different altitudes

最低仅为 8.0、14.6cm,不同海拔的株高存在显著性差异($p < 0.05$);冠幅达到 0.297m²和 0.385m²,最低仅为 0.015、0.016m²,海拔 1400、1500m 番麻的(平均)冠幅与其它海拔存在显著性差异($p < 0.05$);单株叶片数最多的分别达到 21、22 片,最低仅为 3、5 片,海拔 1400、1500m 番麻的(平均)叶片数与其它海拔存在显著性差异($p < 0.05$);萌芽数(株)/100m²最高达到 12、27 株,在海拔 1900m 和 2000m,却没有发现萌发株。这说明无论生长季初还是生长季末番麻的生长性状都是海拔 1400 ~ 1500m 最高。

3.2 番麻单株生物量及其分配

图 2 是番麻生物量及分配图,经检验数据均符合正态分布,以下均以平均值表示。经检验,从海拔梯度上看,无论是 4 月份还是 10 月份,海拔 1400、1500m 番麻的地上、地下以及单株生物量与海拔 1600 ~ 2000m 有显著性差异($p < 0.05$);即海拔 1400 ~ 1500m 处的番麻番麻生物量(包括地上、地下)都显著高于 1600 ~ 2000m 海拔,1700m 及以上海拔番麻生物量显著降低。从番麻生物量分配上看,海拔 1400 ~ 1900m 与海拔 2000m 有显著性差异($p < 0.05$);在相对较低的海拔上,地上生物量占单株生物量的绝大比例,1400m 根/冠比显著低于其它海拔($p < 0.05$),2000m 根/冠比达到最高。在海拔 1400m,4 月份和 10 月份的地上生物量分别占到 95%、96%;而到了海拔 2000m,地上生物量所占比例最低,根/冠比 4 月份和 10 月份分别为 52%、76%。

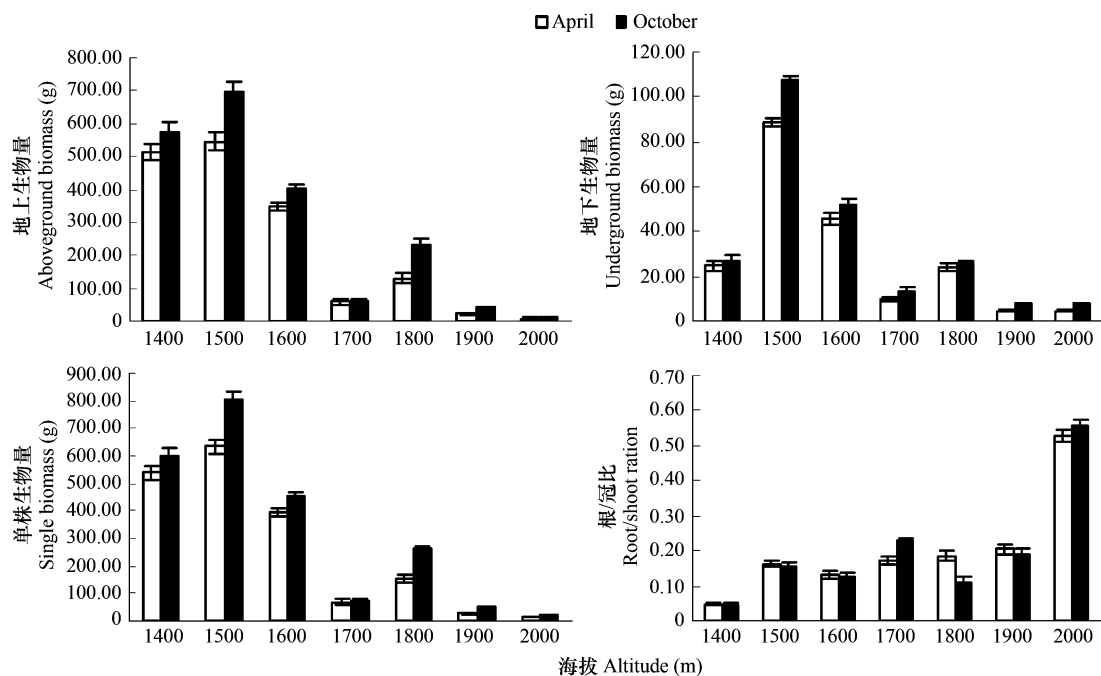


图 2 番麻单株生物量及其分配

Fig. 2 Biomass and its allocation of *Agave americana* L. in different altitudes

3.3 番麻生物量估算指标的筛选

番麻生长指标与单株生物量相关系数(表 2)表明,株高、叶片数、冠幅、萌芽数与番麻生物量均呈极显著性正相关。其中地上生物量与总生物量的相关系数最大,达到 0.998;其次,株高、冠幅、叶片数与地上生物量的相关系数较大,最高达到 0.970;株高、叶片数、冠幅、萌芽数与单株生物量的相关系数也较大,分布范围在 0.877 ~ 0.967;株高、冠幅、叶片数与地下生物量的相关性依然显著,只是略低于地上部分的相关性,分布范围在 0.691 ~ 0.783;萌芽数与地下生物量呈显著性相关,相关系数为 0.711,故本文采用株高、冠幅和叶片数等作为预测生物量的指标。因高海拔(1900、2000m)没有萌芽株,不考虑萌芽株与番麻生物量的关系。不同海拔番麻的株高、叶片数等生长指标和生物量均与海拔梯度呈显著性负相关,且因本文在选择不同海拔梯度时,是以坡向、坡位、立地质量等基本一致为前提,故采用树高、冠幅等预测生物量时采用了海拔梯度上所有的样本。

表 2 番麻生物量与生长指标相关系数矩阵

Table 2 The correlation matrix of *Agave* biomass and growth traits

项目 Item	海拔 Altitude	株高 High	叶片数 Leaf number	冠幅 Crown diameter	萌芽数 Germinate	地下生物量 Underground biomass	地上生物量 Aboveground biomass
株高	-0.877 **	1					
叶片数	-0.899 **	0.977 **	1				
冠幅	-0.872 **	0.974 **	0.945 **	1			
萌芽数	-0.713 *	0.853 **	0.823 **	0.875 **	1		
地下生物量	-0.623 *	0.783 **	0.755 **	0.691 **	0.711 *	1	
地上生物量	-0.893 **	0.970 **	0.966 **	0.957 **	0.872 **	0.821 **	1
单株生物量	-0.879 **	0.967 **	0.959 **	0.944 **	0.877 **	0.857 **	0.998 **

* * Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

3.4 番麻生长指标与生物量的回归分析

株高、叶片数、冠幅以及冠幅×株高分别与番麻生物量的回归分析(表3)研究结果表明,地上生物量与单株生物量的最优回归模型的 R^2 值较高,均在0.9以上,且利用几个不同生长指标得到模型的 R^2 值变化幅度不大,在0.005~0.011和0.016~0.027之间。地下生物量最优回归模型则以单独利用冠幅回归的 R^2 值和 F 值最小,分别为0.772和40.543;以叶片数进行回归的 R^2 值和 F 值最高,分别为0.826和56.899。从精度检验结果看,株高对番麻地上、地下以及单株生物量的几种估测模型中,相对误差均<20%,表明这些拟合模型符合要求。

表 3 生物量与生长指标的最优回归估测模型与精度检验

Table 3 The optimal estimation models and accuracy test of biomass

指标 Indexes	最优模型 Optimal estimation models	X	R^2	N	F	p	U_1	U_2
株高 High	$W_1 = -24.801 - 1.664x + 0.4787x^2 - 0.004x^3$	10.5~67.5	0.947	175	59.21	0.00	0.02	0.00
	$W_2 = 0.1724x^{1.464}$	(cm)	0.804		49.12	0.00	0.32	10.81
	$W = -66.207 + 3.830x + 0.330x^2 - 0.003x^3$		0.937		49.56	0.00	0.01	0.00
叶片数 Leaf number	$W_1 = -28.138 + 6.59x + 1.072x^2$	3~22	0.953	175	110.20	0.00	0.03	0.02
	$W_2 = 0.849x^{1.368}$	(片)	0.826		56.90	0.00	0.28	11.50
冠幅 Crown diameter	$W = -32.695 + 8.821x + 1.118x^2$		0.938		82.77	0.00	0.02	0.02
	$W_1 = 0.0287x^{1.2544}$	150~3850	0.948	175	220.17	0.00	0.01	3.46
	$W_2 = 0.1177x^{0.768}$	(cm ²)	0.772		40.54	0.00	0.38	11.43
冠幅×株高 (C^2H)	$W = 0.0563x^{1.1757}$		0.950		229.65	0.00	0.00	0.00
	$W_1 = -4.563 + 0.0098x^{-6} \times 10^{-8}x^2 + 1.4 \times 10^{-13}x^3$	1200~250000	0.958	175	76.09	0.00	0.02	0.00
	$W_2 = 0.1275x^{0.509}$	(cm ³)	0.791		45.30	0.00	0.35	10.80
	$W = 0.0689x^{0.772}$		0.954		250.54	0.00	0.01	3.76

U_1 :平均相对误差% average relative error; U_2 :总相对误差% total relative error; W_1 :地上生物量 aboveground biomass (g); W_2 :地下生物量 underground biomass (g); W :单株生物量 single plant biomass (g)

4 结论与讨论

无论是在生长季初的5月份还是在生长季末的10月份,番麻的单株高度、冠幅、叶片数、萌芽数等生长指标最大值都出现在海拔1400~1500m,在此范围内气候比较干暖,这是岷江干旱河谷番麻生长的最适海拔。由于岷江上游干旱河谷受“焚风”效应的影响,导致土壤水分亏缺,尤其在河谷中心地段“焚风”作用相对较强,其土壤水分条件较差,植物的生长会受到抑制。随着海拔的升高,“焚风”作用有所降低,虽然土壤水分条件逐步得到改善,但随海拔增加温度可能成为喜暖植物生长的限制因子^[10];在海拔1400~1500m的河谷下

部,则因土壤土层相对较厚,以及临近河流的影响,蒸腾作用相对较弱,“焚风”作用降低,土壤含水量最高。而在海拔 1600m 和 1700m 受到强烈“焚风”的影响土壤含水量最低,海拔 1900、2000m 次之^[11]。即中部海拔对番麻的水分胁迫较高,抑制了其生长,这导致了海拔 1600m 以上番麻生物量及其生长指标的显著降低。海拔 1800m 以上随土壤水分的改善,虽然番麻的株高和叶片数降低较慢,但萌芽数显著降低,导致了生物量的整体降低(图 1)。另一方面,随着海拔高度的增加,温度成为其生长的主要限制因子。番麻耐旱性强,生长温度为 15~25℃。根据 2003~2006 年观测结果表明干旱河谷海拔 1400~1500m 范围的年平均温 12.7~15.1℃,按照一般气温随着高度递减率 0.6℃/100m 计算^[12,13],海拔 2000m 较海拔 1400m 气温降低了近 4℃,低温抑制了高海拔番麻的生长,对地上部分生物量的抑制特别明显。从地上、地下生物量分配看,番麻为多年生草本植物,地上生物量占总生物量的绝大部分。从干旱河谷区番麻的生长概况与生物量分配上看,番麻的最适合生长地区应该在海拔 1400~1500m,即河谷底部,水分状况相对较好,温度相对较高的地区;在高海拔 1900~2000m 地区,番麻仅能成活,不能自我繁殖,即不适合其生长。

利用收割法对灌木的生物量进行研究,有很大的不确定性,因为其分布常常不均匀,取样数量难满足统计学大样本要求。生物量的数学预测模型建立以后,只需在现地抽样调查模型中简单易测的因子,代入模型就能计算出它的生物量。该方法精度高,减少大量繁琐工作,也不必砍伐植物,避免再次破坏植被,这在植被稀少、建立人工植被困难、生态系统脆弱的干旱河谷地区更具有实用价值。Paton D. 等的研究指出生物量估测参数的选择与灌木形态关系密切相关^[14],曾慧卿^[5]研究也指出影响灌木形态的因素-幅和植株高度,将影响估测模型的精度从番麻的形态上看,它近似半球形。从番麻地上、单株的生物量与易测因子株高、冠幅、叶片数的相关系数大,但差别很小,范围在 0.957~0.970 和 0.944~0.967 之间;株高、冠幅、叶片数均为影响其生物量的重要形态因子。采用株高等单生长指标来估测生物量取得较高精度,也正是反映了番麻近似半球形的特征。

本研究结果表明:生物量模型以二次函数 $W = a + bx + cx^2$ 、三次函数 $W = a + bx + cx^2 + dx^3$ 和幂函数 $W = aX^b$ 这 3 种方程表现最佳。采用单因子(株高、叶片数、冠幅)较采用复合因子(冠幅 $\times$ 株高)对其生物量的回归估测模型的 R^2 值变化不大。冠幅与株高的组合建立灌木生物量回归估测模型具有较高的准确性并得到理想的结果在以往的研究中已经被证明^[1,8]。这说明可以采用单因子株高、冠幅对灌木和高大木质草本植物的生物量进行简单预测。

References:

- [1] Zhao C Y, Shong Y D, Wang Y Z, *et al.* Estimation of aboveground biomass of desert plants. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1): 49-52.
- [2] Pen X Y. Study on the Biomass Model of *Cunninghamia Lanceolata* Plantations in Northern Fujian. *Fujian Agriculture and Forestry University*, Doctoral dissertation, 2007.
- [3] Haase R, Haase P. Above-ground biomass estimates for invasive trees and shrubs in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 1995, 73: 29-35.
- [4] Sah J P, Ross M S, Koptur S, *et al.* Estimating aboveground biomass of broadleaved woody plants in the understory of Florida keys pine forests. *Forest Ecology and Management*, 2004, 203: 319-329.
- [5] Zheng H Q, Liu Q J, Ma Z Q, *et al.* The Regression Model of *Loropetalum chinense* Biomass Based on Canopy Diameter and Plant Height. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*: 2006, 4(30): 101-104.
- [6] Wang Q S. Quantitative Models of Estimating Biomass of *Artemisia ordosica* and *caragana inter-media*. *Grassland of China*, 1994, (1): 49-51.
- [7] Harniss R O, Murray R B. Reducing bias in dry leaf weight estimates of big sagebrush. *Journal of Range Management*, 1976, 29: 430-432.
- [8] Rittenhouse L R, Sneva F A. A technique for estimating big sagebrush production. *Journal of Range Management*, 1977, 30(1): 68-70.
- [9] Cai Z, Liu Q J, OuYang Q L. Estimation model for biomass of shrubs in Qianyanzhou experiment station. *Journal of Central South Forestry University*, 2006, 26(3): 15-18.
- [10] Liu G H, Ma K M, Fu B J, *et al.* Aboveground biomass of main shrubs in dry valley of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1758-1764.

- [11] Yan D B, Yue Y J, Zheng S W, *et al.* Soil water content and its dynamics in arid river valley region in Upper Reaches of Minjiang River. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2006, 30(4): 64–68.
- [12] Cheng G J, Tu J J, Fan H, *et al.* Ecological construction of theory and practice in Upper Reaches of Minjiang River. Chongqing: Southwest Normal University Press, 2006.
- [13] Yang Y P, Li C B. *forestry of SiChuan*. Beijing: Forestry Press of China, 1992.
- [14] Paton D, Nuñez J, Bao D, *et al.* Forage biomass of 22 shrub species from Monfragüe Natural Park (SW Spain) assessed by log-log regression models. *Journal of Arid Environments*, 2002, 52: 223–231.

参考文献:

- [1] 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. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 49~52.
- [2] 彭小勇. 闽北杉木人工林地上部分生物量模型的研究. 福建农林大学, 博士论文, 2007.
- [5] 曾慧卿, 刘琪璟, 马泽清, 曾珍英. 基于冠幅及植株高度的灌木生物量回归模型. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2006, 4(30): 101~104.
- [6] 王庆锁. 油蒿、中间锦鸡儿生物量估测模式. *中国草地*, 1994, (1): 49~51.
- [9] 蔡哲, 刘琪珠, 欧阳球林. 千烟洲试验区几种灌木生物量估算模型的研究. *中南林学院学报*, 2006, 26(3): 15~18.
- [10] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 等. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究. *生态学报*, 2003, 23(9): 1758~1764.
- [11] 严代碧, 岳永杰, 郑绍伟, 等. 岷江上游干旱河谷区土壤水分含量及其动态. *南京林业大学学报*, 2006, 30(4): 64~68.
- [12] 陈国阶, 涂建军, 樊宏, 等. 岷江上游生态建设的理论与实践. 重庆: 西南师范大学出版社, 2006.
- [13] 杨玉坡, 李承彪. *四川森林*. 北京: 中国林业出版社, 1992.