

青藏高原 16 个灌木树种苗期生长特性研究

杜 坤¹,王军辉^{2*},贾子瑞²,张会军¹

(1. 甘肃小陇山林业科学研究所,甘肃 天水 741022;2. 中国林业科学研究院林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室,北京 100091)

摘 要:以青藏高原 16 个灌木树种的苗木为研究对象,用固定样株定期观测的方法,观测苗高生长节律,建立苗高生长的 Logistic 曲线方程,并结合观测时段内的气象资料计算出进入速生期的日最低气温阈值。结果表明:16 个灌木树种的苗高生长期、速生期、进入速生期的日最低气温阈值分别为:红砂 111 d、42 d、12.5℃;黄花木 121 d、71 d、14.7℃;沙棘 121 d、60 d、12.5℃;驼绒藜 127 d、49 d、12.5℃;唐古特莢 129 d、62 d、17.1℃;梭梭 130 d、36 d、11.7℃;鲜卑花 133 d、36 d、13.0℃;山蚂蝗 133 d、45 d、13.2℃;砂生槐 134 d、55 d、17.1℃;白刺花 137 d、71 d、17.1℃;金露梅 137 d、57 d、14.3℃;霸王 137 d、59 d、11.2℃;江孜沙棘 152 d、57 d、17.0℃;尼泊尔锦鸡儿 155 d、56 d、13.5℃;云南沙棘 159 d、52 d、14.0℃;锦鸡儿 169 d、68 d、12.5℃。依据生长期和进入速生期的日最低气温阈值提出短生长期和低阈值的红砂、霸王和梭梭可用于寒冷干旱的荒漠或半荒漠区的生态恢复;中等生长期和中等阈值沙棘、驼绒藜、鲜卑花,山蚂蝗,金露梅,黄花木可用于温凉干旱气候的生态恢复;长生长期或高阈值的江孜沙棘,唐古特莢、锦鸡儿、尼泊尔锦鸡儿、云南沙棘、白刺花和砂生槐则适宜于温凉干燥气候的生态恢复。

关键词:Logistic 曲线方程;生长期;速生期;日最低气温阈值

中图分类号:S718.43 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)05-0007-05

Growth Characteristics of 16 Shrub Species at Seedling Stage in the Qinghai-Tibet Plateau

DU Kun¹, WANG Jun-hui^{2*}, JIA Zi-rui², ZHANG Hui-jun¹

(1. Research Institute of Forestry of Xiaolongshan, Tianshui, Gansu 741022, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Growth characteristics of 16 shrub species growing at seedling stage in the Qinghai-Tibet Plateau were studied by the method of regular observation for site fixed individuals. The rhythm of the growth of seedling height was observed, and related Logistic curve equation was established. The daily minimum temperature threshold at fast-growing period was calculated combining with the weather data at observation period. Three data related to each species were obtained respectively, such as duration of seedling height growth, fast-growing period, and daily minimum temperature threshold: *Reaumuria songarica*: 111 d, 42 d, and 12.5℃; *Piptanthus concolor*: 121 d, 71 d, and 14.7℃; *Hippophae rhamnoides*: 121 d, 60 d, and 12.5℃; *Ceratoides lateans*: 127 d, 49 d, and 12.5℃; *Caryopteris tangutica*: 129 d, 62 d, and 17.1℃; *Haloxylon mmodendron*: 130 d, 36 d, and 11.7℃; *Sibiraea laevigata*: 133 d, 36 d, and 13.0℃; *Psilopeganum sinense*: 133 d, 45 d, and 13.2℃; *Sophora moorcroftiana*: 134 d, 55 d, and 17.1℃; *Sophora davidii*: 137 d, 71 d, and 17.1℃; *Potentilla fruticosa*: 137 d, 57 d, and 14.3℃; *Sarcozygium xanthoxylon*: 137 d, 59 d, and 11.2℃; *Hippophae gyantsensis*: 152 d, 57 d, and 17.0℃; *Caragana sukiensis*: 155 d, 56 d, 13.5℃; *Hippophae rhamnoides* subsp. *yunnanensis*: 159 d, 52 d, 14.0℃; *Caragana chinghaiensis*: 169 d,

收稿日期:2014-01-22 修回日期:2014-03-18
基金项目:林业公益性行业科研专项“青藏高原干旱地区灌木树种选育研究”(200904033)。
作者简介:杜坤,男,林业高级工程师,研究方向:林业种苗。
* 通信作者:王军辉,研究员,博士生导师,研究方向:云杉、楸树遗传育种和青藏高原干旱地区灌木树种。E-mail:wangjh808@sina.com

68 d, and 12.5℃. Based on the three data, shrub species suitable to be used for ecological restoration in different regions were suggested. Species with short growing period and low threshold temperature would be suitable for the arid and semi-arid areas with cold and dry climate; *R. songarica*, *S. xanthoxylon* and *H. mmodendron*; *H. rhamnoides*, *C. lateens*, *S. laevigata*, *P. sinense*, *P. fruticosa* and *P. concolor* that had medium growing period and temperature threshold would be suitable for the arid areas with moderate climate; *H. gyantsensis*, *C. tangutica*, *C. chinghaiensis*, *C. sukiensis*, *H. rhamnoides* subsp. *yunnanensis*, *S. davidii* and *S. moorcroftiana* with long growing period and high temperature threshold would be the choice for at the areas with cool and dry climate.

Key words: the Logistic curve equation; growing period; fast-growing period; daily minimum temperature threshold

青藏高原作为地球“第三极”是气候变化的敏感区^[1-2],它的存在对其本身和毗邻地区的自然环境和人类活动,甚至对全球环境变化都有深刻的影响^[3]。是全国生物多样性最富集的地区之一,国内学者对其研究多集中于种类地理分布、区系成分^[4-5]等方面。而对这些植物在植被恢复和重建中的适应性、育苗、造林等配套栽培技术研究较少。仅对砂生槐天然群居遗传多样性^[6]、不同种源种子及幼苗生长变异^[7]、保护对策^[8]等进行了研究,唐古特莢对扦插基质进行了研究^[9]、梭梭对容器育苗技术^[10]、根系分布特征对不同灌溉量的响应^[11]进行了研究、而沙棘研究比较多^[12],而大多数青藏高原灌木树种的生长特性研究未见报导。本研究在相同栽培条件下对16个灌木树种采用固定样株,隔15 d观测1次苗高

生长量,并观测同期的气温,以研究各树种的生物学及生长特性,同时首次在生长特性分析中引入气温阈值(threshold)的观点,分析各树种进入速生期的气温阈值,为在不同地域生长的树种提供了解其生长特性的依据。其目的是为16个灌木树种苗木培育技术提供理论依据,提出各树种的适生生态位,为青藏高原不同生态区、不同立地条件植被恢复的树种选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及来源

试验材料为采集于青藏高原干旱地区的16个灌木树种的种子,各树种产地及种子性状见表1。

表 1 参试树种及种子性状

Table 1 The tested trees and seed traits

树种	产地	种子性状			
		千粒重/g	长度均值/cm	宽度均值/cm	形态
山蚂蝗 <i>Desmodium racemosum</i>	西藏日喀则	6.5	0.36	0.21	扁肾形,黑色蜡质
锦鸡儿 <i>Caragana chinghaiensis</i>	西藏拉萨	24.8	0.46	0.23	长卵圆形,外种皮蜡质光亮,灰褐色至褐色,具黑褐色的斑纹
尼泊尔锦鸡儿 <i>Caragana sukiensis</i>	西藏拉萨	21.0	0.46	0.26	长卵圆形或圆柱形,黑褐色或淡绿褐色
黄花木 <i>Piptanthus concolor</i>	西藏山南	59.1	0.62	0.46	肾形,深褐色,蜡质,硬,种脐明显
唐古特莢 <i>Caryopteris tangutica</i>	青海	0.7	0.3	0.19	扁卵圆形至倒三角形,种皮褐色或浅绿黄色
梭梭 <i>Haloxylon mmodendron</i>	青海	3.8	0.26	0.25	扁圆形、一面有凹陷、褐色
霸王 <i>Sarcozygium xanthoxylon</i>	青海	17.8	0.83	0.31	扁肾形、外被黄色绒毛、褐色
鲜卑花 <i>Sibiraea laevigata</i>	青海	1.05	0.22	0.17	扁卵圆形、浅褐色、种皮腊质、坚硬
砂生槐 <i>Sophora moorcroftiana</i>	西藏拉萨	37.6	0.45	0.35	淡黄色或淡绿黄色
白刺花 <i>Sophora davidii</i>	西藏昌都	23.5	0.41	0.29	圆柱形或近肾形,淡黄色
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	西藏林芝	7.5	0.49	0.24	肾形,深褐色,种脐明显
江孜沙棘 <i>Hippophae gyantsensis</i>	西藏昌都	7.8	0.38	0.20	圆柱形或近肾形,淡黄色
云南沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>Yunnanensis</i>	西藏昌都	8.0	0.36	0.21	圆柱形或近肾形,淡黄色
红砂 <i>Reaumuria songarica</i>	青海	种子细小未测定长、宽、千粒重			长卵圆形,白色,一端密被长柔毛
驼绒藜 <i>Ceratoides latens</i>	青海	种子细小未测定长、宽、千粒重			椭圆形或倒卵形,淡黄色,长不到0.1 cm,外被长柔毛
金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	青海	种子细小未测定长、宽、千粒重			瘦果卵形,棕褐色,长约0.1 cm,外被长柔毛

1.2 试验点概况

试验地设置于甘肃小陇山林科所的培育圃,地理纬度 105°54′37″E、34°28′50″N,海拔 1 160 m,年降雨量 600~800 mm,年蒸发量 1 290.0 mm,年平均气温 10.7℃,≥10℃积温 3 359.0℃,极端高温 39℃,极端低温-19.2℃,无霜期 190 d。

1.3 试验方法

采用径 10 cm×高 18 cm 黑色塑料容器袋装填人工组配的基质,即田园土、泥炭土和鸡粪(3 种成分按比例为 8:1.5:0.5 配制,配制后每 m³ 再配入 1 kg 硫酸亚铁和 500 g 多菌灵进行杀菌消毒),作为培育苗木的载体,于 2010 年 3 月份装填容器。每个树种种子均未进行前期处理,播前根据其各自的生物学特性进行处理催芽,至约有 1/3 种子裂口或胚根伸出种皮时进行播种,每袋播 2~3 粒,长出 2~3 片真叶时定苗,每袋保留 1 株健壮的幼苗。6、7、8 月中旬各施追肥 1 次,追肥为尿素,施肥量每千袋 2 kg。

苗木出齐后,每个树种固定 24 株为观测对象,每隔 15 d 观测 1 次苗高,至高生长停止结束观测。

1.4 统计分析方法

用 Logistic 曲线方程进行苗高生长节律的拟合,方程为 $y = \frac{k}{1+ae^{-bx}}$,式中, y 为苗高生长量, x 为生长时间, K 为生长极限, a 、 b 为待定的常数。以每次观测的苗高为 y ,把各树种高生长开始的日期界定为起点,将以后每次观测的日期型数据以第 1 次高生长测定的日期为起点变成数值型数据,求出 K 、 a 、 b 。运用 $\chi^2 = \sum_i \frac{(Q_i - E_i)^2}{E_i}$,进行拟合优度测

验。计算 Logistic 生长速度函数的一阶、二阶导数, $t_1 = \frac{\ln a - 1.317}{b}$, $t_3 = \frac{\ln a + 1.317}{b}$,计算出 2 个拐点,可将 16 个灌木树种的苗高生长过程分为渐增期(=高生长开始期- t_1)、速生期= $t_3 - t_1$ 、缓增期= t_3 - 高生长停止期^[13-14]。

气温利用甘肃小陇山林科所气象站观测的试验期内相应时段的资料。

2 结果与分析

2.1 苗高生长期

16 个灌木树种苗高生长拟合方程、优度测验及特征值见表 2。在拟合方程中, R^2 均>0.9, $p=0.000 1$ 达到统计学的极显著水平,相关性高,拟合优度测验 16 个树种 $\chi^2 < \chi^2_{0.05}$,预测值与实际值吻合,能够反映出各树种苗高生长的特性。

16 个灌木树种虽然处在相同的气候、环境下生长,但各树种苗高和生长期长度表现出极大的差异性(表 2)。苗高生长期最长的锦鸡儿为 169 d,最短的红砂,生长期仅为 111 d,2 个树种相差 59 d,多数树种变动在 121~137 d 间。按苗高生长期长度可将这 16 个灌木树种分成长生长期的树种:锦鸡儿 169 d、尼泊尔锦鸡儿 155 d、云南沙棘 159 d、江孜沙棘 152 d。中等生长期树种:山蚂蝗 133 d、黄花木 121 d、唐古特菰 129 d、梭梭 130 d、驼绒藜 127 d、霸王 137 d、鲜卑花 133 d、金露梅 137 d、沙棘 121 d、白刺花 137 d、砂生槐 134 d 等。短生长期的树种红砂 111 d。

表 2 16 个灌木树种容器苗高生长方程拟合优度测验及特征值

树种		拟合方程	拟合优度测验			高生长特征值/d			
			R^2	F	p	t_1	t_3	生长期	苗高/cm
锦鸡儿		$y=52.16/(1+31.00 * \text{EXP}(-0.039 0 * x))$	0.999 1	3 791.74	0.000 1	54	122	169	49.8
云南沙棘		$y=38.04/(1+72.90 * \text{EXP}(-0.047 9 * x))$	0.999 2	4 450.45	0.000 1	62	117	159	37.3
尼泊尔锦鸡儿		$y=49.53/(1+39.24 * \text{EXP}(-0.047 2 * x))$	0.999 3	4 704.18	0.000 1	50	106	155	49.5
江孜沙棘		$y=35.26/(1+37.87 * \text{EXP}(-0.046 1 * x))$	0.999 5	6 661.86	0.000 1	50	107	152	33.7
霸王		$y=46.10/(1+9.88 * \text{EXP}(-0.044 4 * x))$	0.989 1	272.29	0.000 1	22	81	137	40.5
金露梅		$y=37.61/(1+18.81 * \text{EXP}(-0.046 2 * x))$	0.986 0	210.92	0.000 1	35	92	137	38.7
白刺花		$y=48.20/(1+19.57 * \text{EXP}(-0.037 0 * x))$	0.985 3	201.16	0.000 1	45	116	137	35.9
砂生槐		$y=42.17/(1+21.54 * \text{EXP}(-0.048 3 * x))$	0.997 6	1 442.8	0.000 1	36	91	134	31.8
山蚂蝗		$y=73.98/(1+67.28 * \text{EXP}(-0.059 7 * x))$	0.993 9	57.48	0.000 1	48	93	133	70.0
鲜卑花		$y=43.04/(1+92.44 * \text{EXP}(-0.073 2 * x))$	0.997 3	1 109.97	0.000 1	44	80	133	39.7
梭梭		$y=48.74/(1+52.89 * \text{EXP}(-0.072 1 * x))$	0.991 5	350.54	0.000 1	37	73	130	44.8
唐古特菰		$y=52.47/(1+26.85 * \text{EXP}(-0.042 1 * x))$	0.993 8	478.05	0.000 1	47	109	129	46.8
驼绒藜		$y=51.00/(1+11.48 * \text{EXP}(-0.053 8 * x))$	0.993 6	463.27	0.000 1	21	70	127	42.5
黄花木		$y=50.41/(1+13.63 * \text{EXP}(-0.037 6 * x))$	0.991 4	347.57	0.000 1	34	105	121	48.3
沙棘		$y=42.08/(1+14.10 * \text{EXP}(-0.043 4 * x))$	0.994 1	507.30	0.000 1	31	91	121	37.9
红砂		$y=20.76/(1+36.91 * \text{EXP}(-0.062 4 * x))$	0.997 1	676.74	0.000 1	37	79	111	16.8

2.2 苗高速生期

由表 3 可以看出,速生期长度 16 个树种间差异较大,速生期最长的是黄花木和白刺花为 71 d、最短的梭梭和鲜卑花仅为 36 d。按相差 10 d 为一个时段可将其分为短速生期(36~45 d)树种,有梭梭、鲜卑花、红砂、山蚂蝗 4 个树种,速生期占总生长期的比率<33.8%;中速生期(46~55 d)树种,有驼绒藜、云南沙棘、砂生槐;较长速生期(56~70 d)树种,

有尼泊尔锦鸡儿、锦鸡儿、唐古特莢、霸王、金露梅、沙棘、江孜沙棘;长速生期(70 d 以上)树种。有黄花木和白刺花,速生期占总生长期的比率>51.8%。

速生期生长量占总生长量比率在各树种间也表现出较大的差异;高的树种比率高达 66.4%其中;低的树种仅为 47.7%,反映出树种间高生长特性的差异。

表 3 16 个灌木树种苗高年生长各阶段的特征值

Table 3 The eigenvalue at each stage of seedling height growth of 16 shrub species

树种	速生期/d	速生期 始期 t ₁ /d	速生期 结束期 t ₃ /d	速生期长占总 生长期的比率/%	速生期生长量占总 生长量比率/%	K/cm
山蚂蝗	45	7 月 22 日	9 月 5 日	33.8	47.7	71.3/26~104
锦鸡儿	68	6 月 24 日	8 月 31 日	40.2	57.0	49.9/22~70
尼泊尔锦鸡儿	56	7 月 2 日	8 月 27 日	36.1	61.3	48.1/14.4~69
黄花木	71	6 月 23 日	9 月 1 日	58.7	57.3	44.6/22~54
唐古特莢	62	7 月 6 日	9 月 6 日	48.1	62.1	46.7/28~61
梭梭	36	6 月 10 日	7 月 17 日	27.7	58.9	51.6/36~67
驼绒藜	49	6 月 16 日	8 月 2 日	38.5	56.3	51/38~65
霸王	59	6 月 14 日	8 月 1 日	43.1	52.3	45.9/18~70
鲜卑花	36	6 月 29 日	8 月 4 日	27.1	66.4	43.8/19~60
金露梅	57	6 月 20 日	8 月 14 日	41.6	55.7	36.6/23~50
沙棘	60	6 月 28 日	8 月 27 日	49.6	57.3	39.6/24~50
云南沙棘	52	7 月 10 日	9 月 3 日	32.7	57.1	36.6/24~57
白刺花	71	7 月 6 日	9 月 5 日	51.8	66.3	42.4/27~55
江孜沙棘	57	7 月 5 日	8 月 31 日	37.5	56.7	34.4/17~53
砂生槐	55	7 月 7 日	9 月 2 日	41.0	55.3	40.5/21~57
红砂	42	6 月 28 日	8 月 9 日	37.8	58.9	19.7/10~26

2.3 各树种苗高速生期的气温阈值

从表 3 可知,各树种的速生点 t₁ 和 t₃ 差异很大,具体反映在各树种进入速生期日期也有较大的差异(表 4)。由于每一年间的气候不尽相同,每一年进入速生期的日期也会出现差异,为了更能说明各树种的速生点,用气温与速生期的关系进行分析,以探讨各树种进入速生期的气温阈值(threshold),为在不同地域生长的树种提供了解其生长特性的依据。

用各树种速生期开始的日期为临界日期,统计此前 5 d 的日平均气温(A)、此前 5 d 中晴天日平均

气温(B)、此前 5 d 日最低气温(C)(表 4)。从表 4 可知,在所统计的 3 个温度指标中 5 d 的日平均气温(A)、5 天中晴天日平均气温(B)反映出比较混乱的信息,没有表达出树种生长与温度的关系,如云南沙棘开始速生期 7 月 10 日前 5 d 的日平均气温 20.1℃、前 5 d 中晴天的日平均气温 21.0℃,在 6 月 20 日时气温已达到这个水平,也未进入速生期,反映出树种对日均温不敏感,只有进入速生期前 5 d 日最低气温(C)能够较好地表达进入速生期的指示温度。

表 4 16 个灌木树种速生始期前 5 d 3 种日温度统计

Table 4 The temperature statistics of the first 5 days at the beginning of fast-growing period of 16 shrub species

树种	速生始期	A/℃	B/℃	C/℃	树种	速生始期	A/℃	B/℃	C/℃
山蚂蝗	7 月 22 日	23.0	23.0	13.2	鲜卑花	6 月 29 日	21.7	22.2	13.0
锦鸡儿	6 月 24 日	19.6	21.3	12.5	金露梅	6 月 20 日	20.2	21.2	14.3
尼泊尔锦鸡儿	7 月 2 日	22.7	22.7	13.5	沙棘	6 月 28 日	21.7	22.4	12.5
黄花木	6 月 23 日	19.4	21.2	14.7	云南沙棘	7 月 10 日	20.1	21.0	14.0
唐古特莢	7 月 6 日	22.1	22.6	17.1	白刺花	7 月 6 日	22.1	22.6	17.1
梭梭	6 月 10 日	19.4	19.4	11.7	江孜沙棘	7 月 5 日	23.1	22.6	17.0
驼绒藜	6 月 16 日	22.2	22.2	12.5	砂生槐	7 月 7 日	21.0	22.6	17.1
霸王	6 月 14 日	21.8	21.8	11.2	红砂	6 月 28 日	21.7	22.4	12.5

从而可得出 16 个树种进入速生期日最低气温的阈值,霸王为 11.2℃,梭梭 11.7℃,锦鸡儿、沙棘、

驼绒藜和红砂 12.5℃,鲜卑花 13.0℃,山蚂蝗 13.2℃,尼泊尔锦鸡儿 13.5℃,云南沙棘 14.0℃,金

露梅 14.3℃,黄花木 14.7℃,江孜沙棘 17.0℃,唐古特菰、白刺花和砂生槐 17.1℃。

3 结论与讨论

生长期的长短多决定着植物(尤其是树木)分布的北限。生长期越短,植物可生育的纬度和海拔高度也越高。从16个灌木树种的生长期可分类应用于青藏高原不同的气候类型区进行生态恢复,短生长期的树种红砂、梭梭、驼绒藜沙棘、黄花木可用于寒冷干旱气候区生态恢复,中等生长期的霸王、山蚂蝗、唐古特菰、鲜卑花、金露梅、白刺花、砂生槐可用于寒冷干旱一半干旱气候区的生态恢复,长生长期的树种锦鸡儿、尼泊尔锦鸡儿、云南沙棘、江孜沙棘可用于温凉干燥气候区的生态恢复^[15-16],这也与16个灌木树种的天然分布相吻合^[4]。

进入高生长速生期的日最低气温阈值虽与生长有一定的滞后性,但也能比较客观地反映出16个灌木树种的生长与温度间的效应关系极生长的特性。如砂生槐、白刺花是同属树种其阈值均为17.1℃,在16个灌木树种中是最高的,这与其天然分布区的气候条件相关联,因为其天然分布于雅鲁藏布江中游海拔高度大致为3100~4100m的加查一拉孜段或则当一拉孜段的河谷、低山区沙砾上^[6],干旱、高温形成了日最低气温阈值高的特性。锦鸡儿、尼泊尔锦鸡儿日最低气温阈值分别为12.5℃和13.5℃虽是同属植物但不在同一个分布内^[17],尼泊尔锦鸡儿较锦鸡儿的天然分布区海拔低、纬度也低,因而形成了阈值较高。沙棘属的沙棘、云南沙棘、江孜沙棘日最低气温阈值分别为12.5℃、14.0℃、17.0℃,也与其天然分布有密切的关联。进入高生长速生期的日最低气温阈值也从另一个方面说明了树种的生长特性,低阈值的能在高海拔的干旱的环境下生长,高阈值的适宜于低海拔,阈值最低的霸王和梭梭可在寒冷干旱的荒漠或半荒漠区生长,阈值较低的锦鸡儿、沙棘、驼绒藜和红砂可在寒冷干旱气候区生长,阈值中等的鲜卑花,山蚂蝗,尼泊尔锦鸡儿,云南沙棘,金露梅,黄花木可在温凉半干旱气候区生长,阈值高的江孜沙棘,唐古特菰、白刺花和砂生槐则适宜于温凉干燥。

参考文献：

[1] KUTZBACH J E,PRELL W L, RUDDIMAN W F. Sensitivity of eurasian climate to surface uplift of the Tibetan plateau[J]. Journal of Geology,1993,101:177-190.

[2] 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.

YAO T D,ZHU L P. The response of environmental change-

son Tibetan plateau to global changes and adaptation strategy [J]. Advances in Earth Science,2006,21(5):459-464. (in Chinese)

[4] 许娟,张百平,谭靖,等. 青藏高原植被垂直带与气候因子的空间关系[J]. 山地学报,2009,27(6):663-670.

XU J,ZHANG B P,TAN J, *et al.* Spatial relationship between altitudinal vegetation belts and climatic factors in the Qinghai-Tibetan plateau[J]. Journal of Mountain Science,2009,27(6):663-670. (in Chinese)

[5] 田玉强,高琼,张智才,等. 青藏高原高寒草地植物光合与土壤呼吸研究进展[J]. 生态环境学报,2009,18(2):711-721.

TIAN Y Q, GAO Q, ZHANG Z C, *et al.* The advances in study on plant photosynthesis and soil respiration of alpine grasslands on the Tibetan plateau[J]. Ecology and Environmental Sciences,2009,18(2):711-721. (in Chinese)

[6] 赵阿曼,刘志民,康向阳,等. 西藏特有植物砂生槐天然居群遗传多样性研究[J]. 生物多样性,2003,11(2):91-99.

ZHAO A M,LIU Z M,KANG X Y, *et al.* Allozyme variation in *Sophora moorcroftiana*, an endemic species of Tibet, China [J]. Biodiversity Science,2003,11(2):91-99. (in Chinese)

[7] 杜坤,王军辉,贾子瑞,等. 不同种源砂生槐种子及幼苗生长变异研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(4):144-148.

DU K, WANG J H, JIA Z R, *et al.* Study on variation of seeds and seedling growth of *Sophora moorcroftiana* in different provenances[J]. Journal of Northwest Forestry University 2012,27(4),144-148. (in Chinese)

[8] 郭其强,罗大庆,方江平,等. 西藏砂生槐的研究现状及其利用与保护对策[J]. 西北林学院学报,2009,24(1):98-101.

GUO Q Q,LUO D Q,FANG J P, *et al.* Research Status,Utilization and protection measures of *Sophora moorcroftiana* in Tibet[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(1):98-101. (in Chinese)

[9] 段晓明,顾文毅,盛海彦. 不同基质对唐古特菰扦插容器育苗的影响[J]. 西北林学院学报,2009,24(6):62-64.

DUAN X M, GU W Y, SHENG H Y. Effect of container-grown seedlings of different media for *Caryopteris tangutica* cutting[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(6):62-64. (in Chinese)

[10] 常金宝,邹受益,周健荣. 梭梭容器育苗试验研究[J]. 内蒙古林学院学报,1995(2):96-104.

[11] 单立山,张希明,花永辉,等. 塔克拉玛干沙漠腹地梭梭幼苗根系分布特征对不同灌溉量的响应[J]. 植物生态学报,2007,31(5):769-776.

[12] 张建国. 沙棘属植物育种研究[M]. 北京:中国林业出版社,2010.

[13] 崔党群. Logistic 曲线方程的解析与拟合优度测验[J]. 数理统计与管理,2005,24(1):112-115.

[14] 杜坤,王军辉,马建伟,等. 不同基质对锐齿栎、栓皮栎和麻栎容器苗生长的影响[J]. 东北林业大学学报,2012(1):12-15.

[15] 西北师范大学地理系,地图出版社. 中国自然地理图集[Z]. 北京:地图出版社,1984:65.

[16] 琼次仁,田兴军,杨昌林,等. 西藏维管植物种数分布初探[J]. 西藏大学学报,2005,20(2):62-64.

[17] 牛西午. 中国锦鸡儿属植物资源研究——分布及分种描述[J]. 西北植物学报,1999,19(5):107-133.