

## 中国沙棘在中国亚热带低海拔地区 引种驯化试验的初步观察

李海涛<sup>1,2</sup>, 梁涛<sup>1</sup>, 朱璐平<sup>1</sup>, 徐双民<sup>3</sup>, 程火孙<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; <sup>2</sup>浙江农林大学国际生态研究中心, 杭州 311300;

<sup>3</sup>水利部水土保持中心, 北京 100038; <sup>4</sup>江西都昌县发改委, 江西都昌 332600)

**摘要:**中国沙棘是中国干旱荒漠区退化生态系统恢复与重建的重要树种。为了给沙棘北种南引提供参考, 笔者首次将中国沙棘引入中国亚热带低海拔地区, 通过引种栽培, 设置2个试验地, 采用2种埋深处理, 对试验地和埋深处理之间的成活率指标进行双因素固定效应模型检验, 并结合气象因子变化情况分析处理对沙棘成活率的影响。结果表明, 地形因素及埋深因素主要通过通过对不同环境因子的重新配置, 以对沙棘的成活率发生影响, 浅埋较之深埋种植具有更高的成活率。成活率从生长季之初的高于60%显著下降到14%~25%, 但仍然有沙棘的植株个体在试验区内成活。

**关键词:**中国沙棘; 引种驯化; 地形因素; 埋深因素

中图分类号: S722.7

文献标志码: A

论文编号: 2010-3614

### Preliminary Observation on the Introduction and Breeding of Chinese Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) in Subtropical Low Altitude Areas of China

Li Haitao<sup>1,2</sup>, Liang Tao<sup>1</sup>, Zhu Luping<sup>1</sup>, Xu Shuangmin<sup>3</sup>, Cheng Huosun<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;

<sup>2</sup>International Ecological Research Centers, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300;

<sup>3</sup>Soil and Water Conservation Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100038;

<sup>4</sup>Development and Reform Commission of Duchang County, Duchang Jiangxi 332600)

**Abstract:** Chinese sea buckthorn is an important tree species for the restoration and reconstruction of degraded ecosystems around China's arid zones. In order to provide references for introducing Chinese sea buckthorn from the north to the south of China, by breeding introduction and setting two trial sites and burial depth, the survival rate and influence mechanism were analyzed by fixed effect model testing. Topographic factors and burial depth produced effects on survival rate by reconfiguring of different environmental factors. The survival rate of shallowly buried seedlings was larger than that of deeply buried ones. Although the survival rate decreased from more than 60% at the early growth season to 14%–25% at the end of growing season, there were some plant individuals of Chinese sea buckthorn survived.

**Key words:** Chinese sea buckthorn; introduction and breeding; topographic factors; burial depth

### 0 引言

中国沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi) 是生长在中国暖温带及温带南缘半湿润气候下的中生或旱中生植物<sup>[1]</sup>。作为北方地区常见

的固沙先锋灌木、亚乔木树种, 沙棘具有抗风耐沙、耐干旱、耐水湿、耐盐碱瘠薄、耐酷暑低温的生态特性, 其根系具有根瘤, 可以从空气中固氮, 达到改良土壤的生态恢复效果<sup>[2-4]</sup>。此外, 沙棘还有很强的水保效益<sup>[5]</sup>。

基金项目: 国家科技支撑计划“国家科技支撑项目”(2007BAB23C03)。

第一作者简介: 李海涛, 男, 1968年出生, 山东荣成人, 副研究员, 博士后, 研究方向: 恢复生态学与生态系统生态学。通信地址: 100101 北京市朝阳区大屯路甲11号 中国科学院地理科学与资源研究所环境地理与人类健康室, Tel: 010-64888996, E-mail: haitaoli.bj@gmail.com。

收稿日期: 2010-12-15, 修回日期: 2011-03-31。

中国沙棘集生态效益、经济效益、社会效益于一体,是中国干旱荒漠区退化生态系统恢复与重建的重要树种<sup>[16]</sup>。近10年多来,沙棘在黄土高原干旱区和内蒙古毛乌素沙漠地区广泛种植,但在中国亚热带低海拔地区迄今未见自然分布和人工种植。为了给沙棘北种南引提供参考,2009年3月间,笔者结合国家科技支撑计划课题子专题“沙化土地与水土流失区治理技术与示范”,从内蒙古毛乌素沙漠引种,首次将中国沙棘引入长江以南亚热带低海拔地区,在鄱阳湖畔的江西省都昌县多宝乡进行野外种植试验,取得了初步成功。

根据廉永善、陈学林等的研究,中国沙棘生长发育所需要的各生态因子的最适范围是:年降水量500~600 mm,年太阳总辐射量为544.18~586.04 kJ,  $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的年积温为3500~4000 $^{\circ}\text{C}$ 。 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数为每年200~225天,土壤为较疏松的多砾石或沙性土壤<sup>[6]</sup>。根据都昌县气象站的记录,都昌县多宝乡沙山的气候和土壤情况基本符合上述条件。沙棘是一种耐旱、喜水、耐寒、喜沙壤性土壤的阳性落叶灌木。有的学者认为,沙棘是一种喜水湿的中生性植物<sup>[7]</sup>。前苏联学者曾经注意到沙棘根系明显的湿中生植物的形态特点,并指出据此可以将沙棘列入典型的中生植物,甚至中生水生植物<sup>[8]</sup>。由于目前沙棘主要生长于半干旱及半湿润地区,并且具有中生性的茎、叶结构和一定的旱生表皮结构特点,因此又有许多文献将其归为耐旱树种。沙棘起源于温暖而湿润的旧大陆温带古地中海沿岸,其原始形态属于湿生植物,经过长期的生态适应与自然选择,沙棘地上部分的形态结构逐渐表现出一定的旱生特点<sup>[1,6-7,9]</sup>。引种驯化的理论研究始于2500年前<sup>[10-11]</sup>,进入20世纪,现代引种驯化理论的研究空前活跃,涌现了许多学说<sup>[12-14]</sup>。其中,“生态历史分析法”提出,进行植物引种时应当分析被引种植物对象的区系起源,探究其生态历史变化特征,并以此作为确定适宜引种地区和制定栽培种植措施的根据,以求得引种成功<sup>[10]</sup>。气候相似性原则提出将植物引种到气候条件(主要是温度和湿度条件)相似的地方栽种,比较容易获得成功<sup>[13]</sup>。中国沙棘是克隆植物,当克隆植物暴露于空间异质性的环境中,其相互联结的无性系分株之间可以交换异质性分布的土壤养分和光合产物<sup>[15-16]</sup>,甚至还可以调节根冠之间的资源分配模式<sup>[17]</sup>,进而提高从斑块环境中获取资源的效率。

笔者在20世纪90年代新疆干旱荒漠区多年的生态学观察发现,梭梭等某些旱生植物,在水分供应充足时,往往表现出与较高的生产力相联系的旺盛生长。假如根据李比希的最小因子定律,中国沙棘在现有分

布区的生长主要受到水分分子的限制,那么,在长江以南降水丰沛的地区,将表现出更高的营养生长速率。因此,笔者期望沙棘在鄱阳湖区域的定居,将可能获得比现在分布区更好的发展。

## 1 当地气候条件概况

鄱阳湖地处中国亚热带季风湿润地区北部,为中国最大的淡水湖,它接纳赣江、信江、抚河、修水、饶河,最后经湖口注入长江,其周围间断分布着一系列砂山,主要集中在江西省湖口县、彭泽县、星子县、永修县、松门山岛与矶岛、都昌县多宝砂山以及新建县厚田乡附近的赣江西侧等地。湖滨砂山自然景观结构独特,因长期经受人活动产生的土地荒漠化,既非沙质荒漠化,也非水蚀荒漠化,朱震达等称之为土地风沙化,鄱阳湖滨沙地退化生态系统恰恰是此类情形。

### 1.1 引种地概况

都昌县多宝砂山位于鄱阳湖入江洪道右岸( $29^{\circ}21'22''$ — $29^{\circ}27'18''$  N,  $116^{\circ}3'—116^{\circ}7'42''$  E),海拔高度50~160 m,属亚热带温暖湿润气候,自然土壤以红壤、黄棕壤为主,在风的作用下退化为风沙土。砂山气温较高,雨量充沛,日照充足,无霜期长,春季多寒潮大风,夏季高温闷热多雨,秋季高温干旱,冬季寒冷。全年无霜期260天,年平均气温 $17.5^{\circ}\text{C}$ ,1月最冷,平均气温 $4.4^{\circ}\text{C}$ 。7月最热,平均气温 $29.3^{\circ}\text{C}$ 。年平均地表温度 $21.3^{\circ}\text{C}$ ,年降雨量1310 mm,年蒸发量1880 mm,最高气温 $42^{\circ}\text{C}$ ,地表最高温度 $69.5^{\circ}\text{C}$ 。年平均无霜期261天,全年5级以上大风天气21天。砂山土壤结构松散,养分含量低,保水保肥能力差。该区整个植被景观为草本、灌木、乔木的镶嵌体,地貌类型以固定沙丘、半固定沙丘、流动沙丘为特征。

### 1.2 种源地概况

种源地位于达拉特旗的库布其沙漠区,地处黄河冲积平原南部,鄂尔多斯高原北部(北纬 $40^{\circ}00'—40^{\circ}30'$ ,东经 $109^{\circ}00'—110^{\circ}45'$ )。地势南高北低,呈阶梯状,海拔1100~1300 m,属典型的温带大陆性半干旱季风气候区,总的气候特征为:冬季漫长寒冷,夏季温和短促,春季干旱少雨多风,秋季凉爽,四季温差大,日照充足,无霜期较短。年平均气温为 $6^{\circ}\text{C}$ 。1月平均气温为 $-13.4^{\circ}\text{C}$ 。极端最低气温 $-34.5^{\circ}\text{C}$ (1971年1月22日),7月气温最高,平均为 $22.8^{\circ}\text{C}$ 。极端最高气温 $40.2^{\circ}\text{C}$ (1975年7月16日)。年平均气温 $0^{\circ}\text{C}$ 以上持续时间为239.2天, $5^{\circ}\text{C}$ 以上的持续时间为205.5天,年日照时平均3138.7 h。全年太阳总辐射量为 $599.76\text{ kJ}/\text{cm}^2$ ,无霜期年平均159.8天。年平均降水311.75 mm,年极端最低降水量141.9 mm(1980年),年极端最高降水量

为526 mm(1964年)。植被景观为以灌木为主体的灌草层片为主,地貌以固定沙丘、半固定沙丘、流动沙丘为特征。

从引种地与种源地的情况来看,引种地比原产地的气候条件更为暖湿,年均气温高出11.5℃,年均降水量高约1000 mm。根据植物引种驯化工作中北种南移较易成功的经验,笔者预期沙棘引种后定居生存的可能性较大,但果实质量可能有所下降,作为优质牲畜饲料仍会有较高的营养价值。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验时间、地点

引种试验于2009年3月17日起在都昌县多宝乡中石村西北部砂山进行,并随后进行连续观察及测量。

### 2.2 试验材料

种苗来自于达拉特旗库布其沙漠的水利部沙棘中心种苗站,共8000株,高度为30~60 cm。

### 2.3 试验方法

用稀释后的ABT生根粉混合泥浆浸泡种苗48 h后,即行种植。种植密度为株行距1 m×1 m,分为2个

试验地,即裸沙面积较大的高大沙丘试验地和具备20%灌草覆盖度的平坦沙区试验地,每个试验区各栽植4000株。考虑到当地7—8月的高温干旱季节对幼株的可能伤害,在每个试验区中,采用2种埋深处理:A:埋深为种苗高度的3/4;B:埋深为种苗高度的1/2,以寻求较佳的种植深度。以每200株为1个小区,统计其成活率。在每个试验地各计有20个小区,其中A、B 2种试验处理各10个小区。全部栽植工作在3月27日前完成。

## 3 结果与分析

在栽植后1个月,于4月27日分别统计其成活率,并对2种试验地和2种埋深处理之间的成活率指标进行双因素固定效应模型检验,结果见表1。

如表1所示,对试验地类型和深埋因素而言, $F < F$ 临界值,表明栽种1个月内试验地类型因素和埋深因素均对成活率没有显著影响。高大沙区各小区的平均成活率为71.2%,高于平坦沙区的64.6%,但没有统计学上的显著差异。浅埋处理的平均成活率为69.2%,高于深埋处理的66.6%,也没有显著差异。

表1 地形及埋深双因素方差分析表(4月27日)

变差来源	平方和	自由度	均方	$F$	$P$ 值	$F$ 临界值
埋深	67.6	1	67.6	0.57	0.45509	4.113
试验地类型	435.6	1	435.6	3.674	0.03622	4.113
交互作用	32.4	1	32.4	0.000327	0.60434	4.113
误差	4268	36	118.56			
总计	4803.6	39				

注:显著性水平为0.05,下同。

表2 地形及埋深双因素方差分析表(6月7日)

变差来源	平方和	自由度	均方	$F$	$P$ 值	$F$ 临界值
埋深	93.025	1	93.025	1.2157	0.2775	4.113
试验地类型	3441.025	1	3441.025	44.969	$8.01 \times 10^{-8}$	4.113
交互作用	0.025	1	0.025	0.000327	0.985679	4.113
误差	2754.7	36	76.519			
总计	6288.775	39				

表2是笔者在6月7日调查了成活率之后的分析结果。其中,对试验地类型因素而言, $F > F$ 临界值,表明它对成活率有显著影响;而对埋深因素而言, $F < F$ 临界值,则表明它对成活率没有显著影响。高大沙区各小区的平均成活率为35.2%,显著高于平坦沙区的16.65%。浅埋处理的平均成活率为27.45%,与深埋处理的24.4%没有显著差异。相对于4月底而言,试验区

的成活率均有显著下降。

表3是基于9月17日成活率调查结果的方差分析。结果表明,试验地类型和埋深2个因素的 $F$ 值均大于 $F$ 临界值,对成活率均具有显著影响。在高大沙区20个小区的平均成活率为28.7%,显著高于平坦沙区的14.3%。而从埋深这个因素来看,浅埋处理的平均成活率为25.15%,显著高于深埋处理的平均成活率

表3 地形及埋深双因素方差分析表(9月17日)

变差来源	平方和	自由度	均方	F	P值	F临界值
埋深	921.6	1	921.6	14.5503	0.000516	4.113
试验地类型	2788.9	1	2788.9	44.0314	9.92×10 <sup>-8</sup>	4.113
交互作用	32.4	1	32.4	0.5115	0.479089	4.113
误差	2280.2	36	63.34			
总计	6023.1	39				

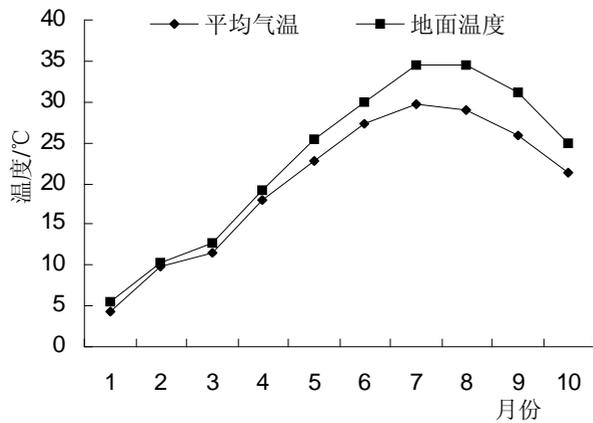


图1 2009年1—10月气温及地温变化

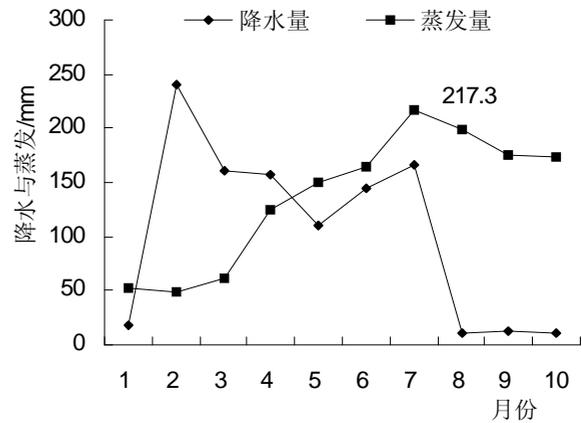


图2 2009年1—10月降水及蒸发变化

17.85%。相对于4月底而言,试验区的成活率均有显著下降。9月17日临近生长季之末,夏季的酷暑高温期已经过去,由图1可知,9月份的月平均气温和地温分别比7、8月份有所降低,显示立秋之后的气候效果,即此时的成活率反映了中国沙棘自身的遗传特性与外界环境因子相互作用的最终成果。

基于上述在2009年整个生长季期间的分析,笔者认为埋深对中国沙棘在引种驯化区的最终成活率有较为显著的影响。

结合图1、图2的气象因子变化情况分析,笔者认为,地形因素及埋深因素主要通过对不同环境因子的重新配置来对沙棘的成活率发生影响。4月17日之前(表1)气温及地温均在10℃~20℃之间,降水量大于或接近于蒸发量。对于定居之初的沙棘幼苗而言,无论从温度或者水分因子,并不构成严苛生境。因此,表1显示地形因素和埋深因素均不对成活率构成显著影响,成活率均高于60%。6月份的平均气温及地温各为27.4℃、30℃,而蒸发量也开始高于降水量,分别为165.1 mm、145.2 mm,已有大量沙棘幼苗发生死亡,表2分析表明,地形因素开始对沙棘幼苗成活率发生影响,而埋深则否。此期平坦沙区的沙棘成活率从4月的64.6%降低到16.65%,笔者分析这与沙棘浅根系、须根系的生物学特点显著相关。在平坦沙丘上,笔者明

显观察到有狗牙根等草本植物根系的密集分布,其对幼苗期沙棘水分利用的竞争效应可能是在此地形条件下沙棘成活率下降的因素之一。7、8、9月这3个月份是鄱阳湖滨带沙区典型的旱季,图2显示此时期蒸发量远高于降水量,沙表面平均温度维持在30℃以上,构成了整个生长季节最为严酷的生境条件。由此,表3显示9月17日的成活率调查结果,地形因素和埋深因素均显著地影响了沙棘幼苗的成活率。而浅埋较之深埋种植具有更高的成活率,这一现象促使人们进一步寻求合理的解释。通过根系挖掘笔者发现,凡是在4月份采用浅埋种植的沙棘幼苗均生长出了较为舒展的水平根系,而深埋法种植的沙棘幼苗则横向扩展受到限制。因此,不同的埋深是通过根系形态结构发育的差异性来影响了水分的吸收,而这种差异性随着生境条件趋于严酷而愈加彰显。

整个试验期间,笔者也曾尝试用在毛乌素沙地使用的纸筒法<sup>[8]</sup>来提高沙棘的成活率。但是,简单的对比试验得到了与期望相反的结果:纸筒法处理的沙棘幼苗死亡率显著高于未使用纸筒法的沙棘幼苗死亡率。通过观察笔者发现,在鄱阳湖地区与毛乌素地区相比较高的太阳高度角是导致纸筒法失败的主要原因:由于低纬地区较高的太阳高度角,纸筒不仅不能如在中纬度的毛乌素沙地那样起到降低纸筒内部气温及

地温的效果,反而由于隔绝了纸筒内外热量交换而导致纸筒内部温度高于外部的情况。笔者在6月7日早、中、晚的3次测量中发现,纸筒内沙表面温度高于外部5℃~10℃。

#### 4 结论

(1)笔者经过多年在红壤丘陵区退化生态系统恢复的生态学实践找到了沙棘这一植物,由于其所具备的广大环境适应性的遗传基础,使之可能在较不相同的环境条件内应付自如而取得适应。由于沙棘最初起源于一种类似于中生性的生境,在其早生生境扩展演化的历史进程中,决定某些适生于中生性生境的性状的基因,可能并未从进化中消失。当其被重新引种到其起源性生境的过程中,这些基因可能被唤醒,从而表现出适生于长江以南低纬度地区环境的适应性。

(2)从目前2009年整个生长季的试验来看,地形因素及埋深因素主要通过对不同环境因子的重新配置来对沙棘的成活率发生影响,虽然成活率从生长季之初的高于60%显著下降到14%~25%,但是仍然有沙棘的植株个体在试验区内成活下来。

#### 5 讨论

(1)鉴于沙棘在中国亚热带低海拔地区迄今未见自然分布和人工种植,本引种试验的结果将可为后继者提供有益的借鉴。沙棘的成功引种验证了植物引种驯化的“生态历史分析法”和气候相似性原则,其共通之处是均以植物的遗传基础与环境的适应性为基本内核。中国沙棘在脱离了起源地古地中海沿岸的环境条件之后,其体内原来适应暖湿生境的基因并未从进化中消失,一些具有中生和湿生植物特征的形态解剖学证据映证了此点。

(2)结合气象因子考虑沙棘移植试验,可以得出结论,地形因素及埋深因素主要通过对不同环境因子的重新配置来对沙棘的成活率发生影响。在平坦沙丘上,有狗牙根等草本植物根系的密集分布,对幼苗期沙棘水分利用产生竞争效应进而造成在此地形条件下沙

棘成活率下降。不同的埋深是通过根系形态结构发育的差异性来影响了水分的吸收,而这种差异性随着生境条件趋于严酷而愈加彰显。试验也证明了使用纸筒法由于隔绝了纸筒内外热量交换,而导致纸筒内部温度高于外部的情况,降低了沙棘的成活率。

#### 参考文献

- [1] 陈学林,马瑞君,孙坤,等.中国沙棘属种质资源及其生境类型的研究[J].西北植物学报,2003,23(3):451-455.
- [2] 何兴元,张成刚,杨思河,等.固氮树种在混交林中的作用研究——沙棘混交林内根瘤固氮与林木生长[J].应用生态学报,1996,7(4):354-358.
- [3] 赵汉章,刘瑛,朱长进,等.沙棘种源与根瘤数量相关性的研究[J].沙棘,1990(2):29232.
- [4] 张吉科,林纬.沙棘根瘤的形成与固氮能力[J].沙棘,1995(3):3-9.
- [5] 刘炜.神奇的沙棘[J].山西林业,2001(6).
- [6] 黄铨.中国沙棘的地理变异[J].沙棘,2003,16(1):8-13.
- [7] 孟丽,冯振莹,张顺英.沙棘根次生结构与生态习性关系的研究[J].河南农业大学学报,1994,28(3):278-281.
- [8] A. Д. 布克什特诺夫.沙棘[M].张哲民,杨陵:陕西省沙棘开发利用科研中心,1987.
- [9] 李根前,唐德瑞,赵一庆.沙棘的生物学与生态学特性[J].西北植物学报,2000,20(5):892-897.
- [10] 张日清,何方.植物引种驯化理论与实践述评[J].广西林业科学,2001,30(1):1-6.
- [11] 谢孝福.植物引种学[M].北京:科学出版社,1994.
- [12] 王名金.树木引种驯化概论[M].南京:江苏科学技术出版社,1990.
- [13] 吴中伦.国外树种引种概论[M].北京:科学出版社,1983.
- [14] 中国林学会.树木引种浅说[M].北京:中国林业出版社,1989.
- [15] Slade A J, Hutchings M J. Clonal integration and plasticity in foraging behavior in *Glechoma hederacea*[J].Journal of Ecology, 1987,75:1023-1036.
- [16] de Kroon H, Hutchings M J. Morphological plasticity in clonal plants: The foraging concept reconsidered[J].Journal of Ecology, 1995,83:143-152.
- [17] de Kroon H. How do roots interact?[J].Science,2007,318:1562-1563.
- [18] 徐双民,刘慧辉,高福江.毛乌素沙地沙棘日灼危害及防治措施研究[J].中国水土保持,2008(5):35-38.