

# 不同沙地生境下黄柳 (*Salix gordejevii*) 的根系分布和冠层结构特征

任安芝, 高玉葆\*, 王金龙

(南开大学生命科学学院, 天津 300071)

**摘要:** 对分布于 3 种不同沙地生境(半固定沙丘、固定沙丘、丘间低地)黄柳灌丛的根系分布(根的数目与深度分布)和冠层结构特征(叶面积指数、平均叶倾角以及当年枝长度分布)进行了研究。半固定沙丘上的黄柳根系最发达(根系分布深, 数量大), 固定沙丘的黄柳明显不及前者, 而丘间低地的黄柳根系最不发达。粗根( $\Phi \geq 5\text{mm}$ )的分布与土壤水分和土壤容重呈显著相关性, 细根( $\Phi < 5\text{mm}$ )的分布与土壤容重和紧实度呈显著相关。不同程度的根系发育导致地上部分的繁茂程度不同: 分布于半固定沙丘上的黄柳灌丛叶面积指数较大, 当年枝平均长度较大, 枝长频度分布趋于正态分布; 丘间低地的黄柳灌丛叶面积指数较小, 当年枝平均长度较小, 枝长频度分布趋于对数正态分布; 固定沙丘上灌丛的上述特征大致介于二者之间, 而其当年枝长度频度符合 Weibull 分布。

**关键词:** 黄柳; 沙地生境; 根系; 枝长频度分布; 叶面积指数

## Root distribution and canopy structure of *Salix gordejevii* in different sandy land habitats

REN An-Zhi, GAO Yu-Bao, WANG Jin-Long (College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China)

**Abstract:** Root distribution and canopy structure parameters of *S. gordejevii* in semi-fixed sand dunes, fixed sand dunes and inter-dunes lowland were investigated. The population in the semi-fixed sand dunes had the most developed root systems, followed by the population in the fixed sand dunes, and that in the inter-dunes lowland was the last. The number of thick roots was closely related to the soil water content and volume weight of the soil, while that of fine roots closely related to the soil compactness and volume weight. The population in the semi-fixed sand dunes had a greater leaf area index and longer first-year shoots whose frequency distribution followed a Normal Distribution Model. The population in the inter-dunes lowland had a lower leaf area index and shorter first-year shoots, whose frequency distribution tended to follow a Logarithmic Normal Distribution Model. The population in fixed sand dunes was rather intermediary between the above two and the frequency distribution of the first-year shoot lengths followed a Weibull Distribution Model.

**Key words:** *Salix gordejevii*; sandy land habitat; root systems; frequency distribution of shoot lengths; leaf area index

文章编号: 1000-0933(2001)03-0399-06 中图分类号: Q948 文献标识码: A

黄柳 (*Salix gordejevii*) 是杨柳科的一种中生灌木, 在内蒙古科尔沁沙地广泛分布, 是该地区流动沙丘边缘和半流动沙丘分布最广的灌木型先锋植物。黄柳喜生于湿润的丘间低地, 受流沙掩埋易生不定根和不

基金项目: 中国科学院兰州沙漠研究所奈曼沙漠化研究站开放基金课题

\* 通讯联系人: E-mail: ybgao@nankai.edu.cn

收稿日期: 2000-07-04, 修订日期: 2000-11-10

作者简介: 任安芝 (1969~), 女, 山西省孝义市人, 副教授。主要从事植物生理生态学研究。

定芽,形成新的根系和枝条,在流动、半流动沙丘甚至形成纯群落。随着沙丘的固定和其它植物的入侵定居,其优势地位被其他植物代替,生长逐渐减弱<sup>[1]</sup>。

黄柳作为科尔沁沙地主要的固沙造林树种和当地居民编织、建筑、薪炭用材的主要来源之一,其生物学特征、平茬复壮效果等方面的研究已有报道<sup>[2~5]</sup>。最近报道了分布在半固定沙丘、固定沙丘和丘间低地上黄柳种群的若干数量特征的比较研究结果<sup>[6]</sup>。本文仍以上述生境条件下的黄柳灌丛为研究对象,对其根系的分布和冠层结构特征进行了研究,以期揭示黄柳种群对不同沙地生境的生态适应性。

## 1 研究区自然条件和研究方法

### 1.1 研究区自然条件

本研究区位于内蒙古自治区科尔沁沙地中南部奈曼旗昂乃乡界内,地理位置为北纬 42°58',东经 120°44',海拔约 360m。该区属温带大陆性半干旱气候,年均气温 3~7℃,≥5℃年积温为 3421.3℃。年均降水量 362.3 mm,主要集中于 6~8 月份,占全年降水量的 60%~70%;年蒸发量约为 1935.4 mm。地貌以平缓起伏沙丘为主,相间分布沙质草甸(甸子地)或农田,土壤上层为风沙土,下层为沙质栗钙土。

### 1.2 研究方法

本研究选取 3 块黄柳样地,分别代表 3 种不同的生境类型:样地 I 位于半固定沙丘,样地大小为 17m×20 m;样地 II 位于固定沙丘,大小为 15m×15 m;样地 III 位于丘间低地,大小为 6m×20 m。样地 I 和样地 II 黄柳成片分布,样地 III 黄柳呈狭带状分布。这 3 种生境中的黄柳均为人工栽植,灌丛年龄为 5~6a。

野外观察测定在 1999 年 7 月下旬至 8 月上旬进行。分别在 3 块样地的中心位置挖一土壤剖面,深度以黄柳根系明显稀疏为限。样地 I 剖面宽 4m,深 140cm;样地 II 剖面宽 3m,深 140cm;样地 III 剖面宽 3m,深 120cm。在每一剖面上按 1m 的宽度分段,再按 20cm 的间隔分层,分别统计每段各层次内粗根( $\Phi \geq 5\text{mm}$ )和细根( $\Phi < 5\text{mm}$ )的数目,并使用土壤硬度计测定各段各层次的土壤紧实度,同时在各段各层内取土样以测定土壤水分含量、有机质含量和土壤容重。7 月 24~26 日在每个样地分别选取 8 个点,用 CI-110 植物冠层结构分析仪测定并计算各样地的叶面积指数和平均叶倾角,同时随机选取并测量 70 个当年枝的长度,建立枝长频度分布模型。所有数据用 SAS 软件进行统计处理<sup>[7]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 不同沙地生境之间土壤理化特征的差异分析

不同生境、不同深度的土壤其水分含量、有机质含量、容重和紧实度都有差异(表 1):(1)土壤含水量的差异不仅表现在不同样地之间,而且也表现在同一样地的不同深度。总体来看,样地 I 和 II 的上层水分条件优于中层和下层,但各层次之间的差异并不显著,而样地 III 60cm 以下的层次水分条件显著优于表层。3 个样地之间相比较,土壤含水量在 0~40cm 层无显著差异;随着土壤深度的增加,3 个样地之间出现了明显差异,表现为样地 III 的水分条件显著优于样地 I 和 II。至于样地 I 和 II,各层次之间的水分条件基本接近。(2)样地 I 和 II 土壤有机质含量在各层次之间基本接近,只有样地 III 在 80 cm 层有机质含量显著高于邻近层,这与该层次出现黑色沙质草甸土有关。3 个样地之间有机质含量也无显著差异。(3)从土壤容重来看,每块样地内各层次之间的差异虽不明显,但通过 3 个样地之间的比较发现,样地 II 和 III 接近,而位于半固定沙丘的样地 I 显著低于前两者。(4)土壤紧实度在 3 个样地之间的差异极为显著,表层(0~40cm)为 I<III<II,中层和下层(40~120cm)为 I<II<III,样地 I 各个层次之间的紧实度变化不大,样地 II 的表层土壤(0~40cm)紧实度较高,而样地 III 的表层土壤紧实度较低。

### 2.2 黄柳的根系分布在不同沙地生境之间的分异

分布于不同沙地生境中的黄柳种群,其根系在土壤中的分布特点各异。从总体来看,无论是粗根( $\Phi \geq 5\text{mm}$ ,图 1a)还是细根( $\Phi < 5\text{mm}$ ,图 1b),样地 I 中的数目均为最高,样地 III 为最低,样地 II 高于 III 但远低于 I。样地 I 的根系分布最深,140cm 处仍发现有少数粗根和一些细根,粗、细根数目在 60cm 以上随土壤深度的增加而增加,60cm 以下则随土壤深度增加而渐趋减小,但各层之间的根数目差异并不显著。样地 II 中黄柳的根系分布随土壤深度增加而减小的趋势,120cm 以下已经没有粗根分布,细根虽可深达 140cm,但数目稀少,粗根的分布集中在 0~80cm 层内(粗根总数量的 93%集中在这个层次),80cm 以下,

粗根数量显著降低。样地 III 中黄柳根系分布最浅,粗根只局限于 0~40cm 层内,细根的分布虽可达 120cm 深,但其总数的 73%集中在 60cm 以上,随深度的增加,细根数量逐渐减少,到 120cm 层时已寥寥几条。

表 1 实验样地的若干土壤理化特征测定结果

Table 1 Some physical and chemical properties of the soils in three plots

测定项目 Item	土壤深度(cm) Soil depth	样地号 Plot number		
		I	II	III
土壤含水量 Water content (%)	20	1.98±0.42	1.82±0.61	1.67±0.47
	40	2.20±0.35	2.27±0.57	2.10±0.31
	60	2.02±1.28	1.16±0.26	3.51±1.19
	80	0.80±0.24	1.18±0.49	6.67±0.34
	100	1.49±0.73	1.04±0.08	4.99±1.37
	120	1.11±0.36	1.21±0.11	3.68±1.13
	140	1.10±0.13	1.43±0.32	—
土壤有机质含量 Organic matter content (%)	20	0.44±0.21	0.60±0.14	0.49±0.19
	40	0.42±0.07	0.45±0.09	0.49±0.18
	60	0.47±0.22	0.32±0.03	0.36±0.19
	80	0.38±0.10	0.35±0.05	0.84±0.12
	100	0.49±0.12	0.45±0.08	0.48±0.18
	120	0.44±0.22	0.33±0.13	0.35±0.16
	140	0.30±0.10	0.38±0.09	—
土壤容重 Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	20	1.47±0.10	1.56±0.05	1.60±0.08
	40	1.46±0.12	1.65±0.03	1.62±0.03
	60	1.47±0.08	1.68±0.04	1.61±0.05
	80	1.59±0.02	1.63±0.09	1.60±0.08
	100	1.48±0.05	1.67±0.06	1.66±0.01
	120	1.53±0.08	1.72±0.03	1.62±0.05
	140	1.54±0.05	1.67±0.02	—
土壤紧实度 Compactness (kg/cm <sup>2</sup> )	20	0.44±0.25	1.10±0.66	0.63±0.18
	40	0.21±0.13	1.08±0.39	0.60±0.23
	60	0.30±0.24	0.75±0.52	1.57±0.72
	80	0.39±0.24	0.57±0.28	2.78±0.44
	100	0.20±0.04	0.55±0.32	2.27±0.29
	120	0.16±0.07	0.45±0.33	1.52±0.44
	140	0.06±0.05	0.55±0.37	—

分别将粗、细根在 3 个样地(样地 I 剖面水平方向分为 4 段,每段垂直分为 7 层;样地 II 分 3 段,每段分 7 层;样地 III 分 3 段,每段分 6 层)所有层次的 67 个测量值与它们所对应的土壤含水量、有机质、容重、紧实度这 4 项指标进行多元回归分析,结果表明,粗根数量( $N_t$ )与土壤含水量( $W_c$ )和土壤容重( $V_w$ )之间呈显著相关性,而细根数量( $N_f$ )与土壤紧实度( $C$ )和土壤容重之间具极显著相关性,它们的回归方程如下:

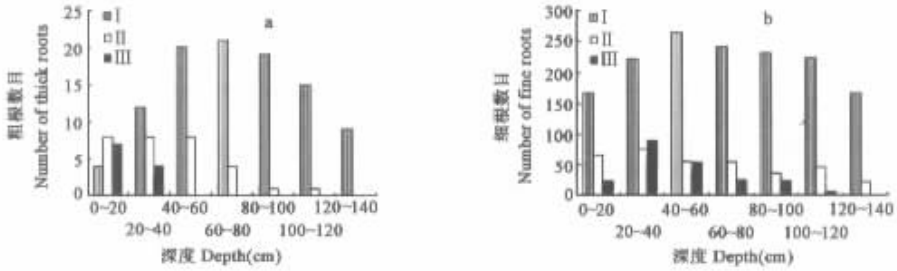


图1 黄柳根系在3个样地不同层次的数量分布(a:粗根;b:细根)

Fig.1 Root number distribution in three plots(a:thick roots;b:fine roots)

$$Nt = 9.1928 - 1.2182Wc^2 + 0.3389Wc^3 - 1.2063Vw^3 \quad (p < 0.05)$$

$$Nf = 142.466 - 10.6032C - 40.3339Vw^2 \quad (p < 0.01)$$

### 2.3 黄柳的冠层结构特征在不同沙地生境之间的分异

**2.3.1 叶面积指数和平均叶倾角** 用 CI-110 植物冠层结构分析仪分别对 3 块样地黄柳灌丛的直射光透过率、散射光透过率和冠层消光系数进行测定,并计算叶面积指数和平均叶倾角,结果列于表 2。经统计显著性检验发现,样地 I 的叶面积指数显著高于样地 II 和 III,且散射光透过系数显著低于样地 II 和 III,而这两项指标在样地 II 和 III 之间未见显著的差异。至于平均叶倾角,只有样地 III 显著偏低,而样地 I 和 II 之间无显著差异。这说明与样地 II 和 III 相比,分布于样地 I (半固定沙丘)上的黄柳,其枝叶生长更为繁茂,郁闭度更高。

**2.3.2 当年枝平均长度及长度的概率分布** 在 3 块样地中随机抽取 70 条黄柳当年生枝条测量其长度,发现样地 I 中黄柳当年枝的平均长度显著高于样地 II 和 III,这说明样地 I 的生境更适合于黄柳生长。对每一样地中的当年枝长度测量值

用 SAS 软件作频度分布图(见图 2),所得曲线进行概率分布模型拟合检验。样地 I 中黄柳的当年枝长度很好地符合正态分布,大多数枝条的长度接近于平均值,过长或过短的枝条所占的比例都较低。样地 II 黄柳当年枝长度的频度分布可以用 Weibull 分布很好地拟合。与样地 I 当年枝长度分布相比较,样地 II 的当年枝小于平均值者偏多,而大于平均值者偏少,表现为曲线峰值的左偏。样地 III 黄柳当年枝长度频度分布很好地符合对数正态分布,当年枝中低于平均值的短枝比例显著大于高于平均值的长枝比例,三块样地的分布模型为如下:

$$\text{样地 I} \quad P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 30.8426} \exp\left(-\frac{(x-132.5714)^2}{2 \times 30.8426^2}\right)$$

$$\text{样地 II} \quad P(x) = \frac{1}{66.7765} \left(\frac{x-31.6260}{66.7765}\right)^{3.7073-1} \exp\left(-\left(\frac{x-31.6260}{66.7765}\right)^{3.7073}\right)$$

$$\text{样地 III} \quad \text{万方数据} \quad P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.1807 \times (x-0)} \exp\left(-\frac{\log(x-0)-4.6911}{2 \times 0.1807^2}\right)$$

表 2 不同沙地生境下黄柳灌丛叶面积指数和平均叶倾角的比较

Table 2 Leaf area index and mean foliage inclination angle of *S. gordejvii* in different habitats

样地号 Plot number	叶面积指数 Leaf area index	散射光穿透系数 Transmission coefficient of diffuse radiation	平均叶倾角 Mean foliage inclination angle
I	0.876 ± 0.069 <sup>a</sup>	0.474 ± 0.036 <sup>a</sup>	59.441 ± 13.796 <sup>a</sup>
II	0.490 ± 0.065 <sup>b</sup>	0.666 ± 0.044 <sup>b</sup>	68.746 ± 17.739 <sup>a</sup>
III	0.453 ± 0.071 <sup>b</sup>	0.640 ± 0.035 <sup>b</sup>	43.716 ± 13.526 <sup>b</sup>

\* 表中数据以平均值 ± 95% 置信区间表示; 右上角有相同字母表示差别不显著, 字母不同则差别显著 ( $\alpha = 0.05$ ). Data are presented in the format of mean ± 95% confidence range; same letter denotes non-significant difference while different letters denote a significant difference ( $\alpha = 0.05$ )

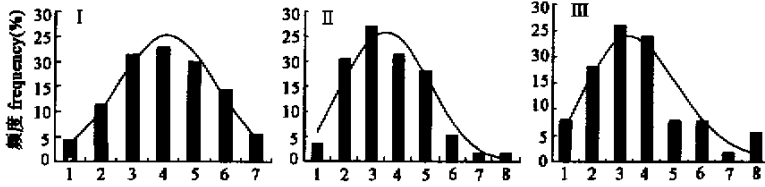


图 2 3 块样地中黄柳当年枝长频度分布图

Fig. 2 Frequency distribution of shoot lengths (first-year) of *S. gordejvii* in three plots

图中光滑曲线为拟合曲线 Smooth lines are curves fitted from the observed data; I, 正态分布 Normal distribution curve; II, Weibull 分布 Weibull distribution curve; III, 对数正态分布 Logarithmic normal distribution curve

### 3 讨论

本文的研究对象黄柳生长在 3 种不同的沙地生境中,这 3 种生境因植被固定程度(半固定、固定)或地形条件(丘间低地)不同而导致植物赖以生存的土壤环境——土壤含水量、容重、紧实度之间存在显著差异。故本研究中的黄柳种群虽然栽植时间只有 5~6a,种群特征已经表现出明显的分异,这种分异不仅表现在地上部分冠层的结构特征上,而且也表现在地下根数目和分布方面。

耐沙埋是许多沙漠植物的共同特征,黄柳枝条被沙埋后能迅速生出不定根和不定芽,以此来不断扩大株丛,这一特性使得黄柳能在流动、半流动沙丘上旺盛生长,甚至形成纯群落,但随着沙丘的固定其优势地位会因其它植物的竞争而减弱<sup>[1]</sup>。本研究中样地 I 所在的沙丘虽然处于半固定阶段,但黄柳灌丛基部被沙埋的现象还经常发生。沙埋为黄柳的根系发育创造了良好的条件,如土壤容重显著低于样地 II 和 III,土壤紧实度也显著低于样地 II 和 III 等。良好的立地条件使得样地 I 的根系无论从数量上还是从分布深度上都占有显著的优势,而且地上部分也表现为当年枝生长速度快,且当年枝长度分布符合正态分布,这与梁宇等所得结论一致<sup>[6]</sup>,即中等长度的或接近中等长度的当年生枝条所占的比例最大,表明种群构件生长的一致性程度较高,种群正处于发展阶段。样地 II 所在的固定沙丘植被盖度高,没有观察到沙埋现象,黄柳生长情况无论是地上还是地下部分都明显不及样地 I,突出表现在粗根和细根的数量都明显减少,分布深度也相对较浅,而地上部分也表现为当年枝生长缓慢,当年枝长度分布符合 Weibull 分布,这也与梁宇等所得结论一致<sup>[6]</sup>,即低于平均值的当年生枝条所占的比例大,种群开始出现了衰退倾向。样地 III 所在的丘间低地虽然具有优于样地 I 和 II 的深层水分条件,但黄柳种群生长发育状况最差,尤其表现在  $\Phi > 5\text{mm}$  的粗根在 40cm 以下已经没有分布,细根虽可延伸至 120cm 深,但数量已寥寥无几,这一结果也说明黄柳对于其它植物的竞争优势只有在类似流动或半固定沙丘这样的不稳定环境中才得以充分体现。已有研究表明<sup>[8]</sup>,黄柳起源于湿地,旺盛生长于半固定沙丘,而衰退于固定沙丘,其原因可能在于丘间低地(如样地 III)既有较好的深层水分条件,又有可能发生短时间积水,被吹到此处的黄柳种子易于发芽生长,并随沙丘前移埋压而茁壮生长,出现在沙丘背风坡和丘顶,这时流动沙丘已变成半固定沙丘。

赵文智通过对沙生槐<sup>[9]</sup>的研究发现,水分和竞争是影响其生长的主要因素。本研究中位于丘间低地的样地 III 有显著优于样地 I 和 II 的深层水分条件,但其根系发育程度却最差,这说明水分条件并不是制约黄柳根系发育的首要条件,而土壤容重和土壤紧实度对根系发育的影响才更为重要;尤其对于  $\Phi < 5\text{mm}$  的细根而言,其数量分布与土壤容重和土壤紧实度之间具有极显著的相关性,即在一定范围内土壤越疏松,容重越小,就越有利于黄柳根系的发育。

黄柳的根系非常发达,自然生长的大黄柳,垂直根可达 3.5m 以上(至地下水),水平根更加发达,最长的水平侧根可达 20 多米,人工栽植的黄柳根系多向水平方向发展<sup>[2]</sup>。本研究中人工栽植的黄柳经过 5~6a 的生长,垂直根分布 4m 深度以下,且大部分根均集中在 0~80cm 以内,上面有很多细小的侧根。作者在样地附近的沙丘上看到,当沙丘表面受风蚀后,便可在黄柳灌丛周围看到布满地面的一层根网,这对固

结流沙和改良土壤有很大的作用。生长于流动或半固定沙丘的黄柳(如样地 1)枝叶茂盛,能阻挡大量的风沙,且积沙越多生长越旺,并由于根系的良好发育,黄柳在年降水量不到 200mm 的年份仍能生长,在沙面 60℃ 高温下亦无灼伤,在 -40℃ 低温时亦无冻害<sup>[1]</sup>,因而是当地理想的固沙树种。虽然随着沙丘的固定黄柳灌丛开始衰退,但通过平茬能使趋于衰退的黄柳复壮,这方面已取得了一些观察和实验数据<sup>[5]</sup>。

## 参考文献

- [1] 刘新民,赵哈林,赵爱芬. 科尔沁沙地风沙环境与植被. 北京:科学出版社,1996.
- [2] 王康富. 辽宁省章古台主要固沙植物的习性. 林业集刊(3). 北京:科学出版社,1959. 182~197.
- [3] 刘中民,等. 几种沙生植物的特性及其栽培的研究. 治沙研究(5),北京:科学出版社,1963.
- [4] 常学礼,等. 黄柳灌丛地上生物量特征及生长的研究. 科尔沁沙地生态环境综合整治研究. 兰州:甘肃科技出版社,1993. 201~208.
- [5] 常学礼,李胜功,赵学勇,等. 平茬对黄柳灌丛影响的研究. 中国沙漠,1997,17(增刊 1):54~59.
- [6] 梁宇,高玉葆,任安芝,等. 不同沙地生境下黄柳 (*Salix gordejvii*) 种群若干数量特征的比较研究. 生态学报,2000,20(1):80~87.
- [7] 王吉利,张尧庭. SAS 应用统计教程. 1999.
- [8] 刘慎谔文集. 北京:科学出版社,1985. 136~144.
- [9] 赵文智. 砂生槐沙生适应性初步研究. 植物生态学报,1998,22(4):379~384.