

## 沙棘苗木根系生长发育特征研究

刘广全<sup>1,2</sup>, 土小宁<sup>3</sup>, 王鸿哲<sup>2</sup>, 李文华<sup>2</sup>, 燕爱玲<sup>2</sup>

(1. 国际泥沙研究培训中心, 北京 100044; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 3. 水利部沙棘开发管理中心, 北京 100038)

**摘要:**沙棘苗木根系生物量、表面积、体积随着苗木地径和苗高的增加而显著增加,呈抛物线型;根系的数量、生物量、表面积和体积随土壤含水量的降低而逐渐降低, 淳化土壤 87.14%、70.00%、52.00% 和 40.00% 田间持水量苗木根系的数量、生物量、表面积和体积分别为 98、38、35、16 条, 26.26、7.90、8.70、1.32 g, 1145.72、355.46、290.04、34.54 cm<sup>2</sup>, 87.36、30.66、29.17、2.08 cm<sup>3</sup>; 安塞土壤的情况与淳化的情况类似, 但吴旗土壤中等土壤含水量苗木根系发育相对丰富, 87.14%、70.00%、52.00% 和 40.00% 田间持水量苗木根系的数量、生物量、表面积和体积分别为 39、44、51、39 条, 6.18、9.84、10.29、3.62 g, 299.96、365.75、469.58、213.27 cm<sup>2</sup>, 24.25、35.51、36.66、9.64 cm<sup>3</sup>。苗木根系生物量所栽培土壤的质地越细, 根系生物量越大, 不同根级毛根的最大, 淳化土壤毛根生物量高达 10.791 g, 分别为安塞和吴旗的 2.0 和 5.0 倍, 之后随着根径的降低而逐渐降低。苗木地上部分生物量与地下部分生物量存在显著的线性关系, 不同土壤类型和水分状况苗木的根茎比差异较大, 变化范围在 0.2~0.8 之间。

**关键词:**沙棘; 水分; 土壤; 生长

万方数据

**中图分类号:**S793.601 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2005)03-0026-05

### Root Development Characteristics of Seabuckthorn's Seedlings

LIU Guang-quan<sup>1,2</sup>, TU Xiao-ning<sup>3</sup>, WANG Hong-zhe<sup>2</sup>, LI Wen-hua<sup>2</sup>, YAN Ai-ling<sup>2</sup>

(1. International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100044, China; 2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. International Center of Research and Training on Seabuckthorn, Beijing 100038, China)

**Abstract:** The root development of one year-old *Hippophae rhamnoides*' seedlings potted in greenhouse were determined under different soil types with different moistures. The results are as follows: the biomass, surface area and volume of the root system increased as parabola with seedlings' basal diameter and its height increasing. Amount, biomass, surface area and volume of the roots, decreased gradually with soil moisture falling, were 98, 38, 35 and 16 items, 26.26, 7.90, 8.70 and 1.32 grams, 1145.72, 355.46, 290.04 and 34.54 square centimeters, 87.36, 30.66, 29.17 and 2.08 cubic centimeters under 87.14, 70.00, 52.00 and 40.00 percent of the field maximum moisture capacity in Chunhua soil respectively, so were those in Ansai soil, but were 39, 44, 51 and 39 items, 6.18, 9.84, 10.29 and 3.62 grams, 299.96, 365.75, 469.58 and 213.27 square centimeters, 24.25, 35.51, 36.66 and 9.64 cubic centimeters in Wuqi soil respectively. The thinner the soil texture for planting seabuckthorns was, the more roots biomass the seabuckthorns had. There was the most biomass of hairy roots, and then decreased with root diameter from big to small, the biomass of hairy roots in Chunhua soil was 10.78 grams, about two and five times in Ansai and Wuqi soil respectively. There was positively lineal relationship between the overground biomass and the underground biomass. The ratios between root and stem was among from 0.2 to 0.8 with the different soil types and soil moistures.

**Key words:** *Hippophae rhamnoides*; water stress; soil types; development

黄土高原是世界上水土流失最严重的地区之一,也是生态环境脆弱地带,保持区域水土资源,促进其可持续发展,保障黄河下游安澜,已成为该地区亟待解决的问题,合理的植被覆盖是治理区域水土流失的重要途径。人工植被成活率低、保存率低、效益低下主要是植物对水分的需求与土壤水分含量及水资源时空分布的矛盾。沙棘不仅具有良好的保持水土、防风固沙、改良土壤作用,抗干旱瘠薄、耐盐碱、抗严寒、耐酷暑和适应性强等特点,而且具有较高的经济价值,所以在生态环境脆弱地带发展沙棘林对改善生态环境、振兴区域经济和实现经济社会可持续发展具有重要意义。根系是植被与土壤界面进行物质和能量交换的惟一桥梁,其形态和分布直接反映林木对立地的利用状况,它对植物的生长发育具有决定性的作用,深入研究不同土壤、水分条件下的沙棘苗期根系的分布特征意义重大<sup>[1-4]</sup>。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

1年生的沙棘(*Hippophae rhamnoides*)苗木来自陕西省延安市宝塔区中心实验苗圃。土壤分别采集于黄土高原南部的淳化县、中部的安塞县和北部的吴旗县,都是黄土母质基础上发育的黄绵土,其最大田间持水量分别为21.97%、18.75%和17.7%;野外采集的土壤,自然风干后过筛,去除杂质后以备。用高45cm、口径30cm的聚乙烯塑料桶做盆栽试验;0.0001g电子天平;德国产(50±0.02)kg精密电子天平。

### 1.2 方 法

试验在西北农林科技大学林科院人工气候室内进行。土壤水分含量共设4个处理,分别为土壤田间持水量的87.14%、70.00%、52.00%和40.00%,分别用处理I、II、III和IV表示,每个水平设5个重复。植苗前1周,测定土壤含水率,并确定各土壤水分处理的标准桶重。挑选生长基本一致的沙棘苗木35株,随机取15株用烘干法测量生物量,用已有的生长模型估算试验当年的净生物量,其余20株进行栽植,每桶1株,为排除土壤蒸发,每盆裸土表面覆网铺砂石3.0kg。此外,每个土壤水平各设2桶未植苗对照,用来估算土壤的蒸发量。

试验苗木截干、修根后,于3月25日定植于聚乙烯塑料桶内,浇一次透水,以后视土壤的干湿情况适当浇水。确定苗木成活后,从5月中旬至10月底按试验设计进行控水处理,单株苗木的蒸腾耗水量

用称重法计算,5d称重1次,后加水至各盆的标准重量。苗木生长量(苗高和地径)用游标卡尺测定,从5月中旬至11月中旬,每月测1次;单株苗子耗水量用称重法测定,叶面积用叶面积仪测定,苗木生物量用分段、分级烘干称重法测定。

根系的调查研究用水冲-分段-分级烘干称重法,在11月上中旬苗木停止生长的季节,将苗木从塑料桶内取出,用自来水冲洗根系上所有的土壤,把根系分割为根桩、主根、一级侧根和二级侧根,按照根径( $D_R$ )大小将其分为>5.0、5.0~3.0、3.0~1.0、<1.0mm和毛根5个级,采集标准根后,清点所有根的数量,称量其鲜重,随机选择8~12条样根测定其根径和长度,取部分样品烘干称重测定其水分含量。根系的体积用圆锥(台)体体积公式近似计算,面积用圆扇形公式近似计算;该试验连续开展了3a。

## 2 结果与分析

### 2.1 苗木根系生长季节变化规律

沙棘苗木根系的生物量( $W_R$ )、表面积( $A_R$ )、体积( $V_R$ )与其地径( $D_b$ )和苗高( $H$ )之间存在密切的相关关系<sup>[5,6]</sup>,均呈现抛物线型曲线(表1);在生长季节里,1年生沙棘苗木根系的生长,无论是其生物

表1 沙棘苗木根系生物量、表面积、体积生长模型

Table 1 The growth modeling of seabuckthorn seedlings' root system for biomass, surface area and volume

地点	根系	模 型	相关系数
淳化	生物量	$W_R = 1.60868 - 0.01817D_b^2 \cdot H + 0.01603 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.8962
	表面积	$A_R = 17.97113 + 4.83378D_b^2 \cdot H + 0.54983 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.83747
	体 积	$V_R = -1.42954 + 1.10765D_b^2 \cdot H + 0.02523 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.85135
安塞	生物量	$W_R = 6.31153 - 0.05687D_b^2 \cdot H + 0.00364 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.91610
	表面积	$A_R = 250.90037 + 2.76008D_b^2 \cdot H + 0.07722 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.97584
	体 积	$V_R = 14.7982 - 0.49348D_b^2 \cdot H + 0.022045 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.90717
吴旗	生物量	$W_R = 5.669126 - 0.65455D_b^2 \cdot H + 0.05428 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.83512
	表面积	$A_R = 203.64965 + 6.889512D_b^2 \cdot H + 1.24221 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.94273
	体 积	$V_R = 18.12224 - 2.68828D_b^2 \cdot H + 0.21742 \cdot (D_b^2 \cdot H)^2$	0.97652

量的积累过程,还是其表面积和体积的增加进程都是随着苗木地径和苗高的增加而显著增加,模型的相关系数都在0.80以上,估计精度在95%的可靠

性水平上都达到 90% 以上。

### 2.2 水分状况对苗木根系生长的影响

土壤水分状况对沙棘苗木根系的生长发育和干物质积累有明显的影 响,以淳化土壤为例,土壤水分处理 I、II、III 和 IV 的苗木根系总数量平均值分别为 98、38、35 和 16 条(毛根不计),根系的生物量、表面积和体积也存在显著的差异,而且随着土壤含水量的降低而逐渐降低(表 2),其值分别为 26.26、7.90、8.70、1.32 g,1145.72、355.46、290.04、34.54 cm<sup>2</sup>,87.36、30.66、29.17、2.08 cm<sup>3</sup>;实际研究中当土壤含水量只有土壤田间持水量 40.00% (处理 IV)时,在苗木生长旺季的 8 月份,由于水分供需失去平衡而发生死亡。

表 2 土壤水分状况对沙棘苗木根系生长发育的影响

水分状况	根系数量/条	生物量/g	表面积/cm <sup>2</sup>	体积/cm <sup>3</sup>	毛根重量/g
I	98	26.260 0	1145.725 2	87.357 0	10.791 0
II	38	7.898 5	355.456 5	30.660 8	2.017 0
III	35	8.700 0	290.043 7	29.171 7	3.562 5
IV	16	1.320 0	34.540 5	2.077 3	0.063 0

不同土壤水分,淳化土壤沙棘苗木根系各根级数量、生物量、表面积和体积均存在较大的差异(图 1~图 4)。随着土壤含水量的降低,不同根级根系生物量呈现明显下降趋势,根径  $D_R > 5.0$  mm 根系

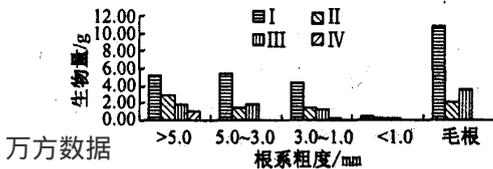


图 1 不同土壤水分沙棘苗木根系生物量

Fig.1 Seabuckthorn seedlings' root biomass under different soil moistures

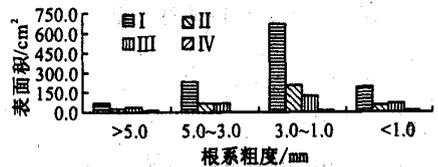


图 2 不同土壤水分沙棘苗木根系表面积

Fig.2 Seabuckthorn seedlings' root surface area under different soil moistures



图 3 不同土壤水分沙棘苗木根系体积

Fig.3 Seabuckthorn seedlings' root volume under different soil moistures



图 4 不同土壤水分沙棘苗木根系数量

Fig.4 Seabuckthorn seedlings' root amount under different soil moistures

水分处理为 I、II、III 和 IV 的生物量分别为 5.181、2.794、1.825 和 1.059 g,而根径  $3.0 > D_R > 1.0$  mm 的生物量分别为 4.426、1.508、1.202 和 0.143 g,可以看出土壤水分比较充足的苗木毛根比较发达。根系的表面积随着土壤水分含量的减低而逐渐减少,相同水分处理不同根级根表面积大小排序存在较大差异,但都是以根径在  $3.0 > D_R > 1.0$  mm 的为最大,随着土壤含水量降低根表面积依次为 666.192、

200.205、124.052 和 10.860 cm<sup>2</sup>,只有个别例外。根系体积变化趋势的测定结果与根系表面积的结果类似,只是根径在  $5.0 > D_R > 3.0$  mm 体积最大。同样,不同土壤水分处理一、二级根系数量差异也较大,淳化土壤水分处理为 I、II、III 和 IV 的一、二级根系数量分别为 33、18、18、14、64、20、16、0 条。

### 2.3 土壤类型对苗木根系生长的影响

不同土壤类型对沙棘苗木根系生长同样存在明

显的影响。研究表明,土壤含水量为 87.14% 的田间持水量时,苗木根系的生物量、表面积和体积皆为淳化的最大,吴旗的最小,安塞的居中,前者分别为 26.260 g、1 145.725 cm<sup>2</sup> 和 87.357 cm<sup>3</sup>,分别是安塞和吴旗的 1.53、4.25、1.55、3.82 和 1.61、3.60 倍;土壤含水量为 70.00% 的田间持水量时,情况正好

相反,但差异不显著;而土壤含水量为 52.00% 的田间持水量时,3 项指标淳化的最低,安塞和吴旗的差异不明显;但是在土壤含水量只有 40.00% 的田间持水量时,3 项指标安塞的最高,淳化的最低,吴旗的居中(表 3)。

表 3 土壤类型对沙棘苗木根系生长发育的影响

Table 3 The seabuckthorn seedlings' root growth or development under different soil types

水分	生物量/g			表面积/cm <sup>2</sup>			体积/cm <sup>3</sup>		
	淳化	安塞	吴旗	淳化	安塞	吴旗	淳化	安塞	吴旗
I	26.260	17.050	6.183	1145.725	738.430	299.962	87.357	54.320	24.249
II	7.899	8.704	9.842	355.456	404.771	365.746	30.661	24.259	35.506
III	8.700	11.074	10.29	290.044	469.852	469.578	29.172	33.517	36.657
IV	1.320	6.612	3.623	34.541	277.825	213.269	2.077	14.397	9.640

同样,土壤类型不同也影响沙棘苗木根系各根级的数量、生物量、表面积和体积<sup>[6,7]</sup>(图 5~图 7)。水分处理为 I、II、III 和 IV 的淳化、安塞、吴旗土壤苗

木根系的数量分别为 98、38、35、16、85、52、67、48 和 39、44、51、39 条,可见淳化土壤根系数量随着土壤含水量的降低而显著减少,安塞土壤呈降低趋势,但

万方数据

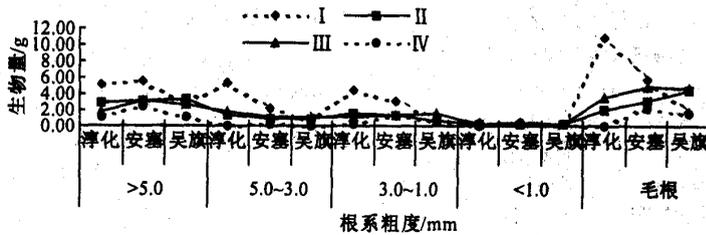


图 5 不同土壤类型和水分状况沙棘苗木根系生物量

Fig. 5 Seabuckthorn seedlings' root biomass under different soil types with different moistures

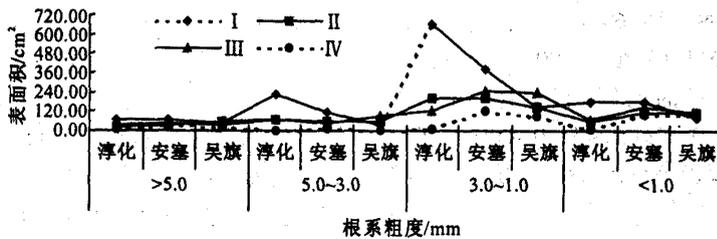


图 6 不同土壤类型和水分状况沙棘苗木根系表面积

Fig. 6 Seabuckthorn seedlings' root surface area under different soil types with different moistures

差异不明显,而对于吴旗土壤来说,中等土壤含水量根系发育相对丰富。不同土壤类型沙棘苗木根系根径( $D_R$ )在  $>5.0$ 、 $5.0 \sim 3.0$ 、 $3.0 \sim 1.0$ 、 $<1.0$  mm 和毛根各根级的生物量总体变化趋势是:土壤质地越细,根系生物量越大,而且土壤水分处理 I 的最大,水分处理 IV 的最小,水分处理 II 和 III 的居中,根级间为毛根的最大,淳化土壤毛根生物量高达 10.791 g,

分别为安塞和吴旗的 2.0 和 5.0 倍,之后随着根径的降低而逐渐降低;各根级的根系表面积、体积的变化规律与其生物量的变化趋势类似,根系表面积的最大值出现在  $3.0 \text{ mm} > D_R > 1.0 \text{ mm}$ ,水分处理分别为 I、II、III 和 IV 的淳化土壤根系表面积分别为 666.192、200.205、124.052 和 10.860 cm<sup>2</sup>,吴旗的分别为 144.411、144.681、233.847 和 85.283 cm<sup>2</sup>,

安塞的位于二者之间。根系体积的最大值多出现在  $5.0\text{ mm} > D_R > 3.0\text{ mm}$ , 水分处理分别为 I、II、III 和 IV 的淳化、安塞、吴旗土壤根系体积分别为

36.622、14.042、15.973、0.000, 18.241、5.410、12.667、1.261、7.687、13.639、16.928、0.070  $\text{cm}^3$ 。

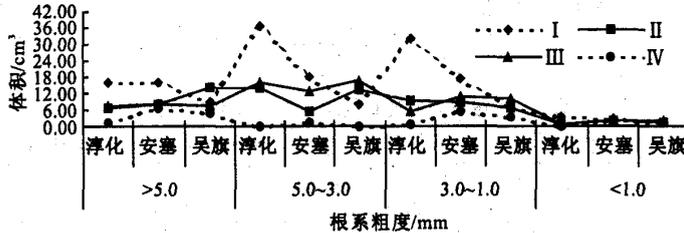


图7 不同土壤类型和水分状况沙棘苗木根系体积

Fig.7 Seabuckthorn seedlings' root volume under different soil types with different moistures

2.4 苗木地上部分生长与根系生长的关系

研究结果表明沙棘苗木地上部分的生物量 ( $W_S$ ) 与地下部分的生物量 ( $W_R$ ) 存在显著的线性关系, 方程的相关系数都在 0.90 以上, 95% 的可靠性水平上估计精度都在 90% 以上, 只是不同土壤类型直线的截距和斜率存在一定的差异 (表 4)。

表4 沙棘苗木地上部分生物量与地下部分生物量的关系  
Table 4 The relationship between the overground biomass and the underground biomass of seabuckthorn seedlings' root systems

地点	模 型	相关系数	样本数
淳化	$W_S = 5.74486 + 1.42068W_R$	0.98837	8
安塞	$W_S = -1.65908 + 2.01545W_R$	0.91774	8
吴旗	$W_S = 4.8271 + 1.11536W_R$	0.94661	8

水分处理分别为 I、II、III 和 IV 的淳化、安塞、吴旗土壤沙棘苗木地上部分生物量分别为 43.906、19.922、14.924、6.992、36.601、20.841、13.397、9.159 和 14.493、15.691、15.309、7.207 g, 根系生物量与地上部分生物量的比例 (根茎比) 分别为 0.590、0.397、0.561、0.216、0.472、0.417、0.793、0.724 和 0.415、0.602、0.695、0.498, 可见土壤类型和水分状况均影响根茎比<sup>[8]</sup>。

3 结论与讨论

沙棘苗木根系生物量、表面积、体积与其地径和苗高间存在密切的相关关系, 均呈现抛物线型曲线, 三者随着苗木地径和苗高的增加而显著增加。

土壤水分状况对沙棘苗木根系的生长发育和干物质积累有明显的影 响, 水分处理 I、II、III 和 IV 淳化土壤的根系数分别为 98、38、35 和 16 条 (毛根不计), 根系的生物量、表面积和体积也随着土壤含水量的降低而逐渐降低, 干旱情况下苗木发生死亡。

随着土壤含水量的降低, 不同根级根系生物量呈现明显下降趋势, 土壤水较充足的苗木毛根比较发达。根系表面积和体积随着土壤水分含量的减低而逐渐减少, 同一水分处理不同根级根表面积和体积大小也存在较大差异, 表面积在  $3.0 > D_R > 1.0\text{ mm}$  最大, 而体积在  $5.0 > D_R > 3.0\text{ mm}$  的最大。

土壤含水量最高时, 苗木根系的生物量、表面积和体积皆为淳化土壤的最大, 吴旗的最小, 安塞的居中, 淳化的分别为 26.260 g、1145.725  $\text{cm}^2$  和 87.357  $\text{cm}^3$ , 分别是安塞和吴旗的 1.53、4.25、1.55、3.82 和 1.61、3.60 倍; 土壤含水量较高时, 情况相反; 土壤含水量较低时, 淳化的最低, 安塞和吴旗的差异不大; 含水量最低时, 安塞的最高, 淳化的最低, 吴旗的居中。

淳化土壤沙棘苗木根系数量和生物量随着土壤含水量的降低而显著减少, 安塞土壤的呈降低趋势, 但差异不明显, 而对于吴旗土壤来说, 中等土壤含水量根系发育相对丰富。根系生物量土壤质地越细, 根系生物量越大, 根级间为毛根的最大, 淳化土壤毛根生物量高达 10.791 g, 分别为安塞和吴旗的 2.0 和 5.0 倍, 然后随着根径的降低而逐渐降低; 各根级的根系表面积、体积的变化规律与其生物量的变化趋势类似, 根系表面积的最大值出现在  $3.0 > D_R > 1.0\text{ mm}$ , 根系体积的最大值多出现在  $5.0 > D_R > 3.0\text{ mm}$ 。

沙棘苗木地上部分生物量与地下部分生物量存在显著的线性关系; 水分处理分别为 I、II、III 和 IV 的淳化、安塞、吴旗土壤沙棘苗木地上部分生物量分别为 43.906、19.922、14.924、6.992、36.601、20.841、13.397、9.159 和 14.493、15.691、15.309、

油松混交林。

群丛 6: 光蹄盖蕨 + 陕西绣线菊 + 华山松 (海拔 1 550 ~ 1 650 m) 该群丛内漆树所含比例较高, 生境较为湿润, 目前又处于封育状态, 它的演替方向与群丛 2 相同, 向着针阔混交林的方向发展, 但群丛 6 比群丛 2 速度要快一些。一方面由于群丛 6 所含阔叶树比例较高, 另一方面它处于封育状态。

群丛 7: 蛇莓 + 华山松 (海拔 1 950 ~ 2 100 m)

该群丛所处的海拔较高, 林相差, 林内人为破坏较为严重, 铁杉、红桦将会逐渐侵入主林层, 形成铁杉、红桦、华山松的混交林。秦岭华山松不同群丛的演替方向如图 2。

### 3 结论

土壤湿度是影响华山松更新状况最为主要的原因; 在土壤湿度较小的情况下, 华山松幼苗更新良好。

华山松群落中华山松、锐齿栎和漆树的胸径结构是偏于成熟分布, 说明华山松、锐齿栎和漆树的数量在华山松群落中处于增加时期。

华山松大小蠹虫对华山松的危害和人为干扰是华山松群落更新演替主要外部因子, 两者相互结合,

共同促进了群落的演替。

芫草 + 美丽胡枝子 + 华山松群丛的演替方向是松栎混交林; 毛叶轴脉蕨 + 美丽胡枝子 + 华山松群丛、光蹄盖蕨 + 陕西绣线菊 + 华山松群丛将会形成针阔混交林; 蛇莓 + 华山松群丛将会形成铁杉、红桦、华山松的混交林; 崖棕 + 蔷薇 + 华山松群丛; 深绿蒿 + 短梗胡枝子 + 华山松群丛目前暂时处于稳定状态。

### 参考文献:

- [1] 高甲荣. 秦岭林区华山松林天然更新的初步研究[J]. 西北林学院学报, 1991, 6(1): 9-14.
- [2] 中国森林编辑委员会. 中国森林(第二卷. 针叶林)[M]. 中国林业出版社, 1999.
- [3] 陕西森林编辑委员会. 陕西森林[M]. 陕西科技出版社. 中国林业出版社, 1989: 531-544.
- [4] 牛春山. 陕西树木志[M]. 中国林业出版社, 1990:.
- [5] LU SH P (鲁胜平). Dominant Tree Species of Tree Layer and Classification of Community in Shiziguan Reservoir Area[J]. Journal of Hubei Institute for Nationalities, (湖北民族学院学报) 2002, 20(2): 6-10.
- [6] WANG B X (王伯荪), ZHANG W. Y (张炜银). Groups and Feature of tropical forest Vegetation of Hainan Island. Guangxi Plant (广西植物), 2002, 22(2): 107-115.

(上接第 30 页)

7. 207 g, 根茎比分别为 0.590、0.397、0.561、0.216、0.472、0.417、0.793、0.724 和 0.415、0.602、0.695、0.498。

### 参考文献:

- [1] 崔浪军, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 沙棘-杨树混交林生物量、林地土壤特性及其根系分布特征研究[J]. 林业科学, 2003, 39(6): 1-7
- [2] 阮成江, 李代琼. 黄土丘陵区沙棘群落特性及林地水分、养分分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1061-1064
- [3] 李根前, 黄宝龙, 唐德瑞, 等. 毛乌素沙地中国沙棘无性系生长

- 格局与生物量分配[J]. 西北农林科技大学学报(自然版), 2001, 29(2): 51-55
- [4] 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
- [5] 胡建中. 陇东黄土高原沟壑区沙棘根系的研究[J]. 沙棘, 1992, 5(1): 21-26
- [6] 胡建中. 沙棘根系模数聚类及生长分布规律的探讨[J]. 林业科学, 1992, 28(1): 22-29
- [7] 高志义, 张玉胜. 河滩地坡地沙棘根系生长发育特点的调查研究[J]. 沙棘, 1988, (3): 27-32.
- [8] 陈江南, 辛瑛, 李贵, 等. 砭砂岩地区沙棘根系的初步调查与分析[J]. 沙棘, 1998, 11(2): 10-12.