

晋西黄土高原三种灌木的根构型研究

王芳, 高甲荣*, 朱继鹏, 高阳, 胡封兵

(北京林业大学 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

摘要: 采用三维坐标体系追根挖掘法对晋西黄土高原半阴坡虎榛子、黄刺玫和三裂绣线菊3种灌木根构型进行了研究。研究表明,3种灌木根系水平分布范围较广,垂直分布范围较窄,虎榛子主要集中分布在0~60 cm土层中,黄刺玫集中分布在0~40 cm土层中,根系空间构型表明虎榛子和黄刺玫以水平根和斜生根为主,无明显主根,7 a生三裂绣线菊根系错综复杂,根系中有一定数量的2~3级分枝根,表现出了较其他两种灌木较强的适应性。

关键词: 虎榛子; 黄刺玫; 三裂绣线菊; 根构型; 黄土高原

中图分类号: S718.51⁺⁶ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)05-0146-05

根构型是指同一根系中不同类型的根(直根系)或不定根(须根系)在生长介质中的空间造型和分布。具体来说,根构型包括立体几何构型和平面几何构型。立体几何构型是指不同类型的根(直根系)或不定根(须根系)在介质中的三维空间分布。平面几何构型则为同一根系的各种根沿根轴二维平面上的分布^[1]。一直以来,人们试图通过直接或间接的方法定量描述植物根系构型。Fitter(1991)试图通过拓扑学模型(Topological Models)来定量描述根构型。他将三维构型分解成二维构型,然后根据根系的二维分枝情况将根系分成鲱骨(Herringbone)和二分枝(Dichotomous)等拓扑学类型,进而通过测定有关的拓扑学参数对根构型给予定量描述。Nielsen等(1997)通过分形几何(Fractal Geometry)方法研究不同生长时期菜豆根系的线性、平面和三维空间分布与分形几何参数的相关性,认为分形几何学参数可用于估计植物根系的三维立体构型。这些方法加深了对根系几何形态和性质的认识,提高了定量描述系统形态的可靠性^[2~8]。

植物根构型是一个比根系形态特征、拓扑学结构、根系的分层分布等更为高级的、更能全面描述根系形态、结构特征及空间分布的综合性概念^[1]。本文对晋西黄土高原虎榛子、黄刺玫、三裂绣线菊三种研究流域主要灌木根构型进行了系统的研究,希望能为根-土相互作用过程和机制的探索提供有价值的科学实验资料。

1 研究区概况

研究区设置在山西省吉县蔡家川流域内,该流域属暖温带半湿润区褐土阔叶落叶林地带向森林草原地带的过渡地带。流域中下部为典型的梁状丘陵沟壑类型,相对而言,坡面比较完整,仅在侵蚀沟中上部的两侧及顶部常形成陡峭的土质崖面,暴雨时上方来水常造成崩塌,是河流泥沙的主要来源。流域上部为石质土地,山峰高耸,地势陡峭,岩石裸露,海拔相对高差688 m。流域中下段河床比降小,平均为2.43%,河床底部几乎全部下切至基岩,形成若干路跌水。在流域上游主要分布着天然次生林,主要树种有山杨(*P. davidiana*),侧柏(*P. orientalis*),辽东栎(*Q. wutaishanica*)等。中上游有近几十年来人工营造的大片油松(*P. tabulaeformis*)、华北落叶松(*L. principis-rupprechtii*)、刺槐(*R. pseudoacacia*),长势良好。在中上游地段主河道以南,人工植被主要为近年来营造的油松(*P. tabulaeformis*)林。在封禁条件下,天然植被恢复良好,接近主河床的阴向斜坡为以山杨(*P. davidiana*)、辽东栎(*Q. wutaishanica*)、虎榛子(*O. davidiana*)、黄刺玫(*R. xanthina*)等为主的天然植被。

2 材料与方法

本研究是在2004年7月在研究流域的植被调查的基础上,对晋西黄土高原丘陵沟壑区半阴坡立

收稿日期:2006-01-12

基金项目:国家973项目(2002CB111503);2004年北京林业大学研究生自选课题基金项目(04SB001)

作者简介:王芳(1980-),女,山西孝义人,硕士研究生,主要研究方向为流域管理。

* 通讯作者:高甲荣(1963-),男,陕西韩城人,副教授,主要从事流域管理及生态环境建设。

地上生长的虎榛子、黄刺玫、三裂绣线菊 3 种主要灌木进行调查。在研究流域所进行的植被演替调查结果表明,3 种灌木主要分布在半阴坡和半阳坡,对两个坡向的根构型研究结果显示,3 种植物种在半阴坡和半阳坡的根构型分布相似(另文详述),所以取 3 种灌木在半阴坡的根构型分布作为主要研究对象。在同一坡向的同一坡位上选择各植物种有代表性的典型样地 1 块,在样地内调查虎榛子、黄刺玫、

三裂绣线菊丛数,并用胸高尺实测每丛虎榛子、黄刺玫、三裂绣线菊的树高、地径,每丛重复 3 次,取其平均值作为该丛虎榛子、黄刺玫、三裂绣线菊的树高和地径,同时测定其冠幅,测定完成后,推算全林分的平均测树因子。

在样地内选择生长状况良好、与林分平均测树因子相近、树冠均匀的 2 丛虎榛子、黄刺玫、三裂绣线菊进行根系调查。样地的基本情况如表 1 所示。

表 1 晋西黄土高原地区灌木根系调查样地概况

Table 1 Site location and stand variables of the selected shrubbery lands in the Loess Plateau of western Shanxi

坡向 Slope direction	坡位 Position	坡度 Slope grade	标准地 编号 Code of study plot	伴生植物 Concomitant plant species	林地 郁闭度 Coverage (%)	树高 Height (m)	地径 Base diameter (cm)	生物量 Biomass of aboveground part (g)	备注 Remarks
半阴 Semi- shady slope	下坡 Down- slope	14°	1	黄刺玫、杜梨 <i>R. xanthina, Pyrus betulifolia</i>	100	1.6	0.92	168.96	3 年生虎榛子 3-year-old <i>O. davidiana</i>
			2	虎榛子、杜梨 <i>O. davidiana, Pyrus betulifolia</i>	100	2.4	2.88	228.5	4 年生黄刺玫 4-year-old <i>R. xanthina</i>
			3	虎榛子 <i>O. davidiana</i>	100	1.61	1.45	295.08	7 年生三裂绣线菊 7-year-old <i>Spiraea trilobata</i>

为全面研究根系的分布特征,采用三维坐标根系追根挖掘法研究。具体方法是锯掉其上部分,以根桩处为三维坐标起点,布设坐标。为使数据直观并与 AutoCAD 软件要求一致,规定水平方向为 X 轴,左向为正,右向为负;水平面上垂直于 X 方向为 Y 轴,向里为正,向外为负;垂直于 X 轴与 Y 轴方向的为 Z 轴,向上为正,向下为负。坐标布设完成后沿根基周围逐层挖掘并跟踪主要根系,测定其起点坐标、终点坐标,拐弯处或分叉处,重新标号测量其始终点坐标,测量完所有主要根系后,尽量将全部根系挖出。挖掘过程中将每 20cm 土层根系全部装入布袋,冲洗后置于 85℃ 烘箱烘干,将根系按 ≤ 1 mm、1~3 mm、3~5 mm、5~10 mm、>10 mm, 分别分为 I、II、III、IV、V 五级称量根重并测量根长。将

获得的根系三维坐标数据用 AutoCAD 软件进行图像处理,绘出根系分布图(图 1)。(注:三裂绣线菊仅测量了其三维坐标,绘制根构型分布图)。

3 结果与分析

3.1 根系分布范围

调查结果表明,虎榛子标准木的平均水平范围为 180 cm×150 cm,伸入坡面内侧 68 cm,平均垂直分布深度 66 cm;黄刺玫标准木根系的平均水平分布范围为 90 cm×180 cm,伸入坡面内侧 90 cm,平均垂直分布深度 65 cm;三裂绣线菊标准木根系的平均水平分布范围为 90 cm×90 cm,伸入坡面内侧 70 cm,平均垂直分布深度 83 cm(表 2)。

表 2 3 种灌木的根系分布范围

Table 2 The distribution range of root system of the three shrubbery species(cm)

树种 Species	X		Y		Z	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	-70	107	-70	68	-60	6
黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	-35	54	-86	90	-45	20
三裂绣线菊 <i>Spiraea trilobata</i>	-45	40	-17	70	-35	48

3.2 不同径级根长和根量分布

不同径级根长和根系生物量的分布直接反映了树种根系的伸展特点,同时也间接反映了根系在土层中吸收水分、养分的土层范围^[10]。研究发现,虎榛子和黄刺玫不论根系生物量还是根长的分布都表现出随着土层深度增加而减小的趋势。虎榛子 92%的根系生物量集中分布在 0~60 cm 土层中,84%的根系长度主要集中在 0~60 cm 的土层中,≤1 mm 细根在各层均有分布,占总生物量的 10.51%,根长占 53.93%,尽管在深层土壤中仅有很少比例的根系存在,但它们对林木的水分吸收却发挥着非常重要的作用^[11];1~10 mm 的根系所占比例较大,根系生物量占到总生物量的 67.89%,根长占 45.23%;≥10 mm 的根系分布在 0~40 cm 的土层中,根系生物量占总生物量的 21.6%,根长占 0.83%。黄刺玫与虎榛子相比,根系分布较浅,其根长和根量主要分布在 0~60 cm 的土层中,在 60~80 cm 范围内很少有根系分布,94%的根系生物量集中分布在 0~40 cm 土层中,85%的根系长度集中在 0~40 cm 土层中,≤1 mm 细根根量占总生物量的 2.495%,根长占 58.84%;1~10 mm 的根系生物量占到总生物量的 27.53%,根长占 32.29%;≥10

mm 的根系集中分布在 0~20 cm 的土层中,根系生物量占总生物量的 69.97%,根长占 8.87%(表 3~6)。

3.3 3 种灌木的根系空间构型

根系的空间构型是受林木本身的生物学特性及其生存地的自然生境共同作用的结果^[12,13]。如图 1 所示,晋西黄土高原地区半阴坡虎榛子与黄刺玫的根系分布特征相似,基本上没有垂直伸展的主根,但具有较发达的水平根和大量的斜生根,水平根从根基侧部向外生长,属于复合根型,俯视形状呈不对称状,大部分根系以水平根或斜生根的形式向坡面下坡方向延伸,靠近植物根的上坡方向的根系分布较少,从根系分枝情况看,两种灌木根系基本上以 1 级根系为主,1 级以上根系分枝非常少。拉夏埃尔·W(1985)指出,在面临大气干旱和土壤干旱时,使植物尽可能长时间里保持适宜含水量的一切生理和形态特征,包括延伸根系,发展起稠密的根网,使吸水得以改善,均有助于逃避干旱,并取决于其逃避干旱机制效率。形成两种灌木根构型的原因与黄土高原地区 2005 年春季降水量较少,土壤含水量较低有关,这种根性特点反映了虎榛子和黄刺玫在特殊立地条件下的生态可塑性。

表 3 虎榛子根系生物量的垂直分布

Table 3 Vertical distribution of root biomass of *Ostryopsis davidiana*

深度 Depth (cm)	根系生物量 Root biomass(g)					合计 Total	百分比 Percentage(%)
	I	II	III	IV	V		
0~20	38.63	14.19	58.98	44.48	63.85	220.13	27.81
20~40	20.09	16.71	84.8	123.97	107.11	352.68	44.56
40~60	16.55	12.49	54	67.41	0	150.45	19.01
60~80	7.92	17.62	21.34	21.39	0	68.27	8.63
合计 Total	83.19	61.01	219.12	257.25	170.96	791.53	100
百分比 Percentage(%)	10.51	7.71	27.68	32.50	21.60	100	

表 4 虎榛子根系根长的垂直分布

Table 4 Vertical distribution of root length of *Ostryopsis davidiana*

深度 Depth (cm)	根系长度 Root length(cm)					合计 Total	百分比 Percentage(%)
	I	II	III	IV	V		
0~20	96408.0	12863.3	7556.8	1856.9	822.5	119507.5	29.33
20~40	77924.0	14520.5	11238.4	90090	2576.8	196349.7	48.18
40~60	16380.0	3358.9	4700.8	1921.8	0	26361.5	6.47
60~80	29040.0	33972	1625.7	643.4	0	65281.1	16.02
合计 Total	219752.0	64714.7	25121.7	94512.1	3399.3	407499.8	100.0
百分比 Percentage(%)	53.93	15.88	6.16	23.19	0.83	100	

表 5 黄刺玫根系生物量的垂直分布

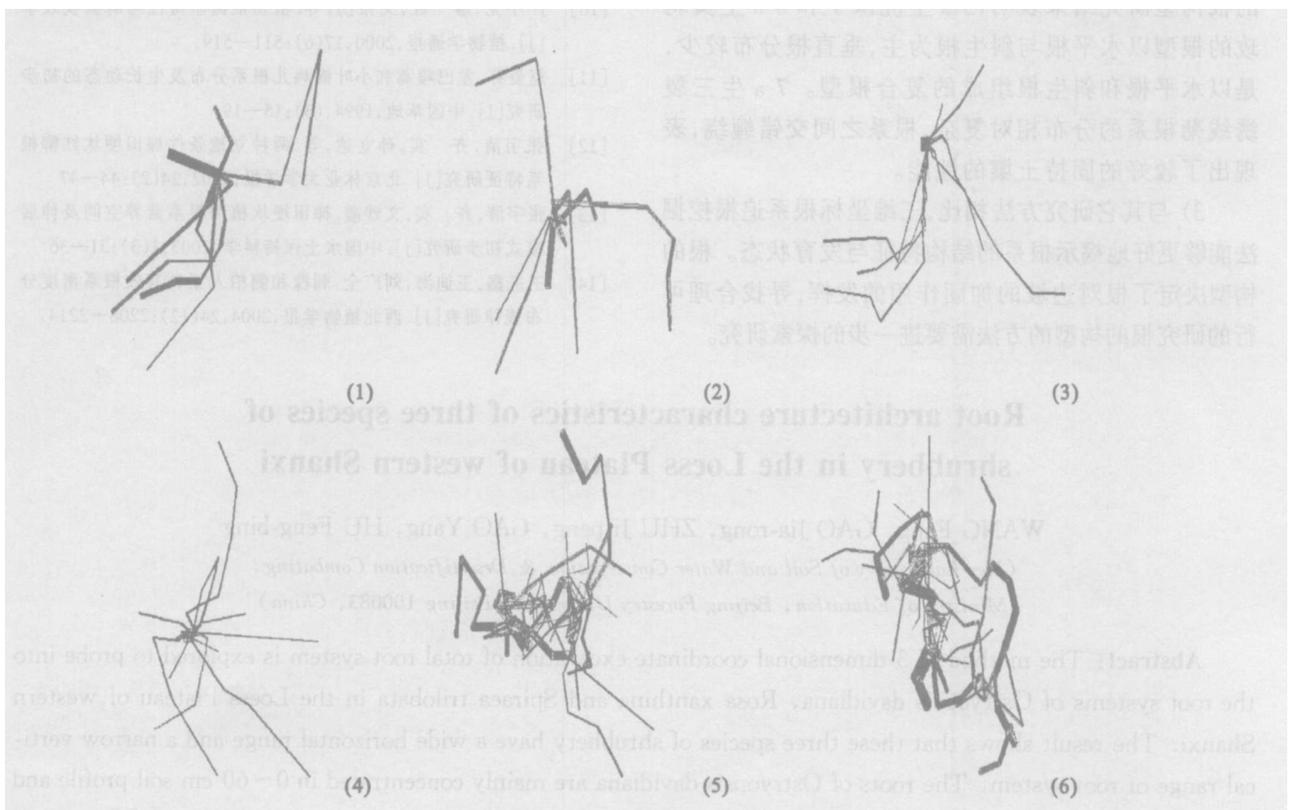
Table 5 Vertical distribution of root biomass of *Rosa xanthina*

深度 Depth (cm)	根系生物量 Root biomass(g)					合计 Total	百分比 Percentage(%)
	I	II	III	IV	V		
0~20	54.74	72.7	166.38	318.11	2366.57	2978.5	84.91
20~40	17.63	28.14	69.77	146.93	53.6	316.07	9.01
40~60	15.04	13.43	69.85	80.55	34.52	213.39	6.08
60~80	0	0	0	0	0	0	0
合计 Total	87.41	114.27	306	545.59	2454.69	3507.96	100
百分比 Percentage(%)	2.49	3.26	8.72	15.55	69.97	100	

表 6 黄刺玫根系根长的垂直分布

Table 6 Vertical distribution of root length of *Rosa xanthina*

深度 Depth (cm)	根系长度 Root length(cm)					合计 Total	百分比 Percentage(%)
	I	II	III	IV	V		
0~20	142627	47796.7	18595.2	8223.1	34668.6	251910.6	61.60
20~40	57072	22064	8639.5	4551.9	789.1	93116.5	22.77
40~60	40890	6623	11804	3759	815.4	63891.4	15.62
60~80	0	0	0	0	0	0	0
合计 Total	240589	76483.7	39038.7	16534	36273.1	408918.5	100
百分比 Percentage(%)	58.84	18.70	9.55	4.04	8.87	100	



(1)虎榛子根系的侧视图;(2)虎榛子根系的俯视图;(3)黄刺玫根系的侧视图;(4)黄刺玫根系的俯视图;(5)三裂绣线菊根系的侧视图;(6)三裂绣线菊根系的俯视图。(1)Side elevation of *Ostryopsis davidiana* roots; (2)Planform of *Ostryopsis davidiana* roots; (3)Side elevation of *Rosa xanthina* roots; (4)Planform of *Rosa xanthina* roots; (5)Side elevation of *Spiraea trilobata* roots; (6)Planform of *Spiraea trilobata* roots

图 1 三种灌木根系空间构型

Fig. 1 Root architecture characteristics of three kinds of shrubby

三裂绣线菊根系相对较复杂,根系上着生有较多的水平根,水平根上着生着发达的斜生根,根系之间交错缠绕,基本上没有垂直伸展的主根,根系以斜生根居多,从根系的分枝情况看,三裂绣线菊的根系中有一定数量的 2~3 级分枝根,表现出了较其它两种灌木的适应性,错综复杂的根系对整个土体的结构性起着重要固持作用,因为根系在生长过程中,在根系的膨压作用下,根系与土体间产生轴向压力,使根系与土壤紧密粘合在一起,而根系分叉越多,其结构越复杂,根系与土壤接触的面积越大,根系与土体间的摩擦阻力也越大^[14],所以从根构型研究结果看,7 a 生三裂绣线菊根系的固土能力较强。

4 结 语

1) 晋西黄土高原 3 种灌木根系水平根系分布范围是垂直分布范围的 2 倍,根系主要集中在 0~60 cm 土层中,虎榛子根系生物量和根系长度垂直分布较黄刺玫深,但根系生物量和根长总和小于黄刺玫。该研究结果反映了根系有其一定的分布范围,这也正是生物工程措施保持水土的重要理论依据。

2) 采用三维坐标体系追根挖掘法对 3 种灌木的根构型研究结果表明,3 a 生虎榛子和 4 a 生黄刺玫的根型以水平根与斜生根为主,垂直根分布较少,是以水平根和斜生根组成的复合根型。7 a 生三裂绣线菊根系的分布相对复杂,根系之间交错缠绕,表现出了较好的固持土壤的性能。

3) 与其它研究方法相比,三维坐标根系追根挖掘法能够更好地揭示根系的结构特征与发育状态。根的构型决定了根对边坡的加固作用的发挥,寻找合理可行的研究根的构型的方法需要进一步的探索研究。

Root architecture characteristics of three species of shrubbery in the Loess Plateau of western Shanxi

WANG Fang, GAO Jia-rong, ZHU Ji-peng, GAO Yang, HU Feng-bing
(Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating,
Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The method of 3-dimensional coordinate excavation of total root system is explored to probe into the root systems of *Ostryopsis davidiana*, *Rosa xanthina* and *Spiraea trilobata* in the Loess Plateau of western Shanxi. The result shows that these three species of shrubbery have a wide horizontal range and a narrow vertical range of root system. The roots of *Ostryopsis davidiana* are mainly concentrated in 0~60 cm soil profile and those of *Rosa xanthina* are in 0~40 cm. In the aspect of root architecture characteristics, the roots of *Ostryopsis davidiana* and *Rosa xanthina* are mainly lateral and diagonal ones and there are very few taproots. *Spiraea trilobata* of 7 years old has a complex root system and has a lot of second and third branch roots and shows a strong adaptability.

Keywords: *Ostryopsis davidiana*; *Rosa xanthina*; *Spiraea trilobata*; root architecture characteristics; Loess Plateau

参 考 文 献:

- [1] 向师庆,赵相华.北京主要造林树种的根系研究[J].北京林业大学学报,1981,(2):19-32.
- [2] Harry Ozier-Lafontaine, Francois Lecompte, Jean Francoil Sillon. Fractal analysis of the root architecture of *Gliciridia sepium* for the spatial prediction of root branching, size and mass: model development and evaluation in agroforestry [J]. *Plant and Soil*, 1999, 209:167-180.
- [3] Vercambre G. Architectural analysis and synthesis of the plum tree root system in an orchard using a quantitative modeling approach [J]. *Plant and Soil* 2003, 251:1-11.
- [4] Juan J, Martinez-Sanchez. Comparative root system structure of post-fire *Pinus halepensis* Mill. And *Cistus monspeliensis* L Saplings [J]. *Plant Ecology* 2003, 169:309-320.
- [5] Danjon F, Sinoquet H, Godin C, et al. Characterisation of structural tree root architecture using 3D digitizing and AMAPmod software [J]. *Plant and Soil*, 1999, 211:241-258.
- [6] Armin oppelt. Root morphology of co-occurring African fruit tree species with contrasting strategies of exploration and exploitation, 2004.
- [7] Smit A L. Root methods - A handbook [J]. Springer-Verlag, Germany, 2000. 124-125.
- [8] 王义琴,张慧娟,白克智,等.分形几何在植物根系研究中的应用 [J]. *自然杂志*, 1998, 21(3):143-146.
- [9] W. 伯姆.根系研究法 [M]. 北京:科学出版社, 1985.
- [10] 严小龙,廖红,戈振扬,等.植物根构型特性与磷吸收效率 [J]. *植物学通报*, 2000, 17(6):511-519.
- [11] 赵爱芬.差巴嘎蒿和小叶锦鸡儿根系分布及生长动态的初步研究 [J]. *中国草地*, 1994, (3):15-19.
- [12] 张宇清,齐实,孙立达,等.两种立地条件梯田坝坎红柳根系特征研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(2):44-47.
- [13] 张宇清,齐实,文妙霞.梯田坝坎植物根系营养空间及伸展模式初步研究 [J]. *中国水土保持科学*, 2003, 1(3):31-36.
- [14] 王进鑫,王迪海,刘广全.刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究 [J]. *西北植物学报*, 2004, 24(12):2208-2214.