

# 河西灌区枸杞根系空间分布特征研究

占玉芳, 鲁延芳, 甄伟玲, 达世彩

(张掖市林业科学研究院, 甘肃 张掖 734000)

**摘要:**采用土钻法对河西灌区枸杞的根系分布特征进行了调查。结果表明:枸杞细根根系、粗根根系集中分布在 20—40 cm 土层内;细根和粗根生物量水平分布随着距树干距离的增加呈指数性下降;根据枸杞根系分布特点,枸杞合理的施肥方法应采用沟施或环施,位置距枸杞树干 30~90 cm,深度 30 cm 左右;结合树木根系消弱系数,从量化的角度对不同树龄枸杞根系分布特征的进一步分析,发现随着距树干距离的增加,3 a 生、8 a 生枸杞细根根系消弱系数  $\beta$  值随着水平距离的增加先增大后减小,最大值在距树干 60 cm 处,分别为 0.960 3、0.984 0;而枸杞粗根根系的  $\beta$  值随着距树干距离的增大而增大,在距树干 90 cm 处有较大范围的分,对树木水分和养分的疏导起到了非常重要的作用。细根根系的  $\beta$  值大于粗根根系的  $\beta$  值,说明细根比粗根在垂直方向分布范围深,吸收利用深层土壤水分和养分的能力强,这种分布特征扩大了枸杞的吸收空间,有利于树木吸收深层的水分和养分,促进树木地上部分的生长和发育。

**关键词:**枸杞;根系密度;根系消弱系数;河西灌区

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)04-0133-05

## Spatial Distribution Characteristics of Root System of *Lycium barbarum* L. in Hexi Irrigation Area

ZHAN Yufang, LU Yanfang, ZHEN Weiling, DA Shicai

(Zhangye Academy of Forestry, Zhangye, Gansu 734000, China)

**Abstract:** Soil drilling method is used to investigate root distribution characteristics of *Lycium barbarum* L. in Hexi irrigation area. The results indicated that fine roots, coarse roots concentrated in the soil layer of 20—40 cm; fine and coarse root biomass exponentially decreased with distance increase from the trunk; according to the distribution characteristics of *Lycium barbarum* L. wolfberry root, the reasonable fertilization methods should be furrow fertilization or ring fertilization, with 30~90 cm away from *Lycium barbarum* L. trunk and the depth of 30 cm; combining with the tree root extinction coefficient, from the quantitative point of further analysis of the root distribution characteristics of different ages of *Lycium barbarum* L., it was found that with increase of distance from the stem, the value increased with the increase of the horizontal distance after 3 years, 8 years of *Lycium barbarum* L., the maximum values of root extinction coefficient occurred in the site 60 cm away from the stem, which were 0.960 3 and 0.984 0, respectively; the crude *Lycium barbarum* L. root  $\beta$  value increased with the increase of distance from the stem, the distribution of range was wide in the site 90 cm away from the stem, which played the very important role in regulating water and nutrients in the trees. The  $\beta$  value of fine root was greater than that of the thick root, fine root distribution was deeper than coarse root in the vertical direction, the ability of the fine root to absorb the deep soil water and nutrient was greater, the distribution characteristics expanded space and was conducive to *Lycium barbarum* L., trees to absorb the deep water and nutrients, and promote the growth of ground parts and tree development.

**Keywords:** *Lycium barbarum* L.; root density; root extinction coefficient; Hexi irrigation area

枸杞(*Lycium chinense*)为茄科枸杞属落叶多分枝灌木植物,主要分布在宁夏、内蒙古、新疆等省的干旱、半干旱地区,是我国传统的名贵中药材,也是一种

营养滋补品。在卫生部公布的 63 种药食两用的名单中,名列榜首。目前,生产上广泛栽培的枸杞品种绝大多数属于宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)、新疆

枸杞 (*Lycium dasystemum* P.) 和枸杞 (*Lycium chinense* M.) 3种, 均可药用和食用, 具有较高的经济、生态和社会价值<sup>[1]</sup>。早在《神农本草经》和《本草纲目》中就有关于枸杞的药用和栽培的记载。因具有很强的耐盐性和生物排水(biological drainage)能力, 被认为是良好的防风固沙和解决我国西北上地盐碱化的先锋植物<sup>[2]</sup>, 常作为我国干旱区盐渍化土地开发利用中的首选灌木型经济林。

根系是植物的重要功能器官, 对于植物不仅起着固定和支持的作用, 而且为植物摄取、输导、合成、贮存碳水化合物和营养物质以及一系列有机化合物, 在森林生态系统物质和能量循环中发挥着非常重要的作用<sup>[3-4]</sup>。近年来, 有关林木根系的研究已成为森林培育学研究中的一个热点<sup>[5]</sup>, 根系的分布特征直接影响到植物对土壤的物质和能量利用的可能性, 进而影响到植物生长和生态功能的发挥<sup>[6]</sup>。根系是农业生产措施的主要作用中心, 人类最基本的农业生产活动, 如施肥、浇水和耕翻等, 主要是为根系创造最适宜的生活环境与合理的营养空间。果树栽培体系的改变, 大多是基于对根系的调控。根系对于多年生的果树来说, 它是树体整体发育的基础和调控中心(束怀瑞, 1993)。根系也是提高果品质量、改善果品品质的重要潜力, 揭示根系的生长发育规律, 对果树生产具有重要意义。目前, 对于果树根系空间分布特征的研究较少, 对于枸杞根系的研究更少。因此, 本文通过对于干旱荒漠区枸杞人工林根系生物量及分布特征的研究, 揭示其水分与养分利用特性、固土与成土作用, 为枸杞资源保护和持续利用、干旱荒漠区水土保持、枸杞高效生产提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于河西走廊中部甘州区九龙江林场, 地理位置 100°6′—100°52′E, 38°32′—39°24′N, 地势平坦, 平均海拔 1 474 m, 属温带大陆气候。年均降水量 113~120 mm, 蒸发量 2 047 mm, 日照时数 3 085 h, 无霜期 138~179 d, 具有日照时间长、昼夜温差大的特点, 太阳年辐射总量 619.5 kJ/cm<sup>2</sup>, 年均气温 7℃, 绝对最高气温 37.4℃, 绝对最低气温 -28℃; ≥0℃积温 3 388℃, ≥10℃积温 2 896.6℃; 全年盛行西北风, 年均风速 2 m/s, 最大风速 36 m/s, 年均大风日数 14.9 d, 最多天数 40 d, 最少 3 d; 年均沙尘暴日数 20.3 d, 最多 33 d, 最少 14 d。灾害性天气主要有大风、沙尘暴、干热风、干旱、霜冻、初春低温等。境内土壤主要以灰棕漠土分布面积最广, 约占全区总面积的 47.1%, 绿洲灌淤土次之, 约占 18.7%。

## 2 材料与方法

### 2.1 根系取样方法

选择甘州区九龙江林场枸杞园的枸杞为调查对象, 在各样地内随机选取 30 株样株, 进行每木调查, 并从中选出 4 株平均样株, 树龄 3 a, 平均高度 160.9 cm, 平均地径 2.485 2 cm; 树龄 8 a, 平均高度 211.58 cm, 平均地径 2.977 3 cm。采用改进的 1/4 样圆法对根系进行调查<sup>[7]</sup>, 即在每个样株的不同方位划出 1/4 营养区作为取样区。取样时, 以样株为中心分别在半径 30, 60, 90 cm 等不同距离处的弧线上按等距离确定 3 个取样点, 分土层(10 cm)用土钻( $d=5.0$  cm)钻取土样。用  $d=0.5$  mm 的筛子将各层土壤过筛, 并拣出所有根系, 编号后装入自封袋带回实验室。将从野外带回的各个根系, 按  $d>2$  mm,  $d\leq 2$  mm 的标准分级。用蒸馏水洗净后置入 75℃烘箱中, 烘干至恒重, 再分别称重量和记录。

### 2.2 数据分析

将同一样地上 4 株样株在营养空间的不同方位上、不同距离上不同径级根系的分布按照下列公式进行合并计算。

根系生物量水平分布特征的计算<sup>[8]</sup>

$$\rho = \frac{M}{\pi R^2 H}$$

式中:  $\rho$  为根系密度(g/cm<sup>3</sup>);  $\pi$  为圆周率;  $R$  为土钻半径;  $H$  为该点上根系的分布深度。

根系生物量垂直分布特征的计算<sup>[8]</sup>

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k m}{nk} \times \frac{1}{\pi R^2 h}$$

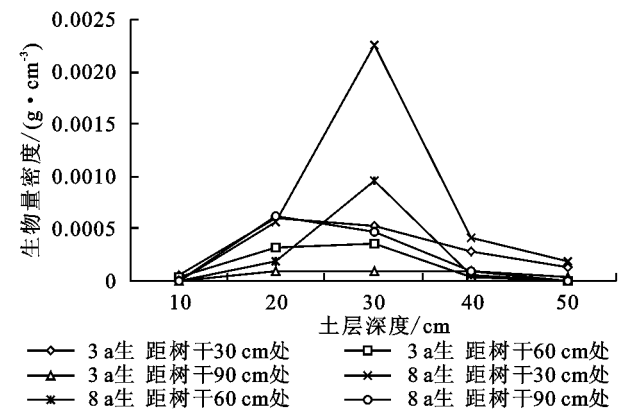
式中:  $\rho$  为根系密度(g/cm<sup>3</sup>);  $\pi$  为圆周率;  $m$  为根系质量(g);  $h$  为土层厚度(10 cm);  $R$  为土钻半径(cm);  $n, k$  为样株总数及样点总数。

## 3 结果与分析

### 3.1 枸杞根系生物量的空间分布特征

3.1.1 枸杞根系生物量的垂直分布特征 由图 1 可知, 距树干距离 30, 60, 90 cm 处, 随着土层深度的增加, 枸杞粗根根系生物量密度呈先增大后减小的趋势, 20—40 cm 土层为枸杞粗根根系生物量的高密度分布区; 枸杞粗根根系生物量密度 8 a 生远远高于 3 a 生枸杞。3 a 生枸杞粗根根系生物量密度, 距树干 30 cm 处, 20—40 cm 土层粗根根系密度占整个剖面的 86.46%; 距离树干 60 cm 处, 20—40 cm 土层粗根根系密度占整个剖面的 95.43%; 距离树干 90 cm 处, 20—40 cm 土层粗根根系密度占整个剖面的 42.11%。8 a 生枸杞粗根根系生物量密度, 距树干

30 cm处,20—40 cm 土层粗根根系密度占整个剖面的 94.39%;距离树干 60 cm处,20—40 cm 土层粗根根系密度占整个剖面的 100%;距离树干 90 cm处,20—40 cm 土层粗根根系密度占整个剖面粗根根系密度的 99.51%。



由图 2 可以看出,距离树干 30 cm,60 cm,90 cm 处的细根根系密度垂直剖面随深度增加而呈先增加后减少,20—40 cm 土层细根根系密度最大。对 3 a 生枸杞来说,距离树干 30 cm处,20—40 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 64.35%,距离树干 60 cm处,20—40 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 58.96%,距离树干 90 cm处,20—40 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 57.72%。对 8 a 生枸杞来说,距离树干 30 cm处,20—40 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 86.66%,距离树干 60 cm处,20—40 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 88.20%,距离树干 90 cm处,20—40 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 81.98%。由此可知,20—40 cm 土层是枸杞细根根系密度分布的高密度区,是枸杞进行水分和养分吸收的主要区域。枸杞细根根系在距离树干不同距离处、不同深度的土层中均有分布,这种根系分布特征有利于树木从距离树干不同距离处、不同深度的土层中吸收土壤水分,具有更大的水分吸收空间,有利于其生长发育。

由图 1—2 可知,距离树干 30 cm,60 cm,90 cm 处,枸杞粗根根系( $d>2\text{ mm}$ )、细根根系( $d\leq 2\text{ mm}$ )生物量密度在 30 cm 深度的土层中达到峰值。8 a 生枸杞在 0—40 cm 土层中根系生物量密度高于 3 a 生枸杞,说明枸杞在生长过程中根系的密集区和主要吸收区域不断下移,这是枸杞适应干旱环境的策略。

3.1.2 枸杞根系生物量的水平分布特征 由图 3,图 4 可以看出,枸杞粗根系生物量随着距树干距离的增加迅速降低,细根系的生物量随着距离的增加变化幅度较小。最大根系生物量密度出现在距离树干 30 cm 处。粗根系和细根系生物量水平分布均可用“抛

物线”描述<sup>[9]</sup>,随着距树干距离的增加,根系生物量密度呈指数下降。在距树干 30,60,90 cm 处,3 a 生枸杞粗根根系生物量密度低于 8 a 生枸杞,而 3 a 生枸杞细根根系生物量密度高于 8 a 生枸杞。在距树干 30 cm 处粗根系生物量达到最大值,3 a 生枸杞粗根根系占总根系密度的 45.91%,8 a 生枸杞粗根根系占总根系密度的 59.21%。

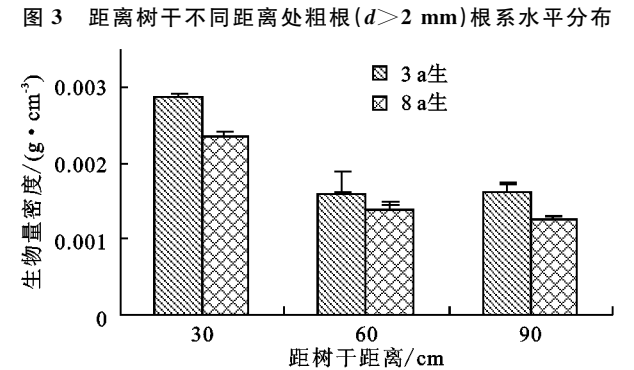
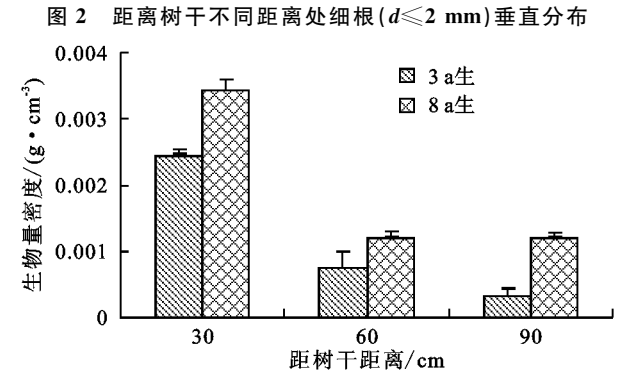
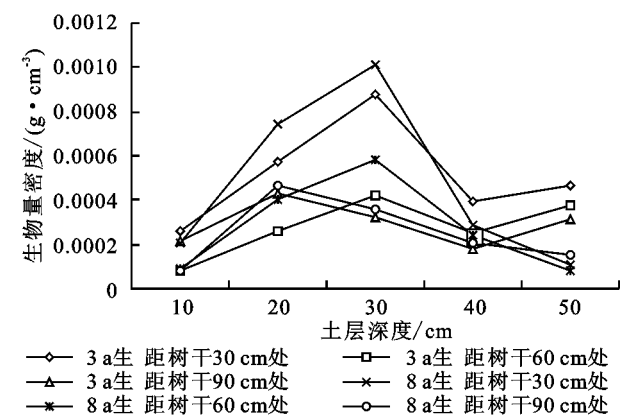


图 3 距离树干不同距离处粗根( $d>2\text{ mm}$ )根系水平分布

图 4 距离树干不同距离处细根根系( $d\leq 2\text{ mm}$ )水平分布

3.2 枸杞根系分布特征参数

Gale<sup>[10]</sup>和 Grigal<sup>[11]</sup>等通过对不同演替阶段林木根系分布特征的研究,提出了一个根系垂直分布模型:

$$Y=1-\beta^d \tag{1}$$

式中: $\beta$ 为根系消弱系数; $Y$ 为从地表到一定土层深度(cm)的根系生物量累积百分比; $d$ 为土层深度(cm)。若 $\beta$ 值越大,则根系在深层土壤中分布的比例越大;若 $\beta$ 值越小,说明根系集中分布于接近地表的土层中。 $\beta$ 值是描述植物根系垂直分布特征的主

要参数,说明了根系的垂直分布特征与深度的关系,其大小与根系体积和根系密度无关,其有关研究在最近几年中得到广泛的应用。本研究采用数值模拟的方法求解枸杞根系的垂直分布特征参数 $\beta$ 值,对枸杞根系不同径级的垂直分布特征作了进一步的分析。

经计算分析可得,枸杞粗根系、细根系生物量累积分布特征都符合公式(1)的形式,而且具有较高的相关性。所以根系消弱系数能够较好地描述不同径级枸杞根系的垂直分布特征,也能直观的反映不同径级枸杞根系垂直分布的差异性。由表 1 可知,3 a 生、8 a 生枸杞细根根系的 $\beta$ 值在距树干 60 cm 处最大,分别为 0.960 3,0.984 0;这就说明在距离树干 60 cm 处枸杞细根根系分布深度最大,是枸杞进行水分和养分吸收的核心区,能够为枸杞的生长提供更大的水分和养分空间,促进地上部分生长。粗根根系的 $\beta$ 值在距树干不同距离处变化规律不一致,3 a 生、8 a 生枸杞粗根根系的 $\beta$ 值随着距树干距离的增大而增大,在距树干 90 cm 处最大,分别为 0.973 6,0.947 8;说明枸杞粗根根系在距离树干 90 cm 处分布深度最大。另外,细根根系的 $\beta$ 值大于粗根根系的 $\beta$ 值。根据根系消弱系数的定义可得,枸杞细根( $d\leq 2$  mm)在深层土壤中的分布比例较大。

表 1 不同树龄距树干不同距离处根系消弱系数  $\beta$

径级	距树干 距离/cm	3 a 生枸杞		8 a 生枸杞	
		$\beta$	R	$\beta$	R
粗根 ( $d>2$ mm)	30	0.9472	0.9052*	0.9262	0.9592*
	60	0.9603	0.9083*	0.9301	0.9504*
	90	0.9736	0.8052*	0.9478	0.9989*
细根 ( $d\leq 2$ mm)	30	0.9541	0.9412*	0.9493	0.8893*
	60	0.9603	0.9083*	0.9840	0.8828*
	90	0.9509	0.9441*	0.8802	0.9156*

注: \* 表示模型达到 0.001 显著水平。

4 结 论

长期以来,对于植物根系的分布特征,尤其是根系的垂直分布特征很多学者进行了大量的研究,因植物物种及生长环境的不同植物根系的分布也不同。在本研究中,对 3 a 生、8 a 生枸杞来说,距树干 30,60,90 cm 处,细根根系密度垂直剖面随深度增加而呈减少趋势,细根根系生物量都集中分布在 20—40 cm 土层内。该研究结果与大多数研究者报道基本一致<sup>[12-16]</sup>。3 a 生枸杞粗根根系密度分布的高密度区为 20—40 cm 土层,0—20 cm 土层、40—60 cm 土层是粗根根系密度分布的低密度区,距树干 30,60,90 cm 处,20—40 cm 土层粗根根系密度占整个剖面的 86.46%,95.43%,42.11%;8 a 生枸杞粗根根系密度集中分布在 20—40 cm 的土层中,距树干 30,60,90 cm 处,20—40 cm

土层粗根根系密度占整个剖面的 100%,94.39%,99.51%。有学者认为,土壤表层的细根主要功能是吸收养分<sup>[17]</sup>,深层的细根往往起吸收水分的作用<sup>[18-19]</sup>,枸杞细根分布调查结果与此相同。在本研究中,20—40 cm 土层是枸杞根系分布的高密度区,30 cm 土层深度根系生物量密度达到峰值;距树干 30 cm 处,粗根根系和细根根系生物量密度最大。王进鑫等<sup>[20]</sup>研究表明,刺槐和侧柏细根集中分布在 0—60 cm 土层,细根根系密度随着距树干距离的增加而减小。李鹏等<sup>[21]</sup>研究结果表明,阴坡和阳坡刺槐粗根系生物量均随水平距离的增加而减小,这与本研究结果一致。这说明 20—40 cm 土层是枸杞进行水分和养分吸收的集中区域,可以大大提高对肥水的利用率,满足枸杞生长发育所需要的水分和养分。这与李润淮等<sup>[22]</sup>认为枸杞根系密集区的垂直分布在地表下 20—40 cm 的土层范围内的研究结果相一致。为选择合理的施肥深度提供了依据。粗根决定根系的分布空间、也就决定养分的吸收空间的范围,但不具有水分和养分的吸收功能;细根是植物进行水分和养分吸收的主要吸收器官,其生物量的差异对树木的生长起到了决定性的作用,其分布特征反映主要的吸收空间,可为水肥管理提供依据。通过本研究结果,根据枸杞根系分布特点,枸杞合理的施肥方法应采用沟施或环施,位置距枸杞树干 30~90 cm,深度 30 cm 左右;同时应考虑有机肥和化肥配施。尤其对幼龄枸杞树,更应严格按合理方法施肥,这样才有利于形成理想的根系形态和分布。

本研究表明随着距树干距离的增加,3 a 生、8 a 生枸杞细根根系消弱系数 $\beta$ 值随着水平距离的增加先增大后减小,最大值在距树干 60 cm 处,分别为 0.960 3,0.984 0;这说明在距离树干 60 cm 处垂直方向上枸杞细根具有较大分布深度,能为枸杞地上部分的生长提供更为充足的水分和养分。根系分布深度反应了植物对于干旱环境的响应,张良德等<sup>[9]</sup>研究发现随着距树干距离的增加,刺槐细根根系消弱系数 $\beta$ 值依次增大,这与本研究结果不一致,这可能是树种不同及土壤理化性质引起的。而枸杞粗根根系的 $\beta$ 值随着距树干距离的增大而增大,在距树干 90 cm 处有较大部分分布,对树木水分和养分的疏导起到了非常重要的作用。细根根系的 $\beta$ 值大于粗根根系的 $\beta$ 值,说明细根比粗根在垂直方向分布范围深,吸收利用深层土壤水分和养分的能力强,这就意味着枸杞可以从深层土壤中吸收水分和养分,来满足自身的生长发育,抵御干旱的能力强。这对于气候干旱、降雨量少的地区,尤其是对河西走廊地区的枸杞高效生产、植被恢复与建设有着非常重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 程广有,侯杰,唐晓杰,等. 3种枸杞耐盐碱性的比较[J]. 东北林业大学学报,2007,35(11):47-49.
- [2] 董静洲,杨俊军,王瑛. 我国枸杞属物种资源及国内外研究进展[J]. 中国中药杂志,2008,33(18):2020-2027.
- [3] 张小全,吴可红,Dieter Muraeh. 树木细根生产与周转研究方法评述[J]. 生态学报,2000,20(5):875-883.
- [4] 刘兴良,马钦彦,杨冬生,等. 川西山地区主要人工林种群根系生物量与生产力[J]. 生态学报,2006,26(2):542-551.
- [5] Tauber M J, Tauber C A, Masaki S. Seasonal Adaptions of Insect[M]. Oxford: Oxford Univ. Press,1986.
- [6] 任安芝,高玉葆,王金龙. 不同沙地生境下黄柳的根系分布和冠层结构特征[J]. 生态学报,2001,21(3):399-404.
- [7] 赵忠,李鹏,王乃江. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征的研究[J]. 应用生态学报,2000,11(1):37-39.
- [8] 李鹏,赵忠,李占斌,等. 渭北黄土区刺槐根系空间分布特征研究[J]. 生态环境,2005,14(3):405-409.
- [9] 张良德,徐学选. 延安燕沟流域刺槐根系分布特征[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):9-14.
- [10] Gale M R, Grigal D F. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17 (8):829-834.
- [11] Gale M R, Grigal D F, Harding R B. Soil productivity index: predictions of site quality for white spruce plantations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991,55(6):1701-1708.
- [12] 张国盛,王林和. 毛乌素沙地臭柏根系分布及根量[J]. 中国沙漠,1999,19(4):378-383.
- [13] 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.
- [14] 杨玉盛,陈光水,林鹏. 格氏栲天然林与人工林细根生物量、季节动态及净生产力[J]. 生态学报,2003,23 (9):1719-1730.
- [15] 韩有志,梁胜发. 华北落叶松人工林根系分布及根系生物量研究[J]. 山西林业科技,1997(3):36-40.
- [16] 杨玉盛,陈光水,何宗明,等. 杉木观光木混交林细根的分 布[J]. 热带亚热带植物学报,2002,10(2):111-117.
- [17] Jackson R B, Canadell J, Ehleringer J R, et al. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes[J]. Oecologia, 1996,108(3):389-411.
- [18] Pregitzer K S, Hendrick R L, Fogel R. The demography of fine roots in response to patches of water and nitrogen[J]. New Phytologist, 1993,125(3):575-580.
- [19] Burton A J, Pregitzer K S, Headrick R L. Relationships between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests [J]. Oecologia, 2000,125(3):389-399.
- [20] 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.
- [21] 李鹏,赵忠,李占斌,等. 渭北黄土区刺槐根系空间分布特征研究[J]. 生态环境,2005,14(3):405-409.
- [22] 李润淮. 枸杞高产栽培技术[M]. 北京:盲文出版社,2000.

(上接第132页)

参考文献:

- [1] 田卫唐,胡维银. 我国水土流失现状和防治对策分析 [J]. 水土保持研究,2008,15(4):204-209.
- [2] 孙鸿烈. 我国水土流失问题与防治对策[J]. 中国水利, 2011(6):16-16.
- [3] 田青,李宗杰,宋玲玲,等. 甘肃河西地区 1986—2011 年水土保持生态安全格局[J]. 中国沙漠,2014(6):1692-1698.
- [4] 叶廷琼,张信宝,冯明义等. 水土保持分析与社会进步 [J]. 水土保持学报,2003,17(2):71-73,113.
- [5] 彭珂珊. 关注中国水土流失[J]. 国土资源,2004(2):22-25.
- [6] 沙棘的生态经济价值及综合开发利用技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2000.
- [7] 周磊,黄秋昊. 基于灰色关联 TOPSIS 的城市土地效益评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持研究,2014,21(4): 39-44.
- [8] 孙华,赵雪峰,何茂萍. 西南地区几种典型边坡植被的护坡效益分析[J]. 水土保持研究,2015,22(4):6-11.
- [9] 吴岚,秦富仓,余新晓,等. 水土保持林草措施生态服务功能价值化研究[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(9): 20-24.
- [10] 熊康宁,王恒松,刘云. 毕节石桥小流域水土保持综合治理生态监测与效益评价[J]. 水土保持研究,2012,19 (4):12-15.
- [11] Colombo S, Calatrava-Requena J, Hanley N. Analysing the social benefits of soil conservation measures using stated preference methods [J]. Ecological Economics, 2006,58(4):850-861.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 水土保持综合治理效益计算方法[S]. GB/T 15774—1995, 2009.
- [13] 刘万铨. 以经济效益为中心,推进水土保持产业化与管理规范化[J]. 中国水土保持,1995(7):44-48.
- [14] Barbier E B, Bishop J T. Economic values and incentives affecting soil and water conservation in developing countries[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995,50(2):133-137.
- [15] 李宗杰,田青,宋玲玲,等. 基于水土保持的甘肃省生态安全评价[J]. 生态学杂志,2015,34(5):1420-1426.
- [16] 王禹生,田红. 铁瓦河小流域水土保持经济效益计算 [J]. 人民长江,1999,30(4):27-29