

毛乌素沙地三种荒漠灌木根系分布特征与土壤水分研究

赵 岩, 周文渊, 孙保平, 杨 越, 李江锋, 李锦荣, 曹 波, 钟 华

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

摘 要:用全根系挖掘法, 调查研究了风沙地生境中的黑沙蒿、杨柴、沙木蓼的根系分布特征; 对根际不同土层土壤水分含量进行了观测, 确定 3 种植物根系分布和土壤水分的响应特征。结果表明: 杨柴的根系分布范围为地下 0—280 cm, 主要分布在 20—110 cm, 占总根重的 65.86%; 沙木蓼的根系分布范围 0—180 cm, 主要分布在 0—80 cm, 占总根重的 68.29%; 黑沙蒿的根系分布范围 0—240 cm, 主要分布在 0—60 cm, 占总根重的 62.14%。3 种不同植物根系垂直分布形态特征, 杨柴为“V”型分布, 黑沙蒿为“伞”型分布, 相比之下沙木蓼分布比较均匀。各土层中, 除杨柴 0—20 cm 土层根系分布较少外, 黑沙蒿和沙木蓼表层根系分布较多; 0—60 cm 土层中分布的根系密度最大, 均表现为从土壤表层到深层逐次递减趋势; 植物根系分布对土壤水分的响应显著, 根系集中分布区域土壤含水量明显减小; 黑沙蒿根际平均土壤水分含量最大, 沙木蓼次之, 杨柴最小, 其与根系分布、水分利用策略密切相关。在水分资源竞争中, 植物根系分布特征起到重要的作用。

关键词:根系分布特征; 土壤含水量; 黑沙蒿; 杨柴; 沙木蓼

中图分类号: S152.7; S718.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0129-05

Root Distribution of Three Desert Shrubs and Soil Moisture in Mu Us Sand Land

ZHAO Yan, ZHOU Wen-yuan, SUN Bao-ping, YANG Yue, LI Jiang-feng, LI Jing-rong, CAO Bo, ZHONG Hua

(Key Lab of Soil & Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Root distribution of three desert shrubs, *Artemisia ordosica*, *Hedysarum mongolicum* and *Atraphaxis bracteata* A. Los. were investigated in wind sandy land conditions using whole root system excavation method. The rhizosphere soil moisture contents in different layers were observed to determine the root distribution of three desert shrubs and their interactive of soil moisture. The results showed that roots of *Hedysarum mongolicum* distribution for underground 0—280 cm, mainly distributed in the 20—110 cm, and their root weight is 65.86% of the total amounts. The roots of *Atraphaxis bracteata* A. Los. distribution for underground 0—180 cm, mainly distributed in the 0—80 cm, and their weight is 68.29% of the total amounts. The roots of *Artemisia ordosica* distribution for underground 0—180 cm, mainly distributed in the 0—60 cm, and their weight is 62.14% of the total amounts. For vertical distribution of plant root systems of three different morphological characteristics, the distribution of *Atraphaxis bracteata* A. Los. is the “V”-type, and the distribution of *Artemisia ordosica* is “umbrella” type. In contrast, the distribution of *Atraphaxis bracteata* A. Los. is more uniformly. Except for *Hedysarum mongolicum*, *Artemisia ordosica* and *Atraphaxis bracteata* A. Los. have more root distributing in toplayer (0—20 cm). There are largest distribution share in 0—80 cm layer of root density, and decreasing trend from the soil surface to the deep layers. The absorptive roots of plant have markedly effect on soil moisture. Soil moisture rapidly decreased under the concentrated distribution area of absorptive roots. The largest soil water content is *Artemisia ordosica*, the next is *Atraphaxis bracteata* A. Los. and *Hedysarum mongolicum*. The plant responses is closely related to their root distribution and plant water-use strategy. The discrepancy of root distribution partially determined the position of the studied species in water resources competition.

收稿日期: 2010-04-19

资助项目: 国家“十一五”科技支撑项目“鄂尔多斯高原人工固沙与植被恢复技术研究与试验示范”(2006BAD26B0702)

作者简介: 赵岩(1985—), 男, 硕士, 研究方向: 荒漠化防治。E-mail: zhaoyan@bjfu.edu.cn

通信作者: 孙保平(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 荒漠化防治、工程绿化等; E-mail: sunbp@bjfu.edu.cn

Key words: root distribution; soil water content; *Artemisiaaordo-sica*; *Hedysarum mongolicum*; *Atraphaxis bracteata* A · Los ·

在干旱荒漠区,发达的根系是沙生植物吸收水分、适应缺水环境的重要方式。水分因子是影响植物生存、生长发育和环境对植被支持力的关键因素,而植被恢复与重建是防治土地沙漠化的主要措施,其直接影响到沙区退化生态系统的恢复和重建^[1-3]。毛乌素沙地西南缘沙地上的灌木和半灌木类型主要有黑沙蒿(*Artemisiaaordo-sica*)、杨柴(*Hedysarum mongolicum*)、沙木蓼(*Atraphaxis bracteata* A · Los ·)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、沙柳(*Salix psammophila*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)等。它们的根系发达,在固沙方面发挥着极为重要的作用。但是在全球气候变化,人为和自然因素的双重影响下,物种生境在剧烈变化,如何应对生境的改变,决定着群落的演替和未来,从而影响生态的安全。

郭柯,董学军等根据毛乌素沙地沙丘土壤含水量特点,研究揭示了老固定沙地上油蒿衰退原因,固定沙地相对黏重的表土层影响降雨对灌木根系层土壤水分的补充。牛海,李和平等研究发现,根系生物量垂直分布与其对应土壤含水率有明显相反的关系,土壤含水率的变化与根系生物量的变化趋于相反,当土壤含水率增大时相应区域根系生物量减小。阿拉木萨,蒋德明等对沙地人工小叶锦鸡儿植被根系分布与土壤水分关系进行了研究,植物的根系分布对土壤水分具有显著影响,吸收根集中分布区域下层土壤含水量锐减^[4-5]。本文以地处干旱荒漠封育区的黑沙蒿、杨柴、沙木蓼种群为研究对象,调查分析 3 种不同植物类型根系特征,以及根际土壤水分含量的关系,旨在揭示荒漠生态系统中 3 种植物的根系分布特征、以及与土壤水分含量的关系,特别是沙木蓼作为毛乌素

沙地西南缘新引进的植物种,能否与当地优势种群竞争,通过对比为干旱荒漠区固沙树种的选择与植被恢复提供科学依据。

1 研究区概况

研究地点位于宁夏盐池县沙泉湾试验站,其位于毛乌素沙地的西南缘,地理坐标为 106°30′—107°41′ E,37°04′—38°10′ N,盐池县总面积 7 130 km²。盐池县属于典型中温带大陆性气候,年均气温 8.1℃,年均无霜期 165 d;年降水量仅 280 mm 左右,且从南向北,从东南向西北递减。降水主要集中在夏秋两季的 7,8,9 月三个月。降水年际变化大,保证率低。年日照时间北部 2 867.9 h,南部 2 789.2 h。

研究区植被类型主要是沙地植被和荒漠草原植被,其中沙地植被数量较大,分布也广,主要有苜蓿(*Medicago sativa* L.)、黑沙蒿、甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)、苦豆子(*Sophora alopecuroides* L.)、蓼子朴[*Inula salsolooides* (Turcz.) Ostenf.]、牛心朴子(*Cynanchum komanovii*)、苦荬菜(*Ixeris polycephala*)、蒺藜(*Tribulus terrestris* L.)、草木樨(*Melilotua suaveolens* Ledeb.)、沙地柏(*Sabina vlugaris*Ant.)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、沙柳(*Salix psammophila*)、花棒、杨柴等草本和灌木,有新疆杨(*P. alba* L. var. *pyramidalis*)、旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.)等乔木分布。研究区土壤类型以风沙土,灰钙土为主,其次是黑垆土,此外有黄土,少量的盐土、白浆土等。实验地以风沙地貌为主,包括了流动、半固定、固定沙丘,盐池沙地以细沙为主。

表 1 样地基本情况

| 植被类型 | 沙地类型 | 治理模式 | 植被状况 |
|------|------|------|--|
| 杨柴 | 半固定地 | 封育 | 主要是杨柴、同时有少量的黑沙蒿、赖草、沙米等植被,成片状分布,杨柴占 90%,其覆盖度为 31%,高度为 70~110 cm |
| 黑沙蒿 | 丘间低地 | 封育 | 有少量的赖草、花棒、杨柴、甘草、冰草等,黑沙蒿占 85%,其覆盖度为 45%,高度为 60~90 cm |
| 沙木蓼 | 丘间低地 | 人工引种 | 有少量的冰草,沙米,沙木蓼的覆盖度 52%,高度为 70~100 cm |

2 研究方法和内容

2.1 样方设置

2009 年 8 月,在研究区选取代表性的杨柴、黑沙蒿、沙木蓼样地,设置样方调查、分析根系分布和土壤水分特征。对不同植被类型的样地要求其覆盖度,高度等特征,样地坡度,坡向等基本一致。样方随机设

置,面积为 1 m×1 m,每个类型植被设置 5 个重复。

2.2 土壤含水量的测定

采用土样烘干法测定。在植物全根系挖取前,用土钻在 0—300 cm 范围内每 20 cm 深度为一层采取土样,共取 15 层,每个深度 5 个重复。取回土样,然后用 105℃烘干至恒重,待冷却后称干重计算土壤重量含水量,确定 0—300 cm 的土壤水分含量随土壤深

度分布状况。

2.3 根系分布与生物量的测定

该试验是在3种植物的生长末期于2009年8月底进行的。采用全挖法对根系进行调查测量。每个物种选取高度和冠幅相近的5株,高度大约为80 cm。同样把根系分层,每20 cm为一层,直到不再出现根系为止,尽量保持根系的完整,必要时用支架固定根系的位置。用高分辨率照相机进行拍照,同时放一标尺在根系旁边作为参照,并用专业制图软件进行图像处理,用标尺测量根系的长度、直径。照相后将各层中的主根和侧根用水冲洗并截断(每层土壤取全部根系包括草、灌,主要为研究的植物根系)。经仔细辨认,认真挑拣研究的植物活根,清洁根系表面之后,将各层分好的鲜根带回实验室,在80℃下烘干至恒重,用精确的电子秤称重后,计算出每株各层主侧根的干重、水分含量。

3 结果与分析

3.1 三种灌木根系剖面分布形态特征

通过选取典型的植株,研究结果如下,黑沙蒿的根系分布剖面(图1)表明,黑沙蒿的根系分布呈“伞”型分布,表现为轴根性,表层(0—60 cm)土壤内根系分布比较密集,侧根较多。60 cm深度以上根系分布稀少,主要为主根。杨柴的根系水平分布剖面(图1)特征表现为“V”字型,20 cm深度以上根系由多变少

逐层递减,呈现出“V”型分布形态特征。沙木蓼的根系垂直剖面分布(图1)特征与前两种树种不同,其上下分布比较均匀,但也有由上往下根系逐层变少的趋势。通过对比3种不同灌木根系垂直剖面分布形态特征,其根系分布特征虽有不同,但都有由上往下根系逐层递减的趋势,表层根系分布较密较粗,下层根系较少较细,根系的水平分布范围不同,但均随着土层深度的加深而逐渐缩小。

3.2 三种灌木根系生物量分布特征

研究表明(如图2),从根系生物量的分布来看,3种灌木水平根量随着土层深度的加深而逐渐减小,均呈现出由中心向外缘逐渐减少的趋势。黑沙蒿根系水平分布根长最大可达158 cm,冠缘以外(85 cm)的根量仅为总根量的12.38%,土层深度达到60 cm以上时,冠缘以外几乎没有根系分布,120 cm(地下水埋深约为110 cm)以上土层内根系占总根量的15.29%。杨柴根系水平分布根长最长可达210 cm,冠缘以外(128 cm)的根量为总根量的27.52%,土层深度达到110 cm以上时,冠缘以外的根系几乎没有根系分布,120 cm以上土层内根系占总根量的35.69%。沙木蓼根系水平分布根长最大可达109 cm,冠缘以外(92 cm)的根量仅为总根量的17.91%,土层深度达到80 cm以上时,冠缘以外的根系几乎没有根系分布,120 cm以上冠缘内的根系占总根量的7.89%。

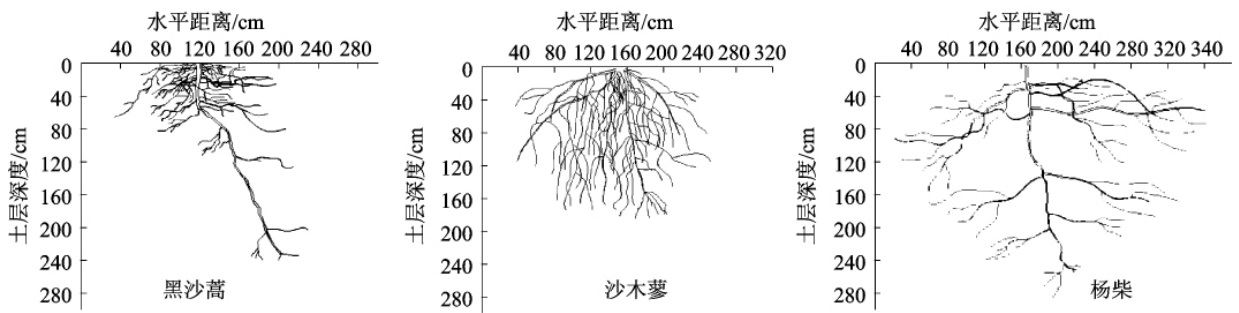


图1 根系剖面正视图

从根量的垂直分布来看,3种灌木根系重量在各土层中随着土层深度加深而降低的分布趋势。黑沙蒿的根系主要分布在0—60 cm,约占总根量的62.14%,最深可达240 cm。表层土壤(0—10 cm)中的根量较下层(10—20 cm)少或相似,根系重量分布最高的土层为20—40 cm,占总根量的21.2%;杨柴的根系主要分布在20—110 cm,占总根量的65.86%,最深可达280 cm。表层土壤(0—20 cm)中主要为主根(其直径大于3 mm),几乎无侧根,这可能与杨柴大都生长在半固定沙地上,其沙埋过程中导致了表层水分稀少,根系不稳定生长的原因。根系重量

分布最高的土层为20—40 cm和80—100 cm,占总根量的17.79%和16.87%;沙木蓼的根系主要分布在0—80 cm,占总根量的68.29%,最深可达180 cm。沙木蓼根系形态上看,上下分布比较均匀,由于下层分布的主要是细根(<3 mm)^[12],根量主要集中在表层,随着土层深度加深而降低。根系重量分布最高的土层为20—40 cm,约占总根量的21.53%。

3.3 根系与土壤水分之间的关系

根系在土壤中发育状况及在土壤剖面上的分布是影响作物吸收水肥的重要因素,根系发育数量及在土壤剖面中的时空分布受其遗传特性制约的同时,很

大程度依赖土壤水分状况。因此对根系发育、分布规律及受土壤水分影响的研究,可以更好地了解植被对水分利用的状况(Barracough)。植被群落根系分布深度决定了植被的水分和养分的供给状况^[6]。根系的生长变化和分布会根据土壤水分供应状况作出综合适应性反应,适应性程度取决于植物种类、发育阶段、土壤条件等^[7]。由于植被根系分布的空间差异,直接影响沙地土壤水分的分布状况,造成水分分布的空间异质性。

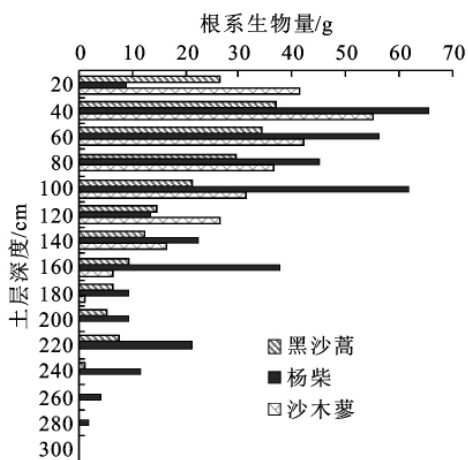


图2 三种植物根系生物量分布

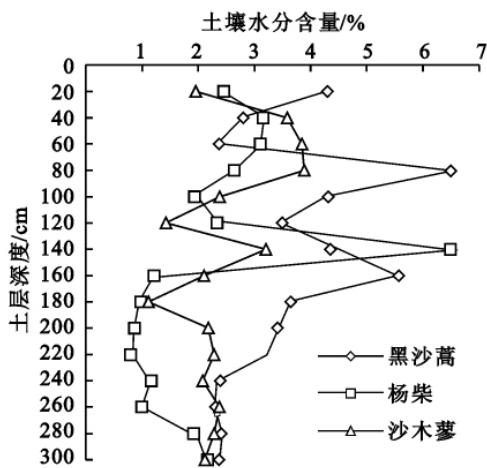


图3 0—300 cm 土壤水分含量垂直分布

通过对3种不同灌木土壤水分的观测结果结合图(2)、(3)可以看出,各层根系生物量垂直分布与其对应土壤含水率有明显的相反关系,土壤含水率的变化与根系生物量的变化相反,当土壤含水率增大时相应区域根系生物量减小;反之则相反。黑沙蒿在0—100 cm 土壤中,根量由20 cm 深度的37.1 g(为单株干重,下同)减小到100 cm 深度的12.52 g,土壤水分含量由40 cm 深度的2.37%增加到100 cm 深度的6.48%,在土壤含水量增加区间的波动正好跟土壤中根系生物量的波动成相反趋势。140 cm 深度以上随着根系的减少土壤含水量也逐渐减小,并趋于稳定。

这是由于植物消耗掉了土层中的大量水分,使沙地根系层土壤含水量下降,深层土壤水分得不到补充。这也与黑沙蒿地140 cm 处有一层密实的白浆土层有很大的关系。杨柴的表层0—20 cm 土层中,土壤水分含量最低为2.31%,可能与杨柴大都生长在半固定沙地,其沙埋过程中导致了表层水分稀少有关。杨柴根量由100 cm 深度的62.17 g 减小到140 cm 深度的22.32 g,土壤含水量由100 cm 深度的1.73%增加到140 cm 深度的6.33%;160 cm 深度的根量为39.65 g,含水量为1.21%。160—260 cm 土壤含水量小于0.98%,低于凋萎湿度。杨柴的根系垂直分布较深,对深层水分吸收较多,在280 cm 深度以上时土壤水分逐渐恢复到稳定含量(2%左右)。沙木蓼表层根系生物量较大,土壤水分含量相对较少为1.96%,土壤水分含量最大为80 cm 处的3.88%,最小为180 cm 处的1.11%。80 cm 深度以上沙木蓼的根量在减少,但其主要为细根,对水分的影响比较大,土壤水分含量也在减少,180 cm 深度以上时土壤水分含量趋于稳定。

土壤含水量的这种垂直变化趋势表明,根系的生物量越大、分布越广,消耗水量越多,深层土壤得不到水分补充,含水量明显降低,天然降水只能补充地表浅层土壤,且地下水位低,也无法补充水分,以至于在120 cm 左右土层形成低含水层。但随着土壤深度的增加,根系生物量降低,根系分布密度低,对土壤含水量影响不明显,含水量随深度出现逐渐增加并趋于平稳的趋势。植被与土壤含水率的这种关系是由于根系对土壤水分吸收所形成的,是对干旱环境的适应性反应。

4 结论

(1)黑沙蒿的根系分布呈“伞”型分布,从外部形态看表现为轴根性,0—60 cm 土层内根系较密集,侧根较多;杨柴的根系水平分布剖面表现为“V”字型,呈现出倒金字塔分布形态特征。沙木蓼的根系垂直剖面分布形态特征与前两种不同,其上下分布比较均匀,但也有由上往下根系逐层变少的趋势。

(2)从根系生物量的水平分布来看,3种灌木水平根量随着土层深度的加深而逐渐减小,均呈现出由中心向外缘逐渐减少的趋势。外延最大根系长度为杨柴>黑沙蒿>沙木蓼,冠缘以外根量为杨柴>沙木蓼>黑沙蒿。从根量的垂直分布来看,3种灌木根量在各土层中呈随着土层深度加深而降低的分布趋势。黑沙蒿、杨柴、沙木蓼的土层分布范围内单株根系总根量分别为204.3,368.2,256.8 g,最长根系长度分

别为 240,280,180 cm。黑沙蒿和沙木蓼的根系主要集中在 0—80 cm, 占到总根系的 70% 左右, 杨柴的根系在 120 cm 深度以上占总根量的 35% 左右, 相比之下杨柴的根系分布更深更广。

(3) 各层根系生物量垂直分布与其对应土壤含水率有明显对应关系, 土壤含水率的变化与根系生物量的变化趋于相反。杨柴的土壤水分含量变化范围为 0.80%~6.33%, 黑沙蒿的为 2.37%~6.48%, 沙木蓼为 1.11%~3.88%。总体来看土壤含水量为黑沙蒿>沙木蓼>杨柴。植被与土壤含水率的这种关系是由于根系对土壤水分吸收所形成的, 是对干旱环境的响应。植物根系分布特点决定植物的水分利用策略, 植物对水分亏缺的生理响应与植物水分利用策略密切相关, 并且和根系功能型一起决定着植物对限制其生存的环境因子的响应与适应特性。已有研究表明不同植物功能型(如生活型)可以从不同的土壤层获取水分(利用不同的水分来源), 表现出对水资源分割特性^[8-11]

(4) 在沙地中水分是制约生物生长的主要因子, 3 种灌木虽然都能在较低的土壤水分含量的沙地中生长, 都是较好的固沙树种, 但是面对生境的剧烈变化, 比较理想的情况是植物根系分布较深, 主要利用深层土壤水分。杨柴根系分布较深且以粗根为主, 能够利用深层的土壤水分, 表层水分变化对其影响较小, 杨柴的根系生物量大, 水平分布范围也较广, 既可利用表层中的水分, 又可利用深层中的水分, 深根与浅根的不同分布格局, 在空间上合理的解决了对水分需求的矛盾。可以作为一个较为理想的固沙造林先锋灌木种。黑沙蒿根系虽然分布较深, 但根系呈明显的轴根性, 根系大部分集中在表层, 且细根所占比重较大, 主要利用土壤表层储水, 对表层的土壤水分含量响应比较大, 所以黑沙蒿适合生长在表层水分含量相对较高的丘间低地。沙木蓼的根系生物量虽然要大于黑沙蒿, 但垂直分布深度较浅, 对浅层地下水几乎不能利用, 对表层的土壤水分含量响应更大, 所以沙木蓼应该更适合在丘间低地生长, 但沙木蓼生长迅速, 枝

条又是良好的编织材料, 应该充分利用其优势之处。植物根系生长发育动态及形态特征是由生物学特性和环境因素共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 郭柯, 董学军, 刘志茂. 毛乌素沙地沙丘土壤含水量特点: 兼论老固定沙地上油蒿衰退原因[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 275-279.
- [2] 刘秀萍, 陈丽华, 陈吉虎. 刺槐和油松根系密度分布特征研究[J]. 干旱区研究, 2007, 23(5): 647-651.
- [3] 牛海, 李和平, 赵萌莉. 毛乌素沙地不同水分梯度根系垂直分布与土壤水分关系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 157-163.
- [4] 阿拉木萨, 蒋德明, 裴铁璠. 沙地人工小叶锦鸡儿植被根系分布与土壤水分关系研究[J]. 水土保持学报, 2003, 20(3): 78-81.
- [5] 王鸣远, 关三和, 王义. 毛乌素沙地过渡地带土壤水分特征及其植物利用[J]. 干旱区资源与环境, 2002(2): 37-44.
- [6] 祝廷成. 羊草生物生态学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2004.
- [7] 苏芳莉, 刘明国, 郭长久. 沙地樟子松根系垂直分布特征及对土壤的影响[J]. 中国水土保持, 2006, 20(1): 157-163.
- [8] Xu H, Li Y. Water-use strategy of three central Asian desert shrubs and their responses to rain pulse events [J]. Plant and Soil, 2006, 285: 5-17.
- [9] Xu H, Li Y, Xu G Q, et al. Ecophysiological response and morphological adjustment of two Central Asian desert shrubs towards variation in summer precipitation plant[J]. Cell and Environment, 2007, 30: 399-409.
- [10] Cohen Y, Fuchs M, Cohen S. Resistance to water uptake in mature citrus tree[J]. Journal of Experimental Botany, 1983, 34: 451-560.
- [11] Schwinning S, Ehleringer J R. Water use trade-off and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystem[J]. Journal of Ecology, 2001, 89: 464-480.
- [12] Fogel R. Root turnover and productivity of coniferous forests[J]. Plant and Soil, 1983, 71: 75-85.

(上接第 128 页)

- [3] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 等. 海南岛生态安全评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 769-775.
- [4] 吴开亚, 张礼兵, 金菊良, 等. 基于属性识别模型的巢湖流域生态安全评价[J]. 生态学杂志, 2007, 26(5): 759-764.
- [5] 张凤太, 苏维词, 周继霞. 基于熵权灰色关联分析的城市生态安全评价[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1249-1254.

- [6] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 67-71.
- [7] 曾勇, 沈根祥, 黄沈发, 等. 上海城市生态系统健康评价[J]. 长江资源流域与环境, 2005, 14(2): 208-212.
- [8] 官冬杰, 苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(10): 1716-1721.
- [9] 赵云胜, 龙昱, 赵钦球, 等. 灰色系统理论在地学中的应用研究[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997: 29-31.