

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

龚时慧, 温仲明, 施宇. 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应. 生态学报, 2011, 31(20): 6088-6097.

Gong S H, Wen Z M, Shi Y. The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6088-6097.

延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应

龚时慧¹, 温仲明^{2,*}, 施宇¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨陵 712100)

摘要: 研究群落水平上的植物功能性状特征及其随环境梯度的变化规律, 对认识不同环境梯度下植物群落的形成及其对环境的适应机制具有重要意义。以延河流域不同环境梯度下的稳定的自然植物群落为对象, 测量了植物群落组成物种的叶厚度、比叶面积、叶组织密度、比根长、根组织密度、单位质量叶氮含量、单位质量根氮含量、种子质量、种子体积等 9 个性状, 然后以物种重要值为基础加权平均得到各个性状在群落水平上的平均值(即群落性状值); 以现有的环境因子栅格图为基础, 利用 ArcGIS 提出各群落对应的环境因子值, 同时测定各个群落的土壤水分, 分析群落各性状值与环境因子的关系, 并建立关系模型。结果表明: 在群落水平上, 9 个植物功能性状分别与 13 个环境因子存在不同程度的相关性, 同时这 9 个植物功能性状对 8 个环境因子梯度(土壤水分、年 4—10 月平均气温、年 7—9 月总降雨量、降雨季节变化、年平均降雨量、年平均蒸发量、坡度、坡向)的响应特征较好, 不同植物功能性状间具有较好相关性。群落水平上植物功能性状及其组合随环境梯度的规律性变化, 反映了延河流域植被群落构建过程中环境对功能性状的筛选效应。该研究结果对该区的植被恢复重建的物种选择及植被布局规划具有重要的实践意义。

关键词: 植物功能性状; 群落; 环境梯度; 延河流域; 环境筛选

The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment

GONG Shihui¹, WEN Zhongming^{2,*}, SHI Yu¹

1 College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

Abstract: Plant functional traits reflect the responses of plants to environmental changes and are key elements in studies of the relationship among plant individuals, ecosystem functions and environment factors. The relationship between plant functional traits and environment has become an important topic in phytoecological research. The characteristics of plant functional traits at the community level and their variations induced by environmental changes are important to understand the development of plant communities under different situations and their adaptation strategies.

In order to understand how plant functional traits change along the environmental gradients at the community level, and to find out which environmental factors control this process in Yanhe River catchment, we measured nine plant functional traits in typical plant communities along different environmental gradients. Soil water in the field was measured as one environmental factor, and the rest environmental factors relating to climate and topography were calculated and interpolated under the ArcGIS platform. The nine plant functional traits assessed included leaf thickness, specific leaf area, specific root length, leaf density, root density, leaf nitrogen per mass, root nitrogen per mass, seed mass, seed volume. Weighted mean values of the nine traits were then calculated referring to the importance values of different species within communities.

基金项目: 中国科学院重要方向项目(KZCX2-EW-406); 国家自然科学基金项目(40871246)

收稿日期: 2011-06-19; **修订日期:** 2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zmw@ms.iswc.ac.cn

Then community-weighted mean trait values were regressed against environmental variables. The results revealed a linear response for the community-weighted mean trait values compared to eight environmental variables. Soil water up to a depth of 200 cm, average annual evaporation and aspect significantly affected the leaf thickness at the community level ($P < 0.05$). The specific leaf area at the community level was influenced mainly by total annual precipitation from July to September. Meanwhile, the total annual precipitation from July to September, aspect and soil water up to a depth of 200 cm significantly influenced the mean leaf density at the community level ($P < 0.05$). Aspect resulted in the greatest variation in specific root length and root nitrogen per mass. Average annual precipitation was the most important factor in determining root density. The average annual temperature from April to October had a significant impact on leaf nitrogen per mass at the community level. Average annual precipitation, total annual precipitation from July to September, seasonal annual precipitation and slope exhibited the greatest influences on the seed mass, however, the seed volume was influenced primarily by the average annual precipitation and slope. Moreover, the nine plant functional traits evaluated at the community level were closely related and strongly correlated to the environment. This results showed that an environment filter was likely involved in the process of community assembly within the study area. For example, in the wet area of Yanhe river catchment, plant communities tended to have low specific leaf area and high leaf density, as well as large and heavy seeds, while plant communities in the dry region exhibited thick leaves, small, light seeds, and produced less aboveground biomass and more underground biomass. These conclusions can serve as an important guide for vegetation rehabilitation in hilly area of Loess Plateau.

Key Words: plant functional trait; community; environment gradient; Yanhe river catchment; environmental filtering

植物与环境间的关系问题一直是生态学中讨论的中心问题。植物会通过某些形态结构和生理特征来响应环境的改变,这主要体现在叶片、根系、种子等植物性状的差别上,这种能响应环境变化的植物性状被称为植物功能性状,植物通过功能性状可以对生存环境变化做出响应并对生态系统功能产生一定的影响^[1]。不同物种对环境适应的差异性,导致自然界中植物群落的物种组成会随着局部及区域的环境梯度而变化^[2]。

植物功能性状概念的提出建立起了植物和环境之间的联系^[3],由于植物功能性状的重要性,功能性状的变化与环境的关系成为植物生态学的研究热点之一。近年来,随着对植物功能性状与植物群落形成及生态系统功能关系研究的深入,有学者提出了基于植物性状的植物群落构建理论^[4-5]。该理论认为,对特定的生境,构成群落的物种虽存在个体差异,但与其他群落物种相比,群落内物种间具有相似的性状特征(性状趋同^[6]),性状趋同往往在群落水平研究中显现出来,这便是环境筛选群落植物性状的结果。通过研究植物群落水平的功能性状特征及其随环境梯度的变化规律,对于了解不同环境条件下的植物群落的形成及其对环境的适应机制具有重要意义。

黄土丘陵区是我国水土流失最为严重的地区,也是植被恢复重建的重点区域。多年来,对该区植被恢复重建方面的研究工作开展的较多,但多集中在植被恢复演替过程^[7]及其土壤水分养分效应^[8,9]、植被空间分布格局^[10]、植被类型分布与环境关系等方面^[11],少有研究从植物功能性状角度对该区植被与环境关系进行研究。为此,本文以延河流域为研究区,对不同环境下的植物群落的功能性状特征进行调查,并分析其对环境梯度的响应,揭示环境筛选作用对植物群落空间格局形成的影响,为黄土丘陵沟壑区植被恢复重建及其生态系统服务功能评价提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

延河流域面积为 7687km²,河网密度约 47km/km²,流域位于东经 108°45′—110°28′,北纬 36°23′—37°17′的大陆性半干旱季风气候带,流域年平均气温为 8.8—10.2℃,年平均降雨量为 520 mm,其中 7—9 月的降雨量占全年降雨量六成以上,流域的气候具有明显过渡性,降雨从东南向西北逐渐递减。流域包括志丹、安塞、

宝塔、延长等县区,地形较复杂,属于典型的黄土丘陵沟壑区。流域内广泛分布着黄绵土,土壤质地均一疏松,抗侵蚀能力较差。植被类型从东南向西北变化明显,依次为森林区、森林草原区、典型草原区。因此,延河流域是研究较大尺度植被与环境变化相互关系较为理想的区域,现有的研究积累,如气候、地形、植被等方面也为研究提供了可靠保证。

1.2 采样点和环境因子的确定

1.2.1 环境梯度单元的划分与采样点的确定

为保证样品采集在空间上的代表性,本文根据温仲明等人的划分方法^[12],将延河流域根据水热条件的空间组合,划分为 17 个环境梯度单元,然后在各个梯度单元内选择典型的地带性植物群落进行采样,最终经数据的校正检验,确定采用的样点为 161 个(图 1)。

1.2.2 样地调查

在各个样点采用典型取样法,选择具有代表性的样地,乔木设置 10 m × 10 m 样方,调查树木物种数、物种名、胸径、树高、郁闭度等;灌木设置 5 m × 5 m 样方,调查植株物种数、物种名、株高、冠幅、株数等;草本设置 1 m × 1 m 样方,调查草本物种数、物种名、株数、冠幅、高度等。同时,记录每个样点的主要植被类型、坡向和坡位,用 GPS 实际测量经纬度、海拔和坡度。

1.2.3 环境数据来源

为分析植物群落功能性状对环境梯度的响应情况,本研究选择了对植被分布具有重要影响的气候、地形、土壤水分等环境因子,其中气候数据来自 1980—2000 年黄土高原各省、县属气象局,DEM 为中国科学院水土保持研究所区域水土保持研究室提供的分辨率为 25m 的栅格数据。选择的指标有年平均气温 (t_a)、年 4—10 月平均气温 (t_{410})、温度季节变化 (t_s)、年 1 月平均气温 (t_1)、年 7 月平均气温 (t_7)、年 7—9 月总降雨量 (r_{789})、降雨季节变化 (r_s)、年平均降雨量 (r_a) 和年平均蒸发量 (e_t),各指标计算方法及栅格图直接引用赫晓慧^[13]等人的研究结果。地形因子包括坡度 ($slope$)、海拔 ($elev$)、坡位 ($posi$)、坡向 ($aspe$),从 DEM 图直接提取,其中坡位分为河道与沟间平地(1)、下坡位(2)、中坡(3)、上坡(4)、崩顶(5)、高平地(6)6 个等级,坡向分为阳坡(1)、半阳坡(2)、半阴坡(3)、阴坡(4)、平地(5)5 个等级。土壤水分 (SW) 为每个样点的实测数据,采样深度 0—200cm,采用烘干法测定,使用质量含水量 (g/g)。在提取生成所有的环境因子栅格图后,利用各样点实测经纬度信息,在 ArcGIS 平台下,从各因子栅格图上提取各样点对应的环境因子信息,用于植物功能性状与环境因子关系分析。

1.3 植物功能性状及其测量

1.3.1 叶厚度 (Leaf thickness, LT)

考虑到野外采样的可操作性,本研究中采用游标卡尺(精度为 0.01mm)测定新鲜叶片厚度^[14-15],测定时避开叶片主脉分别测量叶片前、中、末端,最后取三者的平均值作为所测叶片的叶厚度值 (mm)。

1.3.2 比叶面积 (Specific leaf area, SLA)

比叶面积是新鲜叶片的单面面积与叶片干重的比值 (cm^2/g)。比叶面积与潜在相对生长率或者基于质量的最大光合速率有很好的相关性,较低的比叶面积趋向于相对较高的叶防御能力(尤其在结构上)和较长的叶寿命^[16]。本研究用 Yaxin-1242 便携式叶面积仪测定新鲜单叶叶面积 (Leaf area, LA),然后将叶片用自封袋带回实验室,在烘箱中 105℃ 杀青 15min,再 85℃ 烘干 48—72h 后称重得到叶片干重 (Leaf mass, LM),利用比值计算比叶面积。

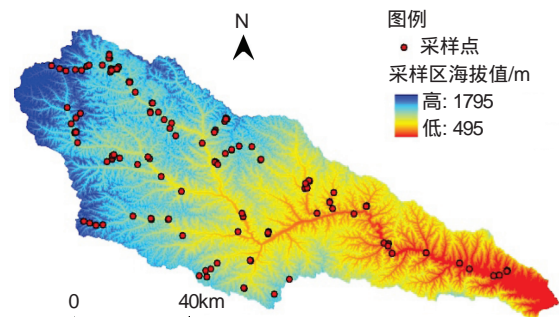


图 1 研究区采样点的分布图
Fig. 1 Distribution of samples

1.3.3 比根长(Specific root length, SRL)

比根长是根长(Root length, RL)与根干重(Root mass, RM)的比值,其单位通常为 m/g。比根长常被看成地下的比叶面积,较高的比根长可在给定的根干重下有较长的展开根长,且这类物种具有较快的根延伸速率、较高的营养和水分更新速率以及较快的根再生速度^[16]。根长测定方法参照郑纯辉^[17]等人的方法,将带回的细根(直径<2mm)洗净擦干,用扫描仪按分袋编号扫描根系及参照物,然后计算得出实际根长。根体积(Root volume, RV)采用排水替代法,将新鲜洗净的细根完全侵入盛水的量筒约 5s,读取量筒中水增加的体积作为 RV,测完后放入烘箱烘至恒重(80℃, 48h),用电子天平称根干重(Root mass, RM),单位取 g。

1.3.4 叶组织密度(Leaf density, LD)和根组织密度(Root density, RD)

叶组织密度与比叶面积、叶厚度一样都能反映植物叶片中生物量的累积状况^[18-20];而根组织密度与比根长、根直径能反映每部分不定根上生物累积量的状况^[18, 21-22]。本研究根据公式 $LD = LM/LV$ (式中 $L = LA \times LT$) 和 $RD = RM/RV$ ^[23],便可计算出指标叶组织密度(g/cm^3)和根组织密度(g/cm^3)。

表 1 群落性状值的描述性统计

Table 1 Descriptive Statistics of community weighted mean trait value

性状 Trait	样点数 Number	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	极差 Range
LT/mm	161	0.127	0.418	0.196	0.291
SLA/(cm^2/g)	161	32.930	284.160	91.531	251.230
LD/(g/cm^3)	161	0.234	3.401	1.080	3.167
SRL/(m/g)	161	1.295	23.901	6.253	22.606
RD/(g/cm^3)	161	0.069	0.874	0.419	0.805
LN/(mg/g)	161	11.659	34.592	19.100	22.933
RN/(mg/g)	161	0.703	19.879	7.153	19.176
SM/(mg)	161	0.084	313.712	25.409	313.628
SV/(mm^3)	161	0.180	1170.855	86.106	1170.675

LT: 叶厚度;SLA: 比叶面积;LD: 叶组织密度;SRL: 比根长;RD: 根组织密度;LN: 单位质量叶氮含量;RN: 单位质量根氮含量;SM: 种子质量;SV: 种子体积

1.3.5 单位质量叶氮含量和单位质量根氮含量

单位质量叶氮含量和单位质量根氮含量是植物对土壤肥力的精确反映^[24],同时也是植株地上和地下部分生长状况的反映。采集的叶、根经分袋编号带回,烘干后粉碎,采用标准凯氏定氮法测定叶、根全氮含量。

1.3.6 种子质量和种子体积

种子是植物主要的繁殖器官之一^[25]。不同质量或体积的种子其繁殖扩散的距离不同,落入土壤的深度有所差异,且存储的资源也有差异,会影响种子的萌发及幼苗生长。根据种子尺寸的大小,分成 5 粒(>100mg)、10 粒(10—100mg)或 100 粒(<10mg)一组,用万分之一天平称其重量(g),每种植物做 5 个重复,然后计算出每种植物种子的平均种子质量(g)。对于较大种子以游标卡尺(精度为 0.01mm)测量种子长(mm)、宽(mm)、高(mm),对于较小种子(如蒿类)则直接用显微镜测量,再根据公式 $SV = \text{长} \times \text{宽} \times \text{高}$,计算种子体积,每个物种做 5 个重复,然后计算出平均值作为该植物种子体积(mm^3)^[26]。

1.4 植物群落功能性状值的计算和分析

研究中不考虑某物种的功能性状在不同环境下的变异问题,即不考虑环境梯度下物种功能性状的种间变异,直接以群落(样点)为单元,用重要值加权平均计算群落性状值,利用采集到的群落数据分别计算出各群落中每个物种的相对多度、相对盖度和相对生物量,再分别将一个群落内 i 物种的重要值用公式(1)算出,最后将该群落中 i 物种的平均 j 性状值用公式(3)算出。计算的公式如下:

$$IV_i = (\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对生物量}) / 3 \quad (1)$$

$$IV = \sum_{i=1}^n IV_i \quad (2)$$

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij} \times IV_i}{IV} \quad (3)$$

式中, IV_i 为 i 物种在该群落中的重要值 ($0 < IV_i < 1$), IV 为该群落总的重要值 ($0 < IV < 1$), C_j 代表该群落的 j 性状, t_{ij} 为该群落中 i 物种的 j 性状值。

延河流域植物群落性状值描述性统计见表 1。研究中共涉及 70 个物种的性状, 将上述过程计算得到的群落性状值和群落对应的环境因子进行相关分析, 得到与群落性状值有显著关系的环境因子, 对这些环境因子和群落性状值进行逐步回归分析、建模, 并结合环境因子与性状的散点图, 分析性状对环境梯度的响应规律。

2 结果与分析

2.1 群落性状值和环境因子的相关性

对群落性状值与环境因子的相关分析结果(表 2)表明, 群落叶性状与年 7—9 月总降雨量具有较好的相关性, 其中群落平均叶厚度与年均气温、年 4—10 月平均气温、年 1 月平均气温、年 7 月平均气温、年 7—9 月总降雨量、年均降雨量存在极显著 ($P < 0.01$) 负相关关系, 而与群落对应的年均蒸发量、海拔呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关; 群落的平均比叶面积与年 7—9 月总降雨量、年均降雨量呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关, 与年均蒸发量呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关; 群落平均叶组织密度与年 7—9 月总降雨量、土壤水分存在极显著 ($P < 0.01$) 的正相关关系。根性状比根长与坡向存在显著 ($P < 0.05$) 负相关; 根组织密度与年 7—9 月总降雨量、年均降雨量在 0.01 水平上极显著负相关; 而单位质量根氮含量与环境因子之间相关性不明显。种子性状种子质量和种子体积与环境因子的相关性规律较一致, 它们都与温度季节变化、坡度、降雨季节变化、年均蒸发量分别呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关, 与年 1 月平均气温、年 7—9 月总降雨量、年均降雨量分别存在极显著 ($P < 0.01$) 的正相关关系。

表 2 群落性状值与环境因子的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix between community weighted mean trait value and the environment

	LT	SLA	LD	SRL	RD	LN	RN	SM	SV
ta	-0.261 **	-0.133	0.117	0.017	-0.112	0.188 *	0.116	0.12	0.137
t410	-0.246 **	-0.111	0.106	0.025	-0.092	0.189 *	0.117	0.083	0.103
ts	-0.009	0.123	-0.014	0.076	0.136	0.088	0.057	-0.320 **	-0.297 **
tl	-0.277 **	-0.173 *	0.129	-0.002	-0.153	0.179 *	0.11	0.208 **	0.221 **
th	-0.233 **	-0.093	0.097	0.029	-0.075	0.190 *	0.118	0.058	0.078
slope	-0.025	-0.093	-0.022	0.112	0.072	0.026	0.027	-0.251 **	-0.248 **
r789	-0.249 **	-0.304 **	0.222 **	0.029	-0.267 **	-0.006	-0.006	0.218 **	0.208 **
rs	0.028	-0.039	0.093	0.078	0.002	-0.145	-0.089	-0.248 **	-0.257 **
ra	-0.262 **	-0.294 **	0.184 *	-0.002	-0.268 **	0.053	0.03	0.315 **	0.308 **
et	0.324 **	0.217 **	-0.191 *	0.026	0.199 *	-0.152	-0.088	-0.232 **	-0.242 **
elev	0.243 **	0.11	-0.105	-0.019	0.106	-0.188 *	-0.116	-0.12	-0.139
posi	0.047	-0.094	-0.061	0.072	0.006	0.059	-0.02	0.03	0.028
aspe	0.190 *	0.169 *	-0.172 *	-0.157 *	0.065	-0.08	-0.153	-0.022	-0.029
SW	-0.262 **	0.043	0.211 **	0.14	-0.035	-0.07	-0.001	-0.096	-0.091

* 代表 $P < 0.05$, ** 代表 $P < 0.01$; ta: 各年平均气温; t410: 年 4—10 月平均气温; ts: 温度季节变化; tl: 年 1 月平均气温; th: 各年 7 月平均气温; slope: 坡度; r789: 各年 7—9 月总降雨量; rs: 降雨季节变化; ra: 各年平均降雨量; et: 各年平均蒸发量; elev: 海拔; posi: 坡位; aspe: 坡向; SW: 土壤水分

2.2 环境因子与群落性状值的回归模型

采用逐步回归途径建立各性状与环境因子的关系模型(表 3), 结果表明, 对群落平均叶厚度有显著 ($P < 0.05$) 影响的环境因子为 0—200 cm 土壤水分、年平均蒸发量和坡向, 对群落平均比叶面积产生显著 ($P < 0.05$) 影响的有年 7—9 月总降雨量, 而年 7—9 月总降雨量、坡向和 0—200 cm 土壤水分对群落平均叶组织密

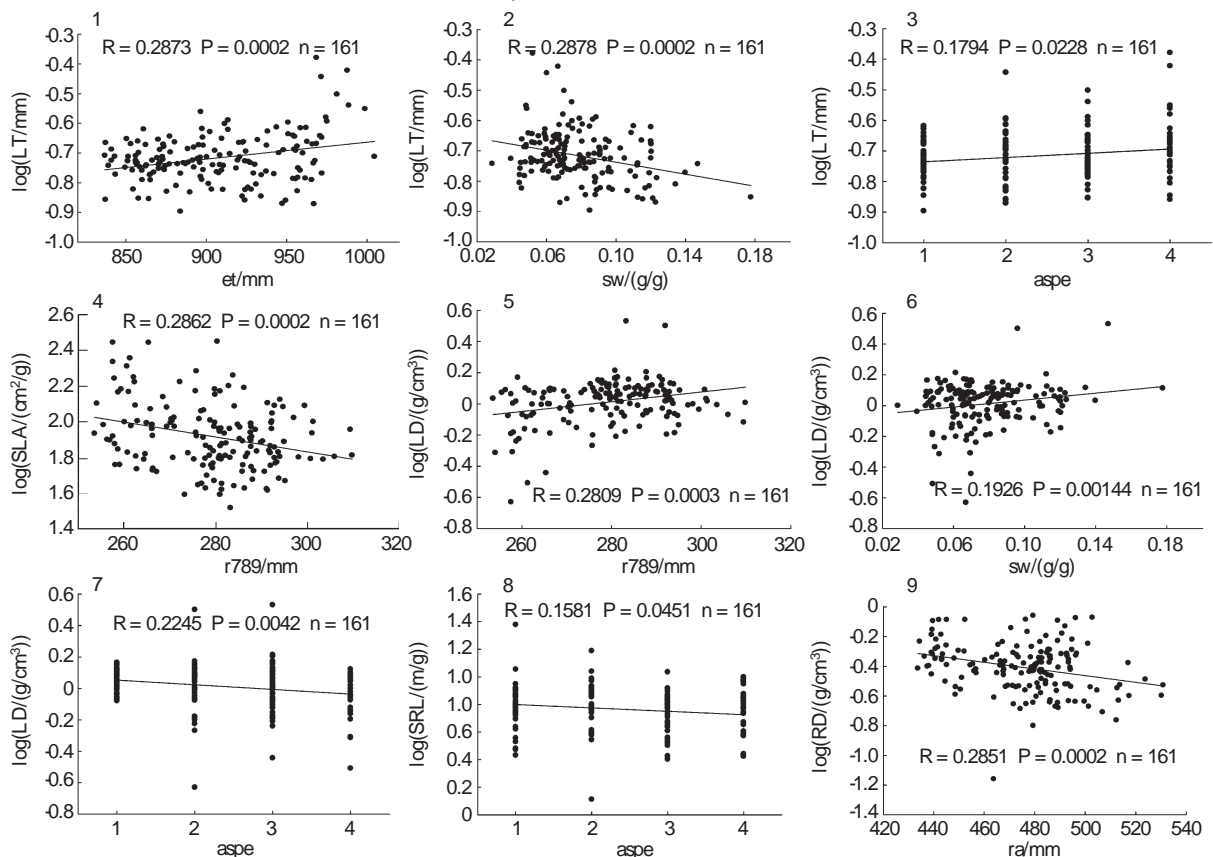
度有显著 ($P < 0.05$) 的影响,坡向对比根长和单位质量根氮含量存在影响,年平均降雨量则主要影响了群落的平均根组织密度,年 4—10 月平均气温对单位质量叶氮含量产生影响,对于种子质量来说年平均降雨量、坡度、年 7—9 月总降雨量、降雨季节变化都对其产生显著 ($P < 0.05$) 的影响,而年平均降雨量和坡度显著 ($P < 0.05$) 影响群落平均种子体积。

表 3 环境与群落性状值的线性回归模型

Table 3 Linear regression model of environment and community weighted mean trait value

性状 Trait	线性模型 Linear regression model	R	P
LT	$y = -1.127 - 0.979 \text{ SW} + 0.001 \text{ et} + 0.014 \text{ aspe}$	0.433	0.012
SLA	$y = 3.092 - 0.004 \text{ r789}$	0.288	<0.001
LD	$y = -0.7 + 0.003 \text{ r789} - 0.028 \text{ aspe} + 1.014 \text{ SW}$	0.379	0.023
SRL	$y = 0.824 - 0.025 \text{ aspe}$	0.158	0.045
RD	$y = 0.66 - 0.002 \text{ ra}$	0.285	<0.001
LN	$y = 1.051 + 0.013 \text{ t410}$	0.200	0.011
RN	$y = 0.879 - 0.019 \text{ aspe}$	0.142	0.072
SM	$y = -325.42 + 0.761 \text{ ra} - 0.065 \text{ slope} - 1.244 \text{ r789} + 168.302 \text{ rs}$	0.535	0.001
SV	$y = -6.391 + 0.017 \text{ ra} - 0.021 \text{ slope}$	0.487	<0.001

利用回归模型得到的主要环境因子与对应的群落性状值做散点图(图 2),进一步分析各功能性状随环境因子的变化趋势。可以看出,叶厚度随着年均蒸发量的增加而增加,而随着土壤含水量的增加而呈现递减趋势;比叶面积随年 7—9 月总降雨量的增加而递减;叶组织密度随着年 7—9 月总降雨量和土壤含水量的增加而增加;随着年均降雨量的增加,根组织密度呈递减趋势;单位质量叶氮含量随着 4—10 月温度的增加而增加;种子质量随着年 7—9 月总降雨量和年均降雨量的增加而增加,但随着坡度和降雨季节变化的增加而递减;种子体积随坡度和年均降雨量的变化和种子质量类似;坡向变化依次为阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡时,群落平均叶厚度呈现阳坡 < 半阳坡 < 半阴坡 < 阴坡,而叶组织密度、比根长、单位质量根氮含量则分别为阳坡 > 半



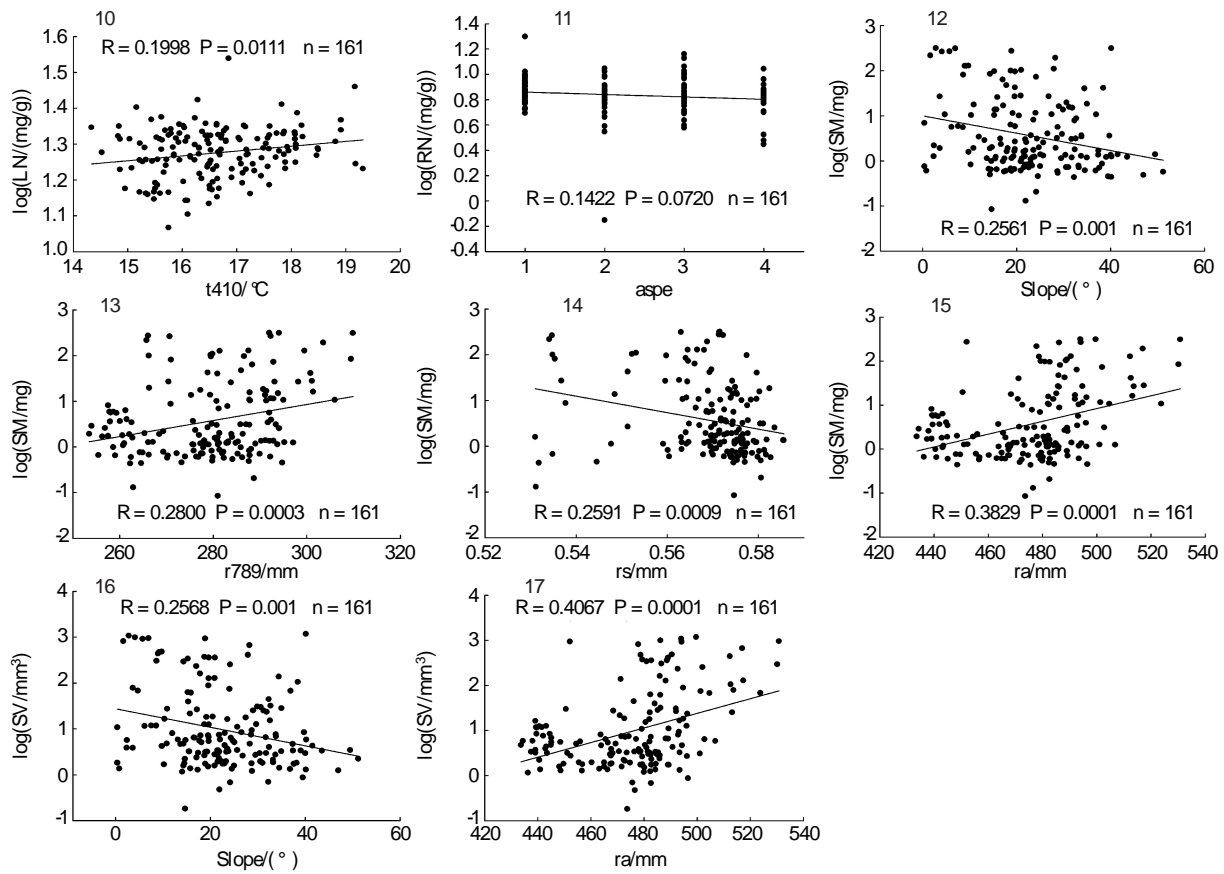


图2 群落性状值与对应的主要环境因子趋势图

Fig. 2 Scatter plots of community weighted mean trait value and the main environment

阳坡>半阴坡>阴坡。

2.3 群落性状值间的相关性

在群落水平上分析植物功能性状间的相关性,可以了解植物群落整体性状组合对环境梯度的规律性响应。对9个植物性状进行 Pearson 相关分析(表4),结果表明,叶厚度与叶组织密度、比根长呈极显著负相关($P<0.01$),表明群落中叶片较厚的物种通常具有较低的叶组织密度和比根长。比叶面积与叶组织密度表现出极显著($P<0.01$)负相关,比根长与种子质量、种子体积分别存在极显著($P<0.01$)负相关关系。根组织密度与单位质量根氮含量之间呈极显著($P<0.01$)负相关,具有较高单位质量叶氮含量的物种通常都具有较高的单位质量根氮含量,且它们间呈极显著($P<0.01$)正相关。比根长、单位质量根氮含量分别与种子质量、种子体积存在显著的相关关系,种子质量和种子体积在0.01水平上极显著正相关。

表4 群落各性状值间的相关系数

Table 4 Correlation of community weighted mean trait value

	SLA	LD	SRL	RD	LN	RN	SM	SV
LT	0.006	-0.350 **	-0.232 **	0.169 *	0.063	-0.023	-0.112	-0.119
SLA		-0.553 **	-0.003	-0.128	0.027	-0.002	-0.115	-0.113
LD			0.074	0.025	0.006	0.052	0.152	0.140
SRL				0.027	-0.105	0.043	-0.213 **	-0.213 **
RD					-0.123	-0.312 **	-0.091	-0.088
LN						0.640 **	-0.101	-0.106
RN							-0.166 *	-0.190 *
SM								0.996 **

3 讨论与结论

3.1 群落植物功能性状对环境梯度的响应特征

本研究表明,在群落水平上,延河流域植物群落的叶、根、种子功能性状对环境梯度响应特征明显。在水分条件较好的区域,群落植物叶片较薄、叶组织密度较大,比叶面积较低,根组织密度相对较低;而随环境水分含量的降低,叶片厚度逐渐增厚,比根长增加(从阴坡到阳坡)。同时在较干旱的区域,植物种子通常小而轻,且种子产量较高、易于传播。各个性状在群落水平上的变化规律,与其他学者在物种水平的研究所得结论近似,如 Castro^[27] 等人在降雨梯度上对 3 个栎属物种叶片的变化研究后,认为叶片厚度会随环境水分降低而增厚。但本文对叶片氮含量与温度关系的研究,与 Reich^[28] 等人对全球 1280 个植物种的结论相反,Reich 的结果表明,叶片氮含量会随着温度的升高而降低,而延河流域群落植物随 4—10 月温度的增加而增加,这可能与研究的尺度有关(本文是在群落水平上),同时本文采用的是生长季温度,而 Reich 等的研究则采用年平均温度。这表明,研究尺度的不同或采取的环境因子指标不同,所得结论可能会有较大差异,其形成机理仍需继续探讨研究。

3.2 群落植物功能性状间的相关性

植物叶片与植物的光合作用、蒸腾作用等密切相关,根系(细根)作为植物生长中吸收水分和养分的重要器官,显著影响着植物对资源的利用^[29];种子作为繁殖器官在植物生活史上的作用不可替代^[30],植物在适应环境过程中,会通过叶片、根系、种子在功能上的权衡,形成植物对环境整体适应。本研究表明,在群落水平上,延河流域群落植物叶、根、种子性状间存在较好的相关关系。这与部分学者在物种水平上的研究结果略有差异。有学者^[31] 对于热河谷物种植物叶片、根以及种子的研究后发现 3 者间无显著($P>0.05$)相关性;徐冰^[32] 等人对内蒙古锡林河流域草原植物叶片与细根研究后认为,在相对一致的生境中植物叶片与细根在不同物种间存在关联;周鹏^[33] 等人对温带草地主要优势植物研究后发现植物叶片和细根的组织密度在种群水平上显著负相关,而在物种水平上没有显著的相关关系。产生上述差异的原因,可能与研究的尺度有关,物种水平的植物功能性状关系更多地受表型可塑性和物种基因的影响,而群落水平上的植物功能性状则更多地受环境的影响,因此,在群落水平上,植物的叶、根、种子性状间的相关性要比物种水平上的更为明显。

3.3 群落构建中的环境筛选效应

群落构建即植物群落形成的过程往往受到多方因素的影响,基于性状的群落构建理论认为存在两个过程影响群落性状值的分布,即竞争和生境筛选。在一个局域群落中,竞争会导致共存物种间生态学的差异,即性状趋异;而生境筛选则控制着性状值的分布范围,即性状趋同^[6, 34-36]。许多学者^[37-39] 对此也进行了大量的研究。根据这一理论,不同环境梯度下的群落植物应当具有某种相似的性状特征。本文研究结果表明,在群落水平上,功能性状对不同环境梯度的响应特征明显:在延河流域降雨量相对丰富、温度适宜的南部,植物群落的比叶面积较低,叶组织密度较高,种子大而重;延河流域北部群落植物的叶片较厚,地上生物量较少,地下根系分布深而广,种子小而轻,即多数以灌木或草本群落为主,并且各个性状间存在相关性显著。这表明,在延河流域植物群落形成过程中,存在明显的环境筛选效应^[40-41]。环境筛选效应的存在,决定了不同环境条件生存的物种往往具有对环境适应的较为一致的性状特征,如果人为改变环境筛选对植物群落形成的限制,往往会导致较大的失误,如黄土高原草原区或森林草原区大面积营造人工林,就是因为这些物种不具备适应干旱环境的性状特征而生长不良,从而引起这些地区人工林的严重退化,形成分布广泛的“小老头树”。这表明,遵循植被与环境的相互适应机制,了解环境筛选对植物群落形成的作用,对该区植被恢复重建具有重要的指导意义。

3.4 小结

黄土高原是我国水土流失最严重的地区,也是我国生态恢复重建的重点区域,对黄土高原植被群落构建机理的研究意义重大。本文较为深入地研究了在群落水平上,植物功能性状对环境梯度的响应特征及其各个性状的关系,证明了环境筛选作用在植物群落形成中的作用。但本文未能就生物间相互作用对植物群落形成

的影响进行探讨,因此,本文可以解释或预测在某个环境条件下具有特殊功能性状的物种能否出现,但不能预测或解释这些物种在特殊环境条件下的丰富度。全面了解植物群落的形成过程,仍需深入研究。

致谢:承蒙中国科学院水利部水土保持研究所安塞水土保持综合实验站提供野外工作条件,西北农林科技大学资源环境学院测试中心及中国科学院水利部水土保持研究所 3S 实验室提供实验设备条件,特此致谢。

References:

- [1] Diaz S, Cabido M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 2001, 16(11): 646-655.
- [2] Whittaker R H. Vegetation of the great smoky mountains. *Ecological Monographs*, 1956, 26(1): 1-80.
- [3] Feng Q H, Shi Z M, Dong L L. Response of plant functional traits to environment and its application. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 125-131.
- [4] Diaz S, Cabido M, Casanoves F. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation Science*, 1998, 9(1): 113-122.
- [5] Diamond J M. *Assembly of Species Communities*. Cambridge: USA Harvard University Press, 1975: 342-444.
- [6] Grime J P. Trait convergence and trait divergence in herbaceous plant communities: mechanisms and consequences. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17(2): 255-260.
- [7] Wen Z M, Jiao F, Li J. Identification of the natural communities in vegetation succession using grey relational analysis in Loess Hilly Region, China. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(5): 40-44.
- [8] Jiao F, Wen Z M, Jiao J Y, He X H. Reciprocal effects among vegetation, soil moisture and nutrients of cropland to forest and grassland in the Loess Hilly Region. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(2): 79-84.
- [9] A S Z, Bo Y J, Wen Z M, Jiao F, Yang Q K. Research on effect of different types of vegetation on nutrient changes in loess hilly region — taking Zhifanggou Watershed in Ansai as an example. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21(6): 58-62.
- [10] Zhang J, Wen Z M, Yang S B. Spatial distribution evaluation of biomass in Yanhe river catchment using natural ecosystem as a reference. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(3): 35-39.
- [11] Cao J X, Wen Z M, Li R. Comparison of predictive models for representative species distribution in Yanhe river basin. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(3): 134-139.
- [12] Wen Z M, Jiao F, Jiao J Y. Prediction and mapping of potential vegetation distribution in Yanhe River catchment in hilly area of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(9): 1897-1904.
- [13] He X H. *Predicting the Prospect of Spontaneous Restoration in Loess Hilly Region*. Yangling: Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, 2005.
- [14] Roche P, Díaz-Burlinson N, Gachet S. Congruency analysis of species ranking based on leaf traits: which traits are the more reliable? *Plant Ecology*, 2004, 174(1): 37-48.
- [15] Liu J H, Zeng D H, Lee D K. Leaf traits and their interrelationships of main plant species in southeast Horqin sandy land. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 921-925.
- [16] Cornelissen J H C, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich D E, Reich P B, ter Steege H, Morgan H D, van der Heijden M C A, Pausas J G, Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 2003, 51: 335-380.
- [17] Zheng C H, Kang Y H, Yao S M, Yan C Z, Sun Z Q. Method of root analysis using GIS technology. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(1): 181-183.
- [18] Reich P B, Walters M B, Ellsworth D S, Vose J M, Volin J C, Gresham C, Bowman W D. Relationships of leaf dark respiration to leaf nitrogen, specific leaf area and leaf life-span: a test across biomes and functional groups. *Oecologia*, 1998, 114(4): 471-482.
- [19] Witkowski E T F, Lamont B B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*, 1991, 88(4): 486-493.
- [20] Ryser P. The importance of tissue density for growth and life span of leaves and roots: a comparison of five ecologically contrasting grasses. *Functional Ecology*, 1996, 10(6): 717-723.
- [21] Aerts R, Boot R G A, van der Aart P J M. The relation between above- and belowground biomass allocation patterns and competitive ability. *Oecologia*, 1991, 87(4): 551-559.
- [22] Eissenstat D M. On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation: a field study using citrus rootstocks. *New Phytologist*, 1991, 118(1): 63-68.
- [23] Craine J M, Froehle J, Tilman D G, Wedin D A, Chapin F S. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. *Oikos*, 2001, 93(2): 274-258.
- [24] Field C J, Mooney H A. *The Photosynthesis-Nitrogen Relationship in Wild Plants*. New York: Cambridge University Press, 1986.
- [25] Ma J, Li J Z, Chao Z, Zhang H W, Liu C M. A study on microstructural feature of the seeds of desert plants in northwest China. *Journal of*

- Zhejiang Normal University (Natural Sciences), 2003, 26(2): 109-115.
- [26] Zhang X Y. Morphological Characteristics and Availability of Seed from Main Plants on the Hilly-Gullied Loess Plateau. Yangling: Northwest A and F University, 2010.
- [27] Castro-Díez P, Villar-Salvador P, Pérez-Rantomé C, Maestro-Martínez M, Monserrat-Martí G. Leaf morphology and leaf chemical composition in three *Quercus* (*Fagaceae*) species along a rainfall gradient in NE Spain. *Trees*, 1997, 11(3): 127-134.
- [28] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [29] Guo D L, Mitchell R J, Hendricks J J. Fine root branch orders respond differentially to carbon source-sink manipulations in a longleaf pine forest. *Oecologia*, 2004, 140(3): 450-457.
- [30] Harper J L. Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977.
- [31] Zheng Z X, Sun Z H, Zhang Z M, Ou X K. Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 982-988.
- [32] Xu B, Cheng Y X, Gan H J, Zhou W J, He J S. Correlations between leaf and fine root traits among and within species of typical temperate grassland in Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 29-38.
- [33] Zhou P, Geng Y, Ma W H, He J S. Linkages of functional traits among plant organs in the dominant species of the Inner Mongolia grassland, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 7-16.
- [34] Lavorel S, Garnier E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 2002, 16(5): 545-556.
- [35] MacArthur R, Levins R. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *The American Naturalist*, 1967, 101(921): 377-385.
- [36] Ackerly D D, Schilck D W, Webb C O. Niche evolution and adaptive radiation: testing the order of trait divergence. *Ecology*, 2006, 87(7): 50-61.
- [37] Cornwell W K, Schilck D W, Ackerly D D. A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. *Ecology*, 2006, 87(6): 1465-1471.
- [38] Kraft N J B, Valencia R, Ackerly D D. Functional traits and niche-based tree community assembly in an Amazonian forest. *Science*, 2008, 322(5901): 580-582.
- [39] Cornwell W K, Ackerly D D. Community assembly and shifts in plant trait distributions across an environmental gradient in coastal California. *Ecological Monographs*, 2009, 79(1): 109-126.
- [40] He J S, Wang Z H, Wang X P, Schmid B, Zuo W Y, Zhou M, Zheng C Y, Wang M F, Fang J Y. A test of the generality of leaf trait relationships on the Tibetan Plateau. *New Phytologist*, 2006, 170(4): 835-848.
- [41] Westoby M, Wright I J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. *Trends in Ecology and Evolution*, 2006, 21(5): 261-268.

参考文献:

- [3] 冯秋红, 史作民, 董莉莉. 植物功能性状对环境的响应及其应用. *林业科学*, 2008, 44(4): 125-131.
- [7] 温仲明, 焦峰, 李静. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被自然演替阶段的识别与量化分析. *水土保持研究*, 2009, 16(5): 40-44.
- [8] 焦峰, 温仲明, 焦菊英, 赫晓慧. 黄土丘陵区退耕地植被与土壤水分养分的互动效应. *草业学报*, 2006, 15(2): 79-84.
- [9] 阿守珍, 卜耀军, 温仲明, 焦峰, 杨勤科. 黄土丘陵区不同植被类型土壤养分效应研究——以安塞纸坊沟流域为例. *西北林学院学报*, 2006, 21(6): 58-62.
- [10] 张佳, 温仲明, 杨尚斌. 基于自然植被的延河流域生物量空间分布格局评估. *水土保持研究*, 2010, 17(3): 35-39.
- [11] 曹剑侠, 温仲明, 李锐. 延河流域典型物种分布预测模型比较研究. *水土保持通报*, 2010, 30(3): 134-139.
- [12] 温仲明, 焦峰, 焦菊英. 黄土丘陵区延河流域潜在植被分布预测与制图. *应用生态学报*, 2008, 19(9): 1897-1904.
- [13] 赫晓慧. 黄土丘陵区植被自然恢复前景模拟与预测研究. 杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2005.
- [15] 刘金环, 曾德慧, Lee D K. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系. *生态学杂志*, 2006, 25(8): 921-925.
- [17] 郑纯辉, 康跃虎, 姚素梅, 颜长珍, 孙泽强. 基于地理信息系统的植物根系分析方法. *农业工程学报*, 2004, 21(1): 181-183.
- [25] 马骥, 李俊祯, 晁志, 张宏伟, 刘传明. 64种荒漠植物种子微形态的研究. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2003, 26(2): 109-115.
- [26] 张小彦. 黄土丘陵沟壑区主要植物种子形态特征及有效性研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [31] 郑志兴, 孙振华, 张志明, 欧晓昆. 干热河谷植物叶片、树高和种子功能性状比较. *生态学报*, 2011, 31(4): 982-988.
- [32] 徐冰, 程雨曦, 甘慧洁, 周文嘉, 贺金生. 内蒙古锡林河流域典型草原植物叶片与细根性状在种间及种内水平上的关联. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 29-38.
- [33] 周鹏, 耿燕, 马文红, 贺金生. 温带草地主要优势植物不同器官间功能性状的关联. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 7-16.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaofoei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元