

# 黄土丘陵区植物功能性状沿气候梯度的变化规律

施宇<sup>1</sup>, 温仲明<sup>2</sup>, 龚时慧<sup>1</sup>, 宋光<sup>1</sup>, 郑颖<sup>1</sup>, 丁曼<sup>1</sup>

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

**摘要:**选取黄土丘陵区延河流域 147 个物种,对 10 个与植物形态、生理相关的叶片和细根功能性状(叶大小、叶长宽比、叶厚度、叶干重、比叶面积、叶组织密度、叶氮含量、细根比根长、细根组织密度和细根氮含量)进行了测定,并对功能性状与气候因子的关系进行了分析。结果表明:(1)水热条件是影响研究区植物功能性状的重要因子,其中降雨为主导因子。物种水平上,植物功能性状随着环境的变化而变化,如叶氮含量随着温度指标(最冷月均温、生长季均温、年均温、最热月均温、温度季节变化的增加而增加;(2)不同生长型功能性状在环境梯度下存在差异,表现为草本植物相对木本植物有更小的叶组织密度以及更大的叶面积、比叶面积、叶片氮含量、根氮含量和比根长,表明不同生活型植物对环境的适应能力明显不同;(3)不同类群植物对环境条件变化的响应不同,表现为适应方式的分异和趋同。该结果为探究黄土高原植物对环境的适应机制提供理论依据。

**关键词:**植物功能性状; 生长型; 适应策略; 黄土高原

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0107-05

## Trait Variations along a Climatic Gradient in Hilly Area of Loess Plateau

SHI Yu<sup>1</sup>, WEN Zhong-ming<sup>2</sup>, GONG Shi-hui<sup>1</sup>, SONG Guang<sup>1</sup>, ZHENG Ying<sup>1</sup>, DING Man<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

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

**Abstract:** More than 147 plant species in Yanhe River catchment in hilly area of Loess Plateau were selected and leaf area(LA), leaf length/leaf width(LW), leaf thickness(LT), leaf dry mass(DM), specific leaf area(SLA), leaf tissue density(LTD), leaf nitrogen concentration(LNC), specific root length(SRL), root tissue density(RTD) and root nitrogen concentration(RNC)) of 10 plant traits were determined. Correlation analyses were used for quantifying relationships between plant traits and site climate. The results showed that: (1) functional traits of all species changed with environmental factors, and precipitation rather than temperature is the main control of trait differences along the gradient. As temperature index increased, LNC became higher; (2) large trait differences existed in growth forms. Grasses had higher mean LA, SLA, LNC, RNC, SRL and lower LTD than woody species, reflecting the adaptive differences of growth forms to environment; (3) trait variations of growth forms along a climatic gradient demonstrated an overall adaptation to environment, which were the combination strategies of co-evolution and divergent. The results of this research will provide basis for knowing adaptive mechanisms of plants to environment in hilly area of Loess Plateau.

**Key words:** plant functional trait; growth form; adaptive strategies; Loess Plateau

植物功能性状作为连接植物与环境的桥梁,是对植物的形态建成、生存生长、适应等行为具有强烈影响的那部分属性特性<sup>[1]</sup>,反映植物对环境的适应及植物内部不同功能之间的生活或进化权衡后的一种属性表现<sup>[2]</sup>。如叶片氮含量等性状直接决定着植物光合能力的高低<sup>[3]</sup>,而结构性状如叶面积、叶干重、叶厚

度、比叶面积、比根长、组织密度等,则可以较好地反映植物碳收获最大化所采取的生存策略<sup>[4]</sup>。研究表明,植物的一些性状会随着环境条件的变化而变化,而一些则变化不明显,如沿着从干旱到湿润的环境梯度,植物叶片会由小变大、氮和磷含量增加、碳氮比下降、同化速率升高等<sup>[5-6]</sup>。但是性状的这种变化趋势

收稿日期:2011-08-09

修回日期:2011-08-29

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

作者简介:施宇(1988—),女,江苏靖江人,硕士研究生,主要从事植物对环境的适应策略研究。Email: shiyu@nwsuaf.edu.cn

通信作者:温仲明(1969—),男,陕西定边人,博士,副研究员,主要从事植物生态恢复重建研究。Email: zmwen@ms.iswc.ac.cn

并不是一成不变的,会随着研究区范围、研究对象生活型组成以及取样尺度的影响而改变。近年来,我国也开展了一些有关植物性状方面的研究,但研究多集中于植物功能性状之间的关系以及不同功能群功能性状间的差异<sup>[7-8]</sup>,或同一物种在不同环境梯度下叶性状的变化<sup>[9-10]</sup>,对于从整体上研究不同植物性状在环境梯度下变化情况的研究较少。本文以黄土丘陵区延河流域为研究区,分析不同环境梯度下所有物种及不同生长型植物的功能性状随环境梯度的变化规律,试图阐明:(1)延河流域各性状随环境梯度的变化规律及主要环境影响因子,探究物种水平上植物性状对环境的响应机理及适应策略;(2)将不同生长型性状差异作为功能沿气候梯度差异的解释变量,描述不同生长型植物在环境梯度下的性状差异与变化规律,探究植物为维持正常生理活动表现在适应策略的趋同与趋异,为今后深入分析黄土高原区植物对环境的适应机理提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

延河流域(36°23′—37°17′N, 108°45′—110°28′E)位于陕西省北部,地处黄河中游,是黄河中游河口镇—龙门区间的一级支流,由西北向东南,流经志丹、安塞、延安,在延长县南河沟乡凉水岸附近汇入黄河,延河全长 286.9 km,总面积 7 687 km<sup>2</sup>,平均坡度 4.4‰,河网密度约为 4.7 km/km<sup>2</sup>。该流域属大陆性季风气候,年平均降水量约为 500 mm,年均气温约 9℃。从东南向西北,降雨、温度具有明显的梯度变化特征。植被分布随着环境条件的变化具有明显的地带性规律,从东南向西北依次为森林区、森林草原区和草原区<sup>[11]</sup>。

### 1.2 野外调查和样品采集

本研究依据环境梯度变化进行采样,以观测植物功能性状及其相互关系的变化。首先将延河流域根据温度、降雨梯度,划分为不同的环境梯度单元,在各个环境梯度单元内,充分考虑地形变化,选择了具有代表性的 24 个样地做群落调查,共调查了 149 个物种,隶属于 49 科 120 属,其中草本植物 102 种,木本植物 47 种,部分出现在不同地点的相同物种进行了重复测定。对不同功能群的物种,每种植物取 5~10 个植株,每个植株上摘取 5~10 片未遮阴、完全展开、没有病虫害的叶片,由于木本植物叶氮含量会随太阳位置的改变而变化,叶片从东南西北 4 个不同方位的枝条上收集,并移去叶柄。

用便携式叶面积仪(Yaxin—1242)测定叶面积

LA,叶长和叶宽,求得叶长宽比 LW。选用精度为 0.01 mm 的电子游标卡尺沿叶片主脉方向,在距离主脉两侧约 1 mm 处各均匀选取 3 个点进行测量,所得平均值为叶厚度 LT。在每株植物基部 10~20 cm 范围内用铁铲挖取 20~30 cm 深的土块,小心清理掉根表面的土壤和杂质,采集直径 2 mm 以下的细根。将已测叶面积的叶片和植株的细根放入自封袋临时保存并迅速运回实验室。在实验室中将根系样品上附着的土用水冲洗干净,用扫描仪对细根进行扫描,使用地理信息系统的根系分析方法获取根长和根直径<sup>[12]</sup>,利用体积替代法将细根完全浸入盛水的量筒(精度为 10 ml 和 25 ml)约 5 s,读取增加的体积。将叶片、根系 105℃下烘干 15 min 杀青,再在 85℃下烘干 48~72 h 后称重,获得叶干重 DM,并得到比叶面积 SLA=叶面积/叶干重,比根长 SRL=根长/根干重,叶组织密度 LTD=叶干重/叶体积,其中叶体积=叶面积×叶厚度,细根的组织密度 RTD=根干重/根体积。烘干的叶、细根样品粉碎后,用凯氏定氮法测定叶片氮含量 LNC 和细根氮含量 RNC。

### 1.3 环境数据的获取

由于黄土高原地区地形的复杂性,采用 ANUS-PLIN 空间插值工具软件对延河流域及周边 57 个气象站点数据的插值拟合<sup>[13]</sup>,然后把野外记录的样点 GPS 数据导入地理信息系统软件 ArcGIS,从中提取样点的气象因子,它们分别是年均最冷气温( $T_c$ ),年均最热气温( $T_h$ ),年均植被生长季节气温( $T_{410}$ ),年均气温( $T_e$ ),年均雨季总降雨量( $R_{789}$ ),年均总降雨量( $R_a$ ),年均蒸发量( $E_t$ ),降雨季节变化( $R_s$ )和温度季节变化( $T_s$ )。气候数据的提取在 ArcGIS 9.2 下完成。

### 1.4 数据分析

分析前将植物属性值进行对数转换,以满足  $T$  检验和回归分析的假设需要。首先将功能性状与气候因子进行相关分析揭示功能性状沿气候梯度的总体格局,通过逐步回归分析揭示影响植物性状的主要气候因子,并将生长型作为性状沿环境梯度差异的解释变量加入回归分析, $T$  检验草本和木本植物性状的差异。相关统计分析在 SPSS 18.0 下完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物功能性状沿环境梯度的变化规律及其主要影响因子

研究功能性状沿环境梯度变化规律可以很好地认识植物对环境的适应机理<sup>[2]</sup>。延河流域植物性状与气候因子的相关性结果表明(表 1),叶氮含量对温

度指标(最冷月均温、生长季均温、年均温、最热月均温、温度季节变化)有较好的响应;一些与叶形态相关的性状,如叶大小、叶长宽比、叶厚度以及叶干重对降雨量变化和年均蒸发量变化的响应较为明显;比根长和根组织密度等根性状与气象因子间没有表现出相关性。叶片作为植物体暴露在环境中的面积最大的器官,在形态结构上的变异性和可塑性是最大的,因

此较根系而言对环境的响应更为敏感。回归分析结果表明(图 1、表 2),降雨为影响延河流域植物性状的主导因子,温度为次要因子。除了根组织密度以外,所有的植物性状随降雨和温度梯度变化显著。其中叶性状主要受降雨影响,如叶面积、叶长宽比、叶厚度、叶干重、比叶面积和叶组织密度;受温度影响的功能性状主要有叶氮含量和根氮含量。

表 1 延河流域植物功能性状与气候因子的关系

指标	$T_c$	$T_{410}$	$T_a$	$T_h$	$T_s$	$R_{789}$	$R_a$	$R_s$	$E_t$
LA	0.134	0.102	0.116	0.091	-0.003	0.221**	0.190*	0.099	-0.181*
LW	-0.171*	-0.064	-0.097	-0.040	0.205**	-0.342**	-0.348**	0.036	0.231**
LT	-0.216**	-0.151*	-0.171*	-0.135	0.076	-0.181*	-0.245**	0.184*	0.217**
DM	0.167*	0.098	0.120	0.082	-0.100	0.232**	0.246**	-0.046	-0.205**
SLA	-0.007	0.032	0.024	0.036	0.116	0.015	-0.029	0.148*	0.000
LTD	0.108	0.038	0.056	0.027	-0.151*	0.069	0.143	-0.232**	-0.101
LNC	0.153*	0.213**	0.201**	0.220**	0.261**	0.004	-0.028	0.091	-0.168*
RNC	-0.005	0.100	0.072	0.118	0.296**	-0.170*	-0.210**	0.122	0.020
SRL	0.110	0.111	0.112	0.110	0.065	0.006	0.028	-0.067	-0.119
RTD	0.004	-0.025	-0.019	-0.029	-0.092	0.022	0.054	-0.100	0.014

\*  $p<0.01$ , \*  $p<0.05$ ;所有性状值均经过对数转换;LA——叶大小;LW——叶长宽比;LT——叶厚度;DM——叶干重;SLA——比叶面积;LTD——叶组织密度;LNC——叶氮含量;RNC——细根比根长;RTD——细根组织密度;RNC——细根氮含量。

表 2 延河流域植物性状与气候因子的回归分析

因变量	物种	自变量	决定系数 $R^2$	$P$ 值	截距	回归系数
LA	所有	$R_{789}$	0.049	0.003	-1.104	0.012
	草本	$R_{789}$	0.058	0.011	-1.808	0.015
	木本	$R_{789}$	0.070	0.031	-1.378	0.013
LW	所有	$R_{789}$	0.062	0.001	3.443	-0.011
	草本	$R_{789}$	0.047	0.023	3.565	-0.011
LT	所有	$R_a$	0.060	0.001	0.396	-0.002
	草本	$R_a$	0.010	0.006	0.576	-0.003
DM	所有	$R_a$	0.060	0.001	-3.013	0.005
	木本	$R_a$	0.105	0.008	-3.603	0.007
SLA	所有	$R_s$	0.022	0.049	-1.596	6.151
LTD	所有	$R_a$	0.054	0.005	4.315	-9.722
LNC	所有	$T_s$	0.068	$<0.001$	-3.464	2.188
	草本	$T_s$	0.046	0.024	-3.236	2.066
	木本	$T_s$	0.104	0.008	-3.261	2.055
RNC	所有	$T_s$	0.088	$<0.001$	-6.202	3.523
	草本	$T_s$	0.060	0.010	-4.611	2.637
	木本	$T_s$	0.087	0.016	-6.457	3.614
SRL	草本	$T_l$	0.048	0.021	1.435	0.114

不同生活型的草本和木本物种作为性状沿环境梯度的解释变量,回归分析结果不显著的生长型未在表中列出。

水热因子影响植物生长、发育和功能的重要环境因子,其中温度的变化将直接影响植物的生理、生态及形态的变化。一般来说,叶氮含量较高的植物光合能力和呼吸消耗均较强,能通过快速的养分循环适应环境<sup>[14]</sup>,且极易受土壤含量、生长季的温度、长度及年均降水量的影响<sup>[15-16]</sup>。延河流域的植物叶氮含量随

温度的增加而增加,尤其是温度季节变化较大的地区叶和根氮含量都较大,即随着温度升高,植物的生长季长度增加,植物通过较高的氮含量保证在有限生长季内具有较高的光合生产力来维持正常的生理活动。然而与其他因子相比,延河流域植物功能性状对水分的响应更为显著。随年均降雨量增加或干湿季节降雨变化量的增加,生长在相对湿润地区的植物具有较高叶面积、叶干重、比叶面积和较低的叶长宽比、叶厚度、叶组织密度;而生长在相对干旱地区的植物则表现出相反的一系列性状。研究表明,干旱区的植物叶片具有较高的水分利用效率<sup>[17]</sup>、较厚的表皮<sup>[18]</sup>、较小的叶面积和比叶面积以适应水分胁迫环境<sup>[19]</sup>,并且以较小的叶干重和较大的组织密度构筑防御保卫<sup>[19]</sup>。叶片厚度与植物体细胞体积、水分储备变化密切相关<sup>[20]</sup>,抗旱性越强的植物往往叶片较厚,但叶片厚度极易受到植物叶形的影响,因此单一性状的变化并不能反映植物的适应性,植物往往是通过一系列功能性状的组合来适应环境。Reich 等<sup>[4]</sup>指出,干旱区植物通过较低的比叶面积和较高的叶片寿命的平衡,以降低组织周转,并且在比叶面积一定时具有较高的叶氮含量<sup>[6]</sup>。而组织密度的增大,说明植物组织变得发达,可以减少植物体水分的散失,也是植物对干旱环境的一种适应。一般来说,植物的旱生结构特征都表现出不同程度的恒定性,其中一些植物在遗传上比较固定,另一些植物则由于环境因子的改变使得正常的中性结构转变为不同程度的旱生结构,或是加强了旱

生结构的特性<sup>[21]</sup>以适应干旱环境。功能性状对降雨变化的一系列响应反映了植物对不同生境的生长、适应策略以及对水分的利用能力,越是干旱的地区,植物对资源的利用能力越强<sup>[22-23]</sup>。

## 2.2 不同生长型植物性状沿环境梯度的变化规律

草本和木本植物的多数性状在气候梯度下有显著差异(表 3,图 1),除了叶组织密度,草本植物的性状属性值均大于木本,即草本植物相对木本植物有更小的叶组织密度以及更大的叶面积、比叶面积、叶片氮含量、根氮含量和比根长,表明不同生活型植物对气候环境的适应能力明显不同。Wright 等<sup>[24]</sup>研究指出,植物单位面积的叶质量(1/SLA)与叶寿命间存在平衡关系,即植物叶片的经济型谱是从高比叶面积、短叶寿命到低比叶面积、长叶寿命变化的,较高的叶氮含量和较快的气体交换速率是和较高比叶面积相联系的,因此草本植物趋向于较高的比叶面积。而草

本植物与木本植物间叶片、根氮含量的差异表明不同生活型植物对所处环境养分的分配策略不同。草本植物寿命较短,大多将养分用于植株体的快速生长,具有较高的光合能力养分利用效率<sup>[24]</sup>,而乔木、灌木等木本植物往往分配较多的生物量和将吸收到的矿质养分大多用于防御构建,结构物质较多,同时积累较多的光合产物为越冬和今后的生长做准备,因此分配到光合器官中的氮较少<sup>[25]</sup>,具有相对较低的植物氮含量。

将不同生长型的植物性状作为物种水平性状的解释变量加入与环境因子的回归分析,结果表明(图 1)不同生长型的植物对环境变化的响应不同。在所有物种和草本、木本植物水平上,叶面积对年均雨季降雨量的响应明显,随着雨季降雨量的增加而增加(图 1a),叶片、根氮含量都随着温度季节变化的增加而增加(图 1g,h),而草本和木本植物的比叶面积和叶组织密度与降雨季节变化都没有表现出显著性(图 1e,f)。

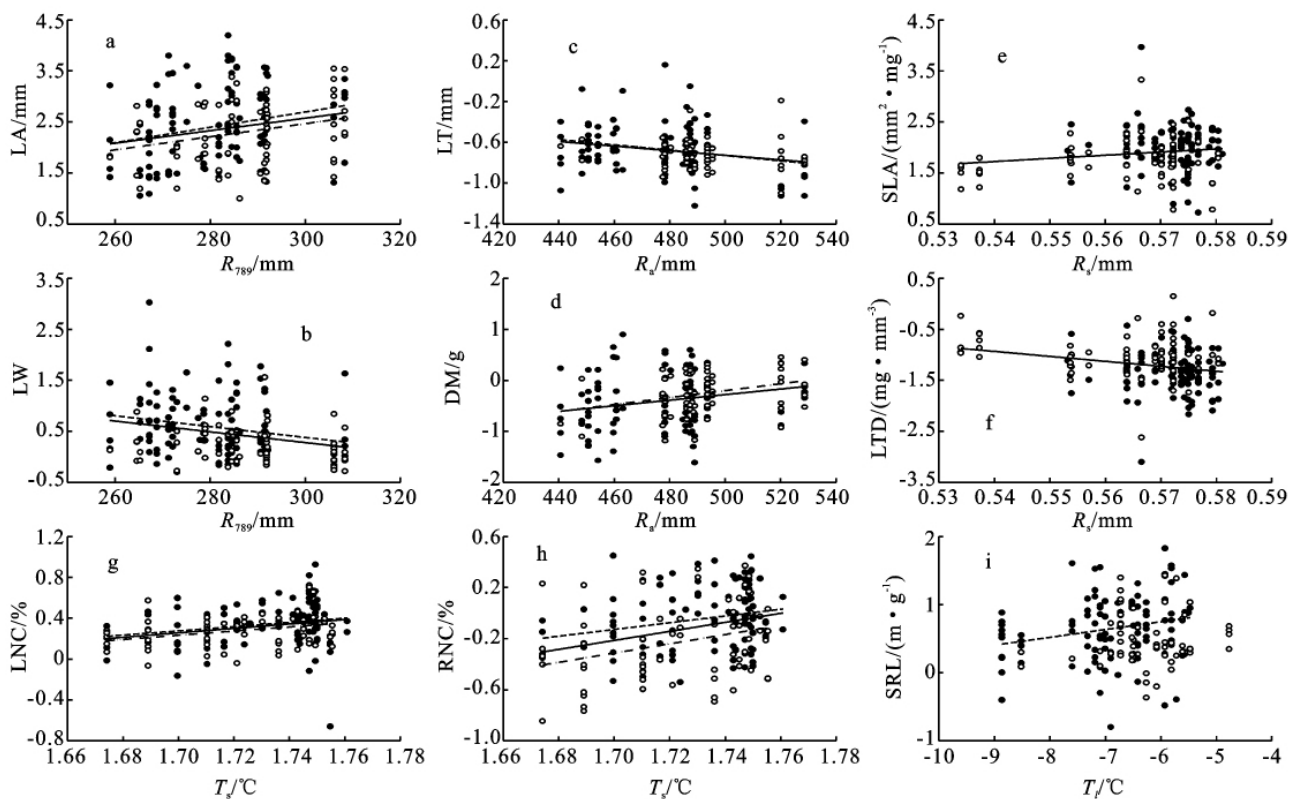


图 1 不同生长型植物性状沿气候梯度的分布格局

图中所有性状值均为对数转换后的值,图中空心点代表木本植物,实心点为草本植物,实线为所有植物性状与环境因子关系的拟合线,长虚线为木本植物,短虚线代表草本植物。

对于草本和木本两个生长型,植物的叶面积,叶片、根氮含量存在显著差异(表 3),即存在显著差异的一些植物性状对环境因子的响应一致,这就形成了植物对环境适应的一种方式——趋同进化。同时,我们发现不同生长型植物对环境变化的响应也存在差异。木本植物的叶干重对年均降雨量响应明显,表现为随

着年均降雨量的增加而呈增加趋势;而草本植物生长较快,尤其是地上部分生长迅速,其叶形态性状(叶面积、叶长宽比、叶厚度)对降雨量变化响应明显(图 1a, b, c),表现为在相对干旱的地区叶面积变小,叶厚度和叶长宽比增加,即不同生长型植物通过调节性状又形成各自特定的适应策略。

表 3 不同生长型植物性状的差异

植物性状	草本植物	木本植物
LA/mm	1001.35±187.957a	503.184±89.697b
LW	19.305±9.522a	2.541±0.556b
LT/mm	0.250±0.017a	0.201±0.010a
DM/g	0.744±0.107a	0.8±0.079a
SLA/(mm <sup>2</sup> ·mg <sup>-1</sup> )	208.58±82.631a	105.376±32.034b
LTD/(mg·mm <sup>-3</sup> )	0.073±0.007b	0.143±0.025a
LNC/%	2.447±0.113a	2.057±0.106b
RNC/%	1.046±0.056a	0.766±0.069b
SRL/(m·g <sup>-1</sup> )	7.913±0.950a	4.57±0.675b
RTD/(mg·mm <sup>-3</sup> )	24.31±1.964a	31.043±2.386a

数据为平均值±标准差,显著性差异( $p<0.05$ )用不同字母标记。

3 结 论

功能性状沿环境梯度变化规律可以很好地认识植物对环境的适应机理,本研究结果表明:(1)水分和温度是影响延河流域植物功能性状的重要因子,其中水分为主导因子。性状随着环境因子的变化而变化,植物通过一些列性状的组合来适应所在环境。总的来说,性状与环境因子的相关性不高,叶性状比根性状对环境的变化响应更为敏感。(2)草本植物相对木本植物有更小的叶组织密度以及更大的叶面积、比叶面积、叶片氮含量、根氮含量和比根长,表明不同生活型植物对气候环境的适应能力明显不同。(3)不同生长型植物性状沿气候梯度的变化规律,反映了植物通过多种途径对环境的适应对策。

本研究结论对于黄土高原植被恢复重建具有重要意义。一般地,由于植物与环境的相互作用与适应,在不同环境条件下生存的植物,往往具有不同的性状特征。本研究表明,生长在相对湿润地区的植物具有较高叶面积、叶干重、比叶面积和较低的叶长宽比、叶厚度、叶组织密度;而生长在相对干旱地区的植物则表现出相反的一系列性状,这为不同环境条件下的物种选择等提供了重要的参考依据。如果选择的植物不具有适应环境的性状特征,则植被恢复重建往往面临较大的风险。

参考文献:

[1] Reich P B, Buschena C, Tjoelker M G, et al. Variation in growth rate and ecophysiology among 34 grassland and savanna species under contrasting N supply: a test of functional group differences[J]. New Phytologist,2003, 157(3):617-631.

[2] Diaz S, Hodgson J G, Thompson K, et al. The plant traits that drive ecosystems: evidence from three conti-

nents[J]. Journal of Vegetation Science, 2004,15(3): 295-304.

[3] 张林,罗天祥.植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J].植物生态学报,2004,28(6):844-852.

[4] Reich P B, Walters M B, Ellsworth D S. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems[J]. Ecological Monographs,1992,62 (3):365-392.

[5] Wright I J, Reich P B, Westoby M. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high-and low-rainfall and high-and low-nutrient habitats [J]. Functional Ecology,2001,15(4):423-434.

[6] Reich P B, Peter B, Ellsworth, et al. Generality of leaf traits relationship: A test across six biomes[J]. Ecology,1999,80(6):1955-1969.

[7] 刘金环,曾德慧, Lee Don Koo. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系[J]. 生态学杂志,2006,25 (8):921-925.

[8] 白文娟,郑粉莉,董莉莉,等. 黄土高原水蚀风蚀交错带不同生境植物的叶性状[J]. 生态学报,2010,30(10): 2529-2540.

[9] 冯秋红,史作民,董莉莉,等. 南北样带温带区栎属树种功能性状间的关系及其对气象因子的响应[J]. 植物生态学报,2010,34(6):619-627.

[10] 冯秋红,史作民,董莉莉,等. 南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应[J]. 生态学报,2010,30 (21):5781-5789.

[11] 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[J]. 应用生态学报,2008,19(9):1897-1904.

[12] 郑纯辉,康跃虎,姚素梅,等. 基于地理信息系统的植物根系分析方法[J]. 农业工程学报,2004,20(1):181-183.

[13] 温仲明,赫晓慧,焦峰,等. 延河流域本氏针茅(*Stipa bungeana*)分布预测:广义相加模型及其应用[J]. 生态学报,2008,28(1):192-201.

[14] 苏波,韩兴国,黄建辉,等. 植物的养分利用效率(NUE)及植物对养分胁迫环境的适应策略[J]. 生态学报, 2000,20(2):335-343.

[15] Wright I J, Groom P K, Lamont B B, et al. Leaf trait relationships in Australian plant species[J]. Functional Plant Biology,2004,31(5):551-558.

[16] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, et al. Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate[J]. Global Ecology and Biogeography, 2005, 14:411-421.

[17] Comstock J P, Ehleringer J R. Correlating genetic variation in carbon isotopic composition with complex climatic gradients[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,1992,89 (16):7747-7751.

土地利用空间格局指数的大小,可以从侧面反映人类活动对土地利用/覆盖的干扰程度。

## 4 结论

区域土地利用的结构特征可以用多样性、优势度和均衡度来表征。其可综合反映某区域在一定时段内各种土地利用类型的动态变化及其转换程度,对区域土地利用结构的调整和土地利用规划具有一定的指导意义<sup>[7]</sup>。

(1)对 1996—2010 年汉中市土地利用变更调查数据分析结果表明,汉中市 14 a 间土地利用动态趋势发生了较为明显的变化。总体上耕地、未利用地面积在减少,林地、牧草地、居民及工矿用地、园地和交通用地面积依次增加。但是林地基数大,林地和水域用地年变化率不大,牧草地年变化最大,未利用土地、园地、耕地、交通用地和居民及工矿用地的年变化率依次递减。

(2)在过去的 14 a,土地利用的年变化率较缓,年均变化率为 0.17%,反映出汉中市土地利用受人类活动影响较弱,但在西部大开发的机遇和汉中市交通条件不断改善的情况下,城市发展的步伐将加快,人类活动对汉中市土地利用覆被的影响将进一步加强。

(3)2010 年土地利用综合指数为 215.64,表明土地利用程度不太高,1996—2010 年土地利用程度变化量  $\Delta L_{b-a} = -55.46$ ,变化率  $R = -0.257\% < 0$ ,说明汉中市土地利用处于调整期。

(4)人类活动对景观格局有较为明显的影响,土地利用/覆盖的多样化指数、多样性指数和均匀度指数呈下降趋势,而优势度指数则呈上升趋势。

(5)为了更有效合理地利用土地资源,实现生态

环境的良性循环,需要确定合理的农、林、草用地的比例,实行高效集约式土地利用开发方式,遵循人口—资源—环境的协调发展,实现土地资源的可持续利用,提高土地利用效益。

参考文献:

- [1] 陈佑启,杨鹏.国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J].经济地理,2001,21(1):95-100.
- [2] 宇万太,姜子绍,李新宇等.不同土地利用方式对潮棕壤有机碳含量的影响[J].应用生态学报,2007,18(12):2760-2764.
- [3] 史培军,宫鹏,李晓兵,等.土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M].北京:科学出版社,2000.
- [4] 宋成舜,陈志.湖南省南县土地利用动态变化研究[J].国土资源科技管理,2006,23(4):21-25.
- [5] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1998,18(1):81-87.
- [6] 马礼,苏海霞.河北沽源县土地利用动态变化研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):131-136.
- [7] 周生路,朱青,赵其国.近十几年来南京市土地利用结构变化特征研究[J].土壤,2005,37(4):394-399.
- [8] 汉中市地方志办公室.汉中年鉴 2009 年[M].陕西汉中:汉中市人民印刷厂,2009.
- [9] 傅伯杰.黄土区农业景观空间格局分析[J].生态学报,1995,15(2):113-120.
- [10] 常疆,王良健.区域土地利用及土地覆盖的空间格局研究:以广西梧州市为例[J].热带地理,1999,19(9):219-224.
- [11] 汤进华,李晖.1991—2001 年南昌市土地利用/覆盖变化特征研究[J].长江流域资源与环境,2005,14(2):173-176.
- [12] 蒙古军.土地评价与管理[M].北京:科学出版社,2006:70-71.
- [18] Cunningham S A, Summerhayes B, Westoby M. Evolutionary divergences in leaf structure and chemistry, comparing rainfall and soil nutrient gradients[J]. Ecological Monographs,1999,69(4):569-588.
- [19] Fonseca C R, Overton J M C, Collins B, et al. Shifts in trait combinations along rainfall and phosphorus gradients[J]. Journal of Ecology,2000,88(6):964-977.
- [20] Meziane D, Shipley B. Interacting components of interspecific relative growth rate: constancy and change under differing conditions of light and nutrient supply[J]. Functional Ecology,1999,13(5):611-622.
- [21] 李正理,张新英.植物解剖学[M].北京:高等教育出版社,1984.
- [22] Ohashi Y, Nakayama N, Saneoka H, et al. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants[J]. Biologia Plantarum,2006,50(1):138-141.
- [23] Craine J M, Froehle J, Tilman D G, et al. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients[J]. Oikos,2001,93(2):274-285.
- [24] Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum[J]. Nature,2004,428(6985):821-827.
- [25] Hikosaka K, Hanba Y T, Hirose T, et al. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in leaves of woody and herbaceous species[J]. Functional Ecology,1998,12(6):896-905.

(上接第 111 页)