

塔里木河下游荒漠植物多样性、地上生物量 与地下水埋深的关系

白玉锋¹, 徐海量², 张 沛², 张广朋¹, 凌红波²

(1. 新疆农业大学 林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 样带是研究植物群落沿环境因子梯度变化的重要方法。用样带法研究了塔里木河下游荒漠植被群落物种多样性和地上生物量在垂直河道方向随地下水埋深梯度变化的关系。结果表明: (1) 样带植物群落物种多样性与地下水埋深极显著负线性相关($P < 0.01$), Margalaf 指数、Pielou 指数、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数均随地下水埋深增大而减小, 地下水埋深是影响群落组成和物种多样性的重要因素。(2) 单一乔木层、灌木层、草本层地上生物量和乔灌草地上总生物量与地下水埋深均极显著负相关($P < 0.01$), 地下水埋深从 3 m 增大到 7 m 时, 地上总生物量由 $912.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 减少到不足 $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 地下水埋深是制约荒漠植被地上生物量和分布的主要因素。(3) 群落多样性与地上生物量之间显著正线性相关($P < 0.05$), 即随多样性增加, 地上生物量呈增加趋势。

关键词: 物种多样性; 地上生物量; 地下水埋深; 样带; 塔里木河

文章编号: 1000-694X(2017)04-0724-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2016.00069

中图分类号: Q948.11

文献标志码: A

0 引言

样带是通过沿某一环境因子占优势而在空间上连续递变的梯度进行气候、植被、土壤、人类活动等因素的观测与分析, 探讨全球变化的成因和调控机制, 揭示生态系统空间格局和时空动态变化规律的最有效途径^[1-2]。1993 年, 张新时等^[1]提出的“中国北温带森林-草原-荒漠生态系统”样带(NECT2)被列为 IGBP 的 4 条国际样带之一, 是一条沿着湿度梯度变化的样带。生物多样性和净初级生产力作为植被的两大基本特征, 是样带研究的核心内容^[1,3]。白永飞等^[3]分析了海拔和水分梯度下锡林河流域草原群落多样性和初级生产力的变化情况, 发现在样带上物种丰富度、多样性和群落初级生产力与海拔、年降水量和土壤有机碳及全氮含量正相关, 与年平均气温和干燥度负相关。韩彬等^[4]从水热梯度角度出发, 结合一元回归和多元回归分析了内蒙古草地植物群落生物量的变化特征, 认为水热配比关系要比单一的水分或温度与植物的生长具有更紧密的关系, 随水热配比关系变化地下地上生物

量比值会呈现不同的变化规律。张荣等^[5]利用降水在古尔班通古特沙漠由西到东、由南到北的梯度变化, 分析了草本和灌木盖度变化, 结果表明由西到东总盖度、草本盖度和短命植物的盖度显著增加而灌木的盖度减少, 由南到北总盖度、草本盖度和短命植物盖度下降而灌木盖度增加。青藏高原主要环境控制因子如土壤含水量、表层土壤有机碳和全氮含量在南北方向分布不同, 导致对草地地下生物量控制存在显著的区域差异^[6]。

塔里木河下游是新疆乃至全国生态环境最脆弱的地区之一, 也是整治塔里木河生态环境、防止土地沙漠化的前沿地区^[7]。为了挽救塔里木河下游由胡杨和柽柳组成的濒临消失的“绿色走廊”, 自治区人民政府于 2000 年实施了塔里木河下游应急生态输水工程^[8]。自应急输水以来, 众多学者通过设置随机样方, 以输水区植被为对象, 从输水后物种多样性^[9]、植被盖度^[10]、径向生长量^[11]变化等方面进行了研究, 但是以往传统的“间隔式”或等距离样方调查法无法保证和准确体现植物群落在垂直河道方向上的空间分布规律^[12]。荒漠植被群落组成及地上

收稿日期: 2016-04-05; **改回日期:** 2016-05-23

资助项目: 国家自然科学基金项目(41171427, 31370551, 41471099); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(XBBS-2014-13); 中国科学院特色研究所主要服务项目(TSS-2015-014-FW-2-2)

作者简介: 白玉锋(1988—), 男, 甘肃榆中人, 硕士研究生, 从事干旱区生态恢复研究。E-mail: byfzy2012@163.com

通信作者: 徐海量(E-mail: xuhl@ms.xjb.ac.cn)

生物量在垂直河道方向是如何分布的？这种分布是否与地下水埋深在垂直河道方向的梯度变化有关系？因此，本文采用样带对塔里木河下游沿垂直河道方向水分梯度变化下的植物群落地上生物量和物种多样性进行了研究，以期为塔里木河下游生态环境恢复和重建提供理论依据。

1 研究区概况

塔里木河是中国最长的内陆河，位于西北内陆干旱区，全长 2 637 km，流域总面积 $92.06 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。塔里木河下游系指塔里木河干流卡拉至台特马湖段，长约 428 km²，位于新疆尉犁、若羌县境内，东接库鲁克沙漠，西邻中国最大的流动沙漠——塔克拉玛干沙漠。区域内气候干燥，多风沙天气，年均

气温 10.7~11.5℃；降水稀少，年均降水量 17.4~42.0 mm，年均蒸发量（潜势）2 500~3 000 mm，是年降水量的 79.6~166.8 倍，属大陆性暖温带、极端干旱沙漠性气候，因此植被生长几乎全部依赖地下水补给^[13]。

研究区位于塔里木河下游英苏断面（图 1），研究区内河漫滩及两岸的低阶地发育着大面积以胡杨（*Populus euphratica*）和怪柳（*Tamarix chinensis*）为主要建群种的荒漠河岸林，另外在距离河道不同处分布着少量铃铛刺（*Halimodendron halodendron*）和黑刺（*Lycium ruthenicum*）等灌木，以及芦苇（*Phragmites australis*）、罗布麻（*Apocynum venetum*）、疏叶骆驼刺（*Alhagi sparsifolia*）和花花柴（*Karelinia caspica*）等耐盐草本植物^[14]。

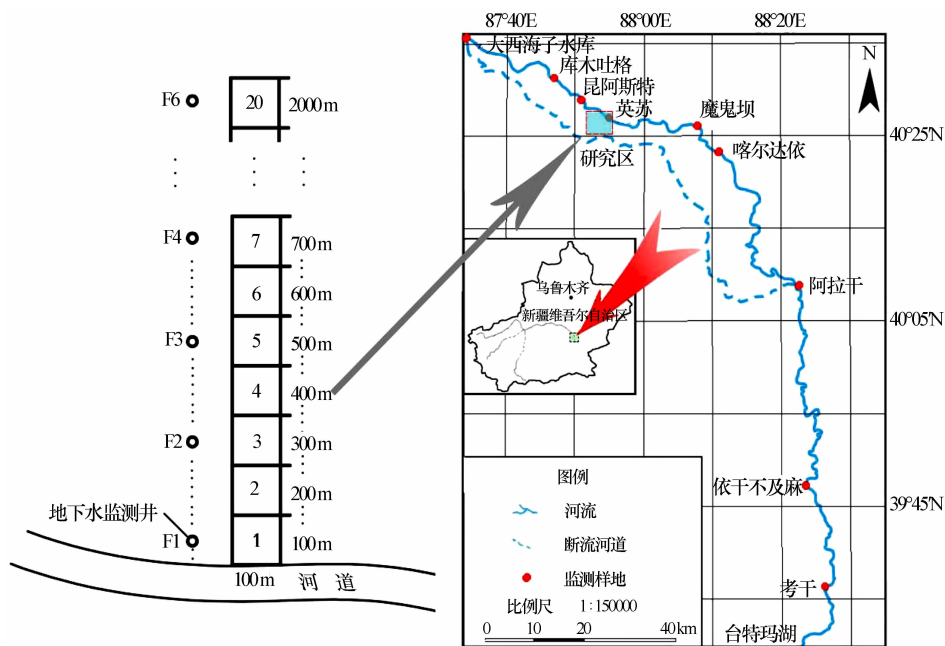


图 1 研究区示意图
Fig. 1 Sketch map of the studied area

2 研究方法

2.1 样地设置和处理

自 2000 年生态输水工程实施以来，沿塔里木河下游河道建立了 9 个检测断面（图 1），每个断面布设有地下水观测井，可以获取该点的地下水位和地下水埋深沿垂直河道方向的变化情况。其中英苏断面距离大西海子水库约 61 km，地下水埋深相对较小，植被是以胡杨和怪柳为主的荒漠河岸林，草本主要有骆驼刺、花花柴、芦苇、罗布麻等。于 2014 年 9 月下旬，沿垂直河道方向（平行于观测井走向）布设

植物调查样带，带长 2 000 m，样地大小为 100 m×100 m，共布设 20 个样地。在每个样地内进行植被调查。①乔木：查数胡杨总株数（*N*），用皮尺和布鲁莱斯测高仪分别测量每株胡杨的胸径（*d*）、冠幅（*C_w*）以及株高（*H*）；采取“十字交叉法”，用生长锥获取胸径处的树木年轮样芯，带回实验室风干后获取每株胡杨的年龄以及径向生长量。②灌木：采用标准枝法，根据样方内灌木长势情况，将灌木分为大、中、小三个等级，用卷尺测量每株（丛）灌木的冠幅（*C_w*）、株高（*H*），记录每种长势下灌木的总枝数（*N*），选取 3~5 个标准枝（*n*），用锯子沿分枝处截断，并称鲜重 *M_鲜*，带回实验室在 80℃下烘干 24 h 至恒重。③草本：将

样地分割成 4 个 50 m×50 m 的样方,在对角线两侧分别随机布设 6~8 个 1 m×1 m 小样方,记录小样方内物种数(N)、冠幅(C_w)株高(H),然后齐地面将地上部分剪下,称鲜重 $M_{\text{鲜}}$ 。

2.2 重要值及地上生物量的计算

2.2.1 重要值计算

根据采集的样植被样地资料,计算出各样地植物的重要值^[15-16]。

重要值 = (相对盖度 + 相对密度 + 相对高度)/3

(1)

2.2.2 地上生物量计算

胡杨地上生物量计算:采用董道瑞等^[17]的研究方法,单株胡杨地上生物量部分构成为树冠和树干两部分,地上生物量等于树冠和树干生物量简单线性相加之和^[18],树干生物量=树干材积 $V \times$ 密度 ρ , $\rho=748.43 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[17]。

$$V = 0.000050156D^{2.08997}H^{0.741585} \quad (2)$$

式中: V 为树干材积(m^3); D 为胸径(cm); H 为树高(m)。

$$M_{\text{树冠}} = 0.016A^2 + 2.291A + 11.084 \quad (3)$$

式中: $M_{\text{树冠}}$ 为树冠生物量(kg); A 为冠幅面积(m^2), $A=\pi r^2=\pi\left(\frac{a+b}{4}\right)$, a 、 b 分别为东西、南北方向的冠幅(m)。

灌木地上生物量计算:根据标准枝先求出单株地上生物量,然后根据灌木总株数获取样方内灌木地上生物量。

$$M = N \times (y_1 + y_2 + y_3 + \cdots + y_n)/n \quad (4)$$

式中: M 为单株生物量(kg); N 为总枝数; y 为标准枝生物量(kg); n 为标准枝枝数。

2.3 物种多样性计算

物种多样性的测度选用丰富度指数(R)、均匀度指数和物种多样性指数 3 类,参考张金屯^[19]、马克平等^[20]等的计算方法。

Margalef 指数^[19]:

$$R = (S - 1)/\ln N \quad (5)$$

Pieolu 指数^[19]:

$$D = 1 - \sum (N_i(N_i - 1)/N(N - 1)) \quad (6)$$

Shannon-Wiener 指数^[19]:

$$H = - \sum P_i \cdot \ln(P_i), P_i = N_i/N \quad (7)$$

Simpson 指数^[20]:

$$D = 1 - \ln(\sum P_i)^2 \quad (8)$$

式中: S 为物种数; N 为全部种的个体总数; N_i 为某种植物的个体数; P_i 为某种植物出现的频率。

2.4 地下水埋深资料获取

观测井走向与布设样带平行,由对应样地位置的观测井(分别为 F1、F2、F3、F4、F5、F6)地下水埋深可确定 6 个样地的地下水埋深(图 1),另外 14 个样地的地下水位由相邻观测井地下水埋深内插计算。本文选取的地下水埋深数据是 2010—2013 年的地下水位埋深的平均值(表 1),地下水埋深每 10 d 测 1 次,数据由塔里木河流域管理局提供。

表 1 各样方地下水埋深计算											
Table 1 Calculation of each sample's depth of underground water											
英苏观测井位	F1		F2		F3		F4		F5		F6
	样地 1	样地 2	样地 3	样地 4	样地 5	样地 6	样地 7	样地 8	样地 9	样地 10	样地 20
垂直河道距离/km	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0
地下水埋深/m	2.98	3.55	4.11	4.26	4.41	4.56	4.71	4.95	5.19	5.39	7.26

3 结果与分析

3.1 样带植被群落组成及其生物多样性

本研究在英苏断面长 2 000 m 样带共 20 个样地中发现高等植物 12 种(表 2),属于 8 科 12 属,其中藜科、菊科和豆科植物共有 7 种。乔木层有胡杨 1 种,灌木层有怪柳、黑果枸杞、铃铛刺、盐穗木 4 种,草本层有疏叶骆驼刺、花花柴、大叶白麻、鹿角草

(*Glossogyne tenuifolia*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、甘草(*Glycyrrhiza inflata*)、芦苇 7 种。在沿河 1 km 范围内,植物种类较多,变化幅度不大。1 km 之后物种总数下降,植物种类变化剧烈,芦苇、鹿角草、大叶白麻、甘草等草本植物消失,出现了耐干旱的灌木铃铛刺和盐穗木。

4 个多样性指数随着地下水埋深增加均呈减小趋势(图 2)。反映物种分布均匀程度的 Pielou 指数变化幅度较大,为 0.28~0.82,表明物种个体间分

表 2 不同立地主要植物种类组成调查统计

Table 2 Statistics composition of mostly floristic in different spaces

植物名称	距离河岸/km																			
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
胡杨 <i>Populus euphratica</i>	+	+												+	+	+	+	+	+	+
怪柳 <i>Tamarix chinensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
黑果枸杞 <i>Lycium ruthenicum</i>			+	+								+	+	+				+	+	+
疏叶骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	
花花柴 <i>Karelinia caspica</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+			
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
罗布麻 <i>Apocynum venetum</i>	+	+	+	+	+	+				+										
鹿角草 <i>Glossogyne tenuifolia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		+										
甘草 <i>Glycyrrhiza inflata</i>	+	+	+	+																
盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>							+		+		+									
铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>													+							+
盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>																	+			+

布不均匀;其次为反映物种丰富度的 Margalef 指数,变化幅度 0.47~1.20,表明物种分布不均匀,分布变化差异较大;再次为 Shannon-Wiener 信息指数,变化幅度为 0.54~1.78,说明群落或生境的物

种结构及组成简单,种间异质性较大;综合反映物种丰富度和均匀度的 Simpson 指数变化幅度为 1.33~2.68,变化幅度大,表明塔里木河下游生态环境脆弱,抗干扰能力较差。

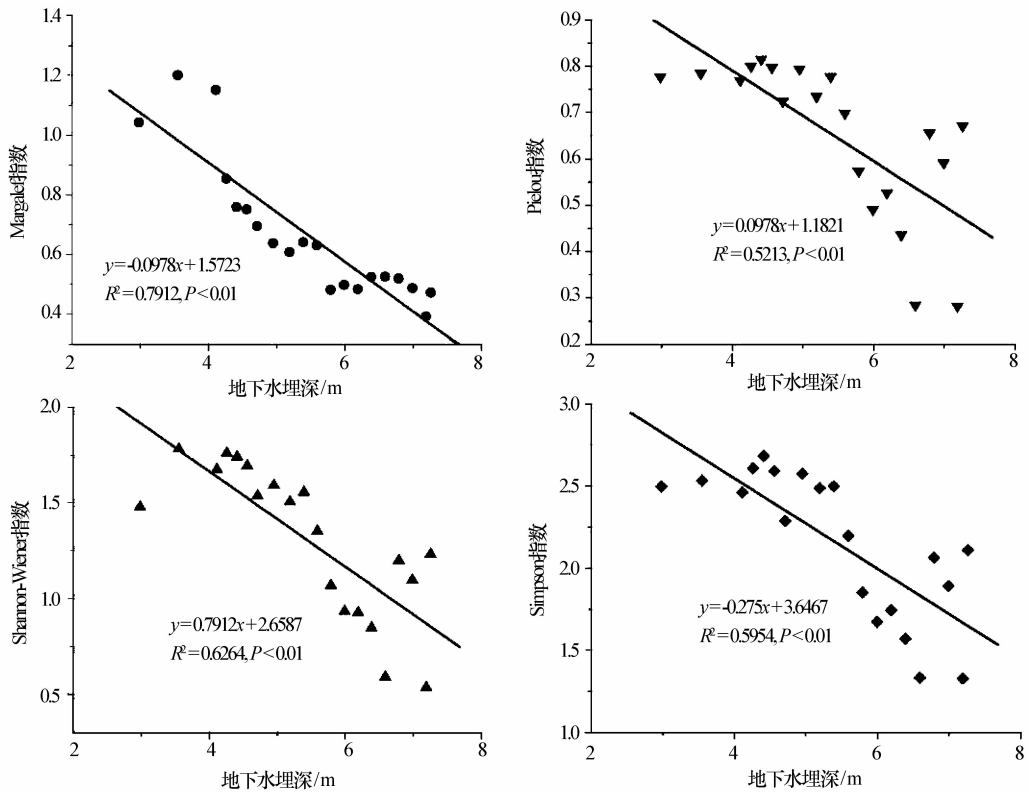


图 2 物种多样性指数随地下水埋深变化

Fig. 2 Species diversity index changes with groundwater depth

4 个物种多样性指数均随地下水埋深增大而减小,但是在不同的地下水埋深区段,变化趋势不同, 总体呈现 3 个变化区段。第 1 区段:小幅度增加区段,地下水埋深在<4 m 时,Margalef 指数、Pielou

指数、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数均有小幅度增加的趋势(4 个指数值变化范围分别为:1.04 ↗ 1.15, 0.77 ↗ 0.81, 1.48 ↗ 1.76, 2.49 ↗ 2.68);当地下水埋深>4 m后,Margalaf 指数随地下水埋深增加而单调递减(1.15 ↘ 0.47),而另外 3 个多样性指数在地下水埋深 4~5.5 m 时呈波动性增加或减少趋势,分别在 0.81、1.76、2.68 左右小幅度波动变化;第 2 区段:单调递减区段,当地下水埋深 5.5~6.5 m 时,Pielou 指数、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数变化趋势与 Margalaf 指数相同,均随地下水埋深增加而单调递减(变化范围分别为:0.81 ↘ 0.28,1.76 ↘ 0.59,2.69 ↘ 1.33);第 3 区段:振荡变化区段,当地下水埋深>6.5 m后,Pielou 指数、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数呈现大幅度的震荡

增加或减少趋势,变化差异很大,表明此时地下水埋深已对荒漠生态环境产生了剧烈影响。

3.2 样带植被地上生物量与地下水埋深变化

水分不仅影响荒漠植被的生长和发育^[21-22],还决定了植物生产力的空间分布特征^[23]。在塔里木河下游,影响植被生长的主要是地下水^[13,24-26]。在地下水埋深影响下,植被生长最直观的体现是地上生物量的多少以及地上生物量随着地下水埋深的变化情况。

将乔木层、灌木层、草本层以及乔灌草地上生物量与地下水埋深拟合回归曲线(图 3),并选择最优拟合方程。地上生物量与地下水埋深拟合度较高,相关系数都大于0.8,相关显著,表明植被地上生物

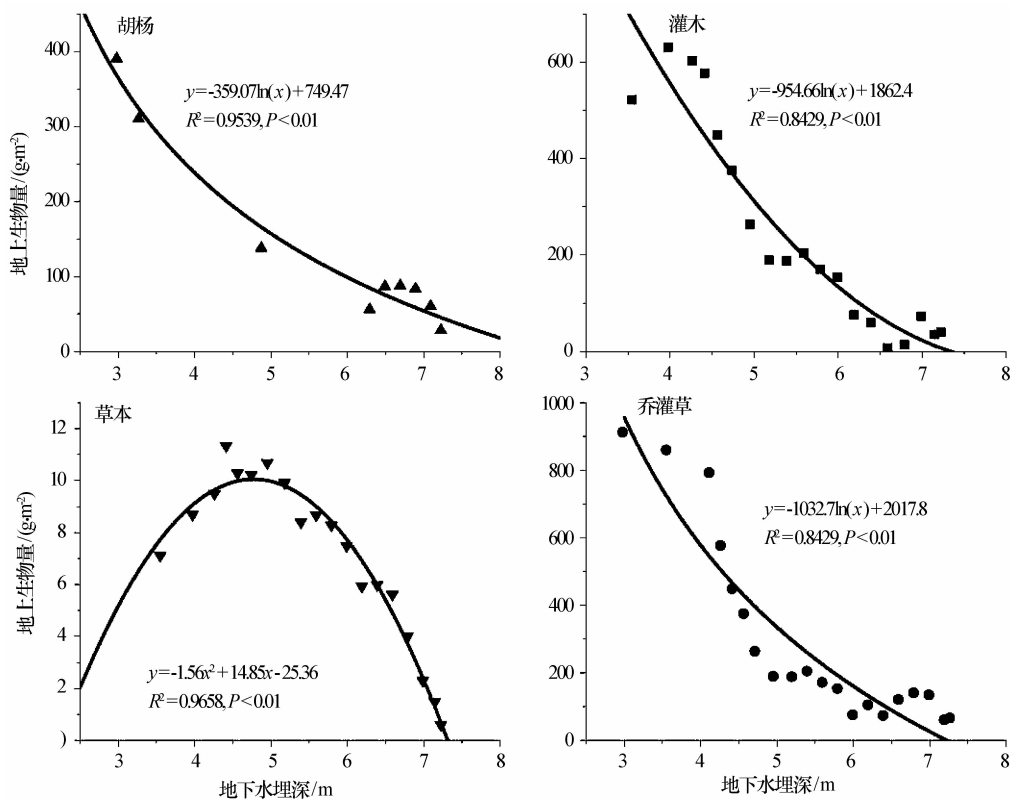


图 3 样带植物群落地上生物量与地下水埋深关系

Fig. 3 Relationship between groundwater depth and aboveground biomass in the plant communities

量随地下水埋深变化密切相关。

乔木层(胡杨)地上生物量随地下水埋深增大呈减小趋势,地下水埋深约 3 m 时为 $400\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右,至埋深约 7 m 时减少到不足 $50\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。灌木层地上生物量随地下水埋深变化趋势与胡杨地上生物量变化趋势一致,当地下水埋深由 3 m 降到 7 m 左右时,灌木层地上生物量由 $600\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 减少到不足 $30\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。草本层地上生物量随地下水埋深亦

呈先增加后减少趋势,由 $7\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 增加到 $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,当地下水>5 m后呈减少趋势。从地上总生物量变化来看,乔灌草地上总生物量随地下水埋深变化趋势与胡杨相同,即呈现单调递减趋势,当地下水埋深为 3 m 时,地上生物量可达 $912.2\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,随地下水埋设不断增大,当地下水埋深为 7 m 时,地上生物量不足 $50\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。上述研究表明,无论是样带内单一乔木层、灌木层、草本层还是乔灌草植被

水分是制约荒漠植被生长和发育的关键因子^[25-26,31]。众多学者对塔里木河下游荒漠植被与地下水位之间关系研究表明,植被盖度^[13]、群落组成和生物多样性^[27-28]等指标均与地下水埋深梯度变化显著相关。本研究样带植物群落地上生物量与地下水埋深梯度变化呈极显著负相关($P<0.01$),其中乔木层(胡杨)地上生物量、灌木层地上生物量和乔灌草地上总生物量随地下水埋深梯度增大呈单调递减趋势,草本层地上生物量随着地下水埋深呈先增加后减少趋势。导致荒漠植被地上生物量这种变化趋势的原因,主要在于近河道范围之内水分条件好,地下水埋深较浅,而胡杨耗水比怪柳大^[32],从而胡杨主要分布在河道附近,怪柳灌丛主要分布在胡杨外围,有少量草本零星分布在胡杨林下^[33],因此胡杨和怪柳灌丛在近河道附近表现出最大的生物量;随地下水埋深增大,胡杨和怪柳灌丛分布减少而草本大量分布,使得草本地上生物量呈先增加后减少趋势,这从“数量”分布印证了本文中“质量”的分布。另外,本文草本地地上生物量随地下水埋深梯度变化呈单峰型变化,与张宏等^[34]、白玉锋等^[35]塔里木河下游草本群落净初级生产力与地下水埋深呈单调递减趋势研究结论不一致,主要原因在于本文样带主要为乔、灌、草单层结构,由于乔灌草植被生长特性不同,只有河道附近有少量的乔-灌-草或乔-灌复合结构^[9],并且灌草零星分布在乔木层下,使得在近河道范围内,由于高大乔木(胡杨)和怪柳灌丛的遮阴影响,草本在此范围内零星分布;当随水分条件恶化而胡杨和怪柳灌丛分布减少时,由于草本植物更耐旱从而大量分布,随与河距离增加和地下水埋深的持续降低,草本植物分布也逐渐减少,因此草本地地上生物量呈先增加-后减少的单峰型变化曲线,而后者研究对象为典型草本群落,群落组成单一,影响其生产力的主要因素为地下水埋深,在河道附近水分条件好的区域植物群落组成丰富而表现出较大的地上生物量,随着远离河道而地下水埋增大而地上生物量逐渐降低。

4.3 物多样性与地上生物量之间呈正线性关系

物种多样性与生产力之间的关系一直是生态学研究讨论的热点问题^[3],究竟是生产力影响多样性还是多样性影响生产力,以及背后的影响机制是什么目前还尚无定论^[36-37]。过去对生产力与物种多样性的关系研究结果主要有正相关^[38-39]、负相关^[40]、单峰曲线^[41]、U型曲线^[42]、不相关^[43],这些

研究结果都集中在湿地、草原和森林生态系统的野外调查和受控实验,针对荒漠植物群落生产力和物种多样性之间关系的研究较少。本文对塔里木河下游极端干旱荒漠区样带植物群落研究结果表明,地上生物量与丰富度之间呈显著正线性关系,这与李卫红等^[26]对塔里木河下游荒漠草地上生物量与群落物种多样性研究结果一致,即地上生物量随丰富度的增加而增大。另外,马文静等^[44]、孙小丽等^[45]对内蒙古短花针茅荒漠草原群落生产力和物种丰富度研究结果也表明两者之间呈正线性关系,这表明不同的荒漠植物对干旱环境条件的适应和利用上存在差异,多样性的增加有利于荒漠植物在不同的空间上以不同的方式对有限的环境条件进行利用,使环境条件获得最大的利用效率,从而导致生态系统生产力的提高。

5 结论

本文结合塔里木河下游英苏断面样带地下水埋深梯度变化,对样带内植物群落组成及物种多样性和地上生物量随地下水埋深的梯度变化进行了研究。

塔里木河下游英苏断面样带内共有12中荒漠植物,其中优势种主要为胡杨、怪柳灌丛,草本为一年生花花柴和骆驼刺,植物群落主要分布在距河1 000 m范围内,1 000 m外植物种类减少,植被长势衰退。物种多样性与地下水埋深极显著负相关($P<0.01$),Margalaf指数随地下水埋深增加而单调递减;地下水埋深 >6 m时,Pielou指数、Shannon-Wiener指数和Simpson指数变化剧烈,地下水埋深已严重干扰了群落的稳定性,地下水埋深是影响塔里木河下游样带植物群落组成和物种多样性变化的主要原因。

样带内草本地地上生物量随地下水埋深增大呈单峰型变化,而胡杨、灌木和乔灌草地上总生物量随地下水埋深增大呈逐渐减少趋势;当地下水埋深由3 m增大到7 m时,乔灌草地上总生物量由 $912.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 减少到不足 $50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,植被地上总生物量与地下水埋深呈极显著负相关($P<0.01$),地下水埋深是制约荒漠植被地上生物量多少和分布的主要原因。

在典型干旱荒漠区——塔里木河下游荒漠植被样带地上生物量与群落物种多样性之间呈显著正线性关系($P<0.05$),即生产力随多样性的增加而增加。

参考文献：

- [1] 张新时,杨莫安. 中国全球变化样带的设置与研究[J]. 第四纪研究,1995(1):43—52,99—100.
- [2] 侯向阳. 欧亚温带草原东缘生态样带研究探讨[J]. 中国草地学报,2012,34(2):108—112.
- [3] 白永飞,李凌浩,王其兵,等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究[J]. 植物生态学报,2000,24(6):667—673.
- [4] 韩彬,樊江文,钟华平. 内蒙古草地样带植物群落生物量的梯度研究[J]. 植物生态学报,2006,30(4):553—562.
- [5] 张荣,刘彤. 古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类[J]. 生态学报,2012,32(19):6056—6066.
- [6] 杨秀静,黄玫,王军邦,等. 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系[J]. 生态学报,2013,33(7):2032—2042.
- [7] 徐海量,陈亚宁,李卫红. 塔里木河下游生态输水后地下水的响应研究[J]. 环境科学研究,2003,16(2):19—22.
- [8] 刘新华,徐海量,凌红波,等. 塔里木河下游生态需水估算[J]. 中国沙漠,2013,33(4):1198—1205.
- [9] 白元,徐海量,张鹏,等. 塔里木河下游荒漠植物群落物种多样性及其结构特征分析[J]. 生态与农村环境学报,2012,28(5):486—492.
- [10] 郝兴明,李卫红,陈亚宁. 新疆塔里木河下游荒漠河岸林植被合理生态水位[J]. 植物生态学报,2008,32(4):838—847.
- [11] 徐海量,邓晓雅,赵新风. 河道断流对胡杨(*Populus euphratica*)径向生长量的影响[J]. 中国沙漠,2013,33(3):731—736.
- [12] 李林,周小勇,黄忠良,等. 鼎湖山植物群落 α 多样性与环境的关系[J]. 生态学报,2006,26(7):2301—2307.
- [13] 徐海量,陈亚宁,杨戈. 塔里木河下游生态输水对植被和地下水水位的影响[J]. 环境科学,2003,24(4):18—22.
- [14] 张丽华,陈亚宁,李卫红. 塔里木河下游生态输水对植物群落数量特征的影响[J]. 干旱区研究,2006,23(1):32—38.
- [15] 李卫红,徐海量,艾合买提·那尤甫. 塔里木河下游输水与生态恢复监测初报[J]. 干旱区地理,2003,26(2):122—128.
- [16] 张宏锋,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河下游物种多样性与地下水位灰色关联分析[J]. 冰川冻土,2004,26(6):705—712.
- [17] 董道瑞,李霞,万红梅,等. 塔里木河下游胡杨(*Populus euphratica*)地上生物量估测[J]. 中国沙漠,2013,33(3):724—730.
- [18] 曾伟生,唐守正. 国外立木生物量模型研究现状与展望[J]. 世界林业研究,2010,23(40):30—35.
- [19] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2011:88—94.
- [20] 马克平,黄建辉,于顺利,等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究Ⅱ丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报,1995,15(3):268—277.
- [21] 张元明,陈亚宁,张小雷. 塔里木河下游植物群落分布格局及其环境解释[J]. 地理学报,2004,59(6):904—910.
- [22] 袁素芬,陈亚宁,李卫红,等. 新疆塔里木河下游灌丛地上生物量及其空间分布[J]. 生态学报,2006,26(6):1818—1824.
- [23] 赵文智,刘鹄. 荒漠区植被对地下水埋深响应研究进展[J]. 生态学报,2006,26(8):2702—2708.
- [24] 王芳,梁瑞驹,杨小柳,等. 中国西北地区生态需水研究(1)——干旱半干旱地区生态需水理论分析[J]. 自然资源学报,2002,17(1):1—8.
- [25] 樊自立,马英杰,张宏,等. 塔里木河流域生态地下水水位及其合理深度确定[J]. 干旱区地理,2004,1(27):8—13.
- [26] 李卫红,周洪华,杨晓明,等. 干旱荒漠区草地植物群落地上生物量时空分布对地下水的响应[J]. 草业学报,2010,19(5):186—195.
- [27] 郝兴明,陈亚宁,李卫红. 新疆塔里木河下游物种多样性与地下水位的关系[J]. 生态学报,2007,27(10):4106—4112.
- [28] 陈亚宁,张宏锋,李卫红,等. 新疆塔里木河下游物种多样性变化与地下水位的关系[J]. 地球科学进展,2005,20(2):158—165.
- [29] 范永刚,胡玉昆,李凯辉,等. 不同干扰对高寒草原群落物种多样性和生物量的影响[J]. 干旱区研究,2008,25(4):531—536.
- [30] Gross K L,Willig M R,Gough L. Patterns of species density and productivity at different spatial scales in herbaceous plant communities[J]. *Oikos*,2000,89:417—427.
- [31] 王希义,徐海量,潘存德,等. 塔里木河下游优势草本植物与地下水埋深的关系[J]. 中国沙漠,2016,36(1):216—224.
- [32] Yuan G Y,Luo Y,Shao M A,et al. Evapotranspiration and its main controlling mechanism over the desert riparian forest in the lower Tarim River Basin[J]. *Science China Earth Science*,2015,58:1032—1042.
- [33] 朱绪超,袁国富,邵明安,等. 塔里木河下游河岸带植被的空间结构特征[J]. 植物生态学报,2015,39(11):1053—1061.
- [34] 张宏,樊自立. 塔里木盆地北部盐化草甸植被净第一性生产力模型研究[J]. 植物生态学报,2000,24(1):13—17.
- [35] 白玉锋,徐海量,王希义,等. 塔里木河下游荒漠草地植被净初级生产力模型初探[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(9):92—96.
- [36] 贺金生,方精云,马克平,等. 生物多样性与生态系统生产力:为什么野外观测和受控实验结果不一致? [J]. 植物生态学报,2003,27(6):835—843.
- [37] 杜丽,戈峰. 生物多样性与生态系统功能的关系研究进展[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):19—22.
- [38] Tilman D,Reich P B,Knops J,et al. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment[J]. *Science*,2001,294:843—845.
- [39] Hooper D U,Chapin F S III,Ewel J J,et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge[J]. *Ecological Monographs*,2005,75:3—35.
- [40] Thompson K,Askew A P,Grim J P,et al. Biodiversity,ecosystem function and plant traits in mature and immature plant communities[J]. *Functional Ecology*,2005,19:355—358.
- [41] Rapson G L,Thompson K,Hodgson,et al. The humped relationship between species richness and biomass-testing sensitivity to sample quadrat size[J]. *Journal of Ecology*,1997,85:99—100.
- [42] 李德锋,付彤,胡自治,等. 生物多样性与生产力间的关系及对降水变化的响应[J]. 草地学报,2010,18(5):651—655.
- [43] Grace J B,Michael Anderson T,Smith M D,et al. Does species

diversity limit productivity in natural grassland communities?
[J]. Ecology Letters, 2007, 10: 680—689.

[44] 马文静, 张庆, 牛建明, 等. 物种多样性和功能群多样性与生态系统生产力的关系——以内蒙古短花针茅草原为例[J]. 植物生态学报, 2013, 37(7): 620—630.

[45] 孙小丽, 康萨如拉, 张庆, 等. 荒漠草原物种多样性、生产力与气候因子和土壤养分之间关系的研究[J]. 草业学报, 2015, 24(12): 10—19.

Relation of Desert Vegetation Species Diversity and Aboveground Biomass to Groundwater Depth in the Lower Reaches of Tarim River

Bai Yufeng¹, Xu Hailiang², Zhang Pei², Zhang Guangpeng¹, Ling Hongbo²

(1.College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2.Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: Transect is an efficient way to make a study about plant communities changes along the gradients of environmental factors, this paper makes a transect study on desert vegetation species diversity and aboveground biomass along gradients of groundwater depth in the lower reaches of Tarim River. The results showed that (1) Regression analysis of diversity indices (including Margalef index, Pielou index, Shannon—Wiener index and Simpson index) and groundwater depth showed an extremely significant negative correlation($P<0.01$), diversity indices decreased with the increase of groundwater depth, groundwater depth is one of the important factors that affecting the species diversity. (2) Regression analysis of total aboveground biomass of desert vegetation and groundwater depth also shows an extremely significant negative correlation($P<0.01$), aboveground biomass decreased from 912.21 g·m⁻² to less than 30 g·m⁻² when groundwater depth changed from 3 to 7 meter, groundwater depth is the main factors that affecting the aboveground biomass and its distribution. (3) Regression analysis of diversity indices and aboveground biomass showed a significant positive correlation($P<0.05$), that is, aboveground biomass increased with the increase of diversity indices. The research is helpful to ecological restoration of the lower reaches of the Tarim River and to provide theoretical basis and reference for the environmental protection.

Key words: species diversity; aboveground biomass; groundwater depth; transect; Tarim River