

岷江源区植物群落物种多样性分析

张贺全

(青海省工程咨询中心, 西宁 810001)

摘 要: 取样调查了岷江源区植被及其环境因子, 利用多元统计方法揭示了该区植物群落物种多样性及其与环境因子的关系。结果表明: 不同植被类型的物种多样性表现为森林群系 > 灌丛群系 > 草甸群系。柳灌丛、窄叶鲜卑花灌丛、绣线菊灌丛、锦鸡儿灌丛的草本层多样性较高, 沙棘灌丛和小果小檗灌丛较低。草甸群系中, 白茅草甸和苔草草甸多样性较高, 蒿草草甸和高山草甸的物种多样性较低。锦鸡儿灌丛灌木层多样性较高, 沙棘灌丛的多样性最低。岷江源区植物群落物种组成受海拔梯度的影响强烈, 不同海拔梯度的物种组成差异明显。植物群落在 2 900~3 100, 3 500~3 700 m 海拔段有较高的物种多样性, 2 700~2 900, 3 100~3 400, 3 700~3 900 m 海拔段的多样性较低。土壤因子与地形因子之间, 海拔和坡向对土壤养分因子的影响较大, 主要影响全 N、土壤含水量和 pH 值。地形因子和植被因子之间, 海拔和坡向影响灌木层多样性、盖度以及草本层的盖度。植被因子和土壤因子之间, 土壤全 N 量、速效 K 和土壤含水量影响草本层、灌木层的盖度和多样性。

关键词: 岷江源区; 植物群落; 物种多样性; 环境因子; 典型相关分析

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)05-0135-06

Species Diversity of Plant Community in the Origin Area of the Minjiang River, Southwestern China

ZHANG He-quan

(Qinghai Engineering Consulting Center, Xi'ning 810001, China)

Abstract: Species diversity of plant community is one of the major components of ecosystem functions. It was influenced by many environmental factors, such as soil and topographic characteristics. Conversely, plant community diversity patterns also influence the soil characteristics. The upper reaches of the Minjiang River is located in the transition zone between the Qinghai-Tibet Plateau and the Sichuan Basin. It has a typical arid valley climate with complex topography and variable water and heat conditions. Based on the field investigation of plant species and environmental factors (altitude, microtopography, soil water content, and soil nutrients) in the origin area of Minjiang River, Sichuan Province, southwestern China, plant community diversity and its relationship with environmental factors were studied. The diversity in different vegetation types varied as follows: forest formations > shrub formations > meadow formations. The diversity in herb layer of form *Salix* spp., form *Sibiraea angustata*, form *Spiraea* spp. and form *Caragana* spp. are at high level, while form *Hippophae rhamnoides* and form *Berberis amurensis* are at lower level. In meadow formations, the diversity of form *Imperata cylindrica* and form *Carex* spp. are higher than that of form *Sub-alpine* and form *Kobresia* spp. As for shrub layer, form *Caragana* spp. has the highest diversity, form *Hippophae rhamnoides* has the lowest diversity. Diversity in herb layer is higher than that of shrub layer. Under a great influence of altitude gradient, species compositions in plant communities in the origin area of Minjiang River show significant differences. With an increase of altitude, diversity of both the herb layer and shrub layer displays symmetrical changing trends that they are almost the same at altitude ranges of 2 700~3 300 m and 3 300~3 900 m. The higher diversity can be observed at altitude ranges of 2 900~3 100 m and 3 500~3 700 m, while a lower one can be observed at altitude ranges of 2 700~2 900 m, 3 100~3 400, 3 700~3 900 m. The maximum diversity of shrub layer and herb layer occurs at the altitudes of 3 000 m and 3 600 m, respec-

tively. Canonical correlation analysis among vegetation, soil and topography factors shows that significant correlation exists between each pair of the variables. Altitude and slope aspect have great influences on total N, soil water content, soil pH, species diversity in the shrub layer, shrub and herb layer coverage, while species diversity and coverage of shrub and herb layer coverage is closely related to the total nitrogen, available K and soil water content.

Key words: origin area of the Minjiang river; plant community; species diversity; environmental factors; canonical correlation analysis

群落物种多样性作为生物多样性的一个表现层次,是指群落中包括的物种数目及其分布特征,是认识群落的组织水平、功能状态的基础。物种多样性既是群落对生物和非生物环境综合作用的外在反映,也是群落演替的结果^[1],物种分布的格局受地理差异和环境因子等多种因素的影响^[2-3]。环境因子与生物多样性格局的关系一直是生态研究的热点领域,生境异质性被认为是生态系统生物多样性得以维持的重要因素^[4]。研究植物群落物种多样性随环境因子及群落演替等生态梯度的变化特征是揭示生物多样性与环境因子相互关系的重要方面^[5],有利于揭示群落结构和物种多样性分布格局以及了解植物群落的生态学过程,对区域植被保护和恢复具有重要意义。

岷江上游是世界生物多样性的热点地区 and 我国生物多样性保护的关键地区之一^[6]。以往对岷江上游地区研究关注最多的是干旱河谷的植被恢复和生态重建问题^[7-8],对植物群落物种多样性的量化分析报道较少。作为岷江上游植被系列研究,此前已报道了干旱河谷植物群落多样性^[9]、稳定性^[10]、灌木种群生态位^[11]的研究成果,岷江源区自然环境以及植被类型明显不同于干旱河谷,研究岷江源区植物群落多样性,对比相邻干旱河谷地区及其他地区物种多样性的异同,试图揭示该地区群落多样性特征及其与环境因子之间的一般关系。

1 研究区概况

研究地区位于岷江源区的松潘县境北部,地理位置为东经 103°39′—103°43′,北纬 33°02′—33°55′,地处青藏高原向四川盆地的过渡地带,生态环境脆弱。研究区海拔 2 650~3 840 m,为温带、寒温带气候,年均降水量为 720 mm,年平均温度 5.8℃。土壤属于暗棕壤,发育有高山草甸土,棕色针叶林土。植被组成复杂,类型丰富,主要有高山草甸、高山灌丛、亚高山针叶林等类型,云杉(*Picea asperata*)、冷杉(*Abies faxoniana*)组成的亚高山针叶林,是本区主要的森林类型。岷江是长江上游水量最大的支流,在长江水源保护中具有重要地位。

2 研究方法

2.1 样带及样地设计

植被调查。(1) 群落乔木层取样:以 20 m×20 m 样地,分隔成 16 个 5 m×5 m 小样方记录,对乔木层的所有胸径≥1.0 cm 的各树种的种名、树高、胸径、冠幅、郁闭度等测树因子进行实测,用生长锥钻取不同树种的年龄;(2) 群落灌木层取样:设置 5 m×5 m 的样方,计测灌木层的物种、多度、盖度、高度等测树因子;(3) 群落草本层取样:设置 1 m×1 m 草本样方,计测草本层植物盖度、高度、多度等,调查结果见表 1。

表 1 岷江源区 12 个不同群系的环境特征及其物种丰富度

群系类型及编号	海拔高度/ m	坡度/ (°)	坡位	坡形	坡向	物种丰富度		
						总和	灌木	草本
冷杉林 1	3550~3780	8~30	上、中	凹、平	阴、半阴坡	92	27	65
云杉林 2	2814~3564	10~42	中、下	凹、平	半阳坡	173	59	114
柳灌丛 3	3480~3840	2~18	中、上	平	阴坡	94	10	84
窄叶鲜卑花灌丛 4	3342~3351	5~15	下	平	阴坡	64	8	56
绣线菊灌丛 5	3467~3780	5~35	中、下	平	阴坡	95	11	81
锦鸡儿灌丛 6	2650~3836	5~44	中、上	凸、平	阳坡	99	16	83
小果小檗灌丛 7	2820~2860	32~40	中、下	凸、平	阳、半阳坡	25	6	19
沙棘灌丛 8	2995~3115	20~38	上	凸	阳坡	23	5	18
苔草草甸 9	2750~3680	17~35	中、上	平	阴坡	40	0	40
蒿草草甸 10	3600~3640	16~18	中、下	平	阳坡	11	0	11
白茅草甸 11	3340	25	下	平	阳坡	27	0	27
高山草甸 12	3810~3835	25~40	中、下	平、凸	阴坡	13	0	13

环境因子调查:采用气压式海拔表测量各样方所在海拔;用 TDR(时域反射仪)实地测量每个样方的土壤含水量,重复 6 次,取其平均值;在每一样方内分别在 4 个角和中间设 5 个点进行取样作为土壤样品带回室内分析,取样深度为 0—20 cm。土壤分析指标包括:pH 值、有机质、土壤全 N、速效 P、速效 K;地形因子的测量包括坡度、坡位、坡向、坡形因子,坡度坡向采用实测值。坡位和坡形采取赋值法:坡位,1 代表上坡位;2 代表中坡位;3 代表下坡位;坡形,1 代表凹形坡,2 代表平坡,3 代表凸形坡。

2.2 数据计算

采用以下指标^[12]对群落多样性进行计算:
选用 Shannon 指数 H 来讨论群落的物种多样性:
$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \lg P_i;$$

群落的均匀度 E 的计算公式为: $E = H / \ln S$;
采用 Simpson 优势度指数 D 作为群落优势度测度的指标,其表达式为: $D = \sum_{i=1}^S P_i^2$ 。
式中: S ——物种数目; P_i ——种 i 的相对重要值,即: $P_i = N_i / N$; N_i ——第 i 个物种的重要值; N ——群落样地中所有种重要值之和。采用典型相关分析法研

究土壤、地形和植被因子之间的关系。典型相关分析是研究两组变量间关系的一种多变量统计方法,其目的是寻找一组变量的线性组合与另一变量的线性组合,使两者之间的相关达到最大。本研究将土壤因子、地形因子和植被因子分成三组主要的变量,利用典型相关分析来研究两两之间的相互关系。统计分析在 matlab 软件包中运行。

3 结果与分析

根据岷江源区 73 个调查样方数据统计,有维管植物 316 种,隶属于 50 科,156 属。其中包含种类最多的科为菊科、蔷薇科、禾本科、豆科,属于这 4 个科的种数分别占总种数的 17.1%,10.4%,6.6%,4.7%。

3.1 不同植物群系类型的多样性分析

表 1 为岷江源区 12 个植物群系的基本情况,植被分类过程参见文献[13]。12 个植物群系类型的多样性指数、均匀度指数和优势度指数的变化趋势见图 1,它反映了不同植物群系类型在物种组成或群系组织化水平方面的差异,这种差异主要受制于组成物种的不同的生态生物学特性,在一定程度上可表现出各群系的一些生态学特征。

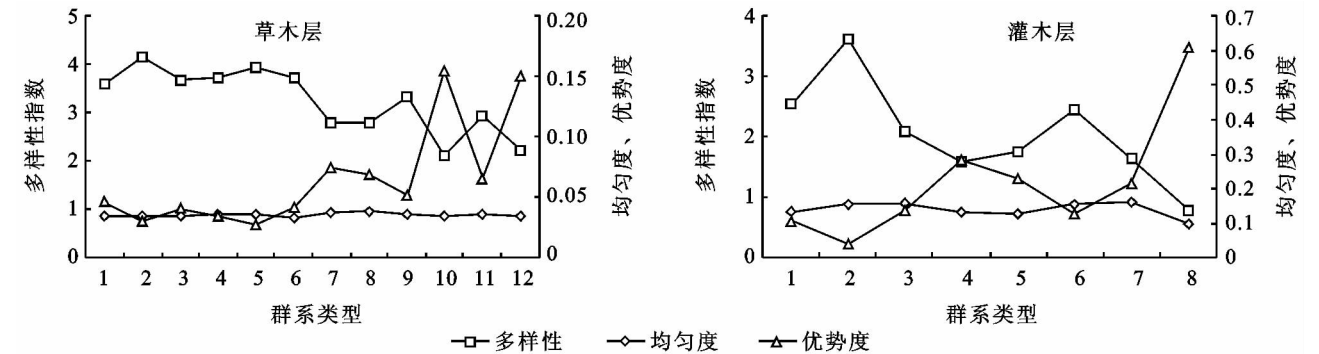


图 1 源区不同植物群系类型的多样性指数

各项指数与群系类型有关,结构复杂的群系较其它群系的多样性指数要高。其中 4 个草甸群系只有草本物种,故讨论群系灌木层多样性变化时只分析非草甸群系。不同植被类型的草本层物种丰富度表现为森林群系>灌丛群系>草甸群系,灌木层物种丰富度为森林群系>灌丛群系。云杉林群系的灌木层和草本层物种丰富度高于冷杉林群系,为 12 个群系中最高,包含了 59 个灌木物种和 114 个草本物种,而冷杉林群系只有 27 个灌木物种和 65 个草本物种。

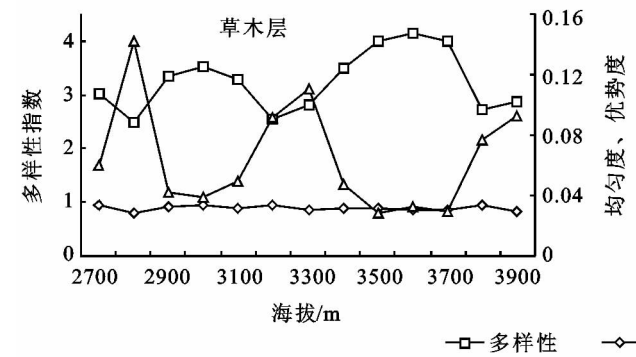
云杉林、绣线菊灌丛、窄叶鲜卑花灌丛、柳灌丛、锦鸡儿灌丛、冷杉林的草本层多样性较高,而沙棘灌丛和小果小檗灌丛多样性较低。其中沙棘灌丛的多样性最低,只有 4 个灌木物种,而优势度在所有群系中最高,这是因为群系中沙棘为优势种,群系密度较

大,物种丰富度较低。云杉林、冷杉林、锦鸡儿灌丛有着较高的灌木多样性。草甸群系中,白茅草甸和苔草草甸多样性较高,蒿草草甸和高山草甸的物种多样性较低,其中蒿草草甸的多样性最低,该群系仅有 11 个物种,以四川蒿草为绝对优势种,群系的优势度为所有群系中最大。此外,无论是灌木层还是草本层,物种多样性指数和均匀度指数有着近似的变化趋势,与优势度变化趋势相反。

3.2 海拔梯度上的多样性分析

源区植物群落落在不同海拔梯度下的物种多样性变化情况见图 2。草本层的物种多样性明显高于灌木层。无论是草本还是灌木群落,随海拔的增加,多样性呈现出对称变化的趋势,即 2 700~3 300 m 和 3 300~3 900 m 海拔段的变化趋势近似相同,灌木层

表现较明显。调查区域整个 1 200 m 的海拔梯度内,在 2 00~2 900 m,3 100~3 400 m,3 700~3 900 m 三个海拔段的多样性较低,这三个海拔段包括了高山草甸、白茅草甸、沙棘灌丛、小果小檗灌丛、锦鸡儿灌丛、窄叶鲜卑花灌丛 6 个群系中的 15 个群丛,但群丛物种丰富度较低;2 900~3 100,3 500~3 700 m 海拔段的多样性较高,这两个海拔段包含了锦鸡儿灌丛、沙棘灌丛、柳灌丛、绣线菊灌丛、小果小檗灌丛、云杉



林、冷杉林 7 个群系中的 14 个群丛,群丛类型复杂多样,物种丰富度高,多样性也较高。灌木层和草本层的多样性峰值分别出现在海拔 3 000 m 和 3 600 m 处,海拔 3 000 m 处主要分布有岷江冷杉、云杉林混交林,灌木物种丰富,共有 26 种灌木物种,是灌木物种丰富度最高的海拔段。海拔 3 600 m 处,主要分布有冷杉林、绣线菊灌丛、柳灌丛、蒿草草甸等,有 124 个草本物种,是草本物种丰富度最高的海拔段。

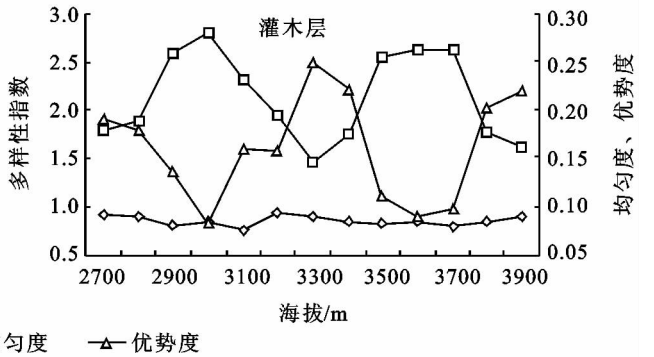


图 2 源区植物群落多样性随海拔的变化

草本层和灌木层的均匀度指数随海拔的变化较小,在取样范围内没有表现出特定的变化规律,这与祁连山^[14]、长白山^[15]和岷江干旱河谷^[9]的研究结果一致,说明环境梯度变化对植物群落均匀度没有明显的影响,均匀度可能受制于群落自身动态的影响,如群落组成种群扩殖特性和竞争能力以及立地条件空间异质程度有关。草本层和灌木层的优势度与多样性呈相反的变化趋势,如海拔 2 800 m 处草本层优势度出现最高值,而多样性则是整个海拔段内的最低值;灌木层的优势度在海拔 3 300 m 处出现最高值,而多样性却最低。另外,与灌木层相比,草本层均匀度较高,优势度较小。

3.3 群落多样性与环境因子之间的关系

把土壤理化因子中的 pH 值(X_1)、速效 P(X_2)、土壤全 N 量(X_3)、速效 K(X_4)、土壤有机质(X_5),土壤含水量(X_6)构成第一组变量;把地形因子中的海拔(Y_1)、坡位(Y_2)、坡度(Y_3)、坡向(Y_4)、坡形(Y_5)构

成第二组变量;把植被因子中的草本层和灌木层的 Shannon 指数(Z_1, Z_2)与草本层和灌木层盖度(Z_3, Z_4)构成第三组变量。用典型相关分析来研究三组变量两两之间的相互关系(表 2),表 3 为建立的典型变量构成。岷江源区土壤与地形因子、地形与植被因子和土壤与植被因子之间的典型相关分析结果表明,前两个特征值分别占总特征值的 83.26%,80.25%,87.18%,能反映出大部分的变量信息,因此只取前两个特征根及特征向量进行分析。

土壤因子与地形因子的第一对典型相关系数是 0.859 3,第二对典型相关系数是 0.559 4,表明两对典型变量中,地形第一、二典型变量均对土壤第一、二典型变量的影响较大。由表 3 看出,地形因子中,海拔的载荷较高,其次为坡向。土壤因子中土壤全 N 量、土壤含水量、pH 值的载荷较大,说明海拔和坡向对土壤养分因子影响较大,主要影响养分中的全 N 量、含水量和 pH 值。

表 2 岷江源区典型相关分析结果

典型相关与变量	特征值	百分比	累计百分比	典型相关系数	p
土壤与地形因子	0.7384	0.5873	0.5873	0.8593	<0.001
	0.3129	0.2489	0.8362	0.5594	<0.05
地形与植被因子	0.4563	0.5389	0.5389	0.6754	<0.001
	0.2231	0.2636	0.8025	0.4724	<0.05
植被与土壤因子	0.4772	0.4852	0.4852	0.6908	0.001
	0.3802	0.3866	0.8718	0.6156	0.001

表 3 岷江源区土壤、地形、植被之间的典型变量构成

变量	构成关系
土壤与地形的第一、二对典型变量	$T_1=0.8470Y_1-0.0524Y_2-0.3098Y_3+0.3893Y_4+0.0278Y_5$
	$N_1=-0.3612X_1+0.2335X_2+0.8766X_3-0.0584X_4-1.0182X_5+0.6706X_6$
	$T_2=0.6266Y_1+0.0969Y_2+1.0118Y_3+0.1636Y_4+0.2334Y_5$
	$N_2=-0.7340X_1+0.1667X_2+0.8898X_3-0.7958X_4-0.8316X_5-0.9191X_6$
地形与植被的第一、二对典型变量	$T_1'=-0.6114Y_1-0.1059Y_2-0.3523Y_3+0.4894Y_4+0.2670Y_5$
	$V_1=0.6992Z_1+0.5985Z_2-0.7235Z_3-0.5220Z_4$
	$T_2'=-0.6212Y_1+0.4036Y_2-0.0749Y_3+0.6992Y_4-0.0502Y_5$
	$V_2=-0.2537Z_1-0.0758Z_2-0.4249Z_3+0.9929Z_4$
土壤与植被的第一、二对典型变量	$V_1'=0.0403Z_1-0.3615Z_2+0.8278Z_3+0.4098Z_4$
	$N_1'=-0.5088X_1-0.2228X_2+0.3925X_3-0.2383X_4-0.3995X_5+0.9424X_6$
	$V_2'=0.5240Z_1-0.6307Z_2-0.1726Z_3-0.6403Z_4$
	$N_2'=0.1641X_2-0.6485X_2+2.5900X_3-2.8656X_4+0.0649X_5+0.3857X_6$

地形因子与植被因子的第一、二对典型相关系数分别为 0.675 4,0.472 4。说明地形第一、二典型变量均对植被第一、二典型变量的影响较大。地形因子中,海拔和坡向的载荷较大,其次为坡度和坡形。植被因子中灌木层的多样性、盖度以及草本层的盖度较高。说明地形因子中海拔和坡向对植被的影响最大,坡形和坡位也有一定的影响,主要影响灌木层的多样性、盖度和草本层的盖度。实地调查结果也表明,阳坡和阴坡的灌丛层差异较显著,阴坡灌丛高大,群落的层盖度高,而阳坡的群落层盖度较低,这也会影响草本层物种的多样性,一般来讲,灌木层盖度大的群落,草本层盖度也较低。

植被因子与土壤因子的第一、二对典型相关系数分别为 0.690 8,0.615 6,可见植被因子与土壤因子之间也存在着较高的相关性。植被因子中,草本层和灌木层的盖度载荷较高,其次为草本层和灌木层的多样性。土壤因子中土壤全 N 量、速效 K 和土壤含水量载荷较大,说明它们对植被的影响较大,主要影响草本层和灌木层的盖度。

4 结论与讨论

岷江源区不同植物群系类型以及海拔、土壤养分梯度下的群落物种多样性差异明显。不同植被类型的物种多样性大小表现为森林群系>灌丛群系>草甸群系。灌丛群系中,柳灌丛、窄叶鲜卑花灌丛、绣线菊灌丛、锦鸡儿灌丛的物种多样性较高,沙棘灌丛和小果小檗灌丛较低。草甸群系中,白茅草甸和苔草草甸物种多样性较高,蒿草草甸和高山草甸较低。海拔梯度是生物、土壤、气候等环境异质性的综合体现,不同海拔差群落间的相异性不仅反映了群落间环境的异质性,也在一定程度上反映了物种的适应性^[16]。岷江源区植物群落物种组成受海拔梯度的影响强烈,

不同海拔梯度的物种组成差异明显,植物群落在 2 900~3 100 m,3 500~3 700 m 海拔段有较高的多样性,2 700~2 900 m,3 100~3 400 m,3 000~3 900 m 海拔段的多样性较低,呈明显的双峰曲线关系,伊犁河谷山地植物群落多样性的研究也发现类似的格局^[17]。岷江源区植物群落物种多样性的垂直分布格局与干旱河谷明显不同,群落多样性随海拔变化的波动更大,原因在于源区较干旱河谷生境条件好,不同海拔段的生境异质性高,植被类型丰富,组成差异较大。地形等环境因子对海拔梯度所框定的水热梯度进行着再修饰,尤其在地形变化复杂的山地环境表现更为明显,因此,特定海拔高程处生境的海拔梯度效应很可能因为地形等微环境的变化而得到削弱或加强,从而导致不同地区物种多样性的海拔梯度格局不尽一致。

区域尺度上讲,气候、植物区系决定特定的植被类型;景观尺度上讲,群落生境的差异可能是形成物种多样性的主要原因,而微生境、土壤养分可能是重要的环境因子。与干旱河谷的研究结果相似,岷江源区土壤、植被、地形因子三者相关性较强,相互影响,地形因子与土壤养分影响着植被的分布格局与群落结构,反过来植被也对土壤养分产生较大的影响。但源区和干旱河谷相互之间的关系不尽一致,如,干旱河谷中,海拔和坡向主要影响土壤全 N 量、有机质和土壤含水量,土壤全 N 量、有机质和土壤含水量影响灌木层的盖度和多样性;而在源区中,海拔和坡向主要影响全 N、土壤含水量和 pH 值,土壤全 N 量、速效 K 和土壤含水量影响草本层、灌木层的盖度和多样性。有关土壤养分与物种多样性的关系,存在不同看法。沙拐枣属天然群落物种多样性与土壤因子的耦合关系研究表明,土壤中仅有效 P 与群落多样性表现出显著的相关性^[18];高寒草甸植物群落物种多样性

与土壤含水量和土壤全 P 含量呈显著正相关^[19];森林群落物种多样性的分布格局受土壤有机质和土壤全氮的影响较大^[20];但也有研究表明,植物群落的多样性指数和群落生境关系不明显^[21]。类似的研究还较多^[22-23],但结论各异。本研究结果再次表明,植物群落物种多样性与海拔、土壤等梯度的关系在不同地区可能是不一致的,我们所得出的结论只适用于岷江源区这一特定区域;与此同时,在区域植被保护和恢复过程中,要科学选择适宜物种,确定植被恢复目标,根据植被地带性分布规律,建立与岷江源区环境条件,特别是土壤、地形等条件相适应的植被类型。

参考文献:

- [1] 陶冶,徐岩岩,刘彤,等.天山北部拟南芥生存群落物种多样性的空间格局[J].生态学报,2009,28(5):795-803.
- [2] Whittaker R J, Willis K J, Field R. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity[J]. Journal of Biogeography, 2001, 28: 453-470.
- [3] Willis K J, Whittaker R J. Species diversity-scale matters[J]. Science, 2002, 295(5558): 1245-1248.
- [4] 赵振勇,王让会,尹传华,等.天山南麓山前平原植物群落物种多样性及空间分异研究[J].西北植物学报, 2007, 27(4): 784-790.
- [5] 关文彬,曾德慧,姜凤岐.中国东北西部地区沙质荒漠化过程与植被动态关系的生态学研究:群落多样性与沙质荒漠化过程[J].生态学报,2000,20(1):93-98.
- [6] 吴波,朱春全,李迪强,等.长江上游森林生态区生物多样性保护优先区确定:基于生态区保护方法[J].生物多样性,2006,14(2):87-97.
- [7] 包维楷,王春明.岷江上游山地生态系统的退化机制[J].2000,18(1):57-62.
- [8] 刘庆,乔永康,吴宁,等.岷江上游山地生态系统退化机理研究的核心:关键种群的作用[J].长江流域资源与环境,2002,11(3):274-278.
- [9] 冶民生,关文彬,谭辉,等.岷江干旱河谷灌丛 α 多样性分析[J].生态学报,2004,24(6):1123-1130.
- [10] 冶民生,吴斌,关文彬,等.岷江上游植物群落稳定性研究[J].水土保持研究,2009,16(1):259-263.
- [11] 张贺全,孙饶斌,冶民生,等.岷江源区主要灌木种群生态位研究[J].水土保持研究,2012,19(1):125-129.
- [12] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2004.
- [13] 关文彬,吴建安,梁广林,等.岷江源区植被分类及其主要类型[M]//中国科学院生物多样性委员会.第五届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集.北京:气象出版社,2004.
- [14] 王国宏.再论生物多样性与生态系统的稳定性[J].生物多样性,2002,10(1):126-134.
- [15] 郝占庆等,于德永,杨晓明,等.长白山北坡植物群落 α 多样性及其随海拔梯度的变化[J].2002,13(7):785-789.
- [16] 尚文艳,吴钢,付晓,等.陆地植物群落物种多样性维持机制[J].应用生态学报,2005,16(3):573-578.
- [17] 徐远杰,陈亚宁,李卫红,等.伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释[J].植物生态学报, 2010, 34(10): 1142-1154.
- [18] 谭勇,张强,潘伯荣,等.我国沙拐枣属(*Calligonum* L.)天然群落物种多样性与土壤因子的耦合关系[J].干旱区地理,2008,31(1):88-96.
- [19] 聂莹莹,李新娥,王刚.阳坡—阴坡生境梯度上植物群落 α 多样性与 β 多样性的变化模式及与环境因子的关系[J].兰州大学学报:自然科学版,2010,46(3):74-79.
- [20] 陈光升.四川小寨子沟森林群落物种多样性的环境梯度分析[J].热带亚热带植物学报,2010,18(2):182-188.
- [21] 赵锐锋,周华荣,钱亦兵,等.塔里木河中下游湿地及周边植物群落与环境因子的关系初探[J].应用生态学报,2006,17(6):955-960.
- [22] 周斌,杨红梅,胡顺军,等.河水漫溢对塔里木河下游土壤及植被的影响[J].干旱区地理,2010,33(3):442-448.
- [23] 张佳,李生宇,靳正忠,等.防护林下草本植物层片物种多样性与环境因子的关系[J].干旱区研究,2011,28(1):118-125.