

青藏铁路唐古拉山南段沿线植被多样性及盖度特征分析

周金星¹ Jun Yang² 董林水¹ 张旭东¹ 左 力³

(1 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室 2 天普大学园艺和园林建筑系

3 西藏自治区林木种苗科技示范基地)

摘要:通过以铁路线为样带中心点,对青藏铁路唐古拉山南段沿线垂直于铁路两侧系统设置植被调查样带、样地、样方,重点调查铁路沿线原生植被物种组成、高度、盖度、株丛数等,着重分析了不同样带植被物种丰富度、植被盖度、物种共有度沿纬度方向的空间变化特征,为铁路生态安全体系建设和植被生态修复提供重要参考。结果表明:①1 m×1 m 样方平均物种数多在 9~12 种之间,丰富度相对较低;20 m×20 m 样地平均物种 17~26 种。各样带总的物种丰富度在 47~59 种之间;植被物种丰富度纬度方向距离差异不明显;样方、样地、样带小尺度的变化对物种丰富度会产生很大影响。②青藏铁路南段总体植被覆盖度高,植被覆盖率 80% 以上的占 1/2 强;因受局部环境条件的影响,其植被覆盖度也存在一定差异。③应用 Jaccard 指数对沿线各植被样带物种共有度进行分析,结果表明,随着样带纬度方向间距的增大,物种共有度指数值呈逐渐减小的趋势,相邻样带的物种共有度最大,物种纬度方向逐渐替代的规律明显。

关键词:青藏铁路; 植被样带; 物种丰富度; 盖度; 物种共有度

中图分类号:S718.54 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2008)03-0024-07

ZHOU Jin-xing¹; Jun Yang²; DONG Lin-shui¹; ZHANG Xu-dong¹; ZUO Li³. An analysis of vegetation cover and species diversity of roadside vegetation in southern section of Tanggula Mountains along the Qinghai-Tibet Railway. *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(3) 24-30 [Ch, 26 ref.]

¹ Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, P. R. China;

² Department of Landscape Architecture and Horticulture, Temple University, Ambler, PA, 19002, USA;

³ Demonstration Base of Forestry Seedling Science & Technique in Tibet Autonomous Region, Lhasa, 850000, P. R. China.

In order to guide the ecological security construction and vegetation restoration work along the Qinghai-Tibet Railway (QTR), a field survey was conducted to study the characteristics of the roadside plant communities. The spatial variations of species richness, vegetation cover, and similarity of species following the latitude direction were analyzed based on the field data. The results show: 1) The average species richnesses in 1 m×1 m sample plots were between 9 and 12. The average species richnesses in 20 m×20 m sample plots were between 17 and 26. The average species richnesses in 11 transects were between 47 and 59. In summary, the variation of species richness along the south-to-north direction was not significant. Furthermore, the species richness was varied significantly with the size of sample plots. This shows that the species richness of vegetation along the QTR in southern section of Tanggula Mountains is mainly decided by the local environment conditions. 2) The vegetation cover in study region is good, and there are above half of the research sections that have an average vegetation cover over 80%. However, due to the variation of local environment factors, some differences in vegetation cover exist among different regions. 3) The similarity of species was studied by using Jaccard Index (JC). The result reveals that the value of JC decreases as the increase of the distance between two transects. In conclusion, the gradual succession of species along the

收稿日期:2007-01-27

<http://www.bjfujournal.cn>, <http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:铁道部科技研究开发重大计划项目(2004G009)。

第一作者:周金星,博士,副研究员。主要研究方向:水土保持与生态修复、山区流域综合治理。电话:010-62889277 Email:zjxqsy@caf.ac.cn

地址:100091 北京市海淀区颐和园后中国林业科学研究院林业研究所。

©1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

latitude direction is very obvious.

Key words Qinghai-Tibet Railway; vegetation transect; species richness; vegetation cover; species similarity

青藏铁路沿线原生植被生态系统的保护和恢复,是长期保护沿线生态环境和铁路生态安全最基础和最重要的内容之一。有关青藏铁路沿线植被生态学方面的研究目前相对薄弱,已有的研究多以铁路建设期环境影响评价等内容为主,包括铁路沿线高寒草原生态质量评价,以及铁路建设对沿线生态系统的影响和恢复对策分析等内容,而对沿线植被的生态学系统调查研究还比较欠缺^[1-6]。

国内大尺度的植物多样性研究相对较少,而关于高寒地区南北纬度方向植物物种多样性动态变化的定量研究则更少^[7-11]。其中,关于陆地植物生物多样性纬度方向的变化,多认为随着纬度的降低,物种丰富度随之增加^[7]。青藏高原4 000 m以上的高寒地区从北到南的物种丰富度分布格局是否同其他低海拔地区呈现相同的变化规律,这些地区海拔梯度的变化是否更大程度上影响植物物种丰富度均是值得深入研究的问题^[1-6]。研究纬度方向样带物种丰富度的变化特征,需要尽量保证不同区域的地形等其他环境条件的相对一致性。青藏铁路经过的区域属于山麓或河谷等平缓地段,为研究青藏高原纬

度方向上大尺度植被物种多样性的分布格局提供了良好的基础条件^[2-5]。

1 研究方法

1.1 研究区概况

新建青藏铁路始自青海省格尔木,终至西藏自治区拉萨,全长 1 142 km。其中,海拔在 4 000 m 以上的地段长达 960 km 以上,4 500 m 以上的地段 780 km;多年冻土带主要分布在昆仑山口至安多区域内,约 550 km。多数地段宏观上属于高准平原地貌。线域内最高峰为唐古拉山,线路通过处地面最高海拔为 5 071 m。青藏铁路经过的昆仑山北坡西大滩出现岛状多年冻土和隔年冻土,昆仑山以南出现连续多年冻土,厚度达 70~80 cm^[1-5]。本文研究区域位于青藏铁路沿线唐古拉山南段扎加藏布(唐古拉山南坡)至马乡嘎村(羊八井隧道南侧)之间。调查地段海拔为 3 900~5 000 m,首条植被样带地理位置为 91°30'30"E,32°42'18"N,最后一条样带地理位置为 91°42'57"E,29°55'36"N。各样带海拔高度及距离首条样带的纬度方向距离详见图 1。

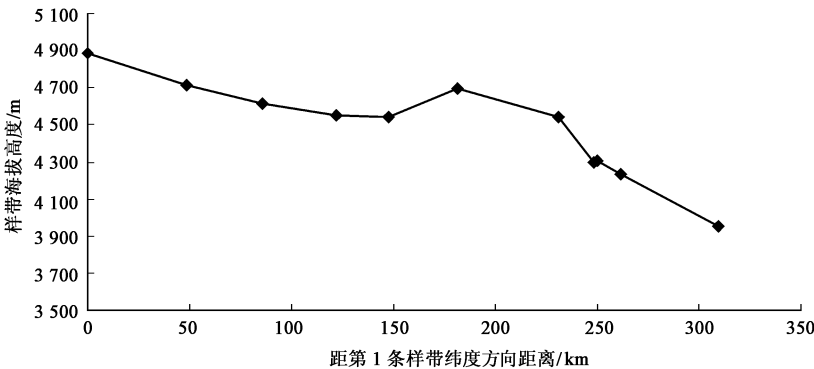


图1 植物样带纬度方向距离及海拔高度的分布

FIGURE 1 The latitudinal distance between the first transect and other transects and the latitude of every transect

研究区位于青藏铁路沿线唐古拉山南段(以下简称青藏铁路沿线南段),多数地段属于长江源区。植被调查地段主要位于铁路线经过的山麓或河谷平缓地带,降雨量较少,年均温较低,属于干旱寒冷的典型生态敏感区。干湿两季分明,冬长夏短,季节变

化缓慢;太阳辐射强烈,日照时间长;年温差小,日温差大,受局部地形及小环境影响显著,即不同地域温度差异很大。沿线典型地段的部分气候条件指标如表 1 所示^[1-3]。

表1 青藏铁路南段典型地段气候指标

TABLE 1 The climate index of typical region in southern section of Qinghai-Tibet Railway

地点	海拔/m	气压/Pa	年均气温/℃	最热月平均气温/最冷月平均气温/℃	年均降水量/年均蒸发量/mm
安多	4 800.0	57 400	-2.9	7.5/-14.7	428.4/1 782.9
那曲	4 507.0	58 700	-1.3	8.0/-12.9	421.8/1 961.5
当雄	3 648.7	60 400	1.6	16.8/-9.7	468.1/1 866.1
拉萨	3 648.7	65 200	7.8	14.5/-1.8	406.8/1 975.7

1.2 研究方法

本研究调查样地的设置方法参考了以前的相关研究^[3, 12-18]。在藏北扎加藏布至藏南马乡嘎村青藏铁路 550 km 范围内,以铁路线为样带中心点,每间隔 50 km 垂直于铁路设置一条 100 m×1 200 m 样带(表 2),共设置样带 11 条。在样带内垂直于铁路每侧 600 m 范围内,距铁路中心点 25、75、150、300、600 m 系统设置样地 4~5 个;各样带调查样地 8~10 个,样地大小为 20 m×20 m;每个样地内系统布设 1

m×1 m 样方 9 个,重点调查铁路沿线原生植被物种组成、高度、盖度、株丛数。有灌木植被类型时,设置 2 m×2 m 样方调查其植被类型及生物量。地形条件不允许的地段,选择相邻区域进行适当补充调查,共计调查 1 m×1 m 小样方 719 个。各样带选择人为干扰较少、地形有代表性的 20 m×20 m 样地 6 个进行统计分析。同时,统计分析其中的 1 m×1 m 样方物种丰富度及植被盖度。对各样带总的物种丰富度以样带内样地出现的所有植物种类进行统计分析。

表 2 样带概况
TABLE 2 The generalization of transects

样带号	样带地点	距第 1 条样带 纬度方向距离/km	样带中心点 地理位置	部分优势植物种类
1	扎加藏布	0	91°30′30″E 32°42′18″N	细叶苔草(<i>Carex duriuscula</i> subsp. <i>stenophylloides</i>)、叠裂银莲花(<i>Anemone imbricate</i>)、紫羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)等
2	安多	48.5	91°39′37″E 32°16′10″N	矮火绒草(<i>Leontopodium nanum</i>)、短穗兔耳草(<i>Lagotis brachystachya</i>)、多茎委陵菜(<i>Potentilla multicaulis</i>)等
3	措那湖	85.91	91°31′03″E 31°55′60″N	矮火绒草、高山嵩草(<i>Kobresia pygmaea</i>)等
4	嘎加	122.2	31°36′26″N 91°44′48″E	无茎黄鹌菜(<i>Youngia simulatrix</i>)、高山嵩草、短穗兔耳草等
5	那曲	147.64	31°22′44″N 91°56′55″E	无茎黄鹌菜、高山嵩草、矮火绒草
6	布母曲大桥	181.65	91°40′18″E 31°04′23″N	藏西风毛菊(<i>Saussurea stoliczkae</i>)、高山嵩草、紫花针茅(<i>Stipa purpurea</i>)
7	乌玛塘	230.74	91°32′12″E 30°37′56″N	黑褐苔草(<i>C. atrofusca</i>)、高山嵩草、丛生钉柱委陵菜(<i>P. saundersiana</i>)
8	当雄车站	248.37	91°06′15″E 30°28′26″N	矮生嵩草(<i>K. humilis</i>)、多茎委陵菜、矮火绒草
9	当雄大桥	250.16	91°04′19″E 30°27′27″N	矮生嵩草、线叶嵩草(<i>K. capillifolia</i>)、丛生钉柱委陵菜等
10	宁中	261.45	90°53′35″E 30°21′24″N	鹅绒委陵菜(<i>P. anserine</i>)、高山嵩草、矮生嵩草、海乳草(<i>Glaux maritime</i>)等
11	马乡嘎村	309.28	90°42′57″E 29°55′36″N	二裂委陵菜(<i>P. bifurca</i>)、藏北嵩草(<i>K. littledalei</i>)、苔草(<i>Carex</i> sp.)等

物种丰富度用物种数量表示。不同植被样带间的植物种共有度主要指 2 个样带共有种的数目占 2 个样带物种总数的百分比。其计算公式如下:

Jaccard 指数: $C_j = \frac{j}{(a+b-j)}$

式中: j 为 2 个对比样带中的共有种数, a 、 b 分别为 2 个样带中各包含的物种数。

2 结果与分析

2.1 植被样带物种丰富度特征分析

关于陆地植物生物多样性纬度方向的变化,多认为随着纬度的降低,物种丰富度随之增加,但是已有的研究多是在低海拔地区进行的相关研究^[7-8]。本文以青藏高原高海拔地段为研究对象(3 900~5 000 m),从图 2 中可以看出,在大量样方调查的基

础上,沿线各样带 1 m×1 m 样方平均物种丰富度随着纬度方向距离的增加,并没有出现随之增加的趋势。1 m×1 m 样方平均物种丰富度多在 9~12 种之间,其中安多、当雄车站、当雄大桥样带物种丰富度较大,在 12 种左右;而扎加藏布、那曲以及较南端的马乡嘎村植被样带物种丰富度相对较小,分别为 7~9 种左右。可以看出,青藏铁路沿线由唐古拉山南侧到羊八井以南区域范围内,1 m×1 m 样方物种丰富度两端较低,而中间区域 1 m×1 m 样方平均物种丰富度相对较大。北端样带物种丰富度较低可能与自然气候条件有关系,因北端扎加藏布位于唐古拉山南坡,其年均温在 0℃ 以下,且极端低温日数较多,不利于植被生长;而马乡嘎村则是由于 1 m×1 m 样方小面积范围内,少数种占绝对优势。比如嵩草属植物占绝对优势,小面积范围内,不利于其他物

种的侵入,导致物种丰富度较低。但是,总的看来,各样带物种丰富度相差不大。以 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 样地抽样统计,物种丰富度在 17~26 种之间,其变化规律与 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方统计的规律基本相同,即扎加藏布、嘎加、那曲及南部宁中地点的植被样带物种丰富度相对较低。各植被样带统计的物种丰富度结果表明,各样带总的物种丰富度在 47~59 种之间,只有嘎加地区样带物种丰富度较低,只有 39 种。这可能与该地区受铁路施工影响破坏较大有关,实际外业调查时也证实确实如此。本研究地区,植被物种丰富度纬度方向距离差异不明显,与低海拔地区物种丰富度随着纬度降低而增加的研究结论不一致^[7-8]。本研究得出小样方植物种类数量虽相差不大,但因受小环境影响,其植物种类组成也不一样,导致大样地物种丰富度是小样方的 2 倍,样带物种丰富度是大样地的 2~3 倍。说明样方、样地、样带小尺度的变化都对物种丰富度产生很大影响,进一步证实青藏铁路唐古拉山以南植被物种丰富度可能更多地受到小环境因素的影响。

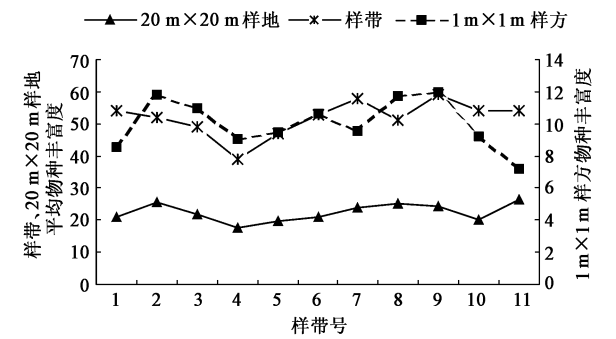


图2 青藏铁路沿线各植被样带不同面积的物种丰富度比较

FIGURE 2 The species richness of several transects in different areas along the Qinghai-Tibet Railway

分析各样带 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方物种丰富度的变异程度,并计算其变异系数,得出各样带 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方物种丰富度变异系数多在 30% 左右。部分样带物种丰富度变异系数相对较小,其中,措那湖和布母曲大桥样带变异系数最小,不到 20%,说明这两个区域物种分布呈更为均匀的状态;而其他区域的物种分布则相对比较分散,这与区域生境条件的空间异质性以及物种的生态适宜性有关。

总的来说,青藏铁路沿线南段物种丰富度并未出现沿纬度方向逐渐增加的变化规律。不同的统计面积条件下,各样带物种丰富度均相差不大,但物种组成却有显著不同,说明青藏铁路沿线南段,物种丰富度的变化可能更多地受到小环境因素的影响,纬

度方向上的差异并未对物种丰富度形成明显的影响。

2.2 植被样带盖度特征分析

从图 3 可以看出,青藏铁路沿线南段区域 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方平均植被盖度多数在 80% 左右,部分样带植被平均盖度相对较小。其中,藏北扎加藏布区域样带平均盖度最小,只有 20% 左右;布母曲大桥样带平均植被盖度为 53%;而措那湖、当雄车站、当雄大桥 3 条植被样带平均盖度为 66%。扎加藏布地区的样带植被盖度较低主要是因其气候条件恶劣,不利于植被生长,而其他植被样带的植被盖度较低也与地形因素、小环境条件有密切关系^[19-22]。从平均植被盖度的统计特征来看(表 3), $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方平均植被盖度的变异系数多在 35% 左右,而安多、嘎加样带平均植被盖度变异系数相对较小,分别为 17.75%、21.99%,说明这些地区植被盖度相对比较均一,变异程度较小,野外调查也发现这 2 个样带的地形较为平坦;而马乡嘎村由于受河流水系影响较大,其植被盖度虽然较高,但其变异系数却高达 37.26%,这也进一步说明本研究区域各样带植被盖度主要受地形及区域生境条件的影响。

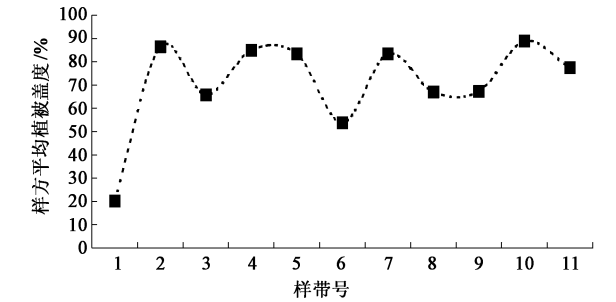


图3 青藏铁路沿线各样带 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方的平均植被盖度

FIGURE 3 The average cover of several transects in $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ sample plots along the Qinghai-Tibet Railway

2.3 植被样带物种共有度分析

各植被样带间的物种共有程度,反映了各样带间的相互关系和沿环境梯度的物种替代规律,也可以反映出样带间物种组成的相似性或差异性。高海拔地区沿纬度方向植物种类是否也存在逐渐过渡和替代的规律,是非常值得研究的问题^[23-25]。本文应用物种共有度 Jaccard 指数分析了不同样带的物种替代规律。

从表 4 中可知,青藏铁路沿线南段各植被样带间物种共有度呈现非常规则的变化规律,各植被样带以相邻的样带物种共有度为最高,即矩阵中主轴上数据一般最大,而当样带纬度方向间距加大时物种共有度呈逐渐变小的趋势。从样带 1 与其他各样

带的物种共有度来看,随着距离的加大,各样带间物种共有度逐渐变小,样带 1 与样带 2 的物种共有度为 46%,说明相同植物物种较多。但随着纬度方向距离的增加,到样带 10、11 时,纬度方向距离不到 300 km,但相同物种几乎不存在。综合分析不同样带间物种共有度的变化特征,可以得出各样带间也

存在类似的变化趋势。在青藏铁路沿线南段高寒地区,由北至南,沿纬度方向,不同植被样带的物种共有程度呈逐渐变小的规律。随着样带间纬度方向距离的增加,其共有物种比例逐渐变小,物种沿纬度方向呈逐渐替代的趋势。低海拔地区沿纬度方向的植被物种替代规律同样适用于高海拔地区。

表 3 青藏铁路沿线南段植被样带物种多样性及盖度统计特征(1 m×1 m 样方)

TABLE 3 Statistical characteristics of diversity and cover among communities in southern section of Qinghai-Tibet Railway (1 m×1 m sample plots)

样带号	样方物种丰富度统计特征		样方平均盖度统计特征	
	平均物种丰富度	变异系数/%	平均盖度/%	变异系数/%
1	9	33.04	20.11	38.70
2	12	25.30	86.40	17.75
3	11	17.38	65.70	38.42
4	9	22.97	84.83	21.99
5	9	25.37	83.21	24.70
6	11	19.03	53.66	31.70
7	10	29.05	83.36	29.17
8	12	23.05	67.00	34.89
9	12	31.01	67.12	34.10
10	9	31.16	88.88	29.45
11	7	28.71	77.42	37.26

表 4 青藏铁路沿线南段各植被样带植物种共有度

TABLE 4 Co-occurrence of the plant species among communities in southern section of Qinghai-Tibet Railway

样带号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.46									
3	0.42	0.55								
4	0.25	0.41	0.44							
5	0.21	0.33	0.38	0.40						
6	0.26	0.33	0.38	0.31	0.37					
7	0.20	0.33	0.32	0.31	0.32	0.32				
8	0.17	0.22	0.23	0.19	0.21	0.26	0.32			
9	0.17	0.27	0.29	0.25	0.25	0.26	0.28	0.45		
10	0.11	0.14	0.15	0.11	0.14	0.13	0.14	0.18	0.28	
11	0.07	0.14	0.13	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11	0.19	0.25

另外,当雄车站与当雄大桥两条样带虽然距离较近,从表 4 中可知,其物种组成也存在一定的差异性,这与当雄大桥样带离河边较近,生境条件出现了一定的变化有很大关系。这进一步说明青藏铁路沿线南段植被群落特征受局部环境影响比纬度方向距离的影响更显著。

3 讨 论

本文通过对青藏铁路沿线扎加藏布至马乡嘎村南段 550 km 范围内 11 条植被样带的系统调查,分析了沿纬度方向由北向南 0~300 km 不同纬度方向距离的物种丰富度、植被盖度的空间变化特征。主要研究结论如下:

1)研究区域青藏铁路沿线唐古拉山南段平均海拔高度 3 900~5 000 m,属于高海拔地区,植被类型

主要以高寒嵩草草甸为主。调查区域纬度方向距离达 300 km,共计调查 11 条植被样带。通过对其植被物种丰富度分析,指出青藏铁路沿线南段各植被样带 1 m×1 m 样方平均物种数量多为 9~12 种左右。由北至南,物种丰富度并未表现出与低海拔地区沿纬度方向逐渐升高的趋势;通过对各样带不同尺度 1 m×1 m 样方、20 m×20 m 样地、100 m×1 200 m 样带统计条件分析,得出其物种丰富度差异很大,反映了局部环境条件的空间异质性以及物种分布的格局。对 1 m×1 m 样方物种丰富度和植被盖度的变异系数分析,发现不同样带其变异系数相差很大,说明各样带的物种空间分布均匀程度也存在一定的差异性。

本次调查以铁路周边平缓区域为主,并未包括沿线不同海拔或地形条件下的所有植被类型,这是

造成沿线植被物种丰富度未出现与低海拔地区相同规律的可能原因。同时也说明，在青藏高原物种丰富度更多是受局地小环境的影响。

2) 1 m×1 m 样方平均植被盖度为 80% 以上的样带有安多、嘎加、那曲、乌玛塘、宁中等 5 条，其植被盖度变异系数为 25% 左右；而平均植被盖度较低的样带，其变异系数较大，为 35% 左右，例如藏北扎加藏布、布母曲大桥样带，平均植被盖度为 20.11%、53.66%，而措那湖、当雄车站、当雄大桥 3 条样带平均盖度则在 66% 左右。说明青藏铁路唐古拉山南段总体植被覆盖较高，因受局部环境条件的影响，其植被盖度也存在一定差异。

3) 本研究得出各样带总的物种丰富度在 47~59 种之间，只有嘎加地区样带物种丰富度较低，为 39 种，且不同样带物种共有度有明显被替代的规律，相邻样带物种共有度不到 50%，样带 1 与 11 的纬度方向距离不到 300 km，但物种共有度几乎为 0，样带 8 和 9 纬度方向距离不到 2 km，其物种共有度只有 45%，进一步说明本研究地区物种多样性还是很丰富的，且受局部环境条件的影响非常显著。

加强对青藏铁路沿线物种丰富度变化规律的环境解释，将有助于填补高海拔地区植被的空间分布格局理论的空白。由于条件所限，本研究并未对高海拔地区纬度方向上的植被物种丰富度、盖度等群落特征空间变化规律的环境解释进行系统调查分析，这是本研究存在的重要缺陷，也是今后进一步研究的重点内容。

参 考 文 献

[1] 孙士云. 青藏铁路沿线的生态环境特点及保护对策[J]. 冰川冻土, 2003, 25(增刊 1): 181-185.
SUN S Y. Characteristics of ecological environment and its protection along the Qinghai-Tibet Railway [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(Supp. 1): 181-185.

[2] 陈晓丹. 青藏铁路格拉段环境影响分析[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5): 135-138.
CHEN X D. Impact of Golmud-Lhasa section of Qinghai-Tibet Railway on environment [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(5): 135-138.

[3] 周金星, 易作明, 李冬雪, 等. 青藏铁路沿线原生植被多样性分布格局研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 173-177, 187.
ZHOU J X, YI Z M, LI D X, et al. Distribution patterns of species diversity of natural vegetation along Qinhai-Tibetan Railway [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(3): 173-177, 187.

[4] 张玉清. 青藏铁路建设对青藏高原生态环境的负面影响研究[J]. 水土保持通报, 2002, 22(4): 50-53.
ZHANG Y Q. Negative impact of Qinghai-Tibetan Railway construction on ecological environment of Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(4): 50-53.

[5] 陈辉, 李双成, 郑度. 青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响[J]. 山地学报, 2003, 21(5): 559-567.
CHEN H, LI S C, ZHENG D. Features of ecosystems alongside Qinghai-Xizang highway and railway and the impacts of road construction on them [J]. *Journal of Mountain Research*, 2003, 21(5): 559-567.

[6] 陈佐. 青藏铁路与青藏高原生态系统[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2001, 28(2): 137-140.
CHEN Z. Ecological system of the Qinghai-Tibet Railway and the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Railway Occupational Safety, Health & Environmental Protection*, 2001, 28(2): 137-140.

[7] 贺金生, 陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征[J]. 生态学报, 1997, 17(1): 91-98.
HE J S, CHEN W L. A review of gradient changes in species diversity of land plant communities [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(1): 91-98.

[8] 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.
SHANG W Y, WU G, FU X, et al. Maintaining mechanism of species diversity of land plant communities [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(3): 573-578.

[9] 应俊生. 中国种子植物物种多样性及其分布格局[J]. 生物多样性, 2001, 9(4): 393-398.
YING J S. Species diversity and distribution pattern of seed plants in China [J]. *Chinese Biodiversity*, 2001, 9(4): 393-398.

[10] 娄安如. 燕山山脉植物群落的间接梯度分析与数量分类[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(3): 391-395.
LOU A R. Indirect gradient analysis and quantitative classification of plant communities of Yanshan Mountain [J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2001, 37(3): 391-395.

[11] 娄安如. 天山中段山地植被的生态梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 364-372.
LOU A R. Ecological gradient analysis and environmental interpretation of mountain vegetation in the middle stretch of Tianshan Mountain [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4): 364-372.

[12] 孙海群. 青海禾本科植物的生物多样性分析[J]. 草业科学, 2002, 19(2): 7-12.
SUN H Q. Biodiversity analysis of gramineae plants in Qinghai Province [J]. *Pratacultural Science*, 2002, 19(2): 7-12.

[13] 郭柯, 李渤生, 郑度. 喀喇昆仑山-昆仑山地区植物区系组成和分布规律的研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(1): 51-59.
GUO K, LI B S, ZHENG D. The characteristics of plant life form spectra in the Karakorum-Kunlun Mountains [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(1): 51-59.

[14] 郭正刚, 刘慧霞, 王根绪, 等. 人类工程对青藏高原北部草地群落 β 多样性的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 384-388.
GUO Z G, LIU H X, WANG G X, et al. Effect of the Qinghai-Tibetan Highway on the β diversity of grassland plant communities in the northern region of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 384-388.

[15] 王长庭, 龙瑞军, 丁路明. 青藏高原高寒嵩草草甸基本特征的研究[J]. 草业科学, 2004, 21(8): 16-19.

WANG C T, LONG R J, DING L M. Study of alpine meadow of basic characteristic in Qinghai Tibet Plateau[J]. *Pratacultural Science*, 2004, 21(8):16-19.

[16] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. *草业学报*, 2005, 14(3):31-40.

ZHOU H K, ZHAO X Q, ZHOU L, *et al*. A study on correlations between vegetation degradation and soil degradation in the ‘Alpine Meadow’ of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Acta Pratacultural Science*, 2005, 14(3):31-40.

[17] 杨力军, 李希来, 石德军, 等. 青藏高原“黑土滩”退化草地植被演替规律的研究[J]. *青海草业*, 2005, 14(1):2-5.

YANG L J, LI X L, SHI D J, *et al*. Research or regulation of vegetation succession in degraded grassland in Qinghai and Tibetan Plateau[J]. *Qinghai Prataculture*, 2005, 14(1):2-5.

[18] 郭柯. 青藏高原扇穗茅高寒草原的基本特点[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(3):248-254.

GUO K. Main characteristics of *Littledealea racemosa* alpine steppe in Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1995, 19(3):248-254.

[19] 王秀红. 青藏高原高寒草甸的时空变化特征[J]. *地理科学进展*, 1997, 16(4):54-60.

WANG X H. Spatio temporal characteristics of the alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Progress in Geography*, 1997, 16(4):54-60.

[20] 邱丹, 张国胜. 青藏高原气候变化对青南地区高寒草地生态系统的影响[J]. *青海科技*, 2002, 7(2):23-25.

QIU D, ZHANG G S. Influence of Qinghai-Tibet Plateau climate variation on cold plateau grassland ecologic system in Southern Qinhai area[J]. *Qinghai Science and Technology*, 2002, 7(2):23-25.

[21] 师生波, 贲桂英, 韩发, 等. 青藏高原地区矮嵩草草甸植物群落生长分析[J]. *生态学报*, 2001, 21(6):871-876.

SHI S B, BEN G Y, HAN F, *et al*. Plant growth analysis of *Kobresia humilis* meadow community in Qingzang Plateau regions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(6):871-876.

[22] 李秋年. 高寒草地植物群落结构特征及物种多样性的初步分析[J]. *青海环境*, 2004, 14(1):30-33.

LI Q N. The preliminary analysis on structural characteristics and plant species diversity of alpine meadow plant community [J]. *Journal of Qinghai Environment*, 2004, 14(1):30-33.

[23] 李英年. 高寒草甸牧草产量和草场载畜量模拟研究及对气候变暖的响应[J]. *草业学报*, 2000, 9(2):77-82.

LI Y N. Simulation of forage yield and stocking rate on alpine grassland in response to warming trend of climate [J]. *Acta Pratacultural Science*, 2000, 9(2):77-82.

[24] 杜国祯, 覃光莲, 李自珍, 等. 高寒草甸植物群落中物种丰富度与生产力的关系研究[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(1):125-132.

DU G Z, QIN G L, LI Z Z, *et al*. Relationship between species richness and productivity in an alpine meadow plant community[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, 27(1):125-132.

[25] 王长庭, 龙瑞军, 王启基, 等. 高寒草甸不同草地群落物种多样性与生产力关系研究[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(5):483-487.

WANG C T, LONG R J, WANG Q J, *et al*. Relationship between species diversity and productivity in four types of alpine meadow plant communities [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(5):483-487.

[26] 马涛, 周金星, 张旭东, 等. 新建青藏铁路沿线各生态区植被分布特征研究初探[J]. *水土保持研究*, 2007, 14(3):150-154.

MA T, ZHOU J X, ZHANG X D, *et al*. Preliminary studies on characteristic of vegetations distribution along the line of Qinhai-Tibetan Railway [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(3):150-154.

(责任编辑 李 雯 李 慧)