

青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其影响

陈辉^{1, 3}, 李双成², 郑度¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 北京大学环境学院, 北京 100871;

3. 河北师范大学, 河北 石家庄, 050016)

摘 要:根据 2001- 08 和 2002- 08 月野外调查数据及 2001 年 1: 100 万中国植被图、1996 年 1: 400 万青藏高原植被区划图和 2000 年青藏铁路沿线自然保护区分布及功能区界调整图, 以青藏公路铁路沿线植被生态系统为研究对象, 运用 ARCVIEW 和 ARC/INFO 软件研究青藏公路铁路建设对沿线生态系统结构的影响, 结论如下: ①青藏公路铁路南北跨越 9 个纬度, 东西跨越 12 个经度, 共穿越青东祁连山地草原地带、柴达木山地荒漠地带、青南高寒草甸草原地带、羌塘高寒草原地带、果洛那曲高寒灌丛草甸地带和藏南山地灌丛草原地带 6 个自然区, 对植被类型的统计结果显示了地带性。②青藏公路铁路的建设对生态系统产生直接的切割, 使景观更加破碎。③青藏公路铁路的建设直接破坏沿线植被生态系统(主要为 50 m 缓冲区内), 年损失总净初级生产量为 30 504. 62 t, 损失总生物量 432 919. 25~ 1 436 104. 3 t/a。损失总净初级生产量占 1 km 缓冲区内年净初级生产量 535 005. 07~ 535 740. 11 t/a 的百分比为 5. 70%, 占 10 km 缓冲区内年净初级生产量 3 408 950. 45~ 3 810 480. 92 t/a 的 0. 80~ 0. 89%; 损失生物量占 1 km 缓冲区内生物总量 7 502 971. 85~ 25 488 342. 71 t/a 的 5. 70%, 占 10 km 缓冲区内总生物量 43 615 065. 35~ 164 150 665. 37 t/a 的 0. 80%~ 0. 89%。

关键词:青藏公路铁路沿线植被; 生态系统; 破碎; 净初级生产力; 生物量

中图分类号: X141, P64, P66

文献标识码: A

公路铁路作为人工廊道, 对它们的影响研究主要集中在以下几个方面: ①经济效应^[1]: 铁路、公路和运河具有直接的经济效益, 能有效地运送货物。②破坏动植物栖息环境, 影响物种的传播和迁移^[2~ 4]。③污染与灾害^[5, 6]。④景观破碎化和边缘效应^[7~ 9], 这方面研究国外多集中在森林- 草地边缘地带, 国内有森林林窗边缘研究和边缘效应对野生生物正负影响的研究^[10, 11]。以上研究多以交通干线附近和交通干线本身的研究为主^[12], 对生态系统的影响研究还很少。最近, 张镜铨^[12]等对青藏公路缓冲区土地利用变化进行了较为深入的研究, 发现青藏公路建设对研究区的辐射和聚集作用呈“点”状。青藏铁路地处高寒生态脆弱区, 自然地理条件复杂^[13]。青藏铁路建成段[西宁至格尔木(南山

口)]和在建铁路[格尔木(南山口)至拉萨]与青藏公路并行, 设计最近距离 2 km, 最远距离 16km^[1]。对青藏公路的影响研究, 主要有冻土研究^[14, 15]和土地利用变化研究^[12]等。青藏铁路建设对生态系统的影响研究才刚刚起步。本研究的目的在于弄清青藏公路铁路沿线整体生态系统结构的基本特征及分区特征, 揭示青藏公路铁路建设对高寒生态系统的破碎化影响及破碎化产生的边缘效应, 并为进一步的格局- 过程研究奠定基础。

1 研究区概况

青藏铁路既有段[西宁至格尔木(南山口)]位于青海省境内, 途经西宁市、湟中县、湟源县、海晏县、

收稿日期(Received date): 2002- 12- 20; 改回日期(Accepted): 2003- 06- 08。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展规划项目: 青藏高原形成演化及其环境、资源效应(G1998040816)和青藏铁路的生态环境效应(90202012)经费资助。[Supported by the National Key Project for Basic Research on Tibetan Plateau(G1998040816) and the Assessment of Environmental Ecological Effects of Qinghai Xizang Railway(90202012).]

作者简介(Biography): 陈辉(1972-), 女, 满族, 河北承德人, 博士, 讲师。主要从事生态学、综合自然地理学研究。[CHEN Hui, female, Manchu, born in Jan. 1972 in Chengde, Hebei, PH. D., instructor of Hebei Normal University. Her main research fields cover ecology and integrative Physical Geography. E-mail: chenhui@gsnrr.ac.cn]

刚察县、天峻县、乌兰县、德令哈市、都兰县和格尔木市。在建青藏铁路格拉[格尔木(南山口)至拉萨]段位于青藏高原腹地,行政区划上跨越青海省海西州格尔木市、玉树州治多县,西藏自治区那曲地区安多县、那曲县,拉萨市当雄县、堆龙德庆县、拉萨市区。线路自格尔木起基本沿青藏公路南行,途经那赤台、五道梁、沱沱河、雁石坪,翻越唐古拉山进入西藏自治区境内后,经安多县、那曲县、当雄县、羊八井至西藏自治区首府拉萨市(图 1)。格拉段全长 1 142 km,其中格尔木至南山口既有线改建长 29.75 km,

南山口至拉萨段新建线路长 1 110.25 km。其在青海省境内长 594.23 km,西藏自治区境内长 547.77 km。格拉段铁路跨越 9 个纬度和 12 个经度;沿线海拔高度 2 200~5 200 m;年均降水量 40~500 mm;极端最低气温-33.6℃,最高气温 35.5℃;沿线主要植被生态系统类型包括高寒草甸、草原、荒漠、灌丛和高山植被等。沿线通过地段,只有格尔木至南山口位于柴达木盆地南部边缘,其余地段均处于青藏高原¹⁾。

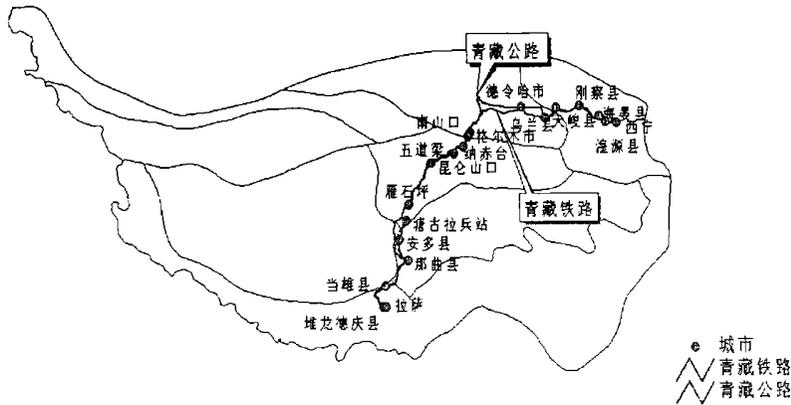


图 1 青藏公路铁路位置图

Fig. 1 Location of Qinghai-Xizang highway and railway

2 资料来源和研究方法

研究的工作底图包括:2001 年青藏高原 1:100 万植被类型图;1:400 万青藏高原植被区划图;1:200 万青藏铁路沿线自然保护区分布及功能区界调整图;1:100 万青藏高原地形图。作者等于 2001-08 和 2002-08 进行了两次野外调查,对青藏公路铁路沿线地貌、水文状况及生态系统破坏和恢复情况有整体认识,并按类型作了一部分生物量及群落调查,供计算参考之用。室内进行了工作图的数字化和分析工作,数字化采用快速数字化软件 R2V,用 ARCVIEW3.2 和 ARCGIS8.1 进行编辑和分析。

本研究区生态系统分类主要以植被类型为依据,沿用原植被类型的名称,并进行适当调整,将沼泽和水体合并为湿地生态系统,栽培植被对应农田生态系统。共分为 11 种生态系统类型: I 针叶林生态系统(Needleleaved forests ecosystem)、II 阔叶林生态系统(Broadleaved forests ecosystem)、III 灌丛生

态系统(Scrubs ecosystem)、IV 荒漠生态系统(Deserts ecosystem)、V 草原生态系统(Steppes ecosystem)、VI 草丛生态系统(Grasslands ecosystem)、VII 草甸生态系统(Meadows ecosystem)、VIII 湿地生态系统(Wetland ecosystem)、IX 高山植被生态系统(Alpine Vegetation ecosystem)、X 农田生态系统(Farmland ecosystem)和 XI 无植被地段(Land Without Vegetation)。

本文对生态系统结构的分析采用景观指数,景观指数计算所采用的 Patch Analyst 软件是在可持续森林管理网络(Network of Centres of Excellence)和安大略省自然资源中心(Centre for Northern Forest Ecosystem Research)的支持下由 Rob Rempel, Angus Carr 和 Phil Elkie 共同开发完成。Patch Analysis 所提供的景观指数可达 50 多个,如何在众多的景观指数当中选取有效的参数是至关重要的问题。Riitters *et al.* (1995) 通过对美国 85 幅土地利用和土地变化图的研究指出:这 50 多个指数可以缩减到 26 个,其中居前 6 位的指数可以解释 87% 的

1) 铁道第一勘察设计院. 新建铁路青藏线格尔木至拉萨段格尔木至唐古拉山口环境影响评价大纲. 2001-04. 兰州. <http://www.cnki.net>

变化问题,即我们可以根据研究的具体情况选取最能说明问题的有限个指数来说明问题。本文采用的指标为生态系统类型面积百分比和几个景观指数来分析生态系统整体结构,以青藏铁路(包括既有线和在建线,下同)为中心做1 km、10 km和30 km的缓冲区,对三个尺度进行比较;然后再分区比较;公路铁路建设对生态系统的影响分析采用斑块数量(NUMP)、平均斑块面积(MPS)、平均形状指数(MSI)、斑块面积标准差(PSSD)、边缘密度(ED)和香农多样性指数(SHDI)等指标进行分析。公路铁路建设除对生态系统结构产生影响外,还对植被的净初级生产力和生物量产生影响。青藏高原净初级生产力和生物量的数据来源:主要植被类型生物量采用罗天祥^[16]等基于样方调查而获取的数据,净初级生产力数据主要来源于朴世龙^[17]等应用遥感影像数据,运用NPP模型——CASA模型计算而得的数据,其余所缺数据依据Whittaker(1975)“地球上各种生态系统的净生产力和生物量”进行插值。

3 生态系统分析

3.1 生态系统结构分析

生态系统结构分析,将使我们认识青藏公路铁路沿线生态系统特征,了解其所在区域的环境状况,为进一步研究其建设对环境的影响工作提供背景资料。

3.1.1 整体生态系统结构分析

以青藏铁路为中心作1 km、10 km和30 km的缓冲区。在缓冲区内(表1),生态系统类型的面积分布呈大体相似的趋势,所占比例最高的生态系统类型是Ⅶ草甸生态系统,第二位是Ⅴ草原生态系统,前两者的和超过60%,占较大优势;第三位是Ⅳ荒漠生态系统,占16%左右;其次为高山植被、农

田、针叶林、阔叶林、湿地等生态系统。总之,青藏公路铁路沿线植被生态系统呈现以高寒草甸、草原生态系统为主,荒漠生态系统和无植被地段次之,其它生态系统类型为辅的总体特征。值得注意的是,在距离公路铁路较近的生态系统类型组成中,农田生态系统占据了多于6%的比重,随着离铁路距离的增加,比重迅速减少,说明铁路沿线受到较大的人为干扰。

表1 青藏公路铁路沿线生态系统类型面积百分比
Table 1 Area Percentage of Ecosystems alongside Qinghai-Xizang highway and railway

生态系统类型	1 km	10 km	30 km
	缓冲区%	缓冲区%	缓冲区%
I 针叶林生态系统	0.02	0.29	0.4
II 阔叶林生态系统	0	0.06	0.04
III 灌丛生态系统	5.23	4.52	5.19
IV 荒漠生态系统	16.06	16.94	18.07
V 草原生态系统	26.29	23.03	18.4
VI 草甸生态系统	38.78	40.39	39.68
VII 湿地生态系统	0.4	2.71	3.55
IX 高山植被生态系统	1.8	4.5	6.25
X 农田生态系统	6.37	2.47	1.29

3.1.2 生态系统分区特征

青藏铁路全线长约2 000 km,与青藏公路并行,沿途生态系统类型变化较大,在不同地段会遇到不同的生态环境问题,所以青藏公路铁路沿线生态系统的分区研究是非常必要的。

1. 分区各生态系统类型面积比较

生态系统分区研究是用青藏高原自然区划图分别与1 km、10 km、30 km缓冲区植被图进行叠加,区划图将植被图分割为六个区,这里称为第一段 section1、第二段 section2... 第六段 section6(图2),各分区主要生态系统类型面积所占百分比见表2。

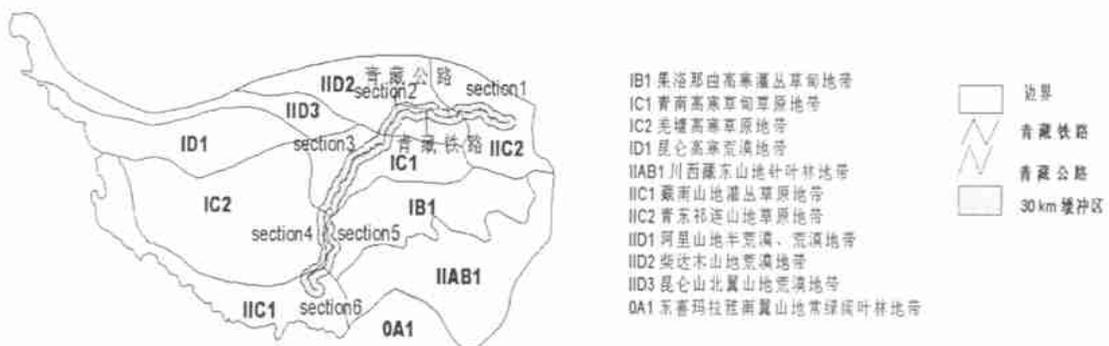


图2 青藏公路铁路沿线生态系统分区图

表2 各分区主要生态系统面积百分比表

Table 2 Area percentage of the Main Ecosystems in Each Region

生态系统类型	缓冲区	I 针叶林生态系统	II 阔叶林生态系统	III 灌丛生态系统	IV 荒漠生态系统	V 草原生态系统	VII 草甸生态系统	VIII 湿地生态系统	IX 高山植被生态系统	X 农田生态系统	XI 无植被地段
第一段 section1	1 km			6.62	2.79	50.81	18.65	0.15	0	20.99	0
	10 km	0	0.36	8.76	3.61	47.96	21.8	9.47	0.1	7.9	0.03
	30 km	0.18	0.23	11.99	1.82	33.07	33.4	15.01	0.13	4.02	0.12
第二段 section2	1 km			5.12	53.44	8.75	11.93	0.09	0	10.25	10.42
	10 km	1.13	0	5.23	54.91	4.35	14.9	2.55	0.07	3.16	13.68
	30 km	5.74	0	5.35	49.76	6.61	16.05	2.98	0.7	1.56	16.38
第三段 section3	1 km			0.54	4.95	46.06	38.25	0.15	5.49	1.47	3.09
	10 km	0	0	0.25	7.46	38.26	39.01	0.27	10.35	0	4.39
	30 km	0	0	0.19	6.15	35.16	40.01	0.51	10.7	0	7.29
第四段 section4	1 km			0	0	12.43	84.86	0	2.7	0	0
	10 km	0	0	0.05	0	14.3	80.64	1	3.42	0	0.59
	30 km	0	0	0.29	0	26.13	55.33	2.62	10.81	0	4.82
第五段 section5	1 km			1.41	0	0	96.3	2.29	0	0	0
	10 km	0	0	1.09	0	0	90.75	3.11	3.84	0	1.19
	30 km	0	0	1.5	0	0.27	89.94	1.31	6.15	0	0.82
第六段 section6	1 km			24.94	0	24.94	47.51	0	0	12.59	0
	10 km	0	0	14.87	0	18.03	56.49	0	6.45	3.67	0.49
	30 km	0	0	16.11	0	18.75	46.2	0	13.9	2.25	2.76

计算结果显示:

第一段(section1), 占最大优势的是草原生态系统, 其次为草甸生态系统、农田生态系统, 在 30 km 缓冲区中, 灌丛和湿地生态系统占有一定的比重。该段显示了草原地带的景观特征; 农田生态系统所占比重从 20%(1 km 缓冲区) 锐减到 4%(30 km 缓冲区), 说明在草原地带由于自然环境的适宜性和接近于城市等原因, 农田生态系统占据一定比重, 随着距铁路距离的增加, 农田生态系统比例迅速减少; 同时, 此段穿过面积较大的青海湖, 使湿地生态系统比重迅速加大。

第二段(section2), 生态系统类型中荒漠生态系统占到 50% 左右, 其次为无植被地段、草甸生态系统、草原生态系统、灌丛生态系统等。本区穿越柴达木盆地, 呈现出典型的荒漠景观。农田生态系统也呈现出随距离铁路越远比重越小的特点。

第三段(section3), 草甸生态系统、草原生态系统占较大比例, 其它生态系统类型所占比重较小, 显示为高寒草甸草原景观。受自然条件的限制, 该段农田生态系统只有在 30 km 缓冲区内有极小比例。

第四段(section4), 草甸生态系统比例在 1 km 和 10 km 缓冲区内, 高达 80% 以上, 在 30 km 缓冲区内比例也大于 50%; 其次为草原生态系统; 另外还有一部分高山植被生态系统; 其他类型比例很小或没有。

第五段(section5), 1 km 缓冲区内草甸生态系统比例高达 96%, 10 km 和 30 km 缓冲区内草甸生态系统比例也 90% 左右, 另 30 km 缓冲区内还有 6.1% 的高山植被生态系统, 本段属典型的高寒草甸区。

第六段(section6), 生态系统类型以草甸所占比例最大, 占 46% 以上; 其次为灌丛生态系统、草原生态系统, 农田生态系统分布特征与前段相似。整体景观呈灌丛草甸景观。

2. 分区各生态系统类型景观特征值比较(以 30 km 缓冲区为例)

30 km 缓冲区内各段景观指数比较结果(表 3): 景观总面积最大的是第三段, 面积为 30 239.77 km², 其次为第二段 26 048.703 km²、第一段 17 050.98 km²、第五段 10 220.47 km²、第六段 10 077.11 km²。

和第四段 8 517.06 km²; 平均斑块面积最大的是第五段 148.12 km², 其次为第三段 139.99 km² 和第四段 119.96 km²; 斑块面积变异系数最大的是第五段, 其次为第六段和第一段; 边缘密度最大的是第六段 0.6987 km/km², 其次为第二段和第三段, 说明第六段破碎程度最大; 斑块面积变异系数最大的是

第五段, 其次为第六段和第一段, 斑块面积标准差也有同样的规律, 说明斑块面积离散程度最大的是第五段; 平均斑块分维度表示斑块规则性, 最不规则的是第四段, 其次为第一段、第二段; 香农多样性指数表示景观多样性, 具有最大景观多样性的是第二段, 景观多样性最小的是第五段。

表 3 30 km 缓冲区分区景观指数比较

Table 3 Diagnostic value of landscape within 30km wide buffer region in each Region

分区	景观总面积 km ²	斑块数 n	平均斑块面积 km ²	斑块面积变异系数	斑块面积标准差	边缘密度 km/km ²	平均边缘长度 km	平均斑块分维度	香农多样性指数
第一段 Section1	17050.98	158	107.92	270.46	0.03	0.55	59.16	0.15	1.57
第二段 Section2	26048.70	256	101.75	223.19	0.03	0.62	63.39	0.17	1.60
第三段 Section3	30239.77	216	139.99	199.20	0.03	0.60	84.03	0.00	1.56
第四段 Section4	8517.06	71	119.96	267.94	0.04	0.43	51.29	0.20	1.40
第五段 Section5	10220.47	69	148.12	642.00	0.12	0.38	56.61	-1.26	0.85
第六段 section6	10077.11	99	101.79	313.48	0.04	0.69	71.12	0.06	1.57

3.2 公路铁路建设对生态系统结构的影响分析

青藏铁路与青藏公路并行, 因此在分析青藏铁路对生态系统影响的过程中, 不可避免地要涉及到青藏公路, 特别是在对生态系统的切割作用上, 青藏公路的切割作用在先, 青藏铁路的切割作用是在青藏公路切割的基础之上, 更加剧了生态系统的破碎化。

3.2.1 公路铁路切割对缓冲区生态系统结构的影响

对比 1 km、10 km 和 30 km 缓冲区及其被公路铁路切割后的景观指数(表 4): 斑块数量随生态系统被切割有增加的趋势, 平均斑块面积减小, 边缘密度增加, 说明公路铁路的切割使景观更加破碎; 斑块面积变异系数在 1 km 缓冲区和 30 km 缓冲区内被切割后减小, 说明斑块面积的离散程度减小, 在 20 km 缓冲区内先增后减, 斑块面积离散程度也先增后减; 平均斑块分维度是表明斑块形状规则性的指标, 数值越大表示越不规则, 1 km 缓冲区内切割后斑块形状更加规则了, 很重要的原因是缓冲区边界切割生态系统, 加重了斑块的不规则性; 10 km 缓冲区内, 切割后更加不规则了, 30 km 缓冲区内, 先不规则后变规则; 香农多样性指数有降低的趋势, 表明景观多样性降低。

3.2.2 公路铁路切割对不同生态系统的影响(以

20 km 缓冲区为例)

铁路公路切割后, 不同的生态系统类型变化有所不同(表 5): 斑块数量变化最多的是 XI 草甸生态系统、V 草原和 IV 荒漠, 其次为 III 灌丛生态系统、XI 无植被地段、X 农田生态系统、IX 高山植被生态系统和 VIII 湿地生态系统, 其它生态系统类型没有变化; 斑块边缘密度增加最多的是 VII 草甸生态系统、V 草原生态系统和 IV 荒漠生态系统, 其次为 X 农田生态系统、XI 无植被地段、II 灌丛生态系统和 IX 高山植被生态系统, 其它植被类型没有变化; 平均面积变化量最大的为 V 草原生态系统、VII 草甸生态系统和 IV 荒漠生态系统, 其次为 X 农田生态系统、II 灌丛生态系统、XI 无植被地段和 IX 高山植被生态系统, 说明生态系统结构更加破碎, 破碎程度最大的三种植被类型为 V 草原生态系统、VII 草甸生态系统和 IV 荒漠生态系统。斑块面积变异系数随公路铁路的修建而减小(I 针叶林生态系统、II 阔叶林生态系统和 VIII 湿地生态系统不变), 说明斑块面积的离散程度减小。斑块面积分维度减小的有 III 灌丛生态系统、IX 高山植被生态系统、X 农田生态系统和 XI 无植被地段, 说明斑块形状更加规则; 分维度增加的有 IV 荒漠生态系统、V 草原生态系统、VII 草甸生态系统和 VIII 湿地生态系统, 说明斑块形状更加不规则; 其它类型没变。

表 4 公路铁路切割缓冲区生态系统结构特征值

Table 4 Diagnostic Value of Ecosystem of Qinghai-Xizang Highway and Railway Dividing Buffers

	斑块数 n	平均斑块面积 km ²	边缘密度 km/km ²	斑块面积变异系数	平均斑块分维度	香农多样性指数
1 km 缓冲区	251	14.28	1.55	155.65	0.24	1.65
公路切割 1 km 缓冲区	344	10.25	1.75	176.14	0.21	1.63
公路铁路切割 1 km 缓冲区	647	5.06	2.98	175.09	0.15	1.62
10 km 缓冲区	435	80.02	0.63	357.73	0.17	1.84
公路切割 10 km 缓冲区	511	68.12	0.67	371.32	0.18	1.82
公路铁路切割 10 km 缓冲区	830	41.77	0.81	233.07	0.54	1.78
30 km 缓冲区	787	129.80	0.56	528.40	0.14	1.841
公路切割 30 km 缓冲区	880	116.07	0.58	520.06	0.15	1.836
公路铁路切割 30 km 缓冲区	1205	84.60	0.63	337.27	0.10	1.836

表 5 青藏公路铁路切割 20 km 缓冲区景观指数变化表

Table 5 Changes of other diagnostic value of ecosystem of Qinghai-Xizang highway and railway dividing 20km-wide buffer region

生态系统类型	斑块增加数目 (n)	平均斑块面积增加值 (km ²)	斑块面积变异系数变化量	边缘密度变化量 (km/km ²)	斑块面积标准差变化量	斑块面积分维度变化量
I 针叶林生态系统	0	0	0	0	0	0
II 阔叶林生态系统	0	0	0	0	0	0
III 灌丛生态系统	32	-0.002	52.448	0.527	-0.001	-0.026
IV 荒漠生态系统	64	-0.005	14.689	2.364	-0.007	0.040
V 草原生态系统	114	-0.012	5.506	5.292	-0.018	0.116
VII 草甸生态系统	133	-0.008	-156.897	6.720	-0.043	0.105
VIII 湿地生态系统	0	0	0	0	0	0
IX 高山植被生态系统	14	-0.001	9.870	0.223	-0.001	-0.001
X 农田生态系统	17	-0.002	23.675	0.788	-0.002	-0.002
XI 无植被地段	18	-0.002	-41.925	0.776	-0.006	-0.006

3.3 青藏公路铁路建设对植被生态系统净初级生产量和生物量的影响

青藏公路铁路的建设对植被生态系统的影响包括永久性影响和暂时性影响,永久性影响来自永久性用地及部分临时用地(主要为不合理施工造成的不可逆影响),永久性用地是指路基、车站、桥梁、隧道等占地。暂时性影响主要来自临时用地,临时用地是指施工期汽车运输道路、材料场、基地、施工便道及施工场地占地。临时性用地的影响可通过科学的生态措施和有效的管理减小到最小,而永久性占地的影响是不可逆的。公路铁路建设对环境的污染影响主要集中在路两侧 1 km 范围内,对植被最直接的破坏为道路两侧 50 m 范围内,即永久性占地

部分。

以青藏公路铁路为中心线作两侧 50 m 的缓冲区,根据各生态系统类型不同的净初级生产力和生物量,计算永久性占地损失的总净初级生产量和总生物量,统计结果见表 6:青藏公路铁路永久性占地总计 288.83 km²,涉及 8 种生态系统类型,其中占用最多的是 VII 草甸生态系统 102.71 km²,其次为 V 草原生态系统 76.62 km²和 IV 荒漠生态系统 62.48 km²。损失总净初级生产量为 30 504.62 t/a,损失最多的是 VII 草甸生态系统 18 076.22 t/a,其次为 V 草原生态系统 6 129.95 t/a 和 X 农田生态系统 3 055.83 t/a。损失总生物量 432 919.25 ~ 1 436 104.3 t/a,损失最多的是 VII 草甸生态系统

205 411. 6~ 616 234. 8 t/a, 其次为 V 草原生态系统 153 248. 8~ 459 746. 4 t/a 和 X 农田生态系统 45 400. 94~ 52 385. 7 t/a。损失总净初级生产量占 1 km 缓冲区年净初级生产量 535 005. 07 ~ 535 740. 11 t/a 的百分比为 5. 70%, 占 10 km 缓冲

区年净初级生产量 3 408 950. 45~ 3 810 480. 92 t/a 的 0. 80% ~ 0. 89%; 损失生物量占 1 km 缓冲区生物总量 7 502 971. 85 ~ 25 488 342. 71 t/a 的 5. 70%, 占 10 km 缓冲区总生物量 43 615 065. 35~ 164 150 665. 37 t/a 的 0. 80% ~ 0. 89%。

表 6 青藏公路铁路沿线两侧 50 米缓冲区净初级生产量和生物量

Table 6 The primary productivity and biomass within 50km-wide buffer region along two sides of Qinghai-Xizang highway and railway

生态系统类型	总面积(km ²)	平均净第一性生产力(g/m ² ·a ⁻¹)	生物量范围(kg/m ²)	总净初级生产量(t/a)	总生物量(t/a)
III 灌丛生态系统	11. 13	102. 00	2~ 4	1135. 56	22265. 8~ 44531. 6
IV 荒漠生态系统	62. 48	24. 00	0. 1~ 4	1499. 50	6247. 93~ 249917. 2
V 草原生态系统	76. 62	80. 00	2~ 6	6129. 95	153248. 8~ 459746. 4
VII 草甸生态系统	102. 71	176. 00	2~ 6	18076. 22	205411. 6~ 616234. 8
VIII 湿地生态系统	0. 33	250. 00	0~ 0. 1	81. 75	0~ 32. 7
IX 高山植被生态系统	3. 44	140. 00	0. 1~ 3	481. 85	344. 18~ 10325. 4
X 农田生态系统	17. 46	175. 00	2. 6~ 3	3055. 83	45400. 94~ 52385. 7
XI 无植被地段生态系统	14. 65	3. 00	0~ 0. 2	43. 96	0~ 2930. 5
合计	288. 83			30504. 62	432919. 25~ 1436104. 3

4 结论

通过以上分析, 获得以下结论:

1. 青藏公路铁路缓冲区被自然区划界限切为 6 段, 每段呈现不同的景观特征: 一段为草原地带特征; 二段为荒漠地带特征; 三段、四段、五段为高寒草甸地带特征; 六段为灌丛草甸特征。

2. 缓冲区生态系统中占绝对比重的是自然生态系统; 人为景观(农田生态系统)占较小比重, 并随距铁路距离增加而呈锐减趋势, 在缓冲区一、二、四段都有相似趋势, 三段没有人为景观, 说明: ①种植业受到高海拔的限制。②公路铁路建设促进了人为(种植)活动。

3. 30 km 缓冲区内, 第六段破碎程度最大, 斑块面积离散程度最大的是第五段, 斑块形状最不规律的是第四段, 景观多样性最大的是第二段, 但总体来讲景观指数没有明显的规律性特征。

4. 青藏公路铁路的建设对沿线生态系统的直接影响为切割生境, 使生态系统结构更加破碎。生态系统结构的破碎程度有所不同, 破碎程度最大的植被类型为 VII 草甸生态系统、V 草原生态系统和 IV 荒漠生态系统, 斑块面积的离散程度除 I 针叶林

生态系统、II 阔叶林生态系统和 VIII 湿地生态系统不变外, 其余皆减小。

5. 计算结果表明: 斑块面积变异系数和平均斑块分维度的值的变化在 1 km、10 km 和 30 km 缓冲区内没有明显的规律性。

6. 青藏公路铁路沿线 50 m 缓冲区内植被全部被破坏, 损失总净初级生产量 30 504. 62 t/a, 占 1 km 缓冲区年净初级生产量 5. 70%, 占 10 km 缓冲区年净初级生产量 0. 80% ~ 0. 89%; 损失生物量 432 919. 25~ 1 436 104. 3 t/a, 占 1 km 缓冲区生物总量的 5. 70%, 占 10 km 缓冲区总生物量的 0. 80% ~ 0. 89%。

7. 青藏铁路建设对植被生态系统的影响分为永久性和暂时性两种, 永久性占地的影响是不可逆的, 临时性占地的影响可以通过工程措施和管理减小到最小。因此青藏铁路建设在合理选线的基础上, 生态恢复的重点是临时性用地。

本文仅对青藏公路铁路沿线生态系统特征及道路修建对其直接破坏和对生态系统的永久性影响进行了讨论, 道路建设对生态系统的影响远不止这些, 尤其是在脆弱的高原面上, 其影响也更为复杂和重要。因此可将道路修建造成的暂时影响及其恢复规律, 以及道路修建在不同路段上的影响特征作为今

后研究的重点。

致谢:基础数据得到中国科学院地理科学与资源研究所张镜铨先生的支持,软件应用得到侯西勇、吕新苗、张学霞、邵小梅同学和河北师范大学刘劲松先生的帮助,在此深表谢意!

参考文献 (Reference):

- [1] Kang Xiangwu, Pan Baorong, Zhou Huarong. Some viewpoint on corridor landscape in arid Zone and research on it[J]. *Arid Zone Research*, 2000, **17**(3): 64~ 70. [康相武,潘伯荣,周华荣. 干旱区廊道景观及其研究之管见[J]. 干旱地理, 2000, **17**(3): 64~ 70.]
- [2] Forman R T T, Alexander L E. Roads and their ecological effects [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998, **29**: 207~ 231.
- [3] Thierry Lod. Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations[J]. *AMBIO*, 2000, **29**(3): 163~ 166.
- [4] Tikka P M, H Mander Harri, Koski Piia S. Road and railway verges serve as dispersal corridors for grassland plants[J]. *Landscape Ecology*, 2001, **16**(7): 659~ 666.
- [5] Zhang Jie, Chen Feng. Environmental problems of railway construction and their control countermeasure[J]. *Traffic Environment*, 2000, **21**(5): 39~ 41. [张杰,陈峰. 铁路建设的环境问题与对策研究[J]. 交通环保, 2000, **21**(5): 39~ 41.]
- [6] Jiang Yulin, Du Juan. Eco-environment protect issues and countermeasures[J]. *Highway*, 2000, **8**: 68~ 72. [江玉林,杜娟. 高等级公路生态环境保护问题与对策[J]. 公路, 2000, **8**: 68~ 72.]
- [7] H. D. van Bohemen. Habitat fragmentation, Infrastructure and ecological engineering[J]. *Ecological Engineering*, 1998, **11**: 199~ 207.
- [8] Borrego C, Tchepel O, Barros N et al. Impact of road traffic emissions on air quality of Losbon region[J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**: 4683~ 4690.
- [9] Dinie B Tinker et al. Watershed analysis of forest fragmentation by clear cuts and roads in a Wyoming forest[J]. *Landscape Ecology*, 1998, **13**: 149~ 165.
- [10] Xi Weimin, Zhong Zhangcheng, Bi Runcheng. The study of edge effect of the forest communities in Jinyun mountain. *Acta Phytocologica Et Geobotanica*[J]. 1993, **17**(3): 232~ 242. [奚为民,钟章成,毕润成. 四川缙云山森林窗边缘效应的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报. 1993, **17**(3): 232~ 242]
- [11] 马世骏, 1990. 边际效应与边际生态学. 现代生态学透视[M]. 北京: 科技出版社, 43~ 45
- [12] Zhang Yili, Yan Jianzhong, et al. Impact of Qinghai-Xizang Highway on Land Use and Landscape Pattern Change: from Golmud to Tanggula Shan Pass[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, **57**(3): 253~ 266. [张镜铨, 阎建中, 等. 青藏公路对区域土地利用和景观格局的影响——以格尔木至唐古拉山段为例[J]. 地理学报, 2002, **57**(3): 253~ 266.]
- [13] Sun Honglie, Zheng Du. Formation, Evolution and Development of Qinghai Xizang (Tibetan) Plateau[M]. Guangzhou: Guangdong Science & technology Press, 1998. 2. [孙鸿烈, 郑度. 青藏高原形成演化与发展[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 2.]
- [14] Wu Qinghai, Li Xin, Li Wenjun. Computer Simulation and Mapping of the Regional Distribution of Permafrost along the Qinghai Xizang Highway. *Journal of Glaciology Geocryology*, 2000, **22**(4): 323~ 326. 吴青柏, 李新, 李文君. 全球气候变化下青藏高原沿线冻土变化响应模型的研究[J]. 冰川冻土, 2001, **23**(1): 1~ 5.
- [15] Ding Jingkan, He Guosheng. *Journal of Glaciology and geocryology*, 2000, **22**(4): 333~ 338 [丁靖康, 赫贵生. 年平均气温临界值——设计青藏高原多年冻土区路堤临界高度的一个重要因素. 冰川冻土, 2000, **22**(4): 333~ 338.]
- [16] Luo Tianxiang, Li Wenhua, Luo Ji, Wang Qiji. A comparative study on biological production of major vegetation types on the Tibetan Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(6): 823~ 831. [罗天祥, 李文华, 罗辑, 王启基. 青藏高原主要植被类型生物生产量的比较研究[J]. 生态学报, 1999, **19**(6): 823~ 831.]
- [17] Piao Shilong, Fang Jingyun. Terrestrial net primary production and its spatio-temporal patterns in Qinghai Xizang Plateau, China during 1982~ 1999. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(3): 373~ 380. [朴世龙, 方精云. 1982~ 1999 青藏高原净第一性生产力及其时空变化. 自然资源学报, 2002, **17**(3): 373~ 380]

Features of Ecosystems alongside Qinghai-Xizang Highway and Railway and the Impacts of Road Construction on Them

CHEN Hui^{1,3}, LI Shuang-cheng², ZHENG Du¹

(1. *The Institute of Geographic Science and Natural Resource Research, CAS, Beijing 100101, China; Department of Urban and Environment Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Hebei Normal University, Shijiazhuang, 050016*)

Abstract: Based on the field investigation in Aug. 2001 and Aug. 2002, digital China Vegetation Map in 2001 and Qinghai-Xizang Plateau Vegetation Regionalization Map in 1996, vegetation characteristic along two sides of Qinghai-Xizang highway and railway is studied in this article. Meanwhile, the impacts of Qinghai-Xizang highway and railway constructions on the ecosystems are analyzed using ARCVIEW, ARC/INFO and PATCH ANALYSIS. It was found that: (1) Qinghai-Xizang highway and railway span 9 altitudes, 12 longitudes and 6 natural regions (East Qinghai and Qilian mountain steppe region, Chaidamu mountain desert region, South Qinghai alpine meadow steppe region, Qiangtang alpine steppe region, Guoluonaqu alpine scrub meadow region and South Xizang mountain shrub steppe region); (2) the constructions of Qinghai-Xizang highway and railway destroyed natural vegetation and landscape, especially in 50m-wide buffer regions along both sides of the roads, it was estimated that the Primary Productivity decreased by about 30504.62t/a and the gross biomass decreased by 432919.25~1436104.3t/a. The losing Primary Productivity accounted for 5.70% of the annual Primary Productivity within 1km-wide buffer regions (535005.07~535740.11t/a), and only 0.80~0.89% of that within 10km-wide buffer regions (3408950.45~3810480.92t/yr). The losing gross biomass was about 5.70% of the gross biomass within 1km-wide buffer regions (7502971.85~25488342.71t/a), and only 0.80~0.89% of that within 10km-wide buffer regions (43615065.35~164150665.37t/a).

Key words: vegetation alongside Qinghai-Xizang highway and railway, ecosystems, fragment, the Primary Productivity, biomass