

文章编号: 1000-0240(2006)02-0240-09

青藏铁路沿线高寒草甸植物群落特征 对人为干扰梯度的响应 ——以风火山高山嵩草草甸为例

周国英^{1,2}, 陈桂琛¹, 陈志国¹, 马世震¹, 韩友吉¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 选择风火山地区受到人为干扰的高寒草甸, 对处于不同干扰梯度的高寒草甸植物群落, 用样带法进行调查. 共调查5条样带, 50个样方. 统计植物的科属组成, 计测其群落盖度、频度指标以及物种丰富度指数、多样性指数及均匀度指数等. 对不同干扰梯度上的植物群落结构及其物种组成特点进行分析, 结果表明: 青藏铁路沿线的高寒草甸随着人为干扰的强度的增加, 植物群落的科、属、种组成趋向单一; 群落中起显著作用的物种趋向是高山嵩草、高山嵩草和矮嵩草、早熟禾和扇穗茅、早熟禾羊茅和早熟禾; 按照植物种群的重要值对干扰梯度的响应, 该地区植物种群可被划分为3类响应模式, 即忍耐型种、敏感型种和扩展型种. 随着干扰强度的增加, 物种丰富度指数和物种多样性随着干扰增加而降低. 干扰梯度与有机质含量、全氮、水解氮、全磷、速效磷均呈显著相关, 但是与全钾和速效钾相关关系不明显.

关键词: 青藏铁路; 群落结构; 物种多样性; 土壤养分; 人为干扰

中图分类号: Q948.15⁺4 **文献标识码:** A

新建青藏铁路位于青藏高原腹地, 跨越青海、西藏两省区, 地处 29°30' ~ 36°25' N、90°30' ~ 94°55' E 之间. 青藏铁路的修建, 对完善综合运输体系、强化进藏通道具有极其重要的政治、军事、经济及路网意义. 青藏铁路作为目前世界上海拔最高的铁路, 以其独特的地理位置和景观特点而为世人瞩目. 关于青藏铁路的研究, 目前主要是围绕青藏铁路沿线的冻土分布特点^[1-3]、工程对高原生态环境的影响^[4-6]等几方面展开.

人为干扰是人类在有目的行为指导下, 对自然进行的改造或生态建设, 如烧荒种地、森林砍伐、放牧、农田施肥、修建大坝、道路、土地利用结构改变等^[7-10]. 许多植物群体和物种与干扰具有密切的关系, 各种干扰方式改变了生态系统的生物关系、资源格局和生态过程, 对生物多样性产生极大的威胁^[11]. 青藏铁路沿线是典型的生态脆弱区, 极

易遭到人类活动的干扰, 导致土地沙化、生态环境恶化和生物多样性丧失. 目前有关青藏铁路植物群落的研究还很少, 对于受人为干扰的植物群落演替尚未见报道. 为此, 我们通过对风火山试验站试验路基周围受干扰程度不同的高寒草甸植物群落的调查, 研究了植物群落结构及其物种组成对不同干扰梯度的响应. 以期对青藏铁路沿线的植被恢复和重建, 以及生态环境保护提供一定的资料.

1 自然概况

风火山地处青藏高原腹地, 为低高山区, 海拔 4 600 ~ 4 700 m, 相对高差 200 ~ 300 m. 山顶基岩裸露, 山梁较平缓, 自然山坡上陡下缓, 山间新沟谷发育, 剥蚀作用强烈. 总的地貌特征是: 顶平坡缓, 谷宽沟短. 属于高原大陆性气候区, 气候干燥, 气温气压低, 春秋季节短暂, 冻结期 9 月至翌年 4

收稿日期: 2005-08-29; 修订日期: 2005-12-16

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-04); 中国科学院研究生科学与社会实践资助专项; 中国科学院“西部之光”人才培养项目“青藏铁路高海拔地区植物繁育及其栽培技术研究”资助

作者简介: 周国英(1974-), 男, 青海乐都人, 助理研究员, 2002年毕业于兰州大学, 现为在读博士生, 主要从事恢复生态学方面的研究. E-mail: zhougy@nwipb.ac.cn

月，急风、暴雪、雷电等变化剧烈无常。根据 20 世纪 70 年代风火山临时气象站资料，年平均气温 - 4 ~ - 6.11 ，极端最高气温 23.2 ~ 24.7 ，极端最低气温 - 37.7 ~ - 45.2 ；年均降水量 248.5 ~ 290.9 mm，年均蒸发量 1 316.9 ~ 1 638.9 mm，相对湿度平均为 53 % ~ 57 %；最大风速 30 ~ 31 m · s⁻¹，主导风向西，平均雷暴日数年最多 36.7 ~ 47.8 d。

2 研究方法

2.1 野外取样

取样地位于铁道部西北勘察设计院风火山试验站，在风火山铁路试验路基周围。为了使群落生境基本一致，尽可能排除生境差异导致群落生长差异不同可能给分析研究带来的误差，设置的样地紧密相邻，位于同一山坡的中部，均为受干扰程度不同的高山高草草甸。样地号为 、 、 、 、 。每一取样点上与样带垂直的方向上置 50 m 的测绳作为基线，然后以 5 m 为间隔，以左右相间的形式取 1 m × 1 m 的小样方，每一取样点共取 10 个样方。于 2002 年 8 月进行，样方调查记录植物种类组成、种群的物候期、高度和盖度、海拔等环境因子；在每个样点用土钻在相间样方内取 0 ~ 10 cm、10 ~ 30 cm 土样，将 5 个样方的土壤混合，风干后分析土壤养分状况。

2.2 数据处理及土壤测定

在室内准确鉴定植物标本，统计科、属、种及其组成。重要值、物种多样性、丰富度及均匀度指数的计测见如下公式：

群落丰富度指数：

$$R = S \tag{1}$$

物种多样性指数或 Hill 指数：

$$D_1 = e^H \tag{2}$$

Shannon-Wiener 指数：

$$H = - \sum (P_i \ln P_i) \tag{3}$$

均匀度指数：

$$E_i = \frac{H}{\ln S} \tag{4}$$

式中：S 为群落中的总物种数；N 为群落中全部种的总个体数，由于个体数对于草本植物统计较为困难，本文采用各物种的重要值代替个体数进行计算；N_i 为各个种的重要值；P_i = N_i / N。

土壤因子测定：凯氏蒸馏法测定全氮，氢氟酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法测定全磷，氢氟酸-高氯酸消煮-火焰光度计法测定全钾，扩散吸收法测定碱解氮，碳酸氢钠比色法测定有效磷，乙酸铵浸提火焰光度计法测定速效钾，丘林法测定有机质。

3 结果与分析

3.1 干扰梯度的划分及其植物群落特征

根据该地区生境破碎化程度即人为干扰强度，确认了干扰的梯度：极度干扰：取土时，原生植被完全破坏形成基岩裸露的砾石坡，土层很薄；重度干扰：原生植被完全破坏，但有土壤表层的自然恢复植被；中度干扰：挖取草皮后，残存草甸自然恢复植被；轻度干扰：人为扰动引起土壤冻融形成的高寒草甸；未受干扰：原生高山高草草甸。以干扰梯度为依据将植物群落划分为 5 个类

表 1 植物群落类型及其主要植物种类
Table 1 Plant community and its main species

群落序号	干扰梯度	主要优势种	主要伴生种
	极度干扰	羊茅 (<i>Festuca</i> spp)、早熟禾 (<i>Poa</i> spp.)	西藏微孔草 (<i>Microula tibetica</i>)、矮火绒草 (<i>Leontopodium nanum</i>)、扇穗茅 (<i>Littledalea racemosa</i>)、藏芥 (<i>Hedinia tibetica</i>)
	重度干扰	早熟禾	羊茅、矮火绒草、喜山葶苈 (<i>Draba oreades</i> Schrenk)、西伯利亚蓼 (<i>Polygonum sibiricum</i>)
	中度干扰	早熟禾、扇穗茅、高山高草 (<i>Kobresia pygmaea</i>)	矮火绒草、羊茅、喜山葶苈
	轻度干扰	高山高草、矮高草 (<i>K. humilis</i>)	珠芽蓼 (<i>Polygonum viviparum</i>)、早熟禾、棘豆 (<i>Oxitropis</i> spp.)、柔软紫菀 (<i>Aster flaccidus</i>)
	未受干扰	高山高草	珠芽蓼、棘豆、柔软紫菀、矮高草

型, 各个群落的优势种及其主要伴生种如表 1.

在该地区极度干扰的砾石坡上, 首先定居的先锋植物是适应本区高寒特性的禾本科植物羊茅、早熟禾、扇穗茅以及十字花科藏芥等杂草; 重度干扰地段尽管原生植被完全破坏, 但由于仍有部分表层土壤存在, 给本身的土壤种子库中的物种萌发和其它途径进入的物种的萌发做了铺垫, 其优势种群为早熟禾, 但伴生种群较多如羊茅、矮火绒草、喜山葶苈、西伯利亚蓼等; 中度干扰地段由于有残存草甸, 自然恢复也较为容易, 优势种群以适应高寒特性的早熟禾、扇穗茅为主, 也有残存的高山嵩草; 轻度干扰地段和原生草甸由于受到的干扰较轻, 优势种群仍以地带性的高山嵩草和矮嵩草为主, 伴生种群也较为复杂. 随着干扰程度的不同植物种类组成也发生相应的变化, 各个种群在群落中的地位上也有一些明显的变化, 在极度和重度干扰下, 由于原生植被完全被破坏, 主要依靠克隆繁殖的莎草科植物很难有所发展, 所以在该阶段优势植物为一些禾本科植物; 在重度、轻度和未受干扰的地段仍以莎草科植物为优势, 但由于受干扰的影响, 各个种群在群落中的地位仍有差异.

3.2 群落种类组成对干扰梯度的响应

3.2.1 不同干扰梯度上群落的科、属组成变化

任何植物群落都是由一定的植物种类所组成,

每一种植物的个体都有它一定的形状和大小, 它们对周围生态环境各有其一定的要求和反映, 在群落中各处于不同的地位和起着不同的作用. 组成植物群落的种类成分是形成群落结构的基础^[12].

根据野外调查统计资料, 干扰梯度上植物群落的主要科、属组成如表 2 所示: 极度干扰地段有种子植物 9 种, 分属于 4 科 8 属, 较占优势的科为禾本科(3 属 3 种)、十字花科(2 属 3 种)、菊科(2 属 2 种); 重度干扰地段有种子植物 14 种, 分属于 8 科 13 属, 较占优势的科为禾本科(5 属 4 种)、菊科(2 属 2 种); 中度干扰地段有种子植物 16 种, 分属于 10 科 14 属, 较占优势的科为禾本科(3 属 3 种)、菊科(3 属 3 种)、蔷薇科(1 属 3 种); 轻度干扰地段有种子植物 18 种, 分属于 10 科 14 属, 较占优势的科为莎草科(2 属 3 种)、菊科(4 属 4 种); 未受干扰的原生草甸有种子植物 23 种, 分属于 12 科 18 属, 较占优势的科为禾本科(2 属 4 种)、莎草科、(3 属 3 种)、菊科(3 属 4 种)(表 1). 在各个阶段, 除这些优势科外, 其余大多为单科单属. 表 2 同时也反映了各群落中出现的常见植物科、属、种组成总数. 与原生高山嵩草草甸相比, 除轻度干扰对科组成影响不大, 极度干扰、重度干扰和中度干扰科组成明显减少, 分别达到 60%、33.3%和 33.3%. 而属和种组成也发生明显变化,

表 2 干扰梯度上植物群落的主要科、属组成

Table 2 The composition of dominant genera and families of plant communities in human disturbance gradient

序号	科名	极度干扰		中度干扰		轻度干扰		原生草甸		总计	
		属数	种数	属数	种数	属数	种数	属数	种数	属数	种数
1	莎草科	-	-	1	2	1	1	2	3	2	4
2	禾本科	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3
3	菊科	2	2	2	2	3	3	4	4	3	4
4	豆科	-	-	-	-	1	1	2	2	1	1
5	毛茛科	-	-	-	-	1	1	1	1	2	2
6	蔷薇科	-	-	1	1	1	3	-	-	1	2
7	十字花科	2	3	1	1	1	1	-	-	1	1
8	蓼科	-	-	1	2	-	-	1	1	1	1
9	龙胆科	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
10	玄参科	-	-	1	1	-	-	1	1	1	1
11	报春花科	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2
12	石竹科	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1
13	景天科	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
14	紫草科	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-
	总计	8	9	13	14	14	16	14	18	18	23

极度干扰、重度干扰、中度干扰和轻度干扰属组成分别减少 63.6%、16.7%、22.2%、33.3%，种组成分别减少 59.1%、32.8%、27.3%、36.4%。表明：随着干扰强度的增加，植物群落向着科、属、种组成更为单一、简单的方向发展，干扰强度越大

物种组成越简单，主要为一些十字花科和禾本科先锋植物；而未受干扰的原生高山高草草甸物种组成最为丰富、复杂。

3.2.2 不同干扰梯度上群落的重要值变化

植物种群的重要值可以用来反映其在群落中的

表 3 干扰梯度上群落优势植物重要值的变化

Table 3 Change of the important values of dominant plants in human disturbance gradient

序号	物种 Species					
1	高山高草 <i>Kobresia pygmaea</i>	-	1.02	12.06	25.12	38.89
2	棘豆 <i>Oxytropis</i> spp.	-	-	4.89	6.64	12.17
3	矮丛风毛菊 <i>Saussurea eopygmaea</i>	4.38	-	2.68	-	2.68
4	高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	-	-	1.27	4.42	5.08
5	锡金蒲公英 <i>Taraxacum sikkimense</i>	-	-	-	4.52	0.79
6	扇穗茅 <i>Littledalea racemosa</i>	6.13	0.95	19.12	-	2.97
7	柔软紫菀 <i>Aster fiacidus</i>	-	3.88	0.63	5.12	4.93
8	喜山葶苈 <i>Draba oreades</i>	2.89	8.92	5.01	-	3.94
9	假水生龙胆 <i>Gentiana pseudo-aquatica</i>	-	1.78	3.17	5.42	2.37
10	矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i>	12.26	10.64	15.72	3.38	3.94
11	矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	-	1.02	-	22.72	4.57
12	三裂碱毛茛 <i>Halerpestes tricuspis</i>	-	-	-	-	3.56
13	早熟禾 <i>Poa</i> spp.	16.89	48.89	20.09	5.23	3.22
14	青海苔草 <i>Carex ivanovae</i>	-	-	-	-	3.04
15	针茅 <i>Stipa</i> spp.	-	-	-	-	1.25
16	马先蒿 <i>Pedicularis</i> spp.	-	-	-	4.23	2.27
17	垫状点地梅 <i>Androsace tapete</i>	-	0.95	-	-	0.82
18	高原委陵菜 <i>Potentilla pamirolaica</i>	-	3.76	1.27	-	0.79
19	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	-	0.89	-	11.69	4.49
20	唐古拉点地梅 <i>Androsace tangulashanensis</i>	-	-	-	1.24	0.42
21	青海雪灵芝 <i>Arenaria qinghaiensis</i>	-	-	1.74	-	0.52
22	苔草 <i>Carex</i> spp.	-	-	-	3.50	0.79
23	红景天 <i>Rhodiola</i> spp.	-	-	-	0.60	-
24	羊茅 <i>Festuca</i> spp.	33.44	8.95	7.89	-	-
25	钉柱委陵菜 <i>Potentilla saundersiana</i>	-	-	1.25	-	-
26	丝梗婆婆纳 <i>Veronica filips</i>	-	-	0.62	-	-
27	多裂委陵菜 <i>Potentilla multifida</i>	-	-	2.52	-	4.33
28	芒洽草 <i>Koeleria litvinowii</i>	-	-	-	0.89	-
29	短穗兔耳草 <i>Lagotis brachystachya</i>	-	-	0.90	-	-
30	垂穗披碱草 <i>Reogneria nutans</i>	-	1.02	-	0.56	-
31	钻叶风毛菊 <i>Saussurea subulata</i>	-	-	-	1.02	-
32	西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>	-	4.11	-	-	-
33	蜚果芥 <i>Neoturularia humilis</i>	3.33	-	-	-	-
34	西藏微孔草 <i>Microula tibetica</i>	14.89	-	-	-	-
35	藏芥 <i>Hedinia tibetica</i>	5.96	-	-	-	-

优势地位及优势程度^[13], 故可作为表征优势种的指标. 从表 3 可知, 研究区 5 个不同干扰梯度的样地内植物种数分别是 9 个、14 个、16 个、18 个和 23 个. 极度干扰地段重要值大于 10 的有 4 个种, 分别是羊茅 33.44、早熟禾 16.89、西藏微孔草 14.89 和矮火绒草 12.26; 重度干扰地段重要值大于 10 的有 2 个种, 分别是早熟禾 48.89、矮火绒草 10.64; 中度干扰地段重要值大于 10 的有 4 个种, 分别是早熟禾 20.09、扇穗茅 19.12、矮火绒草 15.72 和高山嵩草 12.06; 轻度干扰地段重要值大于 10 的有 3 个种, 分别是高山嵩草 25.12、矮嵩草 22.72 和珠牙蓼 11.64; 未受干扰地段重要值大于 10 的有 2 个种, 分别是高山嵩草 38.89 和棘豆 12.17. 重要值的大小也表明了物种在群落中的地位和作用, 从到 随着干扰强度的增加, 群落中起显著作用的物种分别是高山嵩草 高山嵩草和矮嵩草 早熟禾和扇穗茅 早熟禾 羊茅和早熟禾.

从不同生长阶段各群落的种类组成成分来看, 除处于演替的早期阶段的外, 其余群落的优势种相当明显, 各群落均以高山嵩草占绝对优势, 其重要值远远大于其它种群.

3.3 物种对人为干扰梯度的响应

包维楷等^[14]按植物种在干扰梯度上的种群密度(或盖度)变化, 将植物种群划分为 3 类响应模式: 对人为干扰忍耐型种: 没有表现明显的响应干扰的趋势; 敏感型种: 随干扰强度的增加, 种群密度明显降低; 扩展型种: 随着干扰的继续和加深, 种群进一步发展. 本文依照包维楷等^[14]的划分法, 将在不同干扰梯度上出现的物种也划分为忍耐型种、敏感型种和扩展型种, 如表 4 所示. 可以看出: 根据 5 条样带上 35 个种在干扰梯度上的重要值的变化, 有 13 个种如高山嵩草、棘豆、高山唐松草、假水生龙胆、矮嵩草、三裂碱毛茛、青海苔草、针茅、马先蒿、唐古拉点地梅、青海雪灵芝、苔草、红景天随着干扰强度的增加, 重要值明显降低, 称为敏感型种; 羊茅、早熟禾、扇穗茅、虬果芥、西藏微孔草和藏芥等 6 个种随着干扰的增加表现为从无到有, 重要值不断增大, 这些种具有聚集分布的特性. 羊茅、早熟禾和扇穗茅为多年生禾草, 虬果芥和藏芥为一年生杂草, 具有种子散布较为集中的特性; 其它种如矮丛凤毛菊、锡金蒲公英、柔软紫菀、喜山葶苈、矮火绒草、多裂委陵菜、珠牙蓼、西伯利亚蓼、短穗兔耳草、细梗婆婆纳、高原委陵菜、钉柱委陵菜、钻叶凤毛菊等没有表现出明显的响应

干扰的趋势, 称为忍耐种.

3.4 群落物种多样性对不同干扰梯度的响应

物种多样性是群落的种类、个体总数及均匀度的综合概念, 它反映了群落功能有意义的组织特征. 受不同干扰的影响, 形成的群落在结构和功能上都存在很大的差异, 这种差异主要受制于组成种不同的生物生态学特性. 换言之, 具有不同功能作用的不同物种及其个体相对多度的差异是形成不同群落的基础. 因此, 对于群落组织化程度的测度指标即物种多样性的研究具有十分重要的意义.

不同干扰梯度上的群落物种多样性如表 5 所示. 可以看出, 不同干扰梯度上群落的物种丰富度明显不同, 随着干扰的减弱, 群落物种丰富度增加, 从极度干扰到原生草甸丰富度指数依次是 9、14、16、18 和 23, 即 $< < < <$, 这表明人为干扰对群落物种丰富度有显著影响. 物种丰富度指数简明表达了植物群落物种多样性的一个侧面, 它未能反应群落物种相对多度的信息^[15].

朱锦懋等^[15]认为单一的群落多样性指数不能反映群落复杂的多样性格局, 所以需要从群落的不

表 4 植物种群盖度在人为干扰梯度上的反应差异

Table 4 Idealized species response to the anthropogenic disturbance gradient

反应模式	植物种类
扩展型种组	羊茅、早熟禾、扇穗茅、虬果芥、西藏微孔草和藏芥
敏感型种组	高山嵩草、棘豆、高山唐松草、假水生龙胆、矮嵩草、三裂碱毛茛、青海苔草、针茅、马先蒿、唐古拉点地梅、青海雪灵芝、苔草、红景天
忍耐型种组	矮丛凤毛菊、锡金蒲公英、柔软紫菀、喜山葶苈、矮火绒草、多裂委陵菜、珠牙蓼、西伯利亚蓼、短穗兔耳草、细梗婆婆纳、高原委陵菜、钉柱委陵菜、钻叶凤毛菊

表 5 群落物种多样性对人为干扰梯度的响应

Table 5 Species diversity of plant community in human disturbance gradient

干扰梯度	丰富度指数		物种多样性指数		均匀度指数
	R_0	H	D_1	E_1	
9		1.899	6.685	0.865	
14		2.014	7.490	0.726	
16		2.283	9.806	0.823	
18		2.202	9.039	0.834	
23		2.566	13.009	0.925	

同角度反映物种多样性. 我们的 Shannon-Wiener 指数 H' 变化趋势为 $1.899 < 2.014 < 2.202 < 2.283 < 2.566$, Hill 指数 D_1 的变化趋势为 $6.685 < 7.490 < 9.039 < 9.806 < 13.009$, 物种多样性指数的变化趋势非常相似, 变化趋势也很显然, 总趋势也接近丰富度指数, 即随着干扰的减弱, 群落物种多样性增加. 均匀度是指一个群落或生境中全部种的个体数目的分配情况, 它反映了种属组成的均匀程度^[16], 而且均匀度指数低的地段比均匀度指数高的地段优势种明显. 均匀度指数 E_1 的变化则是 $0.726 < 0.823 < 0.834 < 0.865 < 0.925$, 正如均匀度指数所反映, 重度干扰的优势种早熟禾重要值高达 48.89 优势种的地位非常明显. 黄忠良等^[17]认为结构较复杂的群落较其它群落的多样性指数要高, 我们的结论也很好的验证了他的结论. 原生草甸群落结构较为复杂, 其物种多样性也较高.

3.5 土壤因子对人为干扰梯度的响应

植物群落演替过程中的土壤发展, 很明显是随着植被的演替而发展的一个连续过程, 土壤因子必然对人为干扰有一定的响应. 将人为干扰梯度与土壤有机质、全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷和速效钾进行相关分析如图 1~7 所示. 需要说明的是极度干扰地段, 由于原生植被完全破坏形成基岩裸露的砾石坡, 土层很薄, 取样深度无法达到 30 cm, 该地段的最大取样深度为 20 cm.

干扰梯度与土壤有机质含量(图 1). 干扰梯度与有机质含量之间呈显著相关, 土壤有机质含量随着干扰程度的减小而呈明显增长趋势, 在土壤表层 0~10 cm 分别为 5.28、17.09、26.38、27.11 和 38.89, 在 10~30 cm 分别为 2.86、4.58、3.68、17.54 和 18.81. 尤其是中度、轻度干扰阶段和未受干扰的原生草甸阶段, 其有机质含量明显高于其它演替阶段, 这与各个阶段凋落物数量变化趋势相似. 土壤有机质主要源于凋落物和植物根系, 土壤生物累积作用决定了有机质的形成状况, 表层土壤有机质含量均大于底层. 由于和所受干扰较小, 二者的有机质含量较为接近, 但是深层的有机质含量明显大于表层, 而原生植被完全破坏后的干扰阶段、和深层的有机质含量也非常接近. 可见, 土壤有机质主要集中在土壤表层, 有机质含量的变化与土壤的贮存库和群落的植物组成有一定的关系.

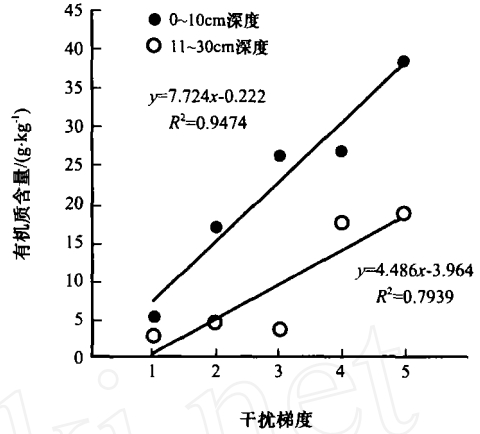


图 1 土壤有机质对干扰梯度的响应

Fig. 1 Organic matter changing with gradient of disturbance

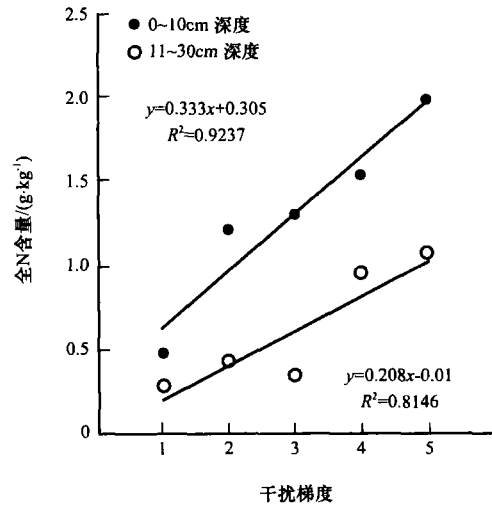


图 2 土壤全 N 对干扰梯度的响应

Fig. 2 Total N Changing with gradient of disturbance

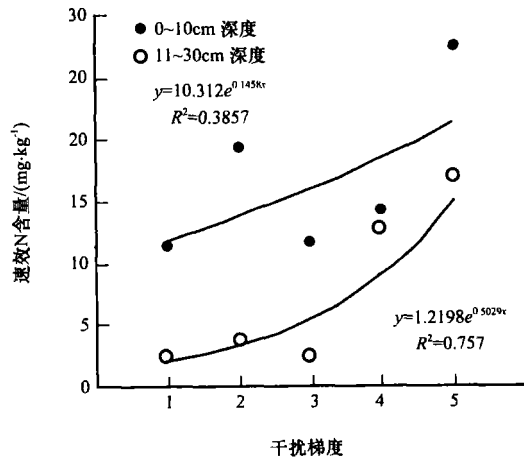


图 3 速效 N 随干扰梯度的变化

Fig. 3 Ammonium N Changing with gradient of disturbance

干扰梯度与土壤全氮和水解氮(图 2, 3)。除干扰梯度与 0~10 cm 的水解 N 之间相关不显著外, 其余均呈显著相关。土壤全氮和速效氮含量随着干扰的减弱呈明显增大趋势, 并且轻度干扰阶段和未受干扰的原生草甸阶段明显高于其它阶段, 反映了地上植被对氮生物积累的促进作用, 这与土壤有机质在干扰梯度上的增长趋势相似, 0~10 cm 土壤全氮与有机质含量呈显著相关($r = 0.978$)。干扰对土壤层次间全氮含量的影响呈现自上而下减少的趋势。土壤速效氮含量随着干扰的减弱而趋于增大, 表明地上植被能促进速效氮的生物累积。

干扰梯度与土壤全磷和速效磷(图 4, 5): 在干扰梯度上土壤全磷和速效磷均呈增大趋势, 但不同

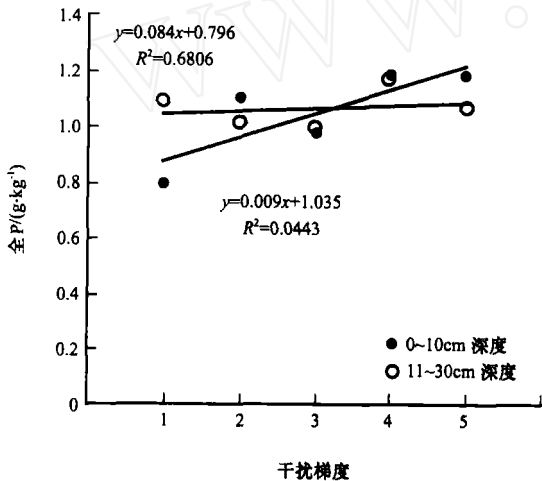


图 4 干扰梯度上土壤全 P 的变化
Fig. 4 Total P₂O₅ changing with gradient of disturbance

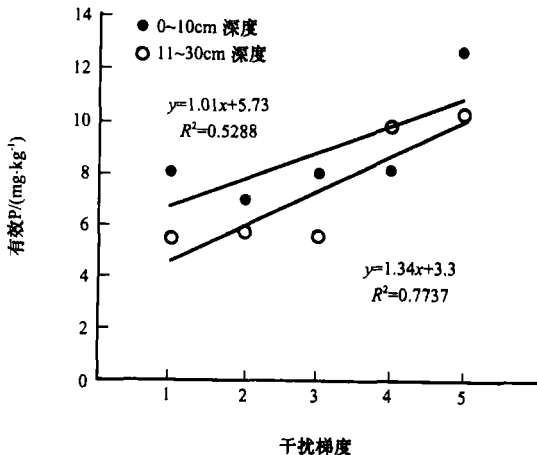


图 5 干扰梯度上土壤速效 P 的变化
Fig. 5 Available P changing with gradient of disturbance

土层变化不一致。0~10 cm 全磷与干扰梯度呈显著相关, 但是速效磷相关不显著; 而在 11~30 cm, 在 11~30 cm 全磷与干扰梯度相关不显著, 但速效磷则呈显著相关。在表层除原生草甸较高外, 其它阶段土壤速效磷含量也相近, 缺乏明显的差异。这可能与土壤有机物质的变化及植物对速效磷的吸收和富集差异性有关。

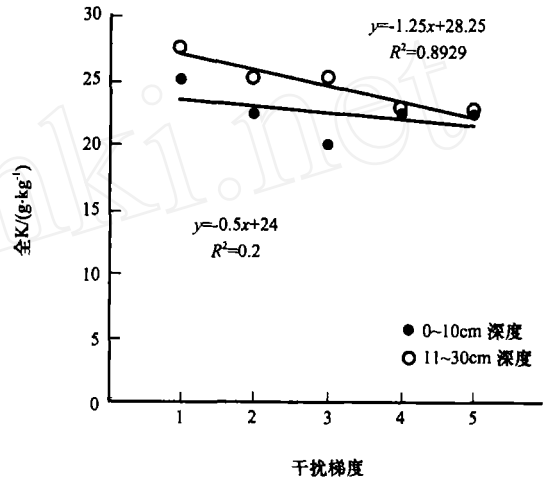


图 6 干扰梯度上土壤全 K 的变化
Fig. 6 Total K₂O changing with gradient of disturbance

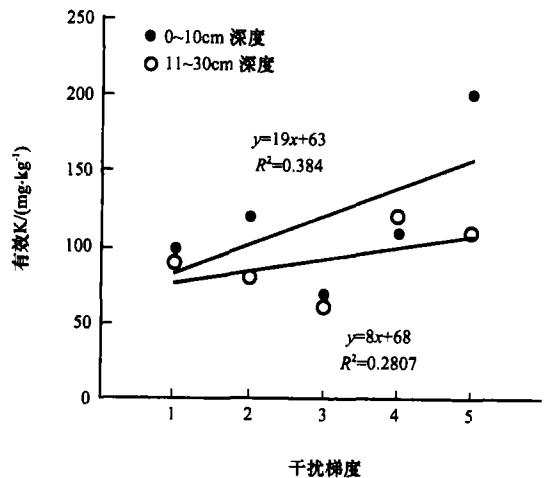


图 7 干扰梯度上土壤速效 K 的变化
Fig. 7 Available K changing with gradient of disturbance

干扰梯度与土壤全钾和速效钾(图 6, 7): 土壤速效钾在 0~10 cm 和 11~30 cm 均没有显著的相关性, 土壤全钾在 0~10 cm 没有显著的相关性, 而在 11~30 cm 则呈负相关, 有待进一步进行研究。

4 讨论及结论

不同的人为干扰程度造成群落生存环境的差别,使种群个体的生长受到不同程度的影响。从以上分析可以看出,随着干扰程度的加强,植被盖度下降,土壤厚度降低,极度干扰的局部形成裸露的基岩,最大取土深度只能到 20 cm。土壤持水能力明显下降,土壤肥力下降,这些因素的分化,必然影响群落中种群的组成,在不同干扰强度的群落中物种组成、盖度、高度均出现不同程度的变化。青藏铁路沿线的高寒草甸随着人为干扰的强度的增加,植物群落向着科、属、种组成更为单一、简单的方向发展。干扰强度越大的地段物种组成越简单,主要为一些十字花科和禾本科先锋植物,而未受干扰的原生高山高草草甸物种组成最为丰富、复杂。随着干扰强度的增加,群落中起显著作用的物种分别是高山高草、高山嵩草和矮嵩草、早熟禾和扇穗茅、早熟禾、羊茅和早熟禾。按照植物种群的重要值对干扰梯度的响应,该地区植物种群可被划分为 3 类响应模式,即忍耐型种、敏感型种和扩展型种。随着干扰的减弱,从极度干扰到原生草甸群落物种丰富度指数增加,表明人为干扰对群落物种丰富度有显著影响;物种多样性也随着干扰减轻而增加。

群落的演替是对环境初始状态的异化过程,不但体现在种类组成和结构上,也体现在环境的改变。土壤作为环境的主要因子必然影响群落演替,某一演替阶段的群落特征和土壤特征,是群落和土壤协同作用的结果。因此,植物群落入侵、定居过程,也是植物对土壤不断适应和改造的过程,土壤性质是植物演替的重要驱动力之一。在同一气候和土壤条件下,所覆盖的植被不同,土壤的理化性质有差异,反映了土壤特性除了与其成土母岩、气候和自然理化性质有密切关系外,植被的作用也不可忽视。植物群落对土壤发育的作用,一是通过改变群落水热环境直接影响土壤的发育条件;二是通过根系和枯枝落叶回归土壤而直接参与土壤的成土过程。因此,在草原利用过程中,要保留适量的凋落物,增加土壤有机质含量,改善土壤理化性质,使植被得以自然恢复。

铁路建设单位对青藏铁路沿线的草地生态系统尽管采取了有效的保护措施,但是局部的破坏仍然不可避免。我们对于不同干扰梯度上植物群落结构及其物种组成研究,可以间接以空间梯度替代时间

梯度,判断植物群落的演替规律,以及演替中的物种的更迭情况,这可以作为制定植被恢复育措施的一个理论依据。同时这在理论上解释了在重大工程建设中植被的完全保护不易实行的情况下,采取有计划的干扰措施既可解决工程建设的顺利进行,亦可避免大量的人为破坏行为。

参考文献(References):

- [1] Wu Qingbai, Li Xin, Li Wenjun. Computer simulation and mapping of the regional distribution of permafrost along the Qinghai - Xizang highway [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, **22**(4): 323 - 326. [吴青柏, 李新, 李文君. 青藏公路沿线冻土区域分布计算机模拟与制图[J]. *冰川冻土*, 2000, **22**(4): 323 - 326.]
- [2] Wang Zhijian, Zhang Luxing. Permafrost environmental problem in the construction of the Qinghai - Tibetan Railway [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(5): 588 - 592. [王志坚, 张鲁新. 青藏铁路建设过程中的冻土环境问题[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(5): 588 - 592.]
- [3] Nan Zhuotong, Li Shuxun, Liu Yongzhi. Mean annual ground temperature distribution on the Tibetan Plateau: permafrost distribution mapping and further application [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(2): 142 - 146. [南卓桐, 李述训, 刘永智. 基于年平均地温的青藏高原冻土分布制图及应用[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(2): 142 - 146.]
- [4] Li Jingrong, Wang Jiayi, Lou Anru, et al. Preliminary study on ecological impact of railway construction: taking Gernu - Wangkun part of the Qinghai - Tibet railway as an example [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2002, **15**(5): 58 - 61. [李京荣, 王家骥, 娄安如, 等. 浅析铁路建设对生态环境的影响——以青藏铁路格望段为例[J]. *环境科学研究*, 2002, **15**(5): 58 - 61.]
- [5] Wang Meizhi, Xu Zhaoyi, Yang Chengyong, et al. Effect of Qinghai - Tibet railway construction on plateau eco - environment [J]. *Traffic and Environmental Protection*, 2002, **23**(3): 2 - 4, 11. [王美芝, 许兆义, 杨成永, 等. 青藏铁路工程对高原生态环境的影响[J]. *交通环保*, 2002, **23**(3): 2 - 4, 11.]
- [6] Zhang Yuqing. 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. [张玉清. 青藏铁路建设对青藏高原环境的负面影响研究[J]. *水土保持通报*, 2002, **22**(4): 50 - 53.]
- [7] Theobald M D, Miller J R, Hobbs N T. Estimating the accumulative effects of development on wildlife habitat [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1997, **39**(1): 25 - 36.
- [8] Vos C C, Chardon J P. Effect of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the Moorfrag *Ranaarvalis* [J]. *J. of Applied Ecology*, 1998, **35**(1): 44 - 46.
- [9] Fitzgibbon C D. Small mammals in farm woodlands: the effect of habitat, isolation and surrounding land use patterns [J]. *Journal of Ecology*, 1997, **34**(2): 530 - 539.
- [10] White P S. Pattern, process, and natural disturbance in vegetation [J]. *Bot. Rev.*, 1979, **45**: 229 - 299.

- [11] Liu Zhimin, Chen Huaishun. Characteristics and challenges in the study of the relationship between vegetation and disturbance [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, **17**(7): 82 - 587. [刘志民, 陈怀顺. 干扰与植被关系研究的特点和面临的挑战[J]. *地球科学进展*, 2002, **17**(7): 582 - 587.]
- [12] Biology Department of Yunnan University. *Plant Ecology* [M]. Beijing: People's Education Press, 1980. [云南大学生物系. *植物生态学*[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980.]
- [13] Jiang Shu. *Study Method of Meadow Ecology* [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1988. [姜恕. *草地生态研究方法* [M]. 北京: 中国农业出版社, 1988.]
- [14] Bao Weikai, Chen Qingheng, Liu Zhaoguang. Changes of structure and species composition of degraded plant community along disturbance gradients of different intensities [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2000, **22**(3): 307 - 316. [包维楷, 陈庆恒, 刘照光. 退化植物群落结构及其物种组成在人为干扰梯度上的响应[J]. *云南植物研究*, 2000, **22**(3): 307 - 316.]
- [15] Zhu Jinmao, Jiang Zhilin, Jiang Wei, *et al.* The effects of human caused disturbance on species diversity of forest community in northern Fujian Province [J]. *Chinese Biodiversity*, 1997, **5**(4): 263 - 270. [朱锦懋, 姜志林, 蒋伟, 等. 人为干扰对闽北森林群落物种多样性的影响[J]. *生物多样性*, 1997, **5**(4): 263 - 270.]
- [16] Zhang Jintun. *Quantitative vegetation ecology* [M]. Beijing: Chinese Science and Technology press. [张金屯. *植被数量生态学*[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.]
- [17] Huang Zhangliang, Kong Guohui, He Daoquan. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve [J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2000, **20**(2): 193 - 198. [黄忠良, 孔国辉, 何道全. 鼎湖山植物群落多样性的研究[J]. *生态学报*, 2000, **20**(2): 193 - 198.]

Response of the Characteristics of Alpine Meadow Plant Community to Disturbance Gradient of Human along Qinghai-Tibet Railway: A Case Study in the Alpine Meadow in Fenghuoshan Area

ZHOU Guo-ying^{1,2}, CHEN Gui-chen¹, CHEN Zhi-guo¹, MA Shi-zhen¹, HAN You-ji¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining Qinghai 810008, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The alpine meadow communities under different human disturbance in Fenghuoshan area along the Qinghai-Tibet railway were selected to investigation. Five sampling lines were designed and 50 plots were investigated with the sample line transect. Based on the plot data, community characteristics were analyzed, such as the specific composition, the families and genera, the community physiognomy, and so on. In the alpine meadow communities, the frequency index, coverage index and species diversity index (Shannon-Wiener index H , and Hill index D_1), the richness index (R_0) and the evenness index (E_1) were counted. It is found that the more intense of human disturbance, the more simple of the community composition of the family, genus and species. Along with the in-

crease of human disturbance intensity, the species diversity index and the richness index reduce and the dominate plant species of communities trend from *Kobresia pygmaea*, *K. pygmaea* and *K. humilis*, *Poa* spp. and *Littledalea racemosa*, *Poa* spp. to *Festuca* spp. and *Poa* spp. According to the importance value of population responded to human disturbance gradient, the plant species in the area can be divided into 3 response species groups: invasive species group, sensitive species group and tolerant species group. The disturbance gradient was evidently correlative with the content of organic matter, total nitrogen, hydrolyze nitrogen, total phosphorus, readily available phosphorus, but that with total kalium and readily available kalium is not obvious.

Key words: Qinghai-Tibet railway; structure of community; species diversity; soil nutrient; disturbance of human