

天山云杉林林冠干扰前后植物多样性及其 与环境的关系

刘云¹, 侯世全², 李明辉³, 潘存德^{4*}

(1. 北京农学院园林系, 北京 102206; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094;
3. 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650; 4. 新疆农业大学林学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 林冠干扰后, 林窗内因小环境的改变使得植被作出相应的反应。1999 年对天山云杉林林窗内和林内的植被进行的调查结果表明: 在本研究范围内的天山云杉林中, 经过林冠干扰后, 植被受一定的影响。林冠空隙内丰富度指数均大于林内; 36.7% 的林冠空隙内个体生态优势度小于林内; 76.7% 的林内的均匀度指数大于林冠空隙内; 66.7% 的林冠空隙 Shannon 个体多样性指数大于林内。林冠干扰前后, 各环境因子和植物多样性之间有一定的相关关系。影响林冠空隙内各多样性指数的因子包括海拔、有效 N、有机质、全 K、全 P 和总盐, 有效 N、有机质、全 K、全 P 和总盐对均匀度指数有显著性影响; 而影响林内各多样性指数的因子包括坡向、坡位、坡度、光照强度、有效 N、全 K、全 P 和总盐, 但仅有坡向、坡度、光照强度对生态优势度指数有显著性影响。

关键词: 天山云杉; 林冠干扰; 物种多样性; 环境因子

中图分类号: S791.18 文献标识码: A

Relationship between Plant Diversity and Environment of *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* Forest before and after Canopy Disturbances

LIU Yun¹, HOU Shi-quan², LI Ming-hui³, PAN Cun-de⁴

(1. Department of Landscape Architecture, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China; 2. College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 3. South China Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510650, Guangdong, China; 4. Department of Forestry, Xinjiang Agricultural University, Wulumuqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: After canopy disturbance, because of the change of surroundings in gaps, the vegetations have corresponding responses. The article was based on the surveying of vegetation in gaps and non-gaps in 1999. The results were showed that abundant indexes in gaps were larger than that in non-gaps; individual ecological dominance degree indexes in gaps were 36.7% less than those in non-gaps; having 76.7% of evenness indexes in non-gaps were larger than those in gaps; Shannon individual abundant indexes in gaps were 66.7% larger than those in non-gaps. Various environment factors and plant diversity indexes had correlative relationship before and after canopy disturbance. In gaps, the main factors influencing plant diversity indexes were elevation, effective nitrogen, organic matter, full kalium, full phosphorus and general salt, but only effective nitrogen, organic matter, full kalium, full phosphorus and general salt had evident influence on evenness indexes; in non-gaps, the main factors influencing

收稿日期: 2004-12-20

基金项目: 国家自然科学基金(39660066, 39660063)和教育部优秀青年教师资助计划项目资助

作者简介: 刘云(1971—), 女, 博士。主要研究方向: 森林生态系统经营、景观生态及农业遥感应用。Email: liuyun_bj@163.net 地址: 102206 北京昌平区朱辛庄北农路 7 号北京农学院园林系

* 责任作者: 潘存德(1964—), 男, 博士, 教授。主要研究方向: 森林可持续经营。Email: pancunde@163.com. 地址: 830052 乌鲁木齐市南昌路 42 号新疆农业大学林学院

plant diversity indexes were aspect of slope, location of slope, degree of slope, illumination intensity, effective nitrogen, full potassium, full phosphorus and general salt, but only aspect of slope, degree of slope, illumination intensity had evident influence on individual ecological dominance degree indexes.

Key words: *Picea schrenkiana* var. *tianshanica* forest; canopy disturbance; plant diversity; environmental factor

林冠空隙形成后,空隙内的微环境条件发生了很大程度的变化,其中生物多样性的变化尤甚。生物多样性主要是指一定空间范围之内多种多样的活有机体和生态过程及其变异性,主要涉及到多度和丰度两因素^[1]。自20世纪80年代以来,小尺度干扰和林冠空隙期的更新及林冠空隙特征开始受到广泛重视,并已在北美和热带阔叶林中进行了详细的研究^[2~4]。近年来,我国也开展了此项研究^[5,6],但在新疆还处在起步阶段,有关林冠空隙内物种多样性的研究基本为零^[7]。天山林区是新疆最大的山地森林分布区,林地面积约 $53 \times 10^4 \text{ hm}^2$,活立木总蓄积量约 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,占新疆山地森林总资源数量的近三分之二,是整个新疆绿洲生态系统的主体骨架。天山森林生态系统的可持续性,直接关系到新疆绿洲的稳定和可持续发展^[8]。本文研究了天山云杉林(*Picea schrenkiana* var. *tianshanica* (Rupr.) Cheng et Fu.)林冠干扰后林冠空隙内外植物多样性的变化以及环境因子与植物多样性的关系,以探讨天山云杉林的微观发生机理。

1 研究地区概况

基础数据的调查于1999年在新疆农业大学实习林场进行。林场位于天山北麓中部,头屯河上游,地处 $43^\circ \sim 43^\circ 26' \text{ N}$, $86^\circ \sim 87^\circ 00' \text{ E}$,南北长约38 km,东西宽约17 km,呈长三角形,总面积 $9\,461.1 \text{ hm}^2$,其中林业用地面积 $4\,300.1 \text{ hm}^2$,有林地面积 $2\,984.2 \text{ hm}^2$ 。林区年均降水量约为600 mm,其中5~8月为生长季,此间集中降水量约占60%,7月份相对湿度约为65%;年平均温度 3° C ,7月份平均温度约 14° C ,年日照大于1300 h,无霜期140 d。林场地势南高北低,地形切割较为剧烈,坡度多在 $10^\circ \sim 40^\circ$,森林主要分布在北、东北和西北坡,以草类和藓类天山云杉林为主,海拔2100~2450 m区域,以天山云杉纯林为主,林下土壤为普通灰褐色森林土。在调查的区域内林下没有灌木和其它阔叶树种,林下代表性植物种有:高山羊角芹(*Aegopodium alpestre* Ldb.)、天山羽衣草(*Alchemilla tianshanica* Juz.)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum* L.)、葶苈(*Draba nemorosa*

L.)、白花三叶草(*Trifolium repens* L.)、准噶尔繁缕(*Stellaria soongarica* Roshev.)、林地早熟禾(*Poa nemoralis* L.)、天蓝岩苣(*Cicerbita azurea* (Ldb.) Beruv.)、药用蒲公英(*Taraxacum officinale* Weber.)、小米草(*Euphrasia pectinata* Ten.)、独立花(*Moneses uniflora* (L.) A. Gray)、天山卷耳(*Cerastium tianschanicum* Schischk.)、问荆(*Equisetum arvense* L.)、二叶梅花草(*Parnassia bifolia* Nekras.)、假报春(*Cortusa brotheri* PAK ex Lipsky)、斑叶兰(*Goodyera repens* (L.) R. Br.)、大苞点地梅(*Androsace maxima* L.)、毛果一枝黄花(*Solidago virgaurea* L.)、林地千里光(*Senecio nemorensis* L.)、天山多榔菊(*Doronicum tianschanicum* Z. X. An)等^[9]。

2 研究方法

调查在新疆农业大学实习林场1、2、3、4、5、10等6个林班进行。这6个林班分布在海拔2000 m以上,为天山云杉纯林,基本上以自然干扰为主,人为干扰相对较少。1999年8月在上述6个林班共调查林冠空隙30个,相对应于每一林冠空隙的对照样方(林内)有30个,共计60个样方,这60个样方沿海拔梯度进行设置。对于林冠空隙,尽量选择由自然干扰所产生的林冠空隙(因为农林用地的矛盾,离牧区较近的林分或多或少要受到人为的干扰)。调查样地设置为成对样方,即在每一林冠空隙内设一样方,同时在同一海拔高度处距林冠空隙边缘10 m处有相同地形条件的林内设一样方(该样方基本为不受干扰的林分,因为天山云杉林林冠空隙面积较小,因而在10 m处所选择的对照样方不会受林冠空隙边缘效应的影响),每个样方面积为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ (考虑到主观因素的影响,样方的选择在林冠空隙的中心位置采用随机取样方法进行布置)。对落在样方内的植物分别记录其物种名,并查数个数(其中,禾本科(Poaceae)植物按丛记数;苔藓和地衣类植物按占样方的面积比例进行记录)。每一样方植物调查完成后,在样方内挖一土壤剖面,并与表层垂直的20 cm厚的混合土样供室内分析。按常规方法分析其理化性质^[10],测得每个土样的pH值、有机质、总盐、全N、全P、全K、有效N。另

外,在每一样方内,因样方内(尤其是林内)受树影的遮挡,不同点的光照程度不同,所以分别用两个等级采用光照计测得林冠空隙内和林内的强光(这里以光照强度大于 500 lx 来定义)和弱光(这里以光照强度小于 100 lx 来定义)这两项指标。

采用物种丰富度指数,生态优势度指数,多样性指数和均匀度指数 4 个指标来反映林冠干扰前后的植物多样性变化状况^[11-13],分别表述如下:

(1) 丰富度指数(R): $R = (s - 1) / \ln(n)$, 其中, S 为物种数量, n 为所有物种的个体数。

(2) 生态优势度指数(λ): $\lambda = \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \frac{(n_i - 1)}{(N - 1)}$, 其中 n_i 为每个物种 i 的个体数, N 为所有物种的个体总数。

(3) 物种多样性指数(H'): $H' = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$
 $= - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$, 其中 S 为物种数, n_i 是每个物种 i

个体数或断面积(对苔藓和地衣来说), N 为所有种的个体数或断面积总和。

(4) 均匀度指数(E): $E = H' / \ln s$, 其中 H' 为 Shannon Wiener 指数, S 为物种数, E 为均匀度指数。

采用逐步回归方法分析^[14,15]以上所测定的各环境因子与物种多样性的关系。

3 结果与讨论

3.1 林冠干扰前后植物多样性指数的变化

根据调查资料(因为所调查林分为天山云杉纯林,所以调查的植物种只有草本植物以及苔藓和地衣),在 60 个样方(其中 30 个林冠空隙(gap)和 30 个相应对照的林内(nor gap))总共有 58 个植物种^[16-21],表 1 分别统计和计算了各成对样方的物种数、植物个数、丰富度指数 R 、生态优势度指数 λ 、多样性指数 H' 、均匀度指数 E 这 4 个指标。

表 1 天山云杉林林冠空隙及对照林分的 4 个多样性指数的比较

序号	林冠空隙(gaps)						林内(nor gap)					
	R	λ	H'	E	种数	个数	R	λ	H'	E	种数	个数
1	1.1	0.7	0.7	0.3	10	3 701	1.0	0.5	0.8	0.4	7	489
2	1.5	0.3	1.5	0.6	13	2 946	0.8	0.3	1.2	0.8	5	133
3	1.3	0.2	1.6	0.7	10	977	0.8	0.3	1.2	0.8	5	133
4	1.3	0.2	1.6	0.7	9	559	0.4	0.5	0.8	0.7	3	202
5	1.6	0.3	1.5	0.6	13	2 048	1.9	0.3	1.8	0.7	14	862
6	1.6	0.3	1.5	0.7	10	323	1.6	0.2	1.7	0.7	10	278
7	1.3	0.3	1.4	0.6	11	1 741	1.9	0.3	1.6	0.6	14	1 049
8	1.6	0.3	1.7	0.7	12	880	0.7	0.4	1.2	0.7	5	318
9	2.4	0.3	1.8	0.6	19	1 688	1.6	0.5	1.3	0.5	12	888
10	2.2	0.4	1.5	0.5	18	2 132	1.9	0.4	1.4	0.5	16	2 652
11	1.8	0.2	1.8	0.7	13	758	1.5	0.3	1.5	0.7	8	119
12	1.3	0.2	1.6	0.7	10	1 143	1.1	0.4	1.2	0.7	6	92
13	2.2	0.2	1.9	0.7	15	542	0.9	0.3	1.4	0.8	6	215
14	1.7	0.3	1.7	0.7	13	1 192	0.9	0.3	1.4	0.8	6	215
15	2.4	0.3	1.6	0.6	18	1 335	2.3	0.2	1.8	0.7	14	276
16	2.6	0.2	2.0	0.7	20	1 654	1.5	0.3	1.6	0.7	9	203
17	1.9	0.2	1.8	0.7	15	1 809	1.6	0.2	1.7	0.7	11	523
18	1.4	0.3	1.4	0.6	10	543	1.7	0.5	1.1	0.5	9	128
19	1.5	0.4	1.3	0.5	12	1 654	0.9	0.3	1.4	0.8	6	291
20	1.9	0.3	1.6	0.6	15	1 485	1.5	0.2	1.8	0.8	10	427
21	1.2	0.2	1.8	0.9	8	402	1.1	0.2	1.5	0.9	6	80
22	1.5	0.3	1.6	0.7	11	944	1.1	0.2	1.7	0.9	7	224
23	2.6	0.4	1.3	0.4	21	2 158	1.1	0.3	1.3	0.8	5	35
24	2.0	0.6	1.1	0.4	15	1 211	1.6	0.3	1.4	0.6	10	272
25	1.5	0.2	1.8	0.8	10	350	1.1	0.3	1.4	0.8	6	113
26	2.0	0.2	2.1	0.8	16	1 807	2.1	0.2	2.0	0.8	13	352
27	1.6	0.5	1.0	0.4	11	577	1.2	0.5	1.0	0.5	7	151
28	1.7	0.2	1.9	0.8	11	319	1.2	0.5	1.0	0.5	7	151
29	2.3	0.3	1.6	0.6	18	1 932	1.8	0.4	1.4	0.6	12	399
30	1.6	0.2	1.8	0.7	12	1 208	1.5	0.3	1.6	0.7	9	219

从表中可以看出,林冠空隙内的物种数大部分多于林内(除 5,7 号),而且植物个数前者远远大于后者(仅 10 号除外),林冠空隙内的丰富度指数也都大于林内的(除 6,7 号外)。这是由于林冠空隙内

的物种数和个体数大多大于对照内的物种数和个体数,与调查的实际情况相符,说明物种丰富度受物种数和个体数的影响,所以总体看来林冠空隙内的物种丰富度要大于林内的;仅有 36.7% 林冠空隙(即

1, 5, 6, 7, 15, 19, 20, 22, 23, 24, 27 号) 个体生态优势度大于林内。从公式也可以看出个体生态优势度是由每个物种的个体数占总体样方个体总数的份额所决定的, 虽大多数林内的物种数和个体总数小于相对应林冠空隙内, 而每个物种的个体数占总体样方个体总数的份额, 前者却大于后者, 所以大多数林内的个体生态优势度要大于林冠空隙; 除少数的几个林冠空隙以外 (即 9, 10, 12, 18, 21, 25, 28 号, 占 23.3%), 76.7% 林冠空隙内个体均匀度指数小于林内, 这与现实情况相符, 在林内物种数少但个体的数量分布比较均匀; 除 33.3% 的林冠空隙 (即 1, 5, 6, 7, 15, 19, 20, 22, 24, 27 号) 外, 66.7% 林冠空隙内 Shannon 个体多样性指数大于林内, 说明林冠空隙内的物种多样性要大于林内。

由上述计算结果可以清楚地看出, 林冠空隙内的物种丰富度和综合性指数 (Shannon 指数) 要比林内的大, 但前者大多数物种均匀度和生态优势度却比后者要小。这可能是由于林冠空隙与林内的环境条件有很大差别。林冠空隙形成后, 林冠空隙的光照增加, 有效资源可利用性增大, 从而有利于植物的生长和繁殖, 特别对于耐阴性较小的物种来说, 林冠空隙为他们提供了一个优良的环境, 虽然它们不能

在其中大量繁殖占据优势, 但与林下相比, 它们存活和繁殖的能力却大大增强了。而且林冠空隙内没有主林层树木的强烈遮阴和抑制作用, 加之林隙一般都较小, 林下透光度适中, 不同耐阴性的物种都有可能存活和生长, 与林下相比, 林冠空隙内既含有耐阴性较大的物种, 又含有耐阴性较小的物种, 因而林冠空隙内的物种丰富度, 即物种数就大于林下。另外, 林冠空隙内为不同树种提供了“抽采”式竞争 (Lottery competition) 的场所, 相对来讲, 个体数在不同物种之间分布比较均匀, 导致生态优势度减小, 因而引起综合多样性指数增高^[4]。由此可以看出, 林冠空隙的存在, 大大丰富了天山云杉林的植物物种丰富度, 增加了其物种多样性, 为不同特性植物物种的共存提供了场所, 从而保证了天山云杉林林下多个植物物种的共存, 避免了单一植物物种独占资源后形成的物种不稳定性, 保证了天山云杉林下植物长期动态发展的稳定性。

3.2 林冠干扰前后环境因子对植物多样性的影响

研究表明天山云杉林林冠空隙的特征^[22] (如林冠空隙的面积、形状、边界木的平均高等) 对植物多样性有一定的影响, 地形因子对植物多样性也有一定的影响, 根据 1999 年调查数据 (表 2) 可以看出, 在

表 2 环境因子与植物多样性指数统计

序号	A/ m ²	H/ m	坡 向	坡 位	坡度/ (°)	海拔 m	林冠空隙 (gap)				林内 (no r gap)			
							R	λ	H'	E	R	λ	H'	E
1	296	22	东北	中	11	2 210	1.10	0.71	0.65	0.28	0.97	0.54	0.83	0.43
2	298	14	西北	下	10	2 260	1.50	0.33	1.47	0.57	0.82	0.33	1.22	0.76
3	221	17	西北	下	11	2 250	1.30	0.24	1.59	0.69	0.82	0.33	1.22	0.76
4	54	12	西北	下	16	2 250	1.26	0.23	1.59	0.73	0.38	0.47	0.81	0.73
5	112	12	东北	下	10	2 260	1.57	0.28	1.49	0.58	1.92	0.26	1.76	0.67
6	51	13	西南	上	18	2 270	1.56	0.27	1.49	0.65	1.60	0.24	1.65	0.72
7	104	15	西北	中	11	2 270	1.34	0.34	1.44	0.60	1.87	0.31	1.58	0.60
8	111	16	西北	中	11	2 230	1.62	0.31	1.65	0.66	0.69	0.38	1.16	0.72
9	62	13	北	中	19	2 330	2.42	0.31	1.82	0.62	1.62	0.47	1.25	0.50
10	162	12	东北	中	25	2 330	2.22	0.40	1.48	0.51	1.90	0.43	1.37	0.50
11	141	18	东北	上	10	2 150	1.81	0.20	1.82	0.71	1.46	0.26	1.51	0.73
12	94	20	东北	中	3	2 150	1.28	0.24	1.56	0.68	1.11	0.36	1.20	0.67
13	126	17	西北	上	20	2 160	2.22	0.18	1.90	0.70	0.93	0.31	1.39	0.77
14	249	20	西北	上	15	2 160	1.69	0.26	1.70	0.66	0.93	0.31	1.39	0.77
15	132	15	东北	中	12	2 165	2.36	0.27	1.64	0.57	2.31	0.22	1.79	0.68
16	242	15	西北	中	23	2 215	2.56	0.22	1.97	0.66	1.51	0.25	1.62	0.74
17	106	19	西北	中	21	2 215	1.87	0.20	1.83	0.67	1.60	0.24	1.73	0.72
18	84	16	东北	下	20	2 085	1.43	0.32	1.39	0.61	1.65	0.51	1.09	0.49
19	198	15	东北	上	13	2 100	1.48	0.35	1.30	0.53	0.88	0.31	1.37	0.76
20	71	12	西北	中	14	2 120	1.92	0.30	1.64	0.60	1.49	0.20	1.79	0.78
21	133	21	西北	中	20	2 080	1.17	0.17	1.80	0.87	1.14	0.24	1.52	0.85
22	274	23	东北	上	21	2 130	1.46	0.26	1.62	0.68	1.11	0.22	1.67	0.86
23	144	24	西北	中	13	2 045	2.61	0.43	1.34	0.44	1.13	0.30	1.26	0.78
24	79	14	西北	中	11	2 140	1.97	0.55	1.07	0.40	1.61	0.33	1.43	0.62
25	66	18	东北	中	14	2 090	1.54	0.19	1.79	0.78	1.06	0.32	1.35	0.76
26	99	17	东北	中	12	2 100	2.00	0.17	2.11	0.76	2.05	0.18	1.98	0.77
27	63	14	西北	上	13	2 130	1.57	0.50	1.01	0.42	1.20	0.45	1.04	0.53
28	68	16	西北	上	8	2 125	1.73	0.18	1.91	0.80	1.20	0.45	1.04	0.53
29	93	19	西北	中	23	1 895	2.25	0.32	1.63	0.56	1.84	0.39	1.39	0.56
30	138	28	东北	中	11	1 940	1.55	0.19	1.80	0.72	1.48	0.27	1.56	0.71

注: 表中 A 为林冠空隙的面积, H 为林分平均高

东北坡,坡度在 $10^\circ \sim 14^\circ$,中坡位,随海拔从 1 940 m 到 2 210 m,物种丰富度逐渐增大,在海拔 2 165 m 达到最大为 2.36;生态优势度也逐渐增大,在海拔 2 210 m 达到最大为 0.71,而对于 Shannon 指数和均匀性指数在低海拔处较高,高海拔处较低,海拔在 2 100 m,Shannon 指数达到最大为 2.11,海拔在 2 090 m,均匀性指数达到最大为 0.78。对照也有类似结果:其中,中坡位的物种丰富度大于下坡位,坡度在 $20^\circ \sim 25^\circ$ 时,中上坡位的物种丰富度 R 也大于下坡位;在西北坡,坡度在 $11^\circ \sim 14^\circ$ 时,中、上坡位,随海拔增高,物种丰富度逐渐减小,生态优势度逐渐增大,Shannon 指数逐渐减小;对于下坡位,坡度在 $10^\circ \sim 16^\circ$ 时,随海拔增高,物种丰富度和生态优势度逐渐增大,而 Shannon 指数和均匀度指数逐渐减小。由于调查的样方比较少以及受其它环境因子的影响(如土壤因子、光因子),其它规律不太明显。因而下面仅进行植物物种多样性与地形、光照因子的相关分析。

3.2.1 地形、光照与植物多样性的相关分析 采用多元多项式回归方法,分别取 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$

这 6 个因子作为辅助变量,再加上它们的交互项 x_1x_2, \dots, x_5x_6 和平方项 $x_{12}, x_2^2, \dots, x_6^2$, 总共 27 个变量作为自变量。在所选择的 6 个因子中,有非数量因子如坡向(x_1)、坡位(x_2),采用打分法赋给相应的因子取值,打分规则^[14]如下:坡向(x_1)= 1(东), 2(东北), 3(北), 4(西北), 5(西), 6(西南), 7(南), 8(东南);坡位(x_2)= 1(上), 2(中), 3(下)。

首先进行植物多样性指数与地形因子和光因子的相关关系,编程序进行计算^[23]。分别取 30 个林冠空隙和 30 个对照(林内)样地所调查的坡向(x_1)、坡位(x_2)、坡度(x_3)、海拔(x_4)、强光(x_5)和弱光(x_6)这 6 个因子作为辅助变量,根据调查资料,得到相应的回归方程如表 3,可以看出,在林冠空隙内,仅得到物种丰富度指数与地形因子(海拔)的回归方程;而在林内,4 个多样性指数与地形、光照因子都有相关性,影响因子有:坡位、坡度、坡向和光照强度,但仅有生态优势度指数与坡度、坡向、光照强度达到了显著性相关关系。

表 3 植物多样性与地形、光照的回归关系

处理	多样性指数	回归方程	R^2	主要影响因子
林冠空隙内	丰富度指数	$Y = 1.50445 + 0.001x_4^2$	0.384	海拔
林内	丰富度指数	$Y = 1.3192 + 0.01369x_6 - 0.01984x_1x_2$	0.539	弱光、坡向、坡位
	生态优势度	$Y = 0.37218 - 0.01023x_3 - 0.00133x_5 - 0.00066x_1x_6 + 0.00046x_3x_6 + 0.00197x_1^2 + 0.000003x_5^2$	0.761*	坡度、坡向、强光、弱光
	多样性指数	$Y = 1.42383 - 0.000003x_5^2$	0.348	强光
	均匀度指数	$Y = 0.72568 - 0.00003x_5x_6$	0.594	强光、弱光

注: Y 为各多样性指数, R^2 为相关系数, 显著性水平为 0.1

3.2.2 土壤因子与植物多样性的相关分析 植物多样性指数与土壤因子的相关关系仍采用多元多项式回归方法,编程序进行计算^[23]。分别取 30 个林冠空隙和 30 个对照样地所调查的 pH 值(x_1)、有机质(x_2)、总盐(x_3)、全 P(x_4)、全 K(x_5)和有效 N(x_6)这 6 个项目作为辅助变量,根据调查资料,得到相应的

回归方程如表 4,可以看出,在林冠空隙内,4 个多样性指数与土壤因子都有相关性,影响因子有:全 K、有机质、总盐、有效 N、全 P,但这 5 个因子仅均匀度指数达到了显著性相关关系;在林内,仅丰富度指数和多样性指数与土壤因子(全 P、全 K、pH 值、总盐和有效 N)有相关性,但都没有达到显著相关性。

表 4 植物多样性与土壤因子的回归关系

处理	多样性指数	回归方程	R^2	主要影响因子
林冠空隙内	丰富度指数	$Y = 1.6087 + 0.00002x_6^2$	0.394	有效 N
	生态优势度	$Y = 0.3444 - 0.00068x_2x_5 + 0.00135x_3x_6$	0.573	有机质、全 K、总盐、有效 N
	多样性指数	$Y = 1.53801 + 0.00166x_2x_5 - 0.53128x_3x_4$	0.550	有机质、全 K、总盐、全 P
	均匀度指数	$Y = -7.68436 + 0.741x_5 + 0.02045x_2x_3 - 0.00009x_2x_6 - 0.57705x_3x_4 - 0.016x_5^2$	0.811*	全 K、有机质、总盐、有效 N、全 P
林内	丰富度指数	$Y = 2.38058 - 0.07416x_4x_5$	0.339	全 P、全 K
	多样性指数	$Y = -2.72747 + 0.64043x_1 + 0.00341x_3x_6$	0.514	pH 值、总盐、有效 N

注: Y 为各多样性指数, R^2 为相关系数, 显著性水平为 0.1

4 小结

(1) 天山云杉林经过林冠干扰后, 植被受一定的影响。林冠空隙内丰富度指数均大于林内; 36.7% 的林冠空隙内个体生态优势度小于林内; 76.7% 林内的均匀度指数大于林冠空隙内; 66.7% 的林冠空隙 Shannon 个体多样性指数大于林内。

(2) 林冠干扰前后, 各环境因子和植物多样性之间有一定的相关关系。影响林冠空隙内各多样性指数的因子包括海拔、有效 N、有机质、全 K、全 P 和总盐; 有效 N、有机质、全 K、全 P 和总盐对均匀度指数有显著性影响; 而影响林内各多样性指数的因子包括坡向、坡位、坡度、光照强度、有效 N、全 K、全 P 和总盐; 坡向、坡度、光照强度对生态优势度指数有显著性影响。

参考文献:

[1] 张建华, 王献薄, 宋永昌. 生物多样性研究进展[J]. 农村生态环境, 1993(4): 12~ 15

[2] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science, 1978, 199: 1302~ 1310

[3] Oliver C D, Larson B C. Forest Stand Dynamics[M]. New York. McGrawhill Inc, 1990

[4] Spies T A, Franklin J F. Gap characteristics and vegetation response in coniferous forests of the Pacific Northwest[J]. Ecology, 1989, 70: 543~ 545

[5] 夏冰, 邓飞, 贺善安. 林隙研究进展[J]. 植物资源与环境, 1997, 6(4): 50~ 57

[6] 臧润国. 红松阔叶林林冠空隙动态研究[D]. 东北林业大学, 1994

[7] 李文华. 小兴安岭谷地云冷杉群落结构和演替的研究[J]. 自然资源, 1980(4): 17~ 29

[8] 潘存德. 新疆建立完备林业生态体系的目标与任务[J]. 人口资源与环境, 1998, 8(特刊): 129~ 132

[9] 新疆森林编辑委员会. 新疆森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984

[10] 安树青, 王峥峰, 朱学雷, 等. 土壤因子对次生森林群落演替的影响[J]. 生态学报, 1997, 17(1): 45~ 50

[11] 安树青, 洪必恭, 李朝阳, 等. 紫金山次生林林窗植被和环境的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(3): 245~ 249

[12] 刘创民, 李昌哲, 苏云梁, 等. 北京九龙山灌丛植被的物种多样性分析[J]. 林业科学研究, 1994, 7(2): 143~ 148

[13] 罗菊春, 王庆锁, 牟长城, 等. 干扰对天然红松林植物多样性的影响[J]. 林业科学, 1997, 33(6): 498~ 502

[14] 新疆林业科学院编辑部. 天山中部林区合理经营技术的研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆出版社, 1990

[15] 王松桂. 多元统计分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994

[16] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志(第一卷)[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1992

[17] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志(第二卷第一分册)[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1994

[18] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志(第二卷第二分册)[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995

[19] 新疆八一农学院. 新疆植物检索表(第一册)[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1982

[20] 新疆八一农学院. 新疆植物检索表(第二册)[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1982

[21] 新疆八一农学院. 新疆植物检索表(第三册)[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985

[22] 刘云, 潘存德, 李明辉, 等. 天山云杉林冠空隙特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(2): 37~ 42

[23] 谭浩强. BASIC 语言[M]. 北京: 科学普及出版社, 1997