

新疆天山云杉林群落分布格局及环境解释

刘梦婷^{1,2}, 王振锡^{1,2*}, 王雅佩^{1,2}, 李 擎^{1,2}, 师玉霞^{1,2}

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆教育厅干旱区林业生态与产业技术重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: [目的] 天然林保护工程实施 20 周年之际, 划分新疆天山云杉林群落类型, 定量分析天山云杉林群落分布格局与环境及采伐干扰因子之间的关系, 为新疆天然林保护工程实施后森林资源恢复评价提供参考依据。 [方法] 以新疆典型天山云杉森林群落为研究对象, 通过野外样方调查, 采用双向指示种法 (TWINSpan) 对天山云杉林群落进行群落划分, 采用冗余分析 (Redundancy analysis, RDA) 方法对其群落类型进行排序, 定量分析森林群落分布格局与环境因子和采伐干扰因子的关系。 [结果] (1) TWINSpan 将 47 个森林群落调查样方划分为 14 个群落类型; (2) RDA 排序结果表明海拔、坡度环境因子及森林采伐干扰因子是影响天山云杉群落格局的主要环境因素; (3) 因子分离显示出环境变量对森林群落格局解释率达 33.9%, 采伐强度对森林群落格局解释率占 5%, 两者共同解释率为 17.9%, 未解释的部分占 43.2%。未能解释的部分主要包括群落之间的相互影响及其他干扰等因素造成。 [结论] 新疆典型天山云杉林林区新疆农业大学实习林场有 14 个森林群落类型, 其分布格局受环境因子和采伐干扰因子的共同控制, 并且二者的交互作用非常显著。森林采伐干扰的强弱是新疆天山云杉林可持续经营不容忽视的重要因素。

关键词: 天山云杉林; 森林群落; 双向指示种法; 冗余分析

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)06-0090-09

植物群落分布与环境因子的关系一直以来都是植物生态学研究的重要话题之一^[1]。长期以来, 许多生态学家都在不断探索影响植物群落分布及其多样性的因素^[2], 从地区尺度甚至是全球尺度来说, 这些影响主要表现在气候和地貌的差异上, 而从局部尺度来说, 地形因素和土壤条件差异则占据着主导地位。因此, 不同气候、地貌、地形、土壤等环境因素必然导致植物群落在组成、外貌和结构上的分异^[3]。然而, 植物群落的分布不仅和环境因子有着密切联系, 还与人为干扰 (采伐、放牧) 和火干扰等因素有关^[4-5]。其中, 森林采伐可以改善林分结构、有利于幼苗的天然更新以及物种多样性的变化^[6-7], 对群落分布格局和物种组成都有着深远的影响。与此同时, 许多研究表明不论是环境因子还是干扰因子对群落的影响程度具有一定的差异性^[8-9]。以往研究中, 定量分析环境因子和采伐强度因子对群落分布格局影响的研究并不多见。Borcard 等借助典范对

应分析的排序方法, 设计了一套分离环境变量和空间变量对物种多度变量影响的方法, 结果使各个因子对群落物种格局的相对贡献得到了定量的表达^[10], 从而为群落分布格局及环境解释提供了有效的技术方法。

新疆位于我国西北部, 区域降水量小、森林植被稀少, 生态环境极其脆弱, 土地荒漠化、干旱洪涝等自然灾害频繁^[11]。天山云杉 (*Picea tianschanica* Rupr.) 作为新疆特有种, 是新疆山地森林中分布最广、蓄积量最大、用途最多的森林生态树种, 更是构成新疆山区森林生态系统的主体, 在山地森林水源涵养和水土保持等功能的发挥和维护上起着主导作用, 对新疆绿洲灌溉农业、生态安全等方面具有重大意义^[12-13]。在上世纪中后期, 由于过度采伐, 导致天然林资源过度消耗, 从而使生态环境恶化严重。为此, 我国启动了“天然林保护工程”等一系列促进林业发展的生态工程。1998 年新疆开始实施天然林

收稿日期: 2018-11-26 修回日期: 2019-03-11

基金项目: 2017 年新疆维吾尔自治区林业改革发展基金项目。

* 通讯作者: 副教授, 博士, 主要研究方向为林业 3S 技术及应用。E-mail: wangzhenxi2003@163.com

保护工程,至今已有20年,天保工程区森林资源得以休养生息。以往对天山云杉林的研究主要集中在群落分布格局、林龄结构、化感作用、群落物种组成及幼苗更新^[14-18]等方面。而对天山云杉林群落分布格局及环境解释研究相对较少。本研究采用双向指示种分析法(TWINSPAN)和冗余分析(RDA)方法对天山云杉林群落进行分类和排序,旨在揭示天然林保护工程实施以来新疆天山云杉林群落分布格局与环境及采伐干扰因子之间的定量关系,以期新疆天然林保护工程实施后森林资源恢复评价提供参考依据。

1 研究区概况

研究区为新疆农业大学实习林场,区域位于新疆天山中段的典型中山带,地处天山北麓乌鲁木齐西南方向110 km,头屯河上游,位于86°46'~86°57'E,43°16'~43°26'N。实习林场东西长15 km,南北长17.5 km。林场所辖林区总面积10 047 hm²,其中林业用地面积6 269 hm²。林区全年降水量达500 mm以上,5—8月为集中降雨期,其降水量约占全年降水的60%以上。年平均温度3℃,7月份最高温度为15℃左右,1月最低温度为-10℃左右;年日照大于1 300 h,无霜期140 d。地势南高北低,地形切割较为剧烈,坡度多在10°~40°。森林主要分布在北、东北和西北坡,以草类、藓类、天山云杉纯林为主,林下土壤为普通灰褐色森林土,林下代表性植物有:羊角芹(*Aegopodium alpestre* Ldb.)、森林草莓(*Fragaria vesca* L.)、短距凤仙(*Impatiens balsamina* L.)、北方拉拉藤(*Galium boreale* Linn)、黑穗苔草(*Carex melanocephala* Turcz. ex Bess)、天蓝岩菊(*Cicerbita azurea* (Ldb.) Beauv)、紫苞鸢尾(*Iris ruthenica* Ker Gawl)、篇蓄(*Polygonum aviculare* L.)等^[19]

2 研究方法

2.1 研究区调查

2017年7—8月,参考新疆农业大学实习林场历史时期采伐设计资料,在不同地形条件区域选取47个30 m×30 m的典型样方进行植物群落调查,样方边界距离林缘15 m以上。在每一个样方内分别在上、中、下三个坡位中心位置设置1 m×1 m的草本样方和土壤采样点。

利用GPS采集每个样方的地理坐标、海拔,用罗盘仪记录坡度、坡位、坡向,用一步一抬头的测量

方法测定郁闭度,对乔木进行每木检尺,记录其树高、胸径,用每株调查法调查所有草本种类、数量、高度、冠幅。由于天山云杉林灌木层不发达,种类和数量都比较小,故将小灌木和草本植物合并调查。土壤样品采集用100 cm³的土壤环刀,按0~10 cm、10~25 cm、25~75 cm的土壤深度分层取样,用烘干称质量法计算出土壤含水量、土壤密度等指标。

2.2 数据分析

2.2.1 重要值的计算 采用重要值(importance value, IV)作为每种植物在群落中的优势度指标,表示不同植物在群落中的功能地位,反映其在群落中的分布格局状况,具体计算公式为^[20]:

$$\text{乔木重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度})/300 \quad (1)$$

$$\text{灌草重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度})/300 \quad (2)$$

2.2.2 分类与排序 对天山云杉林植被分类和排序采用优势种的重要值与样方组成的矩阵作为基础数进行计算。共计调查样方数量47个,植物种类68种,最终得到47×68的样方-植物种的原始数据矩阵。环境数据包括8个环境因子(海拔、坡度、坡向、坡位、pH值、土壤含水量、郁闭度),组成47×8的样方-环境因子矩阵用于植被数量分类和排序。

应用双向指示种分析TWINSPAN(Two-way indicator species analysis)方法对植物群落进行分类,划分出天山云杉林的植物群落类型,对群落首先进行除趋势对应分析DCA(Detrended correspondence analysis)排序,得到DCA排序的第一轴梯度长度为2.448,小于3(当第1轴梯度长度的值大于4.0时,应选单峰模型;在3.0~4.0之间,选单峰和线性模型均可;若小于3.0,则选线性模型)^[21]。因此,选用冗余分析RDA(Redundancy analysis)方法对群落进行排序,研究群落分布格局与环境因子的关系。

根据RDA排序结果,运用Borcard等提出的分离变量方法,分离环境因子、采伐强度因子及环境因子和采伐强度交互作用对群落分布格局的影响,步骤如下:(1)环境因子约束下物种多度的冗余分析;(2)采伐强度因子约束下物种多度的冗余分析;(3)去除环境因子后采伐强度对物种多度的分析;(4)去除采伐强度后环境因子对物种多度的分析。

3 结果与分析

3.1 twinspan 分类

依据《中国植被》的分类原则,结合野外的调查

结果,以重要值为分类依据,对天山中部的天山云杉林47个样方进行twinspan分类,将47个样方划分成14个群落类型(见图1)。群落的命名主要依据各层的优势种^[22]和划分的指示种作为群落划分结果的名称。结果如下:

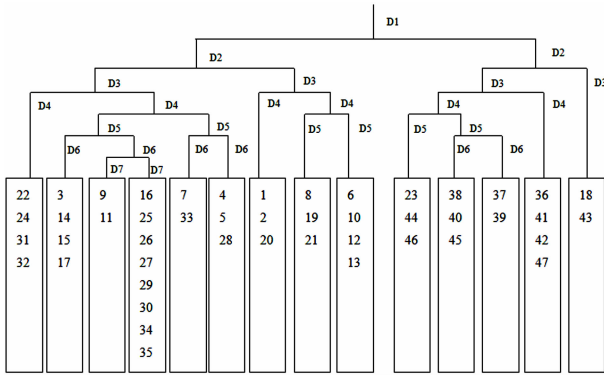


图1 天山云杉林群落twinspan分类树状图

Fig. 1 Dendrogram of TWINSpan classification for the forest communities

群落I 天山云杉+平车前-阿特曼忍冬+天山羽衣草(*Picea tianschanica* Rupr. + *Plantago depressa* Willd.-*Lonicera altmanni* Rgl. et + *Alchemila tianschanica* Juz),包括样方22、24、31和32,主要分布于海拔2 091~2 340 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.35~0.45。灌木较少,只有几株阿特曼忍冬和小斑叶兰(*Goodyera repens* (L.) R. Br),草本以高山羊角芹、天蓝岩菊、天山羽衣草等为主,盖度为50%~66%。

群落II 天山云杉-天山羽衣草-翻白繁缕(*Picea tianschanica* Rupr. -*Alchemilatian schananica* Willd + *Stellaria discolor* Turcz),包括样方3、14、15、17,主要分布于海拔2 197~2 410 m。乔木层主要以天山云杉为主,郁闭度为0.17~0.76。草本主要有线叶蒿草(*Kobresia capillifolia* (L.) R. Br)、天山羽衣草、珠芽蓼(*Polygonum viviparum* L.)等,盖度为67%。

群落III 天山云杉+珠芽蓼(*Picea tianschanica* Rupr. + *Polygonum viviparum* L.),包括样方9和11,主要分布于海拔2 231~2 236 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度在0.62~0.93之间。草本主要以高山羊角芹、珠芽蓼、白花车轴草(*Trifolium repens* L.)等为主,盖度为67.5%。

群落IV 天山云杉+准葛尔繁缕(*Picea tianschanica* Rupr. + *Stellaria soongarica* Roshev),包括样方16、25、26、27、29、30、34和35,主要分布于海拔

2 200~2 295 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.29~0.61。灌木有几株铁线莲(*Clematis florida* Thunb)零星分布。草本主要以高山羊角芹、天山羽衣草、准葛尔繁缕等为主,少量黑穗苔草、珠芽蓼等,盖度为56%。

群落V 天山云杉+问荆(*Picea tianschanica* Rupr. + *Equisetum arvense* L),包括样方7和33,分布于海拔2 251~2 409 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.38~0.72。草本层以天蓝岩菊、高山羊角芹、黑穗苔草等为主,伴有蕨类问荆,盖度为60%。

群落VI 天山云杉+蒲公英(*Picea tianschanica* Rupr. + *Taraxacum officinale* Wigg),包括样方4、5、28,分布于海拔2 254~2 421 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.21~0.54。草本主要以天蓝岩菊、高山羊角芹、蒲公英等,伴有少量多榔菊(*Doronicum altaicum* Z. X. An),草本盖度为75%。

群落VII 天山云杉+线叶蒿草-蒲公英(*Picea tianschanica* Rupr. + *Kobresia capillifolia* (L.) R. Br-*Taraxacum officinale* Wigg),包括样方1、2、20,分布于海拔2 059~2 235 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.25~0.89。草本主要以黑穗苔草、白花车轴草、翻白繁缕,伴有少量中亚假龙胆(*Gentianella turkestanorum* (Gand.) Ma)、长腺小米草(*Euphrasia hirtella* Jord. ex Reuter),盖度为88%。

群落VIII 天山云杉+白花车轴草(*Picea tianschanica* Rupr. + *Trifolium repens* L.),包括样方8、19、21,分布于海拔2 055~2 211 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.43~0.60。草本主要以白花车轴草、高山羊角芹为主,伴有少量厚叶美花草(*Callianthemum alatavicum* Freyn)、老芒麦(*Elymus sibiricus* Linn)、鸢尾等,盖度83.5%。

群落IX 天山云杉+凤仙花(*Picea tianschanica* Rupr. + *Impatiens balsamina* L.),包括样方6、10、12、13,分布于海拔2 186~2 429 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.21~0.64。草本主要以天蓝岩菊、高山羊角芹,伴有凤仙花、山黧豆(*Lathyrus quinquenervius* (Miq.) Litv)、垂穗披碱草(*Elymus nutans* Griseb)等,草本盖度83%。

群落X 天山云杉+山地糙苏(*Picea tianschanica* Rupr. + *Phlomis oreophila* Kar. et Kir),包括样方23、44、46,分布于海拔1 798~2 040 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为0.40~0.86。灌木很少,有几株铁线莲、库页岛悬钩子(*Rubus sachalinesis* Levl)、

小斑叶兰。草本以高山羊角芹、老芒麦、山地糙苏等为主,伴有少量小花柳叶菜(*Epilobium parviflorum* Schreber)、鸢尾,盖度为65%。

群落 XI 天山云杉 + 鸢尾(*Picea tianschanica* Rupr. + *Iris tectorum* Maxim),包括样方 38、40、45,分布于海拔 1 847 ~ 2 012 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为 0.33 ~ 0.38。灌木有少量的铁线莲、库页岛悬钩子、小斑叶兰、疏花蔷薇(*Rosa laxa* Retz)、阿特曼忍冬(*Lonicera altmanni* Rgl. et Schmalh)。草本以高山羊角芹、鸢尾、老芒麦为主,伴有少量新疆黄精(*Polygonatum roseum* (Ldb.) Kurth)、直立老鹳草(*Geranium rectum* Trautv)等,盖度为 70%。

群落 XII 天山云杉 + 黑花苔草(*Picea tianschanica* Rupr. + *Carex melanatha* C. A. Mey),包括样方 37、39,分布于海拔 1 894 ~ 2 021 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为 0.27 ~ 0.62。灌木有少量阿特曼忍冬、铁线莲。草本以高山羊角芹、天蓝岩菊为主,伴有黑花苔草、山地糙苏、北方拉拉藤等,盖度为 65% ~ 67%。

群落 XIII 天山云杉 + 天山桦 + 新疆党参 - 珠芽

蓼(*Picea tianschanica* Rupr. + *Betula tianschanica* Rupr. + *Codonopsis clematidea* (Schrenk) Clarke-*Polygonum viviparum* L.),包括样方 36、41、42、47,分布于海拔 1 794 ~ 2 027 m。乔木层以天山云杉为主,伴有少量天山桦,郁闭度为 0.39 ~ 0.82。灌木有少量阿特曼忍冬、铁线莲、疏花蔷薇。草本以高山羊角芹、鸢尾、天蓝岩菊为主,伴有苔草、新疆党参、车前草、天山卷耳(*Cerastium tianschanicum* Schischk)等,草本盖度为 64% ~ 75%。

群落 XIV 天山云杉 + 水杨梅(*Picea tianschanica* Rupr. + *Adina rubella* Jacq),包括样方 18、43,分布于海拔 1 844 ~ 2 017 m。乔木层以天山云杉为主,郁闭度为 0.39 ~ 0.82。灌木有少量水杨梅、铁线莲、库页岛悬钩子、疏花蔷薇。草本以高山羊角芹、老芒麦、北方拉拉藤,伴有少量假报春、杂景天(*Sedum hybridum* L.)、山黧豆、裂叶毛茛(*Halerpestes tricuspis* Maxim.)、暗紫耧斗菜(*Aquilegia atrovinosa* Popov ex Gamajun.)、叉繁缕(*Stellaria dichotoma* L.)、翻白繁缕等,盖度为 83%。

表 1 天山云杉林群落及环境特征

Table 1 Forest communities and their environmental characteristics in *Picea tianschanica*

群落 No.	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/°	坡位 Slope position	郁闭度 Crown density
I	2 091 ~ 2 340	7 ~ 24	上、中坡 Up and middle slope	0.36 ~ 0.45
II	2 197 ~ 2 410	9 ~ 15	上、中坡 Up and middle slope	0.17 ~ 0.76
III	2 231 ~ 2 236	26 ~ 27	上、中坡 Up and middle slope	0.62 ~ 0.93
IV	2 200 ~ 2 295	10 ~ 15	上、中坡 Up and middle slope	0.29 ~ 0.61
V	2 251 ~ 2 409	9 ~ 13	上、中坡 Up and middle slope	0.38 ~ 0.72
VI	2 254 ~ 2 421	10 ~ 15	中坡 middle slope	0.21 ~ 0.54
VII	2 059 ~ 2 235	4 ~ 23	中、下坡 middle and down slope	0.25 ~ 0.89
VIII	2 055 ~ 2 211	12 ~ 22	上、中坡 Up and middle slope	0.17 ~ 0.60
IX	2 186 ~ 2 429	14 ~ 30	上、中坡 Up and middle slope	0.21 ~ 0.64
X	1 798 ~ 2 040	28 ~ 41	中、下坡 middle and down slope	0.40 ~ 0.86
XI	1 847 ~ 2 012	20 ~ 37	上、中、下坡 Up, middle and down slope	0.33 ~ 0.38
XII	1 894 ~ 2 021	25 ~ 32	上、中坡 Up and middle slope	0.27 ~ 0.62
XIII	1 794 ~ 2 027	28 ~ 37	中、下坡 middle and down slope	0.41 ~ 0.62
XIV	1 844 ~ 2 017	17 ~ 19	中坡 middle slope	0.39 ~ 0.82

3.2 森林群落 RDA 排序

以研究区天山云杉林群落的环境因子、采伐强度因子数据矩阵和物种数据矩阵为依据,对 47 个样方进行冗余分析(RDA),根据前两个排序轴建立群落与影响因子、物种与影响因子的二维排序图。

3.2.1 群落与环境因子的相关性 由表 2 可见,前四个排序轴累计解释了物种与环境关系的 88.4%。其中:第一轴解释了物种与环境关系的 64.9%,说明第一轴在群落与环境解释中起主导作用。根据蒙

特卡罗检验得到,第一轴和前四轴所代表的环境因子和物种之间呈极显著相关($P < 0.01$) (第一轴: $F = 12.690$, $P = 0.001$; 前四轴: $F = 2.852$, $P = 0.001$)。

图 2 显示了 47 个样方在第一轴 (AX1) 和第二轴 (AX2) 的分布情况,每个样方在坐标平面的位置反映了其所在群落的生态学特性。从样方分布情况来看,与 TWINSpan 分类结果基本相符。

综合样方二维排序图(图 2)、排序轴与影响因

子的相关性(表3)可知,RDA 排序第1轴主要反映了群落与海拔、坡度、采伐强度的关系,其中:海拔与第1轴成负相关(相关系数 -0.8489),采伐强度与第1轴成负相关(相关系数 -0.5681),坡度与第1轴成正相关(相关系数 0.7957)。在这3个相关因子中,海拔与第1轴的相关系数最高,且成负相关,可见第1轴主要反映植物群落随海拔梯度的变化,即沿RDA横轴从左向右,海拔、采伐强度逐渐降低,坡度逐渐升高。第2轴主要反映了群落与采伐强度、坡位等的关系,采伐强度、坡位、郁闭度与第2轴成负相关,相关系数分别为 -0.5180 、 -0.1472 、 -0.1633 ,海拔、土壤含水量与第2轴成正相关,相

关系数为 0.2083 、 0.1314 。其中采伐强度与第二轴的相关系数最高,且成负相关,可见第2轴主要反映植物群落采伐强度的变化,即沿RDA纵轴从下到上,采伐强度逐渐减小。第3轴主要反映了土壤pH值和采伐强度的变化,相关系数分别为 0.4487 和 0.2015 。第4轴主要反映了土壤含水量的变化,相关系数为 0.3423 。

综上所述,RDA排序结果基本印证了TWINS-PAN的分类结果,每个群落类型都有各自的分布范围,群落特征明显。影响研究区天山云杉林群落分布的主要因子有海拔、坡度、土壤PH值、土壤含水量及森林的采伐强度。

表2 RDA排序轴的特征值及其与环境因子的关系

Table 2 The eigenvalues and correlation coefficients of environmental factors for first four axes of RDA

环境因子与采伐强度 Environmental factors and cutting intensity factor	RDA 排序轴 Axes			
	第一轴 Axis1	第二轴 Axis2	第三轴 Axis3	第四轴 Axis4
海拔高度 Altitude	-0.8489^{**}	0.2083^*	0.0882	0.0490
坡度 Slope	0.7957^{**}	-0.0194	0.1325	0.2037^*
坡位 Location	0.1700	-0.1472	-0.1844	0.2733^*
坡向 Aspect	0.0582	0.0482	0.1367	-0.0170
土壤含水量 Water content	-0.5307^*	0.1314	0.1231	0.3423^{**}
郁闭度 Canopy	-0.0509	-0.1633	-0.1832	-0.1558
土壤 pH 值 pH value	0.4732^*	0.1001	0.4487^{**}	-0.2176^*
采伐强度 Intensity	-0.5681^{**}	-0.5180^{**}	0.2015^*	-0.0895

注: * 显著相关($P < 0.05$), ** 极显著相关($P < 0.01$)

表3 森林群落环境、采伐强度因子与RDA排序轴的相关性

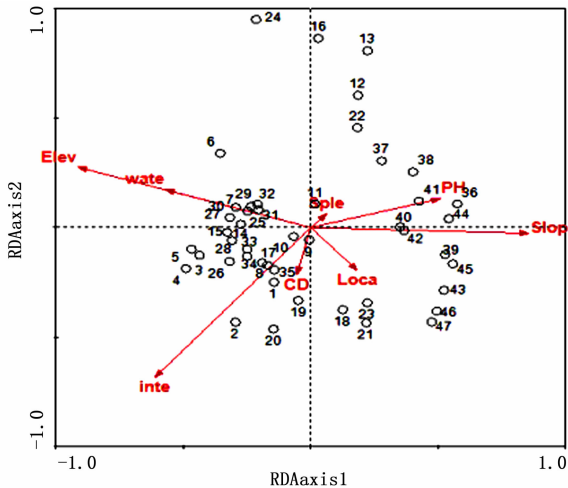
Table 3 Correlation between environment factor, intensity of cut factor and RDA ordination axes for forest community in *Picea tianschanica*

排序轴 Sort axis	第一轴 Axis1	第二轴 Axis2	第三轴 Axis3	第四轴 Axis4
特征值 Eigenvalues	0.252	0.052	0.021	0.019
物种 - 与环境因子相关性 Species-environment correlations	0.928	0.758	0.771	0.672
物种数据累计百分比方差 Cumulative percentage variance of species data/%	25.2	30.4	32.5	34.4
物种 - 环境关系的累计百分比方差 Cumulative percentage variance species-environment relation/%	64.9	78.1	83.6	88.4

3.2.2 物种与环境因子 RDA 排序 本研究共调查47个样方,植物种类共计33科65属68种,筛选出森林群落的30种主要优势种,将主要优势种进行RDA排序,通过分析物种RDA二维排序图(图3)可知,群落物种分布格局揭示的环境梯度的变化与样方群落的分布情况基本相同。各群落物种在坐标轴上的平面位置反映了该物种所适宜的生活环境条件。

海拔与土壤含水量的箭头几乎重合,位于排序图第2象限的珠芽蓼、叉繁缕、九层塔、准噶尔繁缕

的箭头与海拔、土壤含水量的箭头夹角较小,且与海拔、土壤含水量方向相同,说明这些物种适宜生长在高海拔、湿润的环境中。位于第3象限的蒲公英、长线小米草、白花车轴草、黑穗苔草等的箭头与群落采伐强度的箭头夹角较小,且方向相同,说明这些植物适宜生长在大强度采伐后,具有充足光照的更新林分中。而高山羊角芹、凤仙花等的箭头与采伐强度、土壤PH值的箭头夹角较小,且与采伐强度方向相反,与土壤pH值方向相同,说明这些植物主要分布于采伐强度小、偏碱性土壤的环境下。黑花苔草、线



注: Elev:海拔 Altitude; Slop:坡度 Slope; Loca:坡位 Location; CD:郁闭度 Crown density; Wate:土壤含水量 Water content; SpLe:坡向 Aspect; pH:pH 值 pH value; Inte:采伐强度 Intensity

图2 天山云杉林群落 47 个样方的 RDA 二维排序图 (阿拉伯数字表示样方编号)

Fig. 2 Two-dimensional RDA ordination diagram of 47 quadrats of forest community (The numerical numbers are the identification code for each plot)

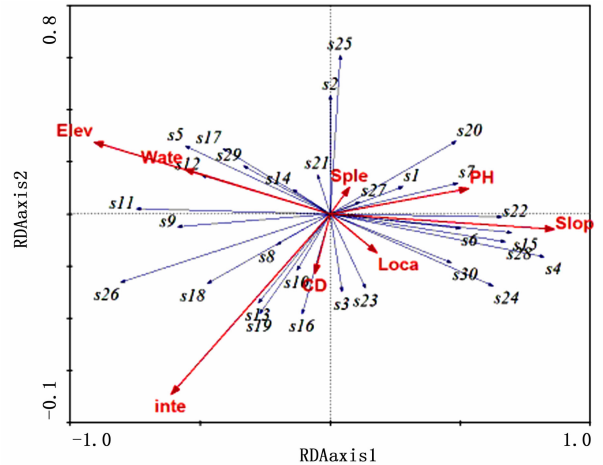
叶蒿草与坡度夹角较小,且方向相反,说明这些植物主要分布于坡度较缓的地方。山地糙苏、山黧豆、铁线莲、老芒麦等植物主要分布于坡度较缓的环境中,车前草、水杨梅等主要分布于荫庇的环境条件,天蓝岩苣、小斑叶兰等更多的分布在温暖、向阳的环境下。

由此,影响植物群落分布的环境因子主要是海拔、坡度,群落采伐强度的作用也很明显。而物种的分布又决定了群落的格局分布情况。

3.2.3 群落分布影响因子的定量分离 根据 RDA 的分析结果,采伐强度和环 境因子共同决定了群落分布格局。依据 Borcard 等人的方法,分离了环境因子和采伐强度对群落分布格局的影响,得到结果如下:(1)环境变量对森林群落格局解释率占 33.9%;(2)采伐强度对森林群落格局解释率占 5%;(3)两者共同解释率占 17.9%;(4)未解释的部分占 43.2%。未能解释的部分主要包括群落之间的相互影响及人为干扰等因素造成。

4 结论

本研究将新疆天山山脉中段典型中山带的天山云杉林划分出了 14 个群落类型,海拔、坡度、土壤含水量、土壤 pH 值等环境因子和采伐干扰因素共同



注: Elev:海拔 Altitude; Slop:坡度 Slope; Loca:坡位 Location; CD:郁闭度 Crown density; Wate:土壤含水量 Water content; SpLe:坡向 Aspect; pH:pH 值 pH value; Inte:采伐强度 Intensity

1 阿特曼忍冬 (*Lonicera altmanni* Rgl. et), 2 小斑叶兰 (*Goodyera repens* (L.) R. Br), 3 水杨梅 (*Geum aleppicum* Jacq), 4 鸢尾 (*Iris tectorum* Maxim), 5 珠芽蓼 (*Polygonum viviparum* L), 6 山黧豆 (*Lathyrus quinquenerius* (Miq.) Litv), 7 凤仙花 (*Impatiens balsamina* L), 8 长腺小米草 (*Euphrasia hirtella* Jord. ex Reuter), 9 线叶蒿草 (*Kobresia capillifolia* L), 10 黑穗苔草 (*Carex melanocephala* Turcz. ex Bess), 11 黑花苔草 (*Carex melanatha* C. A. Mey), 12 叉繁缕 (*Stellaria dichotoma* L), 13 翻白繁缕 (*Stellaria discolor* Turcz), 14 准噶尔繁缕 (*Stellaria soongorica* Roshev), 15 老芒麦 (*Elymus sibiricus* Linn), 16 平车前 (*Plantago depressa* Willd), 17 九层塔 (*Ocimum basilicum* L), 18 蒲公英 (*Taraxacum officinale* Wigg), 19 白花车轴草 (*Trifolium repens* L), 20 高山羊角芹 (*Aegopodium alpestre* Ldb), 21 林地早熟禾 (*Poa nemoralis* L), 22 山地糙苏 (*Phlomis oreophila* Kar. et Kir), 23 森林草莓 (*Fragaria vesca* L), 24 北方拉拉藤 (*Galium boreale* Linn), 25 天蓝岩菊 (*Cicerbita azurea* (Ldb.) Beau), 26 天山羽衣草 (*Alchemilla tianschanica* Juz), 27 阿克苏黄芪 (*Astragalus akeuensis* Bge), 28 铁线莲 (*Clematis florida* Thunb), 29 天山云杉 (*Picea tianschanica* Rupr.), 30 天山桦 (*Betula tianschanica* Rupr)

图3 天山云杉林群落主要物种与环境因子、采伐强度的 RDA 排序图

Fig. 3 RDA ordination of main species and environmental factors and cutting intensity in *Picea tianschanica* forest community in Tianshan Mountain

决定了植物群落类型及其分布格局,格局解释率高达 56.8%,未解释的部分占 43.2%,表明研究区的环境因子和采伐干扰因子解释能力较好,群落空间格局较为复杂。同时,森林采伐是影响森林群落格局的重要干扰因素,通过新疆天然林保护工程的实施,近 20 年来伐后新疆天山云杉林群落植被恢复相对较好,从森林资源经营角度出发,森林采伐干扰的

表 4 植物群落变化环境解释的定量分析

Table 4 Environmental interpretation to the variation of *P. tianschanica* community

分析内容 Content analysis	典范特征值 Canonical eigenvalues	解释程度 Contribution rate/%
总特征值 Sum of eigenvalues	1	
所有环境因子 All environment factors	0.625	62.5
采伐强度因子 Cutting intensity factor	0.122	12.2
去除采伐强度后环境因子 The environment factor after removing the effect of cutting intensity	0.339	33.9
去除环境因子后采伐强度因子 The cutting intensity after removing the effect of environment factors	0.05	5
环境因子和采伐强度因子的交互作用 Species abundance variation explained by crossed intensity-environmental factors	0.179	17.9
未解释部分 Unexplained species abundance variation	0.432	43.2

强弱是新疆天山云杉林可持续经营不容忽视的重要因素。

5 讨论

山地森林是新疆陆地生态系统的主体,是调节、涵养水源的绿色水库^[23]。近 20 年来,新疆林业实现了以木材生产为主向以生态建设为主的历史性转变,尤其是在新疆天然林保护工程实施 20 年的特定历史时期,从生态学视角揭示天山云杉林的群落特征及分布格局,定量分析天山云杉林群落结构与环境因子、采伐强度之间的关系,对评价新疆天然林保护工程实施后森林资源更新恢复情况具有非常重要的现实意义。本研究以分布于天山山脉典型中山带的新疆农业大学实习林场天山云杉林为研究对象,定量解析了天山云杉林群落分布格局与环境因子之间的关系。

植被数量分类是根据各样方或植物种间的相似关系将其分成若干组,使组内的各样方或植物种相当,而组间则尽量相异,从而实现植物群落的客观分类,反映出一定的生态规律^[24]。数量分类方法很多,其中,应用最为普遍的就是 TWINSpan 分类,本文用该方法将天山云杉林划分出 14 个群落类型,每个群落类型都有各自的分布范围,群落特征明显。基本反映了群落类型及特征。

排序是研究植被连续变化的方法,是指用数学方法将样方或植物种排列在一定的空间内,使得排序轴反映一定的生态梯度,从而解释植物物种、植物

群落的分布与环境之间的关系^[25]。对较短环境梯度下的多个环境指标进行统计检验,并确定对群落变化具有最大解释能力的最小变量组^[26],本研究首先对群落进行除趋势对应分析 DCA 排序,得到 DCA 排序的第一轴梯度长度为 $2.448 < 3$,因此选线性模型(RDA)。采用 RDA 排序基本印证了 TWINSpan 分类结果,各样地及物种在 RDA 坐标轴上的平面位置反映了该样方所在群落的生态学特性及物种适宜生存的环境条件。基本反映了群落结构和分布情况。

RDA 分析结果基本解释了影响群落分布的环境因子、采伐强度与群落的关系。在山区,海拔作为山地植物群落分布格局的首要控制因子,通过太阳辐射和降水的空间再分配,使植被类型发生变化,进而决定植被的分布格局。从而影响群落类型的结构组成,最终决定山地植被的群落类型^[27-31]。本研究中云杉林群落的分布受海拔梯度影响较为明显。其次,坡度对群落分布影响也很大,坡度主要影响着环境湿度,坡度越陡,土壤水容易流失,湿度就越小,土壤也较为贫瘠。坡度的变化能够创造出一些小生境条件,由于物种生境条件的限制,使得它们会以斑块状的形式存在于特定的小生境内。从而,坡度间接影响了物种组成和群落格局^[32-33]。此外,土壤因子也是影响群落分布的重要因子,本研究就土壤含水量、土壤 pH 值对群落格局进行分析,发现两者对群落分布都有着重要影响。土壤受到地形因子、采伐因子等的影响,其物理、化学性质直接作用于植被发生、生长和分布。

就环境因子而言,本研究对群落影响最大的因子有海拔、坡度、土壤含水量和土壤 pH 值。这与刘秋峰等人对混沟地区的研究结果一致^[34]。而采伐对群落格局及物种分布的影响是多方面的,国内外研究方向主要包括不同采伐强度对林分组成、结构、植被生长状况、林内光照因子和土壤养分因子的影响等。Sean C 等对花旗松(*Pseudotsuga menziesii* Mirbel Franco)林分树冠进行采伐,结果表明经过采伐后,林下植被物种丰富度增加^[35]。熊有强发现不同森林抚育强度对杉木林生态系统中植物群落变化具有非常重要的影响^[36]。不同采伐强度会影响林分光照因子,而光照因子的变化又决定了林分的温度、含水量及林下植被的空间分布格局。同时,不同采伐强度与土壤养分因子状况也具有非常密切的联系,杨秀云等人研究表明采伐后土壤 pH 值升高,空

间自相关变异减少,随机性变异增强^[37]。可见,采伐强度因子是通过改变外部环境因子而间接影响着森林植物群落的格局分布以及物种多样性。

本研究中变量分离结果表明环境因子与采伐强度因子共同解释了群落格局的56.8%。研究区天山云杉林群落乔木层主要为天山云杉,灌木层物种非常少,植物种类大多以草本为主。物种变异总特征值较小为1,与其他山地森林群落环境解释结果相比,小于喀纳斯的1.36^[38],松嫩平原的2.19^[39],说明研究区群落之间相似度高,竞争性小,主要影响因素是环境因子和采伐强度因子,其空间格局较为复杂。环境因子与采伐强度因子交互作用的解释率为17.9%,这主要与森林采伐干扰、海拔和坡度等因子共同决定了群落内光热资源分配以及土壤理化性质有关。环境因子与采伐强度因子未解释的部分占43.2%,这些主要与放牧、火干扰等其他因素有关,仍需要进一步开展研究。总体而言,本研究中因子定量分离的结果较好,解释率较高,说明选取的影响因子恰当,在一定程度上能反映群落的分布情况。

参考文献:

[1] 柴永福,岳明. 植物群落构建机制研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(15): 4557-4572.

[2] Motzkin G, Eberhardt R, Hall B, et al. Vegetation variation across Cape Cod, Massachusetts: environmental and historical determinants [J]. *Journal of Biogeography*, 2002, 29(10-11): 1439-1454.

[3] 任学敏. 太白山主要植物群落数量分类及其物种组成和丰富度的环境解释[D]. 杨凌, 西北农林科技大学, 2012.

[4] 姚俊宇, 齐锦秋, 张柳桦, 等. 人为干扰对碧峰峡山矾次生林群落物种多样性和土壤理化性质的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(10): 2942-2950.

[5] 陶玉柱, 邸雪颖. 火对森林土壤微生物群落的干扰作用及其机制研究进展[J]. 林业科学, 2013, 49(11): 146-157.

[6] 徐崇华, 李智宏. 森林采伐对群落结构的影响[J]. 绿色科技, 2015(4): 35-40.

[7] 齐麟, 赵福强. 不同采伐强度对阔叶红松林主要树种空间分布格局和物种空间关联性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 46-55.

[8] 程平. 新疆喀纳斯国家地质公园森林群落类型及其与环境因子之间的关系研究[D]. 乌鲁木齐, 新疆农业大学, 2009.

[9] 王国宏, 杨利民. 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2001(6): 733-740.

[10] Borcard D, Legendre P, Drapeau P. Partialling out the spatial component of ecological variation[J]. *Ecology*, 1992, 73(3): 1045-1055.

[11] 王立权. 新疆天山云杉群落结构特征研究[D]. 保定, 河北农业大学, 2006.

[12] 新疆森林编辑委员会. 新疆森林[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出

版社, 1989.

[13] 刘贵峰, 刘玉平, 郭仲军, 等. 天山云杉林生物量及其变化规律的研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5): 13-17.

[14] 张毓涛, 李吉攻, 常顺利, 等. 天山中部天山云杉种群空间分布格局及其与地形因子的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2799-2806.

[15] 张震, 刘萍, 丁易, 等. 天山云杉林不同发育阶段种群分布格局研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(3): 75-79.

[16] 张震, 刘萍, 丁易, 等. 天山云杉林物种组成及其种群空间分布格局[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(5): 157-160.

[17] 李兆慧. 天山云杉自毒作用与自毒物质的鉴定[D]. 杭州, 浙江大学, 2011.

[18] 马晓瑜. 天山北坡中部不同年龄和海拔高度天山云杉天然更新幼苗功能性状研究[D]. 乌鲁木齐, 新疆农业大学, 2014.

[19] 高明梅, 刘萍, 姚娟, 等. 天山中部林区生态旅游环境容量分析[J]. 新疆农业大学学报, 2008(3): 91-94.

[20] 朱军涛, 于静洁, 王平, 等. 额济纳荒漠绿洲植物群落数量分类及其与地下水环境的关系分析[J]. 植物生态学报, 2011, 35(5): 480-489.

[21] 张海燕, 刘彬. 博斯腾湖湖滨湿地植被数量分类与排序[J]. 植物科学学报, 2015, 33(1): 36-43.

[22] 张光富, 宋永昌. 安徽板桥自然保护区的植被初步研究[J]. 广西植物, 2001(1): 14-20.

[23] 刘贵峰. 天山云杉种群与群落特征及其地理变化规律的初步研究[D]. 北京, 中国林业科学研究院, 2008.

[24] 阳含熙, 卢泽恩. 植物生态学的数量分类方法[M]. 北京: 科学出版社, 1981.

[25] 张金屯. 数量生态学(第2版)[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[26] Nobes K, Uthicke S, Henderson R. Is light the limiting factor for the distribution of benthic symbiont bearing foraminifera on the Great Barrier Reef[J]. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 2008, 363(1): 48-57.

[27] Parker A J. The topographic relative moisture index: an approach to soil moisture assessment in mountain terrain[J]. *Physical Geography*, 1982, 3: 160-168.

[28] Tamura T. Landform-soil features of the humid temperate hills[J]. *Pedologist*, 1987, 31: 135-146. (in Japanese).

[29] Chen Z S, Hsieh C F, Jiang F Y, et al. Relations of Soil Properties to Topography and Vegetation in a Subtropical Rain Forest in Southern Taiwan[J]. *Plant Ecology*, 1997, 132(2): 229-241.

[30] McDonald D J, Cowling R M, Boucher C. Vegetation environment relationships on a species-rich coastal mountain range in the fynbos biome (South Africa)[J]. *Vegetatio*, 1996, 123(2): 165-182.

[31] 王敏, 周才平. 山地植物群落数量分类和排序研究进展[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(4): 126-130.

[32] Hennenberg K J, Bruelheide H. Ecological investigations on the northern distribution range of *Hippocrepis comosa* L. in Germany [J]. *Plant Ecology*, 2003, 166: 167-188.

[33] Pigott C D. Experimental studies on the influence of climate on the geographical distribution of plants[J]. *Weather*, 1975, 30: 82

- 90.

- [34] 刘秋峰, 康慕谊, 刘全儒. 中条山混沟地区森林乔木种的数量分类与环境解释[J]. 植物生态学报, 2006, 30(3): 383-391.
- [35] Thomas S C, Halpern C B, Falk D A, *et al.* Plant Diversity in Managed Forests: Understory Responses to Thinning and Fertilization[J]. *Ecological Applications*, 1999, 9(3): 864-879.
- [36] 熊有强, 盛炜彤, 曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(4): 408-413.
- [37] 杨秀云, 韩有志, 宁 鹏, 等. 砍伐干扰对华北落叶松林下土壤有效氮含量空间异质性的影响[J]. 环境科学学报, 2011, 31(2): 430-439.
- [38] 程 平, 潘存德, 朱跃峰, 等. 新疆喀纳斯旅游区森林群落格局分析及其环境解释[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(5): 367-373.
- [39] 辛晓平, 高 琼, 李镇清, 等. 松嫩平原碱化草地植物群落分布的空间和环境因素分析[J]. 植物学报, 1999(7): 102-108.

Plant Communities Pattern of *Picea tianschanica* Forest and Their Interrelations with Environmental Factors in Tianshan Area

LIU Meng-ting^{1,2}, WANG Zhen-xi^{1,2}, WANG Ya-pei^{1,2}, LI Qing^{1,2}, SHI Yu-xia^{1,2}

(1. Collage of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

2. Key Laboratory of Forestry Ecology and Industrial Technology in the Arid Area, Xinjiang Education Department, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: [Objective] To classifying the *Picea tianschanica* forest communities and study the effects of cutting intensity and environmental factors on the community pattern the purpose of sustainable management of *Picea tianschanica* forest. [Method] Based on field investigation, two-way indicator species analysis (TWINSpan) was used to classify 47 *Picea tianschanica* communities, The redundancy analysis (RDA) was used to sort the community types and quantitatively isolate the factors affecting the community pattern. [Result] (1) The 47 survey plots were classified into sixteen types of forest communities by TWINSpan; (2) According to RDA sort diagram, the main environmental factors affecting the communities distribution of *Picea tianschanica* forest were elevation, slope and cutting intensity of forest. (3) The interpretation rate of environmental variables to forest community pattern accounted for 33.9%, The explanation part of the cutting intensity disturbance factors in the distribution pattern of the community accounts for 5%, the percentage of the interaction between the two factors was about 17.9%. In addition, 43.2% of distribution pattern was undetermined. The unexplainable part mainly includes the mutual influence between communities and human interference. [Conclusion] The *Picea tianschanica* forest in Tianshan composes of 14 community types, the community distribution pattern are controlled by cutting intensity and environment factor. The diversity of community indicates that after the implementation of natural forest protection project, the vegetation restoration is well, and the magnitude of cutting intensity is great significance to forest sustainable management.

Keywords: *Picea tianschanica*; community; classification; ordination; environmental interpretation

(责任编辑: 崔 贝)