

## 云南鸡足山山桂花和野桂花群落的格局与环境解释

李韦鸿<sup>a,b</sup>, 杨国栋<sup>a,b</sup>, 李涌福<sup>a,b</sup>, 王贤荣<sup>a,b</sup>, 从睿<sup>a,b</sup>, 段一凡<sup>a,b,①</sup>, 朱轶人<sup>c</sup>

(南京林业大学: a. 南方现代林业协同创新中心, b. 生物与环境学院, c. 林学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 采用经典样地法, 在云南鸡足山的山桂花 (*Osmanthus delavayi* Franch.) 和野桂花 [*O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green] 群落分别设置 5 和 7 个样地, 对 2 个群落的物种组成进行调查; 采用自组织特征映射网络 (SOM) 对 2 个群落的 48 个样方进行分类, 对群落类型及其与环境因子之间的关系进行分析, 并采用多元回归树对分类结果进行检验。结果表明: 2 个群落分布植物 68 科 114 属 167 种, 其中, 蕨类植物 5 科 8 属 10 种, 裸子植物 2 科 2 属 2 种, 被子植物 61 科 104 属 155 种, 单种科所占比例达 39.7%。山桂花和野桂花在各自群落的乔木层和灌木层中的重要值均较高, 伴生种多属壳斗科 (Fagaceae) 和杜鹃花科 (Ericaceae)。物种排序结果显示: 高海拔样地以山桂花为优势种, 主要伴生种为川滇高山栎 (*Quercus aquifolioides* Rehd. et Wils.)、绒毛杜鹃 (*Rhododendron pachytrichum* Franch.)、火绒草 [*Leontopodium leontopodioides* (Willd.) Beauv.]、亮叶杜鹃 (*Rhododendron vernicosum* Franch.) 和银叶杜鹃 (*Rhododendron argyrophyllum* Franch.); 低海拔样地以野桂花、滇青冈 (*Cyclobalanopsis glaucoides* Schott.) 和华南铁角蕨 (*Asplenium austrochinense* Ching) 为优势种, 主要伴生种为头状四照花 (*Cornus capitata* Wall.)、大果冬青 (*Ilex macrocarpa* Oliv.)、亮叶杜鹃、银叶杜鹃和黄水枝 (*Tiarella polyphylla* D. Don)。SOM 将 48 个样方划分为 6 个群落类型, 6 个群落类型在 SOM 的拓扑映射图上明显分开且界限明显; 海拔、坡度和坡向是影响山桂花群落分布的主要因子, 海拔、土壤含水量和坡位是影响野桂花群落分布的主要因子, 其中海拔是影响群落类型和分布的最主要因子。多元回归树的分类结果与 SOM 一致。上述研究结果显示: SOM 应用于群落研究可以摆脱传统分类方法的二维限制, 揭示群落物种和植物分布与环境因子间的关系, 本研究结果为山桂花和野桂花 2 种中国特有香花植物的群落管理和种质资源保护提供理论参考。

**关键词:** 自组织特征映射网络 (SOM); 山桂花; 野桂花; 群落分类; 环境排序

中图分类号: Q948.3; S685.13 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)04-0053-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.04.06

**Pattern and environmental interpretation of *Osmanthus delavayi* and *O. yunnanensis* communities in Jizu Mountain of Yunnan Province** LI Weihong<sup>a,b</sup>, YANG Guodong<sup>a,b</sup>, LI Yongfu<sup>a,b</sup>, WANG Xianrong<sup>a,b</sup>, CONG Rui<sup>a,b</sup>, DUAN Yifan<sup>a,b,①</sup>, ZHU Yiren<sup>c</sup> (Nanjing Forestry University: a. Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, b. College of Biology and the Environment, c. College of Forestry, Nanjing 210037, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(4): 53-62

**Abstract:** Taking classic plot method, 5 and 7 plots were set up in *Osmanthus delavayi* Franch. and *O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green communities in Jizu Mountain of Yunnan Province, respectively, species composition of two communities was surveyed; 48 quadrats of two communities were classified by self-organizing feature map (SOM), community types and their relationships with environmental factors were analyzed, and classification result was tested by multiple regression trees. The results show that there are 167 species in 114 genera belonging to 68 families in two communities, in which, there are 10 species of ferns in 8 genera belonging to 5 families, 2 species of gymnosperms in 2 genera belonging to 2 families, and 155 species of angiosperms in 104 genera belonging to 61 families. The percentage of

收稿日期: 2018-04-09

基金项目: 江苏省高校自然科学研究面上项目 (15KJB180007)

作者简介: 李韦鸿 (1994—), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 从事植物群落学和系统分类研究。

①通信作者 E-mail: yifan419@hotmail.com

single species families is 39.7%. Important values of *O. delavayi* and *O. yunnanensis* are both high in arbor and shrub layers of their own communities, and their accompanying species are mostly belonging to Fagaceae and Ericaceae. The result of species ordination shows that the dominant species in plots at high elevation is *O. delavayi*, and the main accompanying species are *Quercus aquifolioides* Rehd. et Wils., *Rhododendron pachytrichum* Franch., *Leontopodium leontopodioides* (Willd.) Beauv., *Rhododendron vernicosum* Franch., and *Rhododendron argyrophyllum* Franch.; the dominant species in plots at low elevation are *O. yunnanensis*, *Cyclobalanopsis glaucoides* Schott., and *Asplenium austrochinense* Ching, and the main accompanying species are *Cornus capitata* Wall., *Ilex macrocarpa* Oliv., *R. vernicosum*, *R. argyrophyllum*, and *Tiarella polyphylla* D. Don. 48 quadrats are divided into 6 community types by SOM, 6 community types have their own regions, and their boundaries on SOM topology map are obvious. Elevation, slope, and aspect are the main factors affecting the distribution of *O. delavayi* community, while elevation, soil moisture content, and slope position are the main factors affecting the distribution of *O. yunnanensis* community, in which elevation is the most important factor affecting type and distribution of community. The classification result of multivariate regression trees is consistent with that of SOM. It is suggested that SOM applied for community research can get rid of two-dimensional limitation of traditional classification methods, and reveal the relationships of community species and plant distribution with environmental factors, and these findings provide a theoretical reference for community management and germplasm resources protection of two Chinese endemic fragrant species of *O. delavayi* and *O. yunnanensis*.

**Key words:** self-organizing feature map (SOM); *Osmanthus delavayi* Franch.; *O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green; community classification; environment ordination

山桂花 (*Osmanthus delavayi* Franch.) 和野桂花 [*O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green] 隶属于木犀科 (Oleaceae) 木犀属 (*Osmanthus* Lour.), 均为中国特有香花植物, 也是木犀属中少有的春花植物, 四季常绿, 花朵芳香洁白, 食用和观赏价值较高, 是优良的园林绿化乔木或灌木。山桂花仅分布在云南、四川和贵州海拔 2 100~3 400 m 的区域<sup>[1]109-111</sup>, 已有研究集中在品种分类<sup>[2]</sup>、系统学<sup>[3]</sup>、花粉形态<sup>[4]</sup>及显微鉴别<sup>[5]</sup>方面, 近期相关研究较少。野桂花资源稀缺, 仅分布在云南、四川和西藏海拔 1 350~2 800 m 的区域<sup>[1]101-103</sup>, 目前对其研究仅限于群落特征<sup>[6]</sup>和化学成分<sup>[7]</sup>等方面, 有关野桂花分布的报道也较少。山桂花和野桂花分布范围狭窄但开发前景广阔, 云南鸡足山山顶树种过于单一造成病虫害加剧, 加之人类活动和环境变化造成山桂花和野桂花群落和分布受到极大的破坏, 亟待采取有效措施对其加以保护, 因此, 开展群落研究十分必要。

生物群落常被用来衡量生态系统质量<sup>[8]</sup>, 群落结构取决于多种环境因子的综合作用<sup>[9]</sup>。分类和排序是植被生态学研究用于研究群落与环境之间关系的基本手段<sup>[10]</sup>, 用以把对象分组或按照生态梯度排序, 解释其生态相关性<sup>[11]</sup>。植物生态学中常用的分类和排序方法有双向指示种分析 (two way indicator species analysis, TWINSpan)、除趋势对应分析

(detrended canonical correspondence analysis, DCCA) 以及典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA)<sup>[12-13]</sup>等, 但上述这些方法受二维限制对信息模糊或者多因子作用的情况会造成结果不精确或不适用。自组织特征映射网络 (self-organizing feature map, SOM) 可以实现对非线性、复杂数据的可视化, 输入样本后可自动将高维数据点降维, 将输入层和输出层神经元之间的连接强度组成权重矩阵, 通过权值调整使最后得到的二维映射层可以比较合理地反映样本的分布特征<sup>[14]</sup>。SOM 在足够多次迭代的情况下能实现很好的聚类效果<sup>[15-16]</sup>, 并已在生态学和航空航天等领域得到很好的应用<sup>[17-18]</sup>。苏日古嘎等<sup>[19]</sup>利用 SOM 对北京松山自然保护区山地草甸群落进行分类, 发现群落类型主要受海拔等环境因子的影响。目前, SOM 已广泛应用于群落分类和动态预测等方面<sup>[20-23]</sup>。针对云南鸡足山山桂花和野桂花分布区域环境因子多样的状况, SOM 相较传统方法有更好的适用性。

云南鸡足山海拔 2 300 m 以上的区域集中分布较多的山桂花和野桂花, 对研究二者群落特征有一定的代表性。笔者在调查中发现山桂花和野桂花在不同的海拔和土壤等环境条件下的分布区域和群落格局存在很大差异, 2 种植物群落的格局以及环境因子对其群落分布的影响尚不清楚。本研究采用 SOM 对

云南鸡足山的山桂花和野桂花群落进行研究,以期揭示 2 种植物不同的群落特点及其与环境因子之间的关系,从而更好地了解其生存现状,为山桂花和野桂花的后续研究和资源保护以及引种培育提供理论参考依据。

## 1 研究地概况和研究方法

### 1.1 研究地概况

云南鸡足山位于云贵高原滇西北宾川县境内(北纬 25°56′~26°00′、东经 100°20′~100°25′),地处金沙江干热河谷流域,受印度洋暖湿西南季风和大陆气团影响,夏季暖湿多雨,冬季低温干燥,属典型的亚热带半湿润气候特征。山体海拔 3 240 m,气候立体多样,垂直高度变化大,被 3 条较大的山谷割裂,形似鸡足,地形生境复杂多样,满足不同海拔、坡向和土壤的要求,对调查植物群落类型与环境的关系具有一定的代表性。山桂花和野桂花分布区域多为亚热带山地常绿-落叶阔叶混合林,鸡足山则以元江锥(*Castanopsis orthacantha* Franch.)、高山锥(*C. delavayi* Franch.)和滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides* Schott.)为上层优势种形成半湿润常绿阔叶林<sup>[24]</sup>。山体中下部年均温 11.9℃,最热月气温 17.3℃,最冷月气温 4.7℃,年降水量 1 192.3 mm,其中雨季降水量占 89%<sup>[25]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和指标观测 采用经典样地法按照海拔从低到高(2 300~3 200 m)分别设置面积 20 m×20 m 的山桂花样地 5 个以及野桂花样地 7 个,总面积 4 800 m<sup>2</sup>,每个样地再设置面积 10 m×10 m 的样方 4 个,并从左下开始按顺时针方向编号,按海拔从低到高编号 1~48,另外,每个样方中设置 1 个面积 5 m×5 m 草本层小样方。样地设置遵循种分布均匀、结构完整、层次分明、环境条件一致、群落中心部位避免过渡的原则。

对上述 48 个样方内胸径大于 1 cm 的乔木进行每木检尺,分别测量其胸径、树高和冠幅,并统计各树种株数;灌木和胸径小于 1 cm 的小乔木统计株数、盖度和生长情况;草本统计种类、盖度和生长情况。对 12 个样地的海拔、坡度、坡位、坡向以及土壤的厚度和含水量进行统计和测量。采用经纬仪测量海拔。采用坡度仪测量坡度。按照 Zhang 等<sup>[26]</sup>的方法划分

坡位和坡向,上坡位记为 1,中坡位记为 2,下坡位记为 3;采用罗盘仪测量坡向,规定正北为 0°,按照 45°进行划分,北坡记为 1,东北坡记为 2,西北坡记为 3,东坡记为 4,西坡记为 5,东南坡记为 6,西南坡记为 7,南坡记为 8,其中,北坡为阴坡,东北坡、西北坡和东坡为半阴坡,西坡、东南坡和西南坡为半阳坡,南坡为阳坡。参考文献[27-28],分别在样地的四角以及中间取样测量土壤的厚度和含水量,采用挖剖面的方式测量土壤厚度;采用环刀法取土样,烘干后称取质量,根据公式“土壤含水量=[(烘干前铝盒和土样的质量-烘干后铝盒和土样的质量)/(烘干后铝盒和土样的质量-烘干后铝盒的质量)]×100%”计算土壤含水量。

1.2.2 群落物种组成 参照恩格勒系统和哈钦松系统统计各样地科、属和种的数量,分析群落物种组成,研究亲缘关系,然后确定群落类型和结构<sup>[29]</sup>。

### 1.3 数据处理

1.3.1 重要值分析 参考管杰然等<sup>[30]</sup>的方法分别计算乔木、灌木和草本种类的重要值。乔木种类的重要值=(相对密度+相对优势度+相对频度)/3,灌木种类的重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3,草本种类的重要值=(相对高度+相对盖度+相对频度)/3。其中,相对密度=(某植物种类个体总数/所有植物种类个体总数)×100%,相对优势度=(某植物种类胸径总和/所有植物种类胸径总和)×100%;相对频度=(某植物种类频度总和/所有植物种类频度总和)×100%;相对盖度=(某植物种类盖度总和/所有植物种类盖度总和)×100%;相对高度=(某植物种类高度总和/所有植物种类高度总和)×100%。

1.3.2 SOM 分类排序 使用 SOM 对 48 个样方进行分类排序,输入样本后通过自主学习调整自动确定最佳匹配单元,将高维数据点降维、保序地映射到二维网格上<sup>[31]</sup>,得到样方分类排序的神经网络蜂巢图。使用 K-means 算法进行运算,通过计算戴维森堡丁指数(Davies-Bouldin index, DBI)评估 K-means 算法中 K 值(聚类数)的取值,DBI 值越小,说明在该 K 值下聚类效果越好<sup>[32]</sup>。SOM 详细计算过程参考文献[33-34]。SOM 分类和排序在 Matlab 7.14 平台上用 SOM 工具箱(SOM toolbox)完成。

1.3.3 多元回归树检验 参考赖江山等<sup>[35]</sup>的方法选择生境作为连续分布的森林群落的参考节点。采用多元回归树(multivariate regression trees, MRT)法

对山桂花和野桂花群落的48个样方进行SOM分类验证,将环境因子梯度作为分类节点,每次将样方二歧式分割,直至满足某一条件或不能再分割,然后用物种数据定义的样方划分类别,并采用交叉验证确定分类结果,使误差和MRT的规模尽可能小。MRT采用R语言mvpart\_1.6-1程序包中的mvpart函数进行运算。

## 2 结果和分析

### 2.1 山桂花和野桂花群落的种类组成

在调查的云南鸡足山山桂花和野桂花群落中分布植物167种,隶属于68科114属,其中,蕨类植物5科8属10种,裸子植物2科2属2种,被子植物61科104属155种。壳斗科(Fagaceae)、杜鹃花科(Ericaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、菊科(Asteraceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)、卫矛科(Celastraceae)和山茶科(Theaceae)等植物在群落中较为常见,在科组成中所占比例较大。在山桂花和野桂花群落中单种科所占比例较大,为39.7%,如川续断科(Dipsacaceae)、杜英科(Elaeocarpaceae)、马桑科(Coriariaceae)和安息香科(Styracaceae)等。

### 2.2 山桂花和野桂花群落中重要值排名前10的乔木和灌木种类

在调查的云南鸡足山山桂花和野桂花群落的12个样地中,山桂花和野桂花数量优势明显。5个山桂花样地中,山桂花在3个样地的相对密度大于30%,在2个样地的相对密度甚至达到60%,为绝对的优势种;7个野桂花样地中,野桂花在5个样地的相对密度大于40%,远高于其余植物种类。山桂花和野桂花在各样地的相对频度为15%~17%,分布较为均匀,且高于其余植物种类。5个山桂花样地中,山桂花在其中2个样地的相对优势度分别仅5.1%和1.9%,在其余3个样地的相对优势度较高,均在20%以上;7个野桂花样地中,野桂花在其中2个样地的相对优势度较高,分别为17.6%和8.1%,在其余5个样地的相对优势度较低,均在2%左右。

云南鸡足山山桂花群落中重要值排名前10的乔木和灌木种类见表1。由表1可见:山桂花群落中山桂花的重要值最高。重要值大于2.0%的9种乔木中,除短翅卫矛(*Euonymus rehderianus* Loes.)和绢毛稠李(*Padus wilsonii* Schneid.)外,其余全部为常绿乔

木。重要值大于2.0%的灌木种类中,山桂花和滇青冈为常绿灌木,其余3种植物为落叶灌木种类。说明除松科(Pinaceae)植物外,山桂花群落中壳斗科、木犀科(Oleaceae)和山茶科等科的常绿乔木和灌木种类较多,常绿乔木种类在建群乔木种类中占比较大。

表1 云南鸡足山山桂花群落中重要值排名前10的乔木和灌木种类  
Table 1 Top ten arbor and shrub species according important value in *Osmanthus delavayi* Franch. community in Jizu Mountain of Yunnan Province

种 Species	重要值/% Important value
乔木 Arbor	
山桂花 <i>Osmanthus delavayi</i>	19.49
川滇高山栎 <i>Quercus aquifolioides</i>	5.88
滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i>	3.51
高山松 <i>Pinus densata</i>	3.02
短翅卫矛 <i>Euonymus rehderianus</i>	2.64
绢毛稠李 <i>Padus wilsonii</i>	2.38
矮高山栎 <i>Quercus monimotricha</i>	2.21
白毛蕊茶 <i>Camellia candida</i>	2.12
滇西青冈 <i>Cyclobalanopsis lobbii</i>	2.02
翻白叶树 <i>Pterospermum heterophyllum</i>	1.93
灌木 Shrub	
山桂花 <i>Osmanthus delavayi</i>	37.59
大叶醉鱼草 <i>Buddleja davidii</i>	4.23
滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i>	2.36
木香花 <i>Rosa banksiae</i>	2.25
云南荚蒾 <i>Viburnum yunnanense</i>	2.17
华西小檗 <i>Berberis silva-taroucana</i>	1.89
银叶桂 <i>Cinnamomum mairei</i>	1.88
西南红茶 <i>Camellia pitardii</i>	1.74
亮叶杜鹃 <i>Rhododendron vernicosum</i>	1.65
西南卫矛 <i>Euonymus hamiltonianus</i>	1.49

云南鸡足山野桂花群落中重要值排名前10的乔木和灌木种类见表2。由表2可见:野桂花群落中野桂花的重要值最高。重要值排名前10的乔木中,野桂花、高山锥、滇青冈、茶叶卫矛(*Euonymus theifolius* Wall.)和高山松(*Pinus densata* Mast.)的重要值大于2.0%,且除茶叶卫矛外,其余均为常绿乔木。重要值排名前10的灌木有野桂花、毛果珍珠花[*Lyonia ovalifolia* var. *hebecarpa* (Franch. ex Forb. et Hemsl.) Chun]和茶叶卫矛等,这10种灌木的重要值均大于2.0%,且除野桂花和滇青冈外,其余均为落叶灌木种类。说明野桂花群落中壳斗科、木犀科和松科等科的常绿乔木和灌木种类较多,常绿乔木种类在建群乔木种类中的占比较大。

表 2 云南鸡足山野桂花群落中重要值排名前 10 的乔木和灌木种类  
Table 2 Top ten arbor and shrub species according important value in *Osmanthus yunnanensis* (Franch.) P. S. Green community in Jizu Mountain of Yunnan Province

种 Species	重要值/% Important value
乔木 Arbor	
野桂花 <i>Osmanthus yunnanensis</i>	22.05
高山锥 <i>Castanopsis delavayi</i>	4.58
滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glaucoides</i>	2.43
茶叶卫矛 <i>Euonymus theifolius</i>	2.13
高山松 <i>Pinus densata</i>	2.11
绒毛杜鹃 <i>Rhododendron pachytrichum</i>	1.96
亮叶厚皮香 <i>Ternstroemia nitida</i>	1.68
银叶桂 <i>Cinnamomum mairei</i>	1.39
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	1.34
宽叶杜鹃 <i>Rhododendron sphaeroblastum</i>	1.33
灌木 Shrub	
野桂花 <i>Osmanthus yunnanensis</i>	10.30
毛果珍珠花 <i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>hebecarpa</i>	5.21
茶叶卫矛 <i>Euonymus theifolius</i>	5.13
绢毛稠李 <i>Padus wilsonii</i>	3.14
滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glaucoides</i>	3.08
四蕊槭 <i>Acer tetramerum</i>	2.74
乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	2.68
铁仔 <i>Myrsine africana</i>	2.59
云南荚蒾 <i>Viburnum yunnanense</i>	2.40
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	2.22

云南鸡足山山桂花和野桂花群落中菊科、蔷薇科、景天科 (Crassulaceae)、报春花科 (Primulaceae) 和虎耳草科 (Saxifragaceae) 的草本种类均较多。

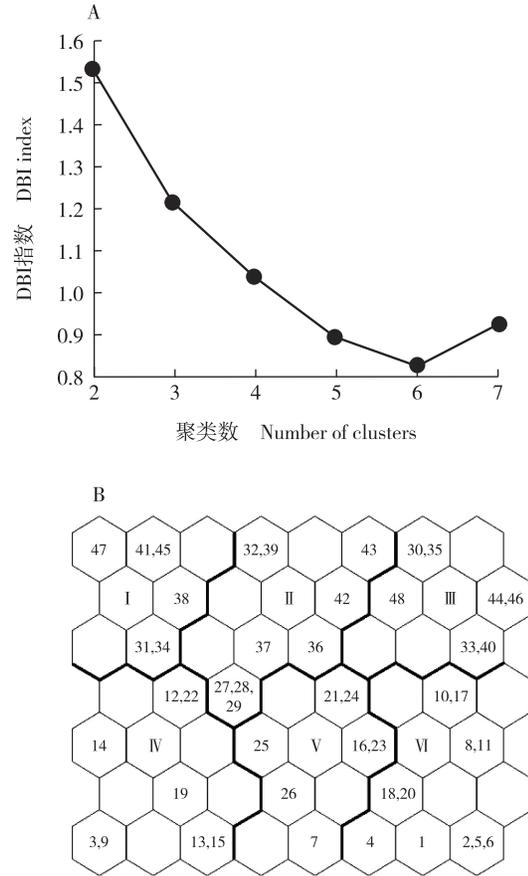
### 2.3 山桂花和野桂花群落分类

2.3.1 自组织特征映射网络 (SOM) 分类结果 经 SOM 处理后确定量化误差和拓扑误差最小的最终输出层为 8×7 的拓扑结构, 得到山桂花和野桂花群落 48 个样方的拓扑映射图。根据 K-means 聚类规则, 选择戴维森堡丁指数 (DBI) 最小处的聚类数 6, 据此将拓扑映射图划分为 6 块区域, 对应 6 个群落类型 (图 1)。

6 个群落类型在拓扑映射图上界限明显, 构成各群落类型主体的植物种类及各群落类型包含的样方如下:

1) 群落类型 I 的群落主体由山桂花+绒毛杜鹃 (*Rhododendron pachytrichum* Franch.) - 大花醉鱼草 (*Buddleja colvilei* Hook. f. et Thoms.) - 火绒草 [*Leontopodium leontopodioides* (Willd.) Beauv.] 构成, 包含样方 31、34、38、41、45 和 47。

2) 群落类型 II 的群落主体由山桂花+川滇高山栎 (*Quercus aquifolioides* Rehd. et Wils.) - 高山栎



I, II, III, IV, V, VI: 群落类型 Community type; 1-48: 样方编号 No. of quadrat.

图 1 云南鸡足山山桂花和野桂花群落 48 个样方分类的戴维森堡丁指数 (DBI) (A) 和拓扑映射图 (B)  
Fig. 1 Davies-Bouldin index (DBI) (A) and topology map (B) of classification of 48 quadrats of *Osmanthus delavayi* Franch. and *O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green communities in Jizu Mountain of Yunnan Province

(*Quercus semicarpifolia* Smith) + 滇青冈 - 高秆薹草 (*Carex alta* Boott) 构成, 包含样方 27、28、29、32、36、37、39、42 和 43。

3) 群落类型 III 的群落主体由川滇高山栎+山桂花-木香花 (*Rosa banksiae* Ait.) - 变豆菜 (*Sanicula chinensis* Bunge) + 藏报春 (*Primula sinensis* Sabine ex Lindl.) 构成, 包含样方 30、33、35、40、44、46 和 48。

4) 群落群落类型 IV 的群落主体由野桂花+滇青冈-头状四照花 (*Cornus capitata* Wall.) - 华南铁角蕨 (*Asplenium austrochinense* Ching) 构成, 包含样方 3、9、12、13、14、15、19 和 22。

5) 群落类型 V 的群落主体由野桂花+大果冬青 (*Ilex macrocarpa* Oliv.) - 四川卫矛 (*Euonymus*

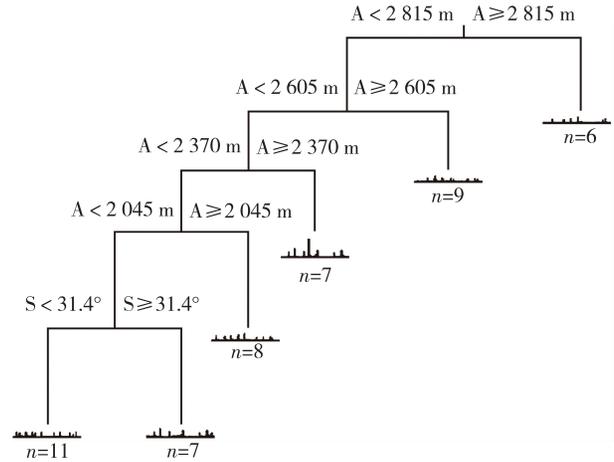
*szechuanensis* C. H. Wang)–黄水枝(*Tiarella polyphylla* D. Don) 构成,包含样方 7、16、21、23、24、25 和 26。

6) 群落类型 VI 的群落主体由滇青冈+野桂花-乌柏[*Sapium sebiferum* (Linn.) Roxb.] +野桂花-凹叶景天(*Sedum emarginatum* Migo) +野菊[*Dendranthema indicum* (Linn.) Des Moul.] 构成,包含样方 1、2、4、5、6、8、10、11、17、18 和 20。

2.3.2 多元回归树(MRT)检验 MRT 采用二歧式分割法将山桂花和野桂花群落的 48 个样方分为 6 类,交叉验证符合“1-SE”原则。从 6 个环境因子中选择分异较大的海拔和坡度作为分类节点用于构建 MRT,分类节点分别为海拔 2 815、2 605、2 370 和 2 045 m 以及坡度 31.4°。6 个群落类型的样方数分别为 6、9、7、8、7 和 11(图 2)。

MRT 输出层为 6×8 的结构图,48 个样方在输出图左下角开始按“之”字形排列,编号为 1~48,分为 6 个群落类型(图 3-A)。参考赖江山<sup>[32]</sup>的方法,根据群落空间分布的连续性,对分类结果进行修订,结果见图 3-B。修订样方为 26 和 31,占总样方的比例较小,基本不影响 MRT 的主体分类结果。修正后 6 个群落类型分别包含 6、9、7、8、7 和 11 个样方,各样

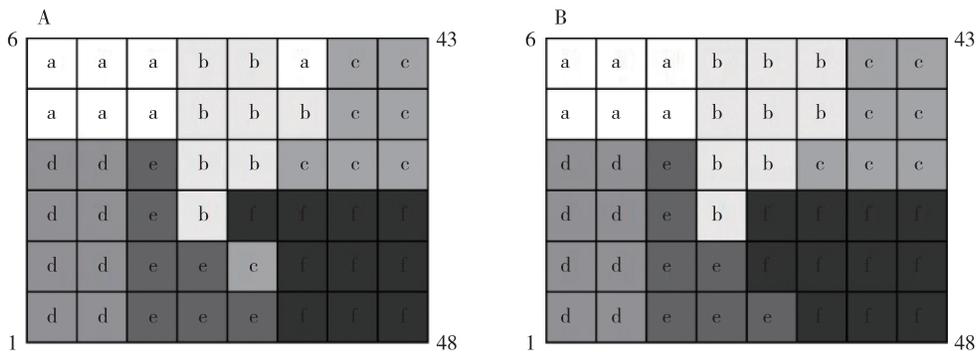
方的分布和环境因子与 SOM 分类各类型包含的样方数目和特征一致,说明 SOM 对环境因子和群落物种重要值的分类排序结果可靠。



A: 海拔 Elevation; S: 坡度 Slope; n: 样方数 Number of quadrats.

图 2 云南鸡足山山桂花和野桂花群落 48 个样方的多元回归树分类图

Fig. 2 Multivariate regression trees classification figure for 48 quadrats of *Osmanthus delavayi* Franch. and *O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green communities in Jizu Mountain of Yunnan Province



样方 1~48 从左下角开始按“之”字形排列 Quadrat 1-48 are arrayed from left bottom according to zigzag shape. a,b,c,d,e,f: 群落类型 Community type.

A: 修正前 Before modification; B: 修正后 After modification.

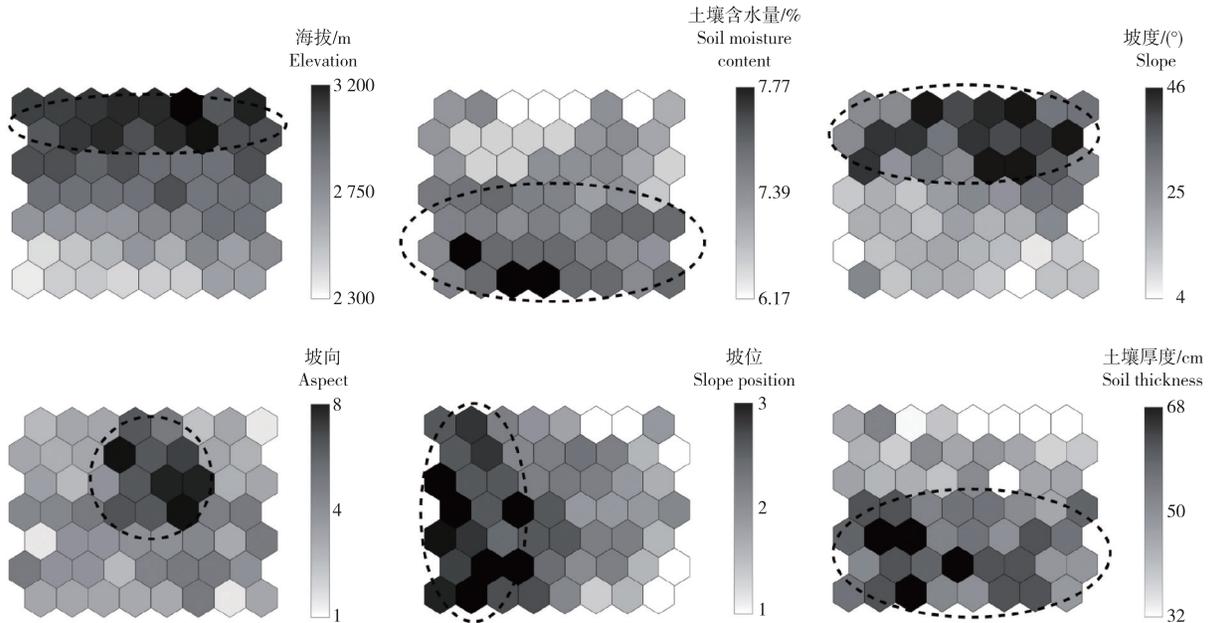
图 3 云南鸡足山山桂花和野桂花群落 6 个群落类型样方分布图

Fig. 3 Distribution map of quadrats with six community types of *Osmanthus delavayi* Franch. and *O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green communities in Jizu Mountain of Yunnan Province

### 2.4 山桂花和野桂花群落环境因子聚类

云南鸡足山山桂花和野桂花群落环境因子 SOM 排序图见图 4。由图 4 可见:SOM 排序图纵轴基本呈现了气候和环境在垂直方向上的变化,从下到上由暖湿逐渐向干冷的梯度变化,表现海拔、土壤含水量、土

壤厚度、坡度和坡向的垂直变化;横轴反映了坡位的变化过程,从左下至右上坡位从下坡位逐渐变为上坡位。SOM 排序图从下到上,海拔逐渐升高,土壤含水量逐渐降低,坡度逐渐增大,土壤厚度逐渐减小,最厚处位于排序图左下角,坡位从右到左数值逐渐减小,



坡向中 1、2、3、4、5、6、7 和 8 分别表示北坡、东北坡、西北坡、东坡、西坡、东南坡、西南坡和南坡 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8 of aspect represent north, northeast, northwest, east, west, southeast, southwest, and south slopes, respectively. 坡位中 1、2 和 3 分别表示上坡位、中坡位和下坡位 1, 2, and 3 of slope position represent the top, middle, and bottom of slopes, respectively. 虚线部分为各环境因子的较高值在拓扑映射图上的集中分布区 Broken line part is concentrated distribution area of relatively high value of each environmental factor on topology map.

图 4 云南鸡足山山桂花和野桂花群落环境因子 SOM 排序图

Fig. 4 SOM ordination map of environmental factors of *Osmanthus delavayi* Franch. and *O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green communities in Jizu Mountain of Yunnan Province

即从下位坡变为上位坡,坡向多为阴坡或半阴坡,只有中上部的部分样方处于阳坡或半阳坡。

## 2.5 山桂花和野桂花群落的优势种排序

云南鸡足山山桂花和野桂花群落 48 个样方中优势种在 SOM 排序图上的梯度分布见图 5。结果显示:山桂花、川滇高山栎、绒毛杜鹃和火绒草主要分布于排序图上半部分,分布中心位于群落类型 II;而野桂花、华南铁角蕨、滇青冈和黄水枝主要分布于排序图的下半部分,分布中心位于群落类型 IV;亮叶杜鹃 (*Rhododendron vernicosum* Franch.)、头状四照花和银叶杜鹃 (*Rhododendron argyrophyllum* Franch.) 的分布则较为均匀,但也有各自的分布中心;大果冬青主要分布于排序图下半部分,分布中心位于群落类型 V。头状四照花的分布中心对应的是位于群落类型 IV 的样方 12 和 22,与该类型的灌木优势种和位置十分吻合。绒毛杜鹃的分布中心对应群落类型 II 的样方 36,黄水枝的分布中心对应群落类型 IV 的样方 3 和 9 以及群落类型 II 的样方 27、28 和 29,大果冬青的分布中心对应群落类型 V 的样方 7,说明优势种的分布

在很大程度上决定了不同群落类型的范围。

综合图 4 和图 5 可以看出:优势种的分布在海拔上两极分化,山桂花是所有高海拔样地的优势种,其伴生种主要为川滇高山栎、绒毛杜鹃、火绒草、亮叶杜鹃以及较少的银叶杜鹃,且伴生种多属壳斗科和杜鹃花科;而低海拔样地则主要以野桂花、滇青冈和华南铁角蕨为优势种,伴生种主要为头状四照花、大果冬青、亮叶杜鹃、银叶杜鹃和黄水枝,且伴生种多属杜鹃花科。山桂花偏好高海拔和较大坡度,而野桂花适宜生长在土壤含水量较高和土壤厚度较厚的环境,不宜生长在坡度过大和海拔过高的环境。黄水枝分布在排序图左侧的样方,只在下坡位以及很少的中坡位有分布,在土壤含水量较低的下坡位分布极少。山桂花和野桂花的分布也一定程度上受到坡度和坡位的影响,环境因子排序图显示从左到右坡位是从下到上,坡度逐渐增高,二者的分布中心偏左侧,说明高坡度和上坡位在一定程度上不利于山桂花和野桂花生长。坡度和坡位对川滇高山栎、绒毛杜鹃和火绒草的影响非常小(可忽略),海拔对这三者的影响较大。

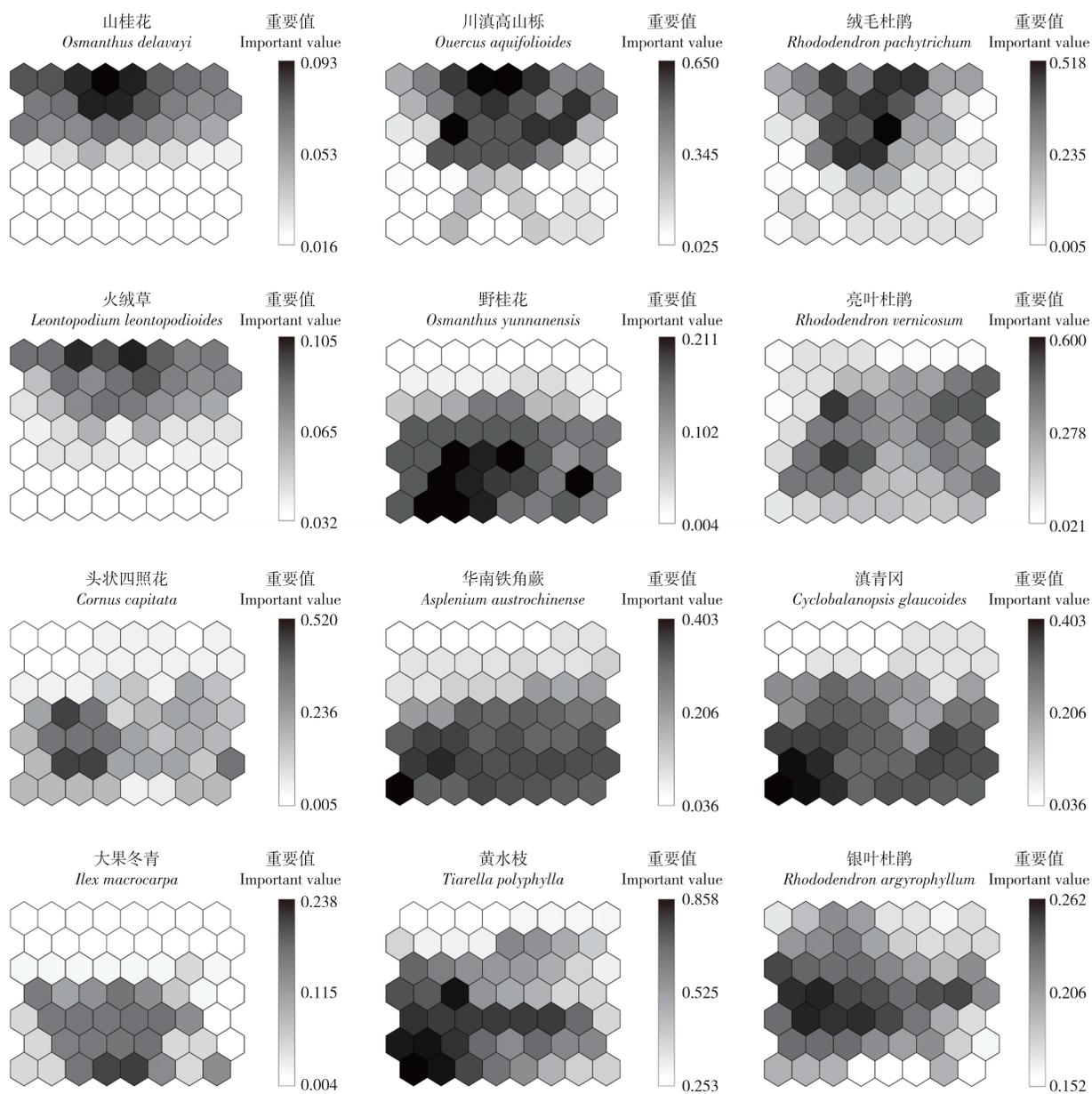


图 5 云南鸡足山山桂花和野桂花群落 48 个样方中优势种在 SOM 排序图上的梯度分布  
 Fig. 5 Gradient distribution of dominant species in 48 quadrats of *Osmanthus delavayi* Franch. and *O. yunnanensis* (Franch.) P. S. Green communities in Jizu Mountain of Yunnan Province on SOM ordination map

### 3 讨论和结论

群落结构受多种非生物环境因子影响<sup>[36-37]</sup>,如温度、水分和养分等,这 3 个环境因子在海拔上有综合体现<sup>[38]</sup>。鸡足山海拔较高,气候季节和垂直变化明显。本研究对该地山桂花和野桂花 2 个群落物种组成的比较结果表明:山桂花和野桂花群落物种丰富度较高,保护和开发前景较好。野桂花群落植物科、

属、种的数量均高于山桂花群落。这可能是由于野桂花群落分布于海拔 2 385~2 820 m 的常绿阔叶林内,此段山势变化较为平缓,土壤厚度较厚,空间结构合理,而山桂花群落分布于海拔 2 810 m 的北坡至 3 205 m 的山顶,此段山势陡峭,土壤贫瘠,由小乔木和灌木组成,层次结构较差,物种丰富度较低。海拔和坡度的差异均导致土壤和植被表现出明显的垂直分布差异,从而影响群落的物种组成<sup>[23]</sup>。

SOM 优势种排序结果说明优势种的分布中心与

群落类型分布位置一致,证明优势种是决定群落分布格局的主要因子。48个样方被分成6个群落类型,各类型的优势种和样方间差异明显。山桂花在群落中占明显优势,且在山体上部和山顶均呈聚集分布,推测原因为山桂花群落为高山灌丛,林分密度较低且无遮挡,加之特殊的气候条件,使得山桂花成为绝对的优势种。相反,野桂花则仅在样方1和2中为优势种,通常在群落中位于滇青冈和元江栲等壳斗科大乔木之下,这与赵宏波等<sup>[39]</sup>对桂花[*Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.]的调查结果一致。野桂花常呈斑块状分布于常绿阔叶林内,虽然其数量较多且分布均匀,在群落中重要值较高,但由于群落中大乔木所占比例较高,林分密度大,导致野桂花实生苗和根蘖苗较为少见,因此在灌木层中的重要值低于乔木层,且低海拔林窗中物种多样性较高<sup>[40]</sup>,种间竞争较强,其重要值很少存在绝对优势。SOM分类结果显示:6个群落类型在拓扑映射图上界线明显,并且有不同的分布范围和优势。其中,属于山桂花群落的样方29以及属于野桂花群落的样方27和28均被分在群落类型II,有一定的重叠,这可能是由于山桂花和野桂花虽然有分布,但3个样方的优势种均是黄水枝和绒毛杜鹃,伴生种也较相似(包括华南铁角蕨、银叶杜鹃和川滇高山栎),加之优势种对群落分类的影响较大,因此被分到同一群落类型。虽然山桂花和野桂花群落间存在海拔落差,但是从群落分类结果来看,2个群落很有可能存在一定交叉,说明二者对环境因子的适应性有相似之处,但是在分布上是逐渐融合还是有远离的趋势还需进一步研究探明。

群落格局受海拔、坡度和坡位等因子的影响较大,其中海拔的影响最大,通过间接影响水热等环境条件来影响高山地区群落格局。本研究调查的6个环境因子中,海拔对山桂花和野桂花群落格局的影响最显著。高山地区温度较低,虽然降水较多,但由于坡度大,水分流失较快,土壤受到冲刷也较为瘠薄,加之坡度和坡向等共同影响高山地区水热资源的分配,使得高山地区对植物的适应性要求较高。山桂花主要在土壤较为贫瘠的高海拔山区分布,此外,坡度和坡向对其分布的影响也较大;野桂花分布的主要影响因素为海拔、土壤含水量和坡位。山桂花、绒毛杜鹃、川滇高山栎和火绒草等种类更适应较为干冷的环境,在高海拔、坡度大的地区是主要优势种;而野桂花、滇青冈、黄水枝和华南铁角蕨等种类要求较为湿润温暖

和土层较厚的环境,因而在低海拔地区形成优势种。绒毛杜鹃为喜阳植物<sup>[41]</sup>,受坡向影响较大,其分布中心的坡向为西南坡向,接受的日光照射最多,有利于绒毛杜鹃合成叶绿素和花青素等色素。坡位主要影响黄水枝和华南铁角蕨的分布,二者主要分布在下坡位的非阳面,同时还受到土壤因子的影响,由于这2种草本植物是长在群落近地的阴生植物,对水分和土壤要求较高,且蕨类虽然有根、茎、叶的分化<sup>[42]</sup>,但输导组织欠发达,需要生活在阴暗潮湿的环境,便于吸收水分和无机盐以及孢子萌发,上坡位则不能满足这一条件。坡度和坡位对川滇高山栎和绒毛杜鹃几乎没有影响,说明这2种植物较耐高山贫瘠陡峭的环境,较适应高海拔环境,且其硬革质叶,较耐寒、抗旱,因而占据了高海拔的生态位。

本研究探明了云南鸡足山山桂花和野桂花群落类型的分布格局及其与环境因子的关系,有助于了解这2种中国特有香花木犀属植物的生境情况,为其园林应用和引种培育提供参考。山桂花四季常绿,早春开花,且对土壤水分要求不高,喜高海拔、坡度较陡的上坡位,要求排水良好,对土壤厚度要求较低,是园林绿化的良好树种;而野桂花分布于土层较厚、土壤含水量高、低海拔、坡度较小的下坡位,对水热要求较高。在对山桂花和野桂花的引种栽培和研究中需注意选择适宜的环境及保护自然萌发的根蘖苗,从而保护其遗传多样性。此外,人为活动对其自然演替的影响也待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第六十一卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [2] 臧德奎, 向其柏, 刘玉莲. 木犀属品种分类研究[J]. 林业科学, 2006, 42(5): 17-21.
- [3] 杨绪勤, 邓传良, 刘丽盈, 等. 基于 *matK* 序列的木犀属植物系统发育初步研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(6): 9-14.
- [4] 许炳强, 郝刚, 胡晓颖. 中国木犀属花粉形态研究及其系统学意义[J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(1): 29-39.
- [5] 邢煜君, 李昌勤, 吴宏欣, 等. 山桂花的显微鉴别[J]. 中药材, 2010, 33(6): 894-895.
- [6] 何飞, 刘兴良, 马钦彦, 等. 横断山区野桂花林群落特征[J]. 林业科学, 2009, 45(6): 153-157.
- [7] 马晓莉, 林文彬, 张国林. 野桂花化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(4): 593-599.
- [8] PARK Y S, TISON J, LEK S, et al. Application of a self-organizing map to select representative species in multivariate analysis: a case study determining diatom distribution patterns across France [J].

- Ecological Informatics, 2006, 1: 247-257.
- [9] SNYDER E B, ROBINSON C T, MINSHALL G W, et al. Regional patterns in periphyton accrual and diatom assemblage structure in a heterogeneous nutrient landscape[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59: 564-577.
- [10] 李林峰, 张金屯, 周 兰, 等. 自组织特征映射网络在芦芽山自然保护区青杆林分类和排序中的应用[J]. 林业科学, 2014, 50(5): 1-7.
- [11] 张金屯. 数量生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011: 124.
- [12] ZUZANA R, MICHAL H. Changes in nutrient limitation of spring fen vegetation along environmental gradients in the West Carpathians [J]. Journal of Vegetation Science, 2008, 19: 613-620.
- [13] DARABAD V P, VAKILIAN M, BLACKBURN T R, et al. An efficient PD data mining method for power transformer defect models using SOM technique[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015, 71: 373-382.
- [14] 蔡博峰, 穆 彬, 方 皓, 等. 基于自组织神经网络的生态敏感性分区: 以北京市房山区为例[J]. 中国环境科学, 2008, 28(4): 375-379.
- [15] 张 斌, 张金屯, 苏日古嘎, 等. 协变量分析与典范对应分析在植物群落排序中的应用比较[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 842-851.
- [16] 徐步云, 倪 禾. 自组织神经网络和 K-means 聚类算法的比较分析[J]. 新型工业化, 2014, 4(7): 63-69.
- [17] 刘 钊, 李艳军, 张祥林, 等. 聚类分析技术在航天复合材料粘接质量敲击检测中的应用[J]. 飞机设计, 2017, 37(2): 40-43.
- [18] 吴聘奇, 黄民生. SOM 网络在福建省城市职能分类中的应用[J]. 经济地理, 2005, 25(1): 68-70.
- [19] 苏日古嘎, 张金屯, 田世广, 等. 自组织特征映射网络在北京松山自然保护区山地草甸数量分析中的应用[J]. 植物生态学报, 2010, 34(7): 811-818.
- [20] 郭 旭, 朱劲松. 人工神经网络审计模型及在保险业中运用的探讨[J]. 保险职业学院学报, 2014, 28(3): 31-34.
- [21] PARK Y S, CÉRÉGHINO R, COMPIN A, et al. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters [J]. Ecological Modelling, 2003, 160: 265-280.
- [22] OBACH M, WAGNER R, WERNER H, et al. Modelling population dynamics of aquatic insects with artificial neural networks[J]. Ecological Modelling, 2001, 146: 207-217.
- [23] 杨黎刚, 苏宏业, 张 英, 等. 基于 SOM 聚类的数据挖掘方法及其应用研究[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(8): 133-136.
- [24] 王泽明. 云南鸡足山植物群落格局及其成因的初步研究[D]. 昆明: 云南大学生态与环境学院, 2009: 8-13.
- [25] 彭明春, 党承林. 云南鸡足山元江栲群落和高山栲群落的群落多样性研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1999, 21(2): 156-159.
- [26] ZHANG J T, ZHANG F. Diversity and composition of plant functional groups in mountain forests of the Lishan Nature Reserve, North China[J]. Botanical Studies, 2007, 48: 339-348.
- [27] 罗汝英. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 214-215.
- [28] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 121-122.
- [29] 张光富, 宋永昌. 浙江天童灌丛群落的种类组成、结构及外貌特征[J]. 广西植物, 2001, 21(3): 201-207.
- [30] 管杰然, 商天其, 伊力塔, 等. 天目山常绿落叶阔叶混交林优势种生物量变化及群落演替特征[J]. 生态学报, 2017, 37(20): 6761-6772.
- [31] 张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等. 庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序[J]. 生态学报, 2011, 31(11): 2990-2998.
- [32] 白雪峰, 蒋国栋. 基于改进 K-means 聚类算法的负荷建模及应用[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(7): 80-83.
- [33] KOHONEN T. Self-Organizing Maps [M]. 3rd ed. Berlin: Springer, 2001: 266-270.
- [34] 张金屯, 孟东平, 席跃翔. 自组织神经映射网络排序及其在植物群落分析中的应用[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 1-5.
- [35] 赖江山, 米湘成, 任海保, 等. 基于多元回归树的常绿阔叶林群丛数量分类: 以古田山 24 公顷森林样地为例[J]. 植物生态学报, 2010, 34(7): 761-769.
- [36] GILBERT B, LECHOWICZ M J. Neutrality, niches, and dispersal in a temperate forest understory[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101: 7651-7656.
- [37] KNEITEL J M, Chase J M. Trade-offs in community ecology: linking spatial scales and species coexistence[J]. Ecology Letters, 2004, 7: 69-80.
- [38] 王 滨. 岷江流域土壤氮磷矿化随海拔梯度的变化特征[D]. 成都: 四川农业大学环境学院, 2016: 2-5.
- [39] 赵宏波, 郝日明, 胡绍庆. 中国野生桂花的地理分布和种群特征[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1760-1770.
- [40] 陈 力, 刘国华, 刘 丹, 等. 亚高山针叶林不同大小林窗植物多样性及其海拔动态[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(10): 90-97.
- [41] 王 颖. 四川野生杜鹃花属植物资源的调查与评价[D]. 北京: 北京林业大学园林学院, 2008: 55-57.
- [42] 陈功锡, 杨 斌, 邓 涛, 等. 中国蕨类植物区系地理若干问题研究进展[J]. 西北植物学报, 2014, 34(10): 2130-2136.

(责任编辑: 张明霞)