



地被植物对广东常绿阔叶林土壤养分的指示作用

区余端, 王楚彪, 苏志尧

引用本文:

区余端, 王楚彪, 苏志尧. 地被植物对广东常绿阔叶林土壤养分的指示作用[J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(2): 115–123.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4105>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

竹柏2种颜色叶片的光合特性研究

Photosynthetic Characteristics of Two Color Leaves of *Podocarpus nagi*

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 177–184 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4134>

二色仙人掌, 中国仙人掌科一新归化种

Opuntia cespitosa Rafinesque, A New Naturalized Species of Cactaceae from China

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 192–196 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4140>

硬核资源遗传多样性的AFLP分析(英文)

Genetic Diversity of *Scleropyrum wallichianum* Based on AFLP Markers

热带亚热带植物学报. 2019, 27(1): 29–35 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3908>

茂兰喀斯特常绿落叶阔叶混交林群落组成和优势种更新类型

Community Composition and Regeneration Types of Dominant Species in Evergreen and Deciduous Broad-leaved Mixed Karst Forest in Maolan National Nature Reserve, Guizhou Province

热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 651–660 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3893>

广东肇庆地区药材金线莲种质资源调查与生态生物学特性研究

Germplasm Investigation and Ecological Biology Characteristics of Medicinal Herb *Anoectochilus roxburghii* in Zhaoqing, Guangdong Province, China

热带亚热带植物学报. 2016, 24(4): 381–388 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.04.004>

地被植物对广东常绿阔叶林土壤养分的指示作用

区余端¹, 王楚彪^{2,3*}, 苏志尧⁴

(1. 广东海洋大学农学院, 广东 湛江 524088; 2. 国家林业和草原局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022; 3. 南京林业大学, 南京 2100037; 4. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510642)

摘要: 为了解地被植物群落对土壤养分的响应和指示作用, 利用指示种分析(ISA)法研究了广东常绿阔叶林地被植物与土壤养分的关系。结果表明, 速效氮(AN)、速效磷(AP)、速效钾(AK)和有机质(OM)的综合作用对地被植物分布有显著影响($P < 0.05$), 且以速效磷 > 有机质 > 速效钾 > 速效氮。地被植物的组成与分布在不同 AP 和 OM 梯度中均有显著差异($P < 0.05$), 但在不同 AK 和 AN 梯度中差异不显著。土壤 AN ≤ 270 mg/kg 的指示种是广东蛇葡萄(*Ampelopsis cantoniensis*)和油点草(*Tricyrtis macropoda*), 270~360 mg/kg 的指示种是狗骨柴(*Tricalysia dubia*); AP ≤ 2 mg/kg 的指示种是华山姜(*Alpinia chinensis*); AK ≤ 100 mg/kg 的指示种是赤楠蒲桃(*Syzygium buxifolium*), AK 为 100~150 mg/kg 的指示种是十字苔草(*Carex cruciate*), AK > 150 mg/kg 的指示种是金钗凤尾蕨(*Pteris fauriei*); OM > 0.8% 的指示种是箬竹(*Indocalamus tessellatus*), OM $\leq 0.6\%$ 的指示种是华山姜(*Alpinia chinensis*)和蔓胡颓子(*Elaeagnus glabra*), OM 为 0.6%~0.8% 的指示种是豆腐柴(*Premna microphlla*)。利用有效的地被植物调查方式来监测森林的土壤状况为森林经营管理及土壤健康评价带来方便。地被植物指示种对土壤养分的响应不但能为研究地的立地条件提供理论支撑, 还能为该物种的人工栽培提供理论依据, 这对于生物多样性保育、生境恢复的引种栽培有重要意义。

关键词: 地被植物; 土壤养分; 指示作用; 常绿阔叶林

doi: 10.11926/jtsb.4105

Indicative Effect of Ground Vegetation on Soil Nutrient Status in Evergreen Broad-leaved Forest of Guangdong

OU Yu-duan¹, WANG Chu-biao^{2,3*}, SU Zhi-yao⁴

(1. College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 2. China Eucalyptus Research Center, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 3. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 4. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to understand the indicative function of ground vegetation to soil nutrient, the relation between ground vegetation and soil nutrient was studied in evergreen broad-leaved forest of Guangdong by using indicator species analysis (ISA). The results showed that the concentrations of available nitrogen (AN), available phosphorus (AP), available potassium (AK) and organic matter (OM) had significantly integrative effects on the distribution patterns of ground vegetation ($P < 0.05$), with in the order of AP > OM > AK > AN. Indicator species were *Ampelopsis cantoniensis* and *Tricyrtis macropoda* for soil AN ≤ 270 mg/kg, *Tricalysia dubia* for 270–360 mg/kg of AN, and which was *Alpinia chinensis* for soil AP ≤ 2 mg/kg. The indicator species was *Syzygium buxifolium* for soil AK ≤ 100 mg/kg, *Carex cruciate* for 100~150 mg/kg of AK, and *Pteris fauriei* for AK >

收稿日期: 2019-06-06 接受日期: 2019-08-21

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2018KJCX027); 广东省教育厅科研项目(2013LYM_0039)资助

This work was supported by the Project for Forestry Scientific and Technological Innovation project of Guangdong (Grant No. 2018KJCX027), and the Project for Scientific Research of Guangdong Education Department (Grant No. 2013LYM_0039).

作者简介: 区余端(1983~), 女, 博士, 副教授, 主要从事森林生态、环境生态的研究。E-mail: ouyudian@126.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: scauwcb@163.com

150 mg/kg. *Indocalamus tessellatus* was the indicator species for soil OM>0.8%, *Alpinia chinensis* and *Elaeagnus glabra* for OM ≤ 0.6%, and *Premna microphlla* for OM at 0.6%–0.8%. Therefore, it was convenient for forest management and soil health evaluation to monitor soil condition of forest by using effective ground vegetation survey. The response of indicator species of ground vegetation to soil nutrients could not only provide theoretical support for the site conditions of the study area, but also provide theoretical basis for the artificial cultivation of the species, which was of great significance for the introduction and cultivation of the habitat reconstruction and biodiversity conservation.

Key words: Ground vegetation; Soil nutrient; Indicative function; Evergreen broad-leaved forest

植物指示作用是根据植物群体或个体的某些特征来判断环境中特定成分的现象^[1-2]。通过植物指示作用研究,不仅有助于了解植物与环境之间的关系,阐明植物的适应机制;还可以确定指示植物(指在一定地区范围内,能指示环境或其中某一因子特性的植物种、属或群落),为直接获取环境信息带来方便,免去了大量的实验分析工作^[3-6]。植物作为生物指示器被广泛用于林业、农业等邻域环境的监测和研究,尤其是对植物生长有限制作用的土壤环境,如土壤酸碱度、盐度、湿度等^[7-8]。然而,关于植物对土壤有效养分指示作用的研究不多,而为植物提供有效养分是土壤最为重要的生态功能之一^[9]。

地被植物(指距地表高度小于 1 m 的维管植物,不包括乔木的幼苗)对栖息地环境的变化特别敏感,很多研究已证明地被植物对光照、地形、土壤等环境因素具有指示作用^[7-8,10-13],并被用于评价与监测环境污染状况、森林立地质量、生态系统生物多样性、退化生境恢复等^[14-15]。地被植物群落组成和结构受土壤物理化学性质的影响^[9],被认为是土壤环境有效的生物指示器,可作为土壤养分状况的潜在指示^[7-8,16-19]。研究地被植物与土壤养分的关系,有利于阐明地被植物对土壤养分变化的响应机制;探讨地被植物指示种在不同土壤养分梯度下的多度变化,为利用植物诊断土壤养分状况及深入揭示植物与土壤养分的关系提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究地概况

车八岭国家级自然保护区(114°09'04"~114°16'46" E, 24°40'29"~24°46'21" N)地处广东省东北部始兴县境内,全区面积 7 545 hm²,海拔 330~1 256 m,地势西北高东南低,地质构造属华南褶皱系,主要保护对象为中亚热带常绿阔叶林及珍稀动植物^[20]。

本区属于亚热带季风气候区,年均温 19.5℃,年均降水量 1 468.0 mm,年均蒸发量 1 356.1 mm,年均相对湿度 79.7%^[20]。保护区的土壤形态和结构较为完整,随海拔由低到高垂直分布着水稻土、红壤、暗红壤、黄红壤、黄壤、表潜黄壤和草甸土^[20]。气候顶极群落类型分为中亚热带丘陵低山常绿阔叶林和山地常绿阔叶林 2 个植被亚型^[21]。

1.2 方法

2009 年 7 月,在车八岭国家级自然保护区内,选择一条南北走向的山脊线,在其两侧的山地常绿阔叶林(海拔 343~475 m)内设置 20 m×20 m 研究样地 48 个。研究样地以米槠(*Castanopsis carlesii*)、木荷(*Schima superba*)、鸭公树(*Neolitsea chuii*)、微毛山矾(*Symplocos wikstroemiifolia*)、栓叶安息香(*Styrax suberifolius*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、黑桉(*Eurya macartneyi*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)和华润楠(*Machilus chinensis*)为主要优势树种,林分类型相同,经过 1958 年的砍伐,林龄约为 40 a,属于次生山地林。在样地的四角和中心设置 5 个 2 m×2 m 样方,调查样方中地表植物的种类、多度、盖度和生长型。在每个样方的四角和中心位置随机设 5 个样点,均匀混合每样方同一层 5 个点表土层 0~20 cm 的土样放进布袋带回实验室,分别测定土壤的速效氮(available nitrogen, AN)(碱扩散法)、速效磷(available phosphorus, AP)(碳酸氢钠法)、速效钾(available potassium, AK)(火焰光度法)和有机质(organic matter, OM)(丘林法)含量^[22]。

1.3 数据分析

重要值 优势种群的组成和数量变化能反映群落的演替趋势和与环境间的相互关系^[23-24]。地被植物的重要值(importance value, IV)=(RA+RF+

RC)/3, 式中, RA 为相对多度(relative abundance), RF 为相对频度(relative frequency), RC 为相对盖度(relative coverage)。

典型对应分析 通过典型对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)检验地被植物与土壤养分因子(AN、AP、AK 和 OM)的关系; 用蒙特卡罗检验(Monte Carlo permutation test)($n=999$)度量土壤养分变量与地被植物之间的关系是否显著^[25]。

多响应置换过程 地被植物在样地中的分布和土壤养分因子间是否存在差异, 采用多响应置换过程分析法(multi-response permutation procedures, MRPP)进行检验。MRPP 能提供检验组间分离性的统计量 T (test statistic), 描述组内同质性的统计量 A (agreement statistic)和 P 值(P-value)。P 值取自 4 999 次随机蒙特卡罗检验。土壤养分的分组按照《全国第二次土壤普查养分分级标准》^[26]及样地土壤养分实际状况, 具体分级标准见表 1。

指示种分析 检测和描述地被植物与不同

土壤养分因子的关系采用指示种分析法(indicator species analysis, ISA)。ISA 所用的指示值(indicator value, InV)结合了组中物种的相对多度和相对频度的信息, $InV=100(RA \times RF)$, 用蒙特卡罗检验来决定指示值 InV 的统计显著性^[25]。CCA、MRPP 和 ISA 均在多元统计分析软件 PC-ORD 6.0 上运行。

2 结果和分析

2.1 地被植物优势种与物种多样性

样地中的地被植物共有 127 种, 隶属于 77 科 135 属, 共有 5 172 株。蕨类植物狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)是绝对优势种, 重要值为 10.3%; 草本植物草珊瑚(*Sarcandra glabra*)是亚优势种, 重要值为 5.8%。地被植物有蕨类、草本、灌木、藤本等生长型。重要值 $\geq 2\%$ 的地被植物有 12 种(表 2)。样方平均有地被植物 107.75 株, 香农-威纳多样性指数为 2.59, 均匀度指数为 0.83, 丰富度指数为 23.38。

表 1 土壤养分因子的分级标准

Table 1 Criteria of soil nutrient groups

分组 Group	速效氮 (mg/kg) Available nitrogen	速效磷 (mg/kg) Available phosphorus	速效钾 (mg/kg) Available potassium	有机质 /% Organic matter
1 缺乏 Lack	≤ 270 (11)	≤ 2 (20)	≤ 100 (9)	≤ 0.6 (19)
2 中等 Medium	270~360 (21)	2~3 (18)	100~150 (20)	0.6~0.8 (20)
3 丰富 Rich	>360 (16)	>3 (10)	>150 (19)	>0.8 (9)

括号内为样方数。

The number of plot in brackets.

表 2 重要值 $\geq 2\%$ 地被植物

Table 2 Dominance species with importance value more than 2%

物种 Species	生长型 Growth form	相对多度 /% Relative abundance	相对盖度 /% Relative coverage	相对频度 /% Relative frequency	重要值 /% Importance value
狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	蕨类 Fern	18.1	8.6	4.3	10.3
草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	草本 Herb	8.5	5.0	3.7	5.8
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	蕨类 Fern	7.3	3.4	3.2	4.6
斑叶朱砂根 <i>Ardisia punctata</i>	灌木 Shrub	5.9	3.9	3.8	4.6
山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	藤本 Liana	4.8	3.7	4.0	4.2
网脉酸藤果 <i>Embelia rudis</i>	藤本 Liana	4.7	3.3	3.2	3.7
暗色拔葵 <i>Smilax lanceifolia</i>	藤本 Liana	2.8	3.5	4.1	3.5
团叶鳞始蕨 <i>Lindsaea orbiculata</i>	蕨类 Fern	4.3	2.3	2.7	3.1
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	藤本 Vine	2.6	2.4	3.0	2.7
鲫鱼胆 <i>Maesa perlaris</i>	灌木 Shrub	2.1	3.0	2.8	2.6
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	草本 Herb	1.9	2.2	2.9	2.3
藤黄檀 <i>Dalbergia hancei</i>	藤本 Liana	1.7	2.2	2.6	2.2

2.2 土壤养分与地被植物分布的关系

样方中地被植物与土壤养分的 CCA 排序结果表明(表 3, 图 1), AK 与排序轴第二轴关系更为密

切($r=0.556$), 而 AP、AN 和 OM 则与排序轴第三轴关系更为密切($r=-0.618$ 、 -0.567 和 -0.668)。在 48 个样方中 AN、AP、AK、OM 的综合作用对地被植

表 3 土壤养分与 CCA 各排序轴的相关性和特征值

Table 3 soil nutrient-individual axes correlations and Eigenvalues

	第一轴 Axis 1	第二轴 Axis 2	第三轴 Axis 3	<i>P</i>
速效氮 Available nitrogen	0.489	0.147	-0.567	
速效磷 Available phosphorus	-0.314	0.277	-0.618	
速效钾 Available potassium	0.215	0.556	-0.200	
有机质 Organic matter	-0.158	-0.039	-0.668	
特征值 Eigenvalue	0.205	0.097	0.062	0.014
皮尔逊相关性 Pearson correlation	0.763	0.701	0.772	0.048

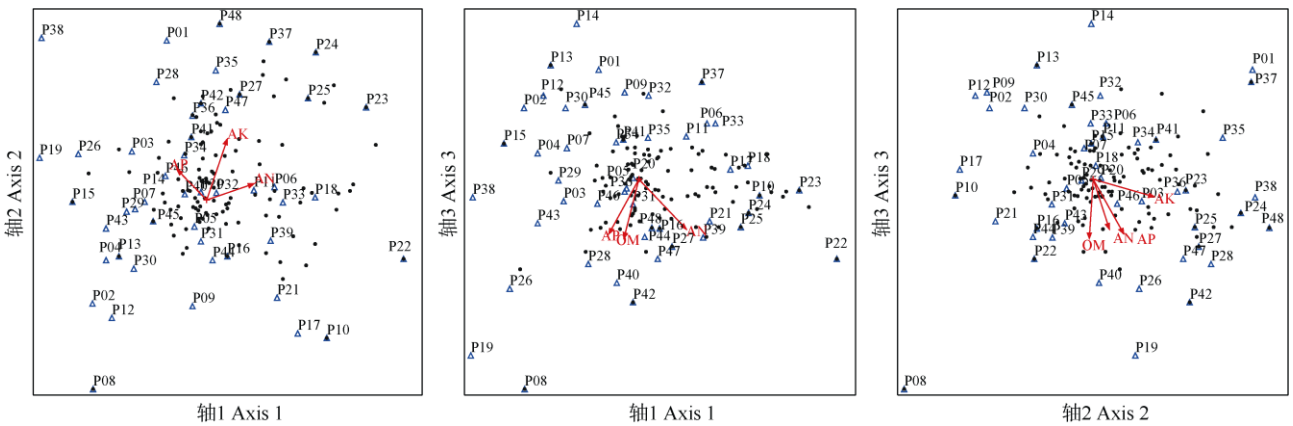


图 1 地被植物(●)、样地(Δ)和土壤养分(→)的 CCA 排序图。AN: 速效氮; AP: 速效磷; AK: 速效钾; OM: 有机质。

Fig. 1 CCA ordination diagram of ground vegetation (●), sampling plot (Δ) and soil nutrients (→). AN: Available nitrogen; AP: Available phosphorus; AK: Available potassium; OM: Organic matter.

物分布有显著影响($P < 0.05$), 且这些土壤养分的综合效应与各排序轴的关系密切且显著($P < 0.05$)。

2.3 土壤养分对地被植物分布的影响

MRPP 分析结果表明(表 4), 4 个土壤养分因子中 AP 的 T 绝对值最大, 说明其分级的 3 组界限最明显; 并且 AP 的统计量 A 最大, 说明组内的一致性最高。

比较而言, AN 的 T 绝对值最小, 说明其分级的 3 个组界限最不明显; 统计量 A 最小, 说明组内的一致性最低。但是从各土壤养分因子的方差结果(0.111)来看, 各土壤养分因子已达到有效分级的要求。AP 和 OM 对地被植物的分布均有显著影响($P < 0.05$); 而 AN 和 AK 对地被植物分布的影响不显著。土壤养分因子对地被植物分布的影响为 AP > OM > AK > AN。

表 4 地被植物和 4 个土壤养分因子的多响应置换过程分析

Table 4 MRPP for ground vegetation among four soil nutrient factors

土壤养分 Soil nutrient	观测值 Observed data	方差 Variance	偏度 Skewness	统计量 T Statistic T	统计量 A Statistic A	<i>P</i>
速效氮 Available nitrogen	34.488	0.111	-0.782	-1.503	0.014	0.079
速效磷 Available phosphorus	34.072	0.111	-0.791	-2.751	0.026	0.012
速效钾 Available potassium	34.451	0.111	-0.806	-1.609	0.015	0.069
有机质 Organic matter	34.302	0.111	-0.806	-1.609	0.020	0.037

2.4 地被植物对土壤养分的指示作用

ISA 的结果表明, 部分地被植物对土壤养分有指示作用, 有 11 种地被植物的指示值 ≥ 20 ($P < 0.05$), 占总数的 8.66%。对 OM 有指示作用的地被植物最多, 有 4 种; 对 AN 和 AK 有指示作用的地被植物

次之, 有 3 种; 对 AP 有指示作用的地被植物最少, 只有 1 种(表 5)。

AN 指示种的箱线图 从图 2 可见, 狗骨柴 (*Tricalysia dubia*) 主要在 AN 的组别 2 中出现, 在组别 1 和 3 中虽然也有出现, 但为异常值, 因此,

狗骨柴可看作只在组别 2 中出现, 可作为 AN 组别 2 的良好指示种。广东蛇葡萄(*Ampelopsis cantoniensis*)在 AN 的组别 1 和 3 中均有出现, 但在组别 3 出现的数量只是组别 1 的一半, 而且有异常值, 说明其更适应组别 1 的环境, 在组别 2 中虽然也有

出现, 但为异常值, 因此, 广东蛇葡萄并不是 AN 组别 1 的良好指示物种。油点草(*Tricyrtis macropoda*)主要在 AN 的组别 1 中出现; 在组别 2 和 3 中均无出现, 因此, 油点草可作为 AN 组别 1 的良好指示物种。

表 5 土壤养分的指示种

Table 5 ISA of soil nutrients

土壤养分 Soil nutrient	物种 Species	分组 Group	指示值 Indicator value	P
速效氮 Available nitrogen	狗骨柴 <i>Tricalysia dubia</i>	2	41.3	0.002 6
	广东蛇葡萄 <i>Ampelopsis cantoniensis</i>	1	37.9	0.012 8
	油点草 <i>Tricyrtis macropoda</i>	1	20.2	0.036 8
速效磷 Available phosphorus	华山姜 <i>Alpinia chinensis</i>	1	48.2	0.002 6
速效钾 Available potassium	赤楠蒲桃 <i>Syzygium buxifolium</i>	1	30.2	0.032 4
	十字苔草 <i>Carex cruciata</i>	2	25.0	0.034 0
有机质 Organic matter	金钗凤尾蕨 <i>Pteris fauriei</i>	3	21.1	0.038 0
	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	3	22.2	0.030 8
	华山姜 <i>Alpinia chinensis</i>	1	36.6	0.031 8
	蔓胡颓子 <i>Elaeagnus glabra</i>	1	21.1	0.036 0
	豆腐柴 <i>Premna microphlla</i>	2	30.1	0.036 4

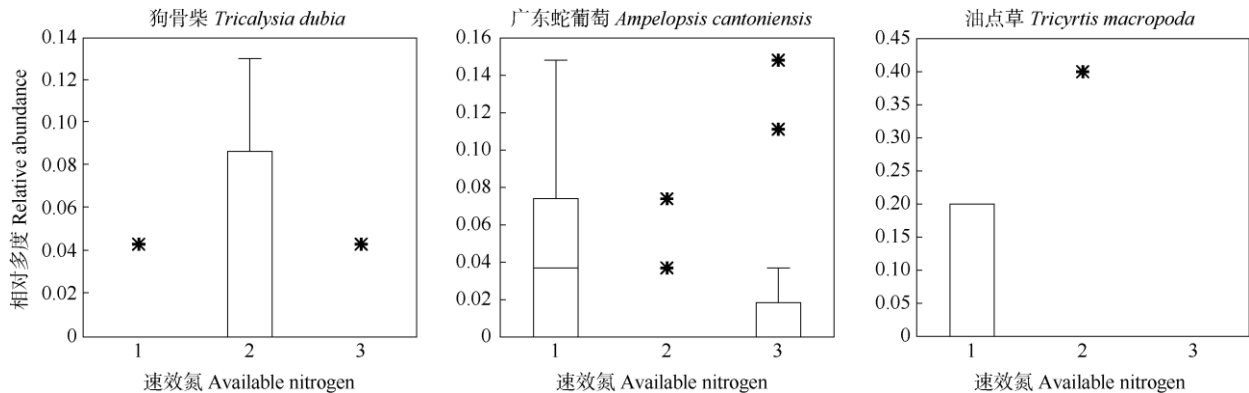


图 2 速效氮(AN)指示种的箱线图。1: AN ≤ 270 mg/kg; 2: 270 mg/kg < AN ≤ 360 mg/kg; 3: AN > 360 mg/kg。□: 25%~75%; 工: 非异常值; ○: 异常值; *: 极端值。下图同。

Fig. 2 Boxplot of available nitrogen (AN) indicator species. 1: AN ≤ 270 mg/kg; 2: 270 mg/kg < AN ≤ 360 mg/kg; 3: AN > 360 mg/kg. □: 25%~75%; 工: Non-outlier range; ○: Outliers; *: Extremes. The same is following Figures.

AP 指示种的箱线图 从图 3 可见, 华山姜 (*Alpinia chinensis*)主要在 AP 的组别 1 中出现, 在组别 2 和 3 中虽然也有出现, 但为异常值, 因此, 华山姜可看作只在组别 1 中出现, 可作为 AP 组别 1 的良好指示种。

AK 指示种的箱线图 从图 4 可见, 赤楠蒲桃 (*Syzygium buxifolium*)主要在 AK 的组别 1 中出现; 在组别 2 中无出现, 在组别 3 中虽然也有出现, 但为异常值, 因此, 赤楠蒲桃可看作只在组别 1 中出

现, 可作为 AK 组别 1 的良好指示种。十字苔草 (*Carex cruciata*)主要在 AK 的组别 2 中出现, 在组别 1 和 2 中均无出现, 因此, 十字苔草可作为 AK 组别 2 的良好指示物种。金钗凤尾蕨 (*Pteris fauriei*)在 AK 的组别 1 和 2 中均无出现, 虽然在组别 3 中出现, 但为异常值, 因此, 金钗凤尾蕨并不是 AK 组别 3 的良好指示物种。

OM 指示种的箱线图 从图 5 可见, 箬竹 (*Indocalamus tessellatus*)在 OM 的组别 1 和 2 中均无

出现,虽然在组别 3 中出现,但为异常值,因此,箬竹并不是 OM 组别 3 的良好指示物种。华山姜 (*Alpinia chinensis*) 主要在 OM 的组别 1 中出现,在组别 2 和 3 中虽然也有出现,但为异常值,因此,华山姜可看作只在组别 1 中出现,可作为 OM 组别 1 的良好指示种。蔓胡颓子 (*Elaeagnus glabra*) 在 OM 的

组别 2 和 3 中均无出现,虽然在组别 1 中出现,但为异常值,因此,蔓胡颓子并不是 OM 组别 3 的良好指示物种。豆腐柴 (*Premna microphlla*) 主要在 OM 的组别 2 中出现;在组别 1 中虽然也有出现,但为异常值;在组别 3 中无出现,因此,豆腐柴可看作只在组别 2 中出现,可作为 OM 组别 2 的良好指示种。

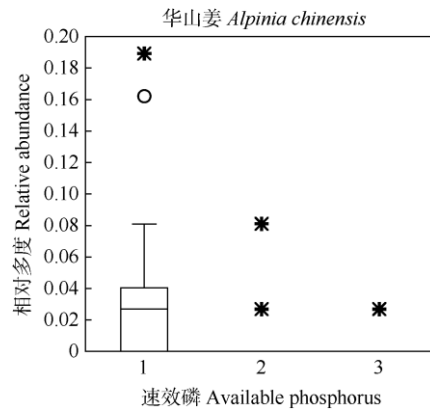


图 3 速效磷(AP)指示种的箱线图。1: $AP \leq 2 \text{ mg/kg}$; 2: $2 \text{ mg/kg} < AP \leq 3 \text{ mg/kg}$; 3: $AP > 3 \text{ mg/kg}$ 。

Fig. 3 Boxplot of available phosphorus (AP) indicator species. 1: $AP \leq 2 \text{ mg/kg}$; 2: $2 \text{ mg/kg} < AP \leq 3 \text{ mg/kg}$; 3: $AP > 3 \text{ mg/kg}$.

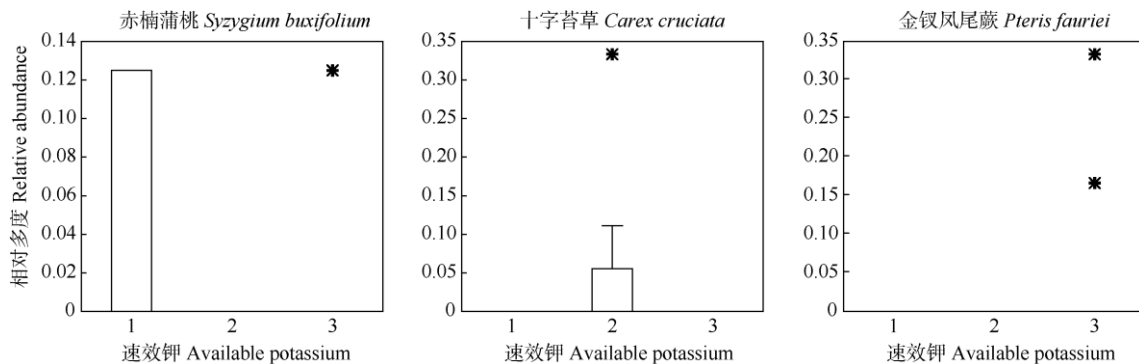


图 4 速效钾(AK)指示种的箱线图。1: $AK \leq 100 \text{ mg/kg}$; 2: $100 \text{ mg/kg} < AK \leq 150 \text{ mg/kg}$; 3: $AK > 150 \text{ mg/kg}$ 。

Fig. 4 Boxplot of available potassium (AK) indicator species. 1: $AK \leq 100 \text{ mg/kg}$; 2: $100 \text{ mg/kg} < AK \leq 150 \text{ mg/kg}$; 3: $AK > 150 \text{ mg/kg}$.

3 结论和讨论

地表植被中的优势种最终形成和稳定说明此种植物最能适应此处的生长环境。从本研究结果来看,重要值 $\geq 2\%$ 的 12 种地被植物均没成为土壤养分的指示种,说明在环境中起明显控制作用的优势种,虽然作为样地中的适生种,但不一定能成为环境的指示种;进一步证明了自然界中并非所有植物都能作为土壤养分的指示种,只有对土壤养分的适应范围相对狭小的植物才能成为指示种,尤其是关键种、特有种、濒危种和环境敏感种^[27]。优势种狗

脊蕨广布于长江流域以南各省区,为丘陵地区常见的植物;草珊瑚常生长于海拔 400~1 500 m 的山坡、沟谷常绿阔叶林下阴湿处;扇叶铁线蕨 (*Adiantum flabellulatum*) 生于海拔 100~1 100 m 的红、黄壤上等,均反映着样地亚热带山地常绿阔叶林海拔 343~475 m 的林下环境。

土壤氮素是植物生长发育所必需的营养元素之一,也是重要的限制因子。本研究样地的 AN 含量大于 150 mg/kg,属很丰富级别,因此,AN 并不是样地地被植物生长和发育的限制因子,AN 含量的变化对样地地被植物的组成与分布并没显著影

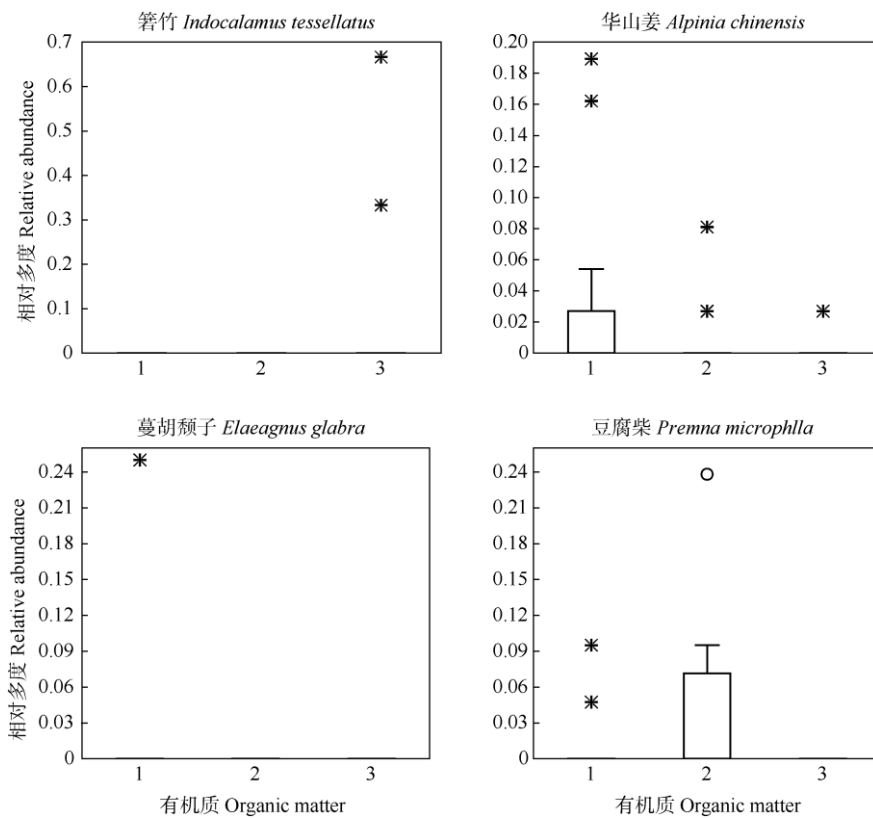


图 5 有机质(OM)指示种的箱线图。1: $OM \leq 0.6 \text{ mg/kg}$; 2: $0.6 \text{ mg/kg} < OM \leq 0.8 \text{ mg/kg}$; 3: $OM > 0.8 \text{ mg/kg}$ 。

Fig. 5 Boxplot of organic matter (OM) indicator species. 1: $OM \leq 0.6 \text{ mg/kg}$; 2: $0.6 \text{ mg/kg} < OM \leq 0.8 \text{ mg/kg}$; 3: $OM > 0.8 \text{ mg/kg}$.

响($P_{MRPP}=0.079$)。这也说明在亚热带山地常绿阔叶林中 AN 含量充足, 不是植物生长发育的限制因素。在样地中狗骨柴主要分布于 AN 含量在 270~360 mg/kg 的样方中, 是该浓度的指示种; 油点草主要分布于 AN 含量 $\leq 270 \text{ mg/kg}$ 的样方中, 是该浓度的指示种。

磷是植物生长所必须的大量元素之一, 也是最受限制的元素之一, 样地中的 AP 含量均在 5.6 mg/kg 以下, 属很缺乏级别, 因此 AP 是样地植物生长和发育的限制因子, 样地中地被植物的组成和分布在不同 AP 含量梯度下存在显著差异($P_{MRPP}<0.05$), 这也进一步证明 AP 是亚热带常绿阔叶林植物生长和发育的主要限制因子。在样地中华山姜主要分布于 AP 含量 $\leq 2 \text{ mg/kg}$ 的样方中, 是该浓度的指示种。

钾是植物生长所必须的大量元素之一, 样地中的 AK 含量为 55.8~201.0 mg/kg, 有缺乏、中等和丰富 3 个级别, AK 含量的变化对样地地被植物的组成与分布并没显著影响($P_{MRPP}=0.069$), 说明 AK 并不是亚热带山地常绿阔叶林地被植物生长和发育的主要限制因子。在样地中赤楠蒲桃主要分布于

AK 含量 $\leq 100 \text{ mg/kg}$ 的样方中, 是该浓度的指示种。十字苔草主要分布于 AK 含量为 100~150 mg/kg 的样方中, 是该浓度的指示种。

OM 是影响植物生长与分布的主要营养元素之一, 也是最受限制的元素之一, 样地的 OM 含量均小于 1.65%, 属缺乏级别, 因此 OM 是样地植物生长和发育的限制因子, 样地中地被植物的组成与分布在不同 OM 含量梯度下存在显著差异($P_{MRPP}<0.05$), 这也进一步证明 OM 是亚热带常绿阔叶林植物生长和发育的主要限制因子。箬竹主要分布于 OM 含量 $>0.8\%$ 的样方中, 是该浓度的指示种。华山姜和豆腐柴主要分布于 OM 含量 $\leq 0.6\%$ 的样方中, 是该浓度的指示种。

利用有效的地表植被调查方式来监测森林的土壤状况, 为森林经营管理及土壤健康评价带来方便, 这种方法得到研究者的重视和肯定^[27-28]。Dufrêne 等^[30]提出以多度和频度为基础计算指示值的方法广受推崇, 本文利用此法初步筛选出指示种, 结合箱线图, 能更精确地筛选出对某一养分梯度有良好指示作用的地被植物。《中国植物志》中

描述的部分地表植被生境特征主要集中于地形、光照和水分因子,若结合土壤养分等因素则能更全面、科学地反映出植物的生境状况。指示种分析不但验证了人们所熟悉的某些植物的生境状况,还进一步补充了植物生长习性和环境的多样化,可以完善植物区系、植物志和植物名录的生境资料。地被植物指示种对环境信息的反映不但能为研究样地的环境条件提供理论支撑,还能为该物种的人工栽培提供理论依据,这对于生物多样性的保育、退化生境的恢复重建的引种栽培有很重要的意义。

参考文献

- [1] DIEKMANN M. Species indicator values as an important tool in applied plant ecology: A review [J]. *Basic Appl Ecol*, 2003, 4(6): 493–506. doi: 10.1078/1439-1791-00185.
- [2] PODANI J, CSÁNYI B. Detecting indicator species: Some extensions of the IndVal measure [J]. *Ecol Indic*, 2010, 10(6): 1119–1124. doi: 10.1016/j.ecolind.2010.03.010.
- [3] WAMELINK G W W, JOOSTEN V, van DOBBEN H F, et al. Validity of Ellenberg indicator values judged from physico-chemical field measurements [J]. *J Veg Sci*, 2002, 13(2): 269–278. doi: 10.1111/j.1654-1103.2002.tb02047.x.
- [4] SIDDIG A A H, ELLISON A M, OCHS A, et al. How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in *Ecological indicators* [J]. *Ecol Indic*, 2016, 60(1): 223–230. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.06.036.
- [5] DUNG N T, WEBB E L. Combining local ecological knowledge and quantitative forest surveys to select indicator species for forest condition monitoring in central Vietnam [J]. *Ecol Indic*, 2008, 8(5): 767–770. doi: 10.1016/j.ecolind.2007.09.002.
- [6] MAGINEL C J, KNAPP B O, KABRICK J M, et al. Floristic quality index for woodland ground flora restoration: Utility and effectiveness in a fire-managed landscape [J]. *Ecol Indic*, 2016, 67: 58–67. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.02.035.
- [7] HÄRDITTE W, von OHEIMB G, WESTPHAL C. The effects of light and soil conditions on the species richness of the ground vegetation of deciduous forests in northern Germany (Schleswig-Holstein) [J]. *For Ecol Manag*, 2003, 182(1/2/3): 327–338. doi: 10.1016/S0378-1127(03)00091-4.
- [8] BAREFOOT C R, WILLSON K G, HART J L, et al. Effects of thinning and prescribed fire frequency on ground flora in mixed *Pinus*-hardwood stands [J]. *For Ecol Manag*, 2019, 432: 729–740. doi: 10.1016/j.foreco.2018.09.055.
- [9] WOLDEWAHID G, van der WERF W, SYKORA K, et al. Description of plant communities on the Red Sea coastal plain of Sudan [J]. *J Arid Environ*, 2007, 68(1): 113–131. doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.04.003.
- [10] OU Y D, WANG H N, ZHANG L, et al. Topographic correlates of understory plant species distribution in Nanling National Nature Reserve, Guangdong [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2009, 27(1): 41–46. doi: 10.3969/j.issn.2095-0837.2009.01.007.
区余端, 王华南, 张璐, 等. 南岭国家级自然保护区林下植物分布的地形相关性 [J]. *武汉植物学研究*, 2009, 27(1): 41–46. doi: 10.3969/j.issn.2095-0837.2009.01.007.
- [11] OU Y D, SU Z Y, LI Z K, et al. Effects of topographic factors on the distribution patterns of ground plants with different growth forms in montane forests in north Guangdong, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, 22(5): 1107–1113. doi: 10.13287/j.1001-9332.2011.0184.
区余端, 苏志尧, 李镇魁, 等. 地形因子对粤北山地森林不同生长型地表植物分布格局的影响 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(5): 1107–1113. doi: 10.13287/j.1001-9332.2011.0184.
- [12] OU Y D, WANG C B, SU Z Y. The dynamics of different growth form ground vegetation following a natural disturbance [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, 35(13): 4500–4507. doi: 10.5846/stxb201409241889.
区余端, 王楚彪, 苏志尧. 南方冰灾干扰后车八岭山地常绿阔叶林地被植物动态变化 [J]. *生态学报*, 2015, 35(13): 4500–4507. doi: 10.5846/stxb201409241889.
- [13] OU Y D, SU Z Y, KE X D, et al. Vascular ground flora in relation to topography, canopy structure and gap light regimes in a subtropical broadleaved forest (south China) [J]. *Pol J Ecol*, 2012, 60(3): 463–479.
- [14] ALBERDI I, CONDÉS S, MARTÍNEZ-MILLÁN J. Review of monitoring and assessing ground vegetation biodiversity in national forest inventories [J]. *Environ Monit Assess*, 2010, 164(1/2/3/4): 649–676. doi: 10.1007/s10661-009-0919-4.
- [15] ÁLVAREZ-ÁLVAREZ P, BARRIO-ANTA M, CÁMARA-OBREGÓN A, et al. Ground vegetation as an indicator of site quality: Effect of non-site factors on the productivity of newly established chestnut plantations in northwestern Spain [J]. *J For Res*, 2013, 18(5): 407–417. doi: 10.1007/s10310-012-0361-2.
- [16] JACOBSON S, GUSTAFSSON L. Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand [J]. *Basic Appl Ecol*, 2001, 2(3): 233–241. doi: 10.1078/1439-1791-00050.
- [17] OU Z Y, SU Z Y, YE Y C, et al. Ground vegetation as indicators of topsoil chemical properties in Dongguan, south China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(2): 984–992. doi: 10.3321/j.issn.1000-0933.2009.02.054.
欧芷阳, 苏志尧, 叶永昌, 等. 东莞地表植被对表层土壤化学特性的指示作用 [J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 984–992. doi: 10.3321/j.issn:

- 1000-0933.2009.02.054.
- [18] XU M, ZHANG J, LIU G B, et al. Analysis on vegetation-soil coupling relationship in gullies with different vegetation restoration patterns [J]. *J Nat Resour*, 2016, 31(12): 2137–2146. doi: 10.11849/zrzyxb.20150736.
- 徐明, 张健, 刘国彬, 等. 不同植被恢复模式沟谷地植被-土壤系统耦合关系评价 [J]. *自然资源学报*, 2016(12): 2137–2146. doi: 10.11849/zrzyxb.20150736.
- [19] ZHANG H T, LIANG J Y, ZHOU Z L, et al. Relationship between distribution characteristics of soil physicochemical properties and vegetation in desert riparian forest in the middle reaches of the Tarim River [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2016, 23(2): 6–12. doi: 10.13869/j.cnki.rswc.2016.02.002.
- 张海涛, 梁继业, 周正立, 等. 塔里木河中游荒漠河岸林土壤理化性质分布特征与植被关系 [J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2): 6–12. doi: 10.13869/j.cnki.rswc.2016.02.002.
- [20] XU Y Q. A comprehensive report of surveys in Chebaling National Nature Reserve [C]// XU Y Q. A Collection of Research Papers on the Investigation of Chebaling National Nature Reserve. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1993: 1–8.
- 徐燕千. 车八岭国家级自然保护区调查研究综合报告 [C]// 徐燕千. 车八岭国家级自然保护区调查研究论文集. 广州: 广东科技出版社, 1993: 1–8.
- [21] CHEN B G, ZENG T X, XIE Z S. The main forest vegetation types and structural characteristics in Chebaling National Nature Reserve [C]// XU Y Q. A Collection of Research Papers on the Investigation of Chebaling National Nature Reserve. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1993: 143–147.
- 陈北光, 曾天勋, 谢正生. 车八岭国家级自然保护区主要森林植被类型及其结构特征 [C]// 徐燕千. 车八岭国家级自然保护区调查研究论文集. 广州: 广东科技出版社, 1993: 143–147.
- [22] BAO S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- 鲍士旦. *土壤农化分析* [M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] ZHANG Y X, MA K M, QI J, et al. Size structure and spatial pattern of *Quercus liaotungensis* population along elevation gradient in Dongling Mountain, Beijing [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(6): 2789–2796. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2009.06.004.
- 张育新, 马克明, 祁建, 等. 北京东灵山海拔梯度上辽东栎种群结构和空间分布 [J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 2789–2796. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2009.06.004.
- [24] SURIGUGA, ZHANG J T, CHENG J J, et al. Population structure and distribution pattern of dominant species in *Tilia mandshurica* forest in Dongling Mountain of Beijing [J]. *Chin J Ecol*, 2009, 28(7): 1253–1258. doi: 10.13292/j.1000-4890.2009.0199.
- 苏日古嘎, 张金屯, 程佳佳, 等. 东灵山糠椴林优势种种群结构与分布格局 [J]. *生态学杂志*, 2009, 28(7): 1253–1258. doi: 10.13292/j.1000-4890.2009.0199.
- [25] McCUNE B, MEFFORD M J. *PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 5. MjM Software* [M]. Oregon, USA: Gleneden Beach, 2006.
- [26] HE X B, LI QL, DUAN QZ, et al. Variation analyzing on fertilization and soil nutrients in Yunnan Province [J]. *Soil Ferti Sci China*, 2011, 21(03): 21–26.
- 何晓滨, 李庆龙, 段庆钟, 等. 云南省施肥及土壤养分变化分析 [J]. *中国土壤与肥料*, 2011, 21(03): 21–26.
- [27] LI J R, ZHANG Z M, LUO K. The establishment of forest ecosystem health assessment index [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2007, 14(3): 173–175, 179. doi: 10.3969/j.issn.1005-3409.2007.03.054.
- 李静锐, 张振明, 罗凯. 森林生态系统健康评价指标体系的建立 [J]. *水土保持研究*, 2007, 14(3): 173–175, 179. doi: 10.3969/j.issn.1005-3409.2007.03.054.
- [28] ABELLA S R, COVINGTON W W. Vegetation-environment relationships and ecological species groups of an Arizona *Pinus ponderosa* landscape, USA [J]. *Plant Ecol*, 2006, 185(2): 255–268. doi: 10.1007/s11258-006-9102-y.
- [29] QIU K Y, XIE Y Z, XU D M, et al. Ecosystem functions including soil organic carbon, total nitrogen and available potassium are crucial for vegetation recovery [J]. *Sci Rep*, 2018, 8: 7607. doi: 10.1038/s41598-018-25875-x.
- [30] DUFRENÉ M, LEGENDRE P. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach [J]. *Ecol Monogr*, 1997, 67(3): 345–366. doi: 10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAI]2.0.CO;2.