

东莞地表植被对表层土壤化学特性的指示作用

欧芷阳¹, 苏志尧^{1,*}, 叶永昌², 朱剑云², 刘颂颂²

(1. 华南农业大学林学院, 广东, 广州 510642; 2. 东莞市林业科学研究所, 广东 东莞 523106)

摘要:为探讨由草本、灌木和蕨类植物等组成的地表植被对表土化学性质的响应, 研究基于 200 m × 200 m 的 UTM 网格在东莞大岭山及同沙设置样地, 进行地表植被调查并采集土壤样品。在 38 个网格样地单元的中心分别设置一个 20 m × 20 m 的样方调查地表维管植物并采集 1 个土壤混合样品, 以分析地表植被与表土化学性质的关系。调查记录到地表维管植物 122 种, 共计 18 426 株, 其中, 蕨类植物 12 种、草本植物 52 种、藤本植物 13 种、灌木 45 种。多响应置换过程 (Multi-response Permutation Procedures) 分析结果表明, 土壤 pH 值、阳离子交换量 (CEC)、土壤全氮 (TN)、速效磷 (AvP) 和速效钾 (AvK) 均影响着地表维管植物的种类组成。典范对应分析 (CCA) 进一步证实了土壤 CEC、全磷 (TP) 以及 AvK 对该地区地表维管植物种类组成及群落分布有着重要的影响。在一些土壤 pH 值较低或 AvK、CEC、TN 含量比较丰富的地段, 地表维管植物的多度也相对较高。相关分析表明, 土壤因子中的 TN 与 Shannon-Wiener 多样性指数间呈显著负相关, 与生态优势度间呈显著正相关; 土壤 CEC 和 AvK 均与 Shannon-Wiener 多样性指数间呈显著正相关, 但 AvK 与生态优势度之间为显著负相关关系。指示种分析表明, 有 23 种地表维管植物对特定土壤因子的指示值 ≥ 35 , 具有显著的指示作用。这些种类对于监测和评价东莞的土壤环境有着广阔的应用前景。

关键词:地表植被; 土壤化学特性; MRPP; CCA 排序; 指示种分析

文章编号: 1000-0933(2009)02-0984-09 中图分类号: Q142, Q948 文献标识码: A

Ground vegetation as indicators of topsoil chemical properties in Dongguan, South China

OU Zhi-Yang¹, SU Zhi-Yao^{1,*}, YE Yong-Chang², ZHU Jian-Yun², LIU Song-Song²

1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Dongguan Research Institute of Forestry, Dongguan 523106, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0984 ~ 0992.

Abstract: Ground vegetation consists of herbs, shrubs, ferns and vines, which are easily affected by soil factors because of shallow rooting. In order to assess the response of ground vegetation to topsoil chemical variables, *i. e.*, pH, total nitrogen (TN), available nitrogen (AvN), available phosphorus (AvP), available potassium (AvK), soil organic matter (SOM), and cation exchange capacity (CEC), plant censuses and composite soil samples were collected from Dalingshan and Tongsha of Dongguan, South China, which were based on a grid system of 200 m × 200 m superimposed on the topographic map of the study sites. A 400-m² plot was set up at the center of each of the 38 grid squares for plant census and the collection of a composite soil sample. A total of 18 426 vascular ground plants representing 122 species were recorded, including 12 species of ferns, 52 species of herbs, 13 species of vines and 45 species of shrubs. Multi-response Permutation Procedures (MRPP) showed that variations in species composition of vascular ground vegetation was associated with soil pH, CEC, TN, AvP, and AvK. Canonical Correspondence Analysis (CCA) confirmed that CEC, TN and AvK had significant effects on species composition and distribution of the vascular ground flora. Higher abundance in particular groups of vascular ground plant species were found in soils with lower pH or higher contents of AvK, CEC, and TN. Soil

基金项目: 广东省科技计划资助项目(2002C20703); 广东省林业科技计划资助项目(2004-35)

收稿日期: 2008-03-10; 修订日期: 2008-11-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zysu@scau.edu.cn

TN showed significant negative correlation with Shannon-Wiener index and positive correlation with ecological dominance, whereas soil AvK and CEC were positively correlated with Shannon-Wiener index and soil AvK negatively with ecological dominance. Indicator Species Analysis (ISA) identified 23 vascular ground plant species with significant indicator value ≥ 35 as potential indicators for specific soil factors, which will find wide applications in monitoring and assessment of the soil environment of Dongguan City.

Key Words: ground vegetation; soil chemical properties; MRPP; CCA; indicator species analysis

植物的生长和分布受到环境制约。植物群落与土壤环境之间的关系尤为密切,其物种组成与表层土壤密切相关^[1],随着土壤环境的改变而发生变化^[2]。生长于不同环境条件下的植物,还会产生某些适应性现象,在个体形态、生理机能等方面存在显著差异,表现出对环境的指示作用。如山西黄土高原不同密度的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林中,因水分缺乏导致林木生长滞缓,成为大片“小老树”,甚至在高密度林分内,一些树木已出现干梢现象,反映出林内水分环境已严重恶化^[3]。一些结构比较简单、对环境变化敏感的植物,如苔藓植物、浮游植物等常被应用为对土壤^[4]、大气^[5]和水体污染^[6]指示的研究对象。由草本、灌木以及蕨类植物等组成的地表植被,根系相对较浅,很容易受到表层土壤因子的影响。地表植物区系因对生境的干扰很敏感也被认为是有效的生物指示器^[7],可以利用其中一些物种对土壤化学性质的潜在指示作用,通过地表植被物种组成来评价土壤的营养状况^[8]。本项研究对东莞大岭山和同沙进行地表植被调查,采集和分析土壤的化学特性,研究地表植被物种组成、群落分布及其多样性与表土化学性质的关系,以探讨地表植被对表土化学性质的响应,并确定可作为特定土壤环境指示信号的指示植物。

1 研究地基本概况

研究样地位于东莞市同沙生态公园(113°46'00"~113°56'40"E,22°56'40"~22°59'40"N)和大岭山森林公园(113°42'22"~113°48'12"E,22°50'00"~22°53'32"N)范围内。样地所在的2个地区自然地理条件相似。地貌属于中低丘陵,地形起伏多变,海拔多在150m以下,坡度较为平缓,一般都在5~15°之间。气候属于南亚热带季风气候,年平均气温21.9℃,1月平均气温13.8℃,7月平均气温27.6℃,极端低温-0.5℃,极端高温37.9℃。降雨量充沛,年降雨量为1759mm,主要集中在4~9月份,占全年降雨量的80%以上,全年平均相对湿度79%,秋季常有台风。土壤属于赤红壤,主要为花岗岩发育而成,土壤呈微酸性。典型的地带性植物景观为南亚热带季风常绿阔叶林,但现有植被景观主要为果园和人工林。

2 研究方法

2.1 野外取样和样品分析

分别在在东莞大岭山及同沙森林公园的地形图上叠加18和20个200m×200m的UTM网格,每个网格中按照S型采集7个表层(0~25cm)土样,经均匀混合从中取1个1kg的土壤混合样进行实验室分析,并在每个网格的中心位置设置一个20m×20m的样方调查地表维管植物的多度和频度。共采集了38个土壤混合样,地表植被样方调查面积为15200m²。采样时间为2004年8月。

将风干后的土壤样品,做研磨过筛处理,采用常规分析方法^[9,10]测定土壤pH值,速效氮(AvN),速效磷(AvP),速效钾(AvK),全氮(TN)以及有机质(SOM)7个指标。

2.2 数据处理与分析

计算地表植被的以下4个指标:物种丰富度 S (物种数)、Shannon-Wiener指数 H' ($H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log p_i$)、均匀度指数 E ($E = H'/\ln S$)和生态优势度指数 C ($C = \sum_{i=1}^S p_i^2$);公式中 S 为物种数, p_i 为第 i 种的个体数与样方总个体数的比值。按照各土壤因子数值的强弱程度分为3组,作为分组变量(grouping variable)用多响应置换过程(multi-response permutation procedures, MRPP)分析方法检验各组的在地表植被物种组成之间的差异

性。MRPP 是一种用于两个或多个多元数据矩阵差异性分析的非参数检验方法,并不要求数据正态分布和方差齐性,因此已被广泛应用在与生态学相关的研究中^[11,12]。采用 Dufrene & Legendre 提出的方法进行各土壤环境因子的指示种分析^[13],应用 Monte Carlo 方法来检验每种植物指示值的显著性。进行典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA),以分析地表维管植物种类组成及群落分布与土壤环境因子之间的关系。除相关分析在统计软件 STATISTICA^[14]上运行之外,其他统计分析及相关指标的计算均在生态学多元分析软件 PC-ORD 5.0^[15]中完成。

3 结果与分析

3.1 地表植被物种组成及土壤环境因子

本次调查的地表维管植物包括了蕨类植物、草本植物、藤本植物以及地表灌木,乔木幼苗不在调查范围内。调查共记录到 122 种地表维管植物,共计 18 426 株,其中,蕨类植物 12 种、草本植物 52 种、藤本植物 13 种、灌木 45 种。从计算结果可知,东莞林科园地表维管植物的物种多样性均不高,各样方的 Shannon-Wiener 多样性指数在 0.951 ~ 3.120 之间。从表 1 中看出,物种多样性较低的样方(如 P22),其均匀度指数也较低,但生态优势度则比较高,这可能是由于样方内出现的一些物种个体数量较多,分布不均匀,从而降低了样方内的物种多样性。

38 个网格 0 ~ 25 cm 土壤的养分测定值统计结果见表 2。表中显示,研究地土壤 pH 值的变化范围为 3.94 ~ 5.35,为偏酸性至强酸性土壤;速效氮和有机质的含量相对较高,分别为(115.59 ± 65.12) (mg/kg) 和 (23.48 ± 29.28) (g/kg),速效磷和速效钾的含量则低得多,分别为(12.68 ± 15.95) (mg/kg) 和 (18.97 ± 12.16) (mg/kg),说明网格样地内土壤养分中磷和钾相对缺乏。

表 1 样地物种多样性

Table 1 Species diversity by plot

样方	丰富度	多度	H'	C	均匀度	样方	丰富度	多度	H'	C	均匀度
P01	18	214	2.8230	0.0654	0.9770	P20	16	161	2.7720	0.0625	1.0000
P02	19	2483	1.7360	0.2601	0.5900	P21	8	36	1.8060	0.1944	0.8690
P03	16	1199	1.3110	0.4678	0.4730	P22	16	522	0.9510	0.5700	0.3430
P04	13	130	2.5650	0.0769	1.0000	P23	11	760	1.3410	0.3665	0.5590
P05	21	1257	2.1170	0.2182	0.6950	P24	19	80	2.3920	0.1288	0.8120
P06	16	1655	2.0620	0.1675	0.7440	P25	19	313	1.4340	0.4698	0.4870
P07	15	160	2.6990	0.0680	0.9970	P26	22	88	2.7680	0.0783	0.8950
P08	21	231	3.0230	0.0501	0.9930	P27	10	130	1.0610	0.5585	0.4610
P09	17	203	2.8060	0.0623	0.9900	P28	13	261	1.3510	0.4128	0.5270
P10	14	140	2.6390	0.0714	1.0000	P29	15	206	1.6420	0.3146	0.6060
P11	11	3182	1.1470	0.5160	0.4780	P30	9	498	1.0830	0.4306	0.4930
P12	6	983	1.0480	0.4428	0.5850	P31	16	132	2.1380	0.1947	0.7710
P13	6	292	1.0700	0.5129	0.5970	P32	20	906	1.8720	0.2045	0.6250
P14	15	922	1.9440	0.2019	0.7180	P33	13	59	2.1990	0.1365	0.8570
P15	17	183	2.8210	0.0604	0.9960	P34	14	234	1.9730	0.2248	0.7480
P16	6	60	1.7920	0.1667	1.0000	P35	9	56	1.6540	0.2577	0.7530
P17	25	182	3.1200	0.0492	0.9690	P36	6	45	1.1100	0.4953	0.6190
P18	10	100	2.3030	0.1000	1.0000	P37	13	81	1.7230	0.2669	0.6720
P19	18	184	2.8880	0.0558	0.9990	P38	16	98	2.3610	0.1125	0.8510

样方 Plot; 丰富度 Richness; 多度 Abundance; H' Shannon 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index; C 生态优势度 Ecological dominance; 均匀度 Evenness

3.2 地表植物种类组成与土壤因子的关系

依据表 2 所列的各土壤因子的测定值分组标准将 38 个样方分别分成 3 组,采用 MRPP 分析地表维管植

物物种组成对土壤因子的响应(表 3)。结果表明,地表植被物种组成与土壤 pH 值($p = 0.0119, A = 0.0737$)、CEC($p < 0.0001, A = 0.2303$)、土壤全氮($p = 0.0013, A = 0.1086$)、速效磷($p = 0.0186, A = 0.0664$)和速效钾($p < 0.0001, A = 0.1764$)等土壤因子密切相关。依据样方中上述各因子的含量分别对 38 个样方进行分组,各组地表维管植物种类组成之间存在显著差异;但依据土壤速效氮($p = 0.4019, A = 0.0038$)和有机质($p = 0.1501, A = 0.0274$)的含量进行分组,各组的地表维管植物种类组成之间不存在显著差异,说明土壤速效氮和有机质对地表维管植物的种类组成无明显影响。

表 2 土壤化学性质的描述统计及分组标准

Table 2 Descriptive statistics of soil chemical variables and their grouping criteria ($n = 38$)

土壤因子 Soil factor	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum	测定值分组 Assignment of measured value to groups;		
					低 Low	中等 Medium	高 High
pH 值 pH value	4.49	0.34	3.94	5.35	< 4.5	4.5 ~ 4.9	> 4.9
速效氮 Available N(mg/kg)	115.59	65.12	14.84	375.82	< 85.0	85.0 ~ 155.0	> 155.0
全氮 Total nitrogen(mg/kg)	0.43	0.42	0.04	1.78	< 0.5	0.5 ~ 1.0	> 1.0
速效磷 Available phosphorus(mg/kg)	12.68	15.95	0.83	93.76	< 10.0	10.0 ~ 20.0	> 20.0
有机质 Soil organic matter(g/kg)	23.48	29.28	3.57	183.05	< 15.0	15.0 ~ 30.0	> 30.0
阳离子交换量 Cation exchange capacity (mmol/kg)	326.80	39.49	273.79	413.88	< 320.0	320.0 ~ 365.0	> 365.0
速效钾 Available potassium(mg/kg)	18.97	12.16	2.48	42.07	< 15.0	15.0 ~ 28.0	> 28.0

表 3 多响应置换过程分析方法(MRPP)的统计值

Table 3 Summary statistics for Multi-response Permutation Procedures (MRPP) of sample units of the species composition of ground vascular flora grouped by soil chemical factors

分组变量	观测 Delta	预期 Delta	T 值	A 值	p 值
pH	0.4594	0.5000	-2.9649	0.0811	0.0071 **
AvN	0.4996	0.5000	-0.3119	0.0008	0.4455
TN	0.4479	0.5000	-3.7279	0.1043	0.0016 **
AvP	0.4631	0.5000	-2.6933	0.0738	0.0115 *
CEC	0.3979	0.5000	-7.1097	0.2042	0.0000 ***
SOM	0.4870	0.5000	-0.9663	0.0259	0.1620
AvK	0.4184	0.5000	-6.0600	0.1632	0.0000 ***

分组变量 Grouping variables; 观测 Delta observed delta; 预期 Delta expected delta; T 值 T-value; A 值 A-value; p 值 p-value; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.0001$

3.3 指示种分析

分析各土壤因子的指示种,把指示值 $IV \geq 35$ 且 $p < 0.05$ 的植物视为潜在的指示种。依据这一标准,122 种地表维管植物中,共有 23 种为潜在的指示种。其中,4 种为蕨类植物,8 种为草本植物,3 种为藤本植物,8 种为灌木(表 4)。土壤中速效钾含量的指示种有 5 种,而土壤速效氮含量的指示种仅为酸藤果一种,土壤 CEC 含量的指示种共有 10 种,买麻藤、野牡丹和络石是 pH 值的指示种,指示土壤有机质含量高低的则是黑面神和芒萁等 5 种地表维管植物,而土壤全氮含量的指示种则为水杨梅、杨桐和五指毛桃等 6 种。此外,酸藤果、蕨、黄花稔、两耳草、淡竹叶、野牡丹和水杨梅这 7 种植物的指示值都比较高,都达到了 60% 以上,蕨的指示值甚至超过了 80%,对土壤环境中速效氮、阳离子交换量、pH 值以及全氮这几种因子起到了很好的指示作用。南方土壤大都酸性比较强,《中国土壤》^[16]一书中将我国土壤的酸碱度分为五级,其中 pH 值 5.0 至 6.5 为酸性土,pH 值小于 5.0 为强酸性土。据此,本项研究表明,野牡丹在 $pH < 4.5$ 的土壤环境下的指示值达到 61.3%,是强酸性土壤环境的指示种。

表 4 土壤因子的指示种分析结果

Table 4 Indicator species of soil chemical variables with significant indicator value ($n=38$)

指示种 Indicator species	代码 Coding	生长型 Growth form	分组变量 Grouping variable	最大指示值组		p 值 p -value
				Group identifier for group with maximum observed Indicator value	指示值 Indicator value	
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	Paq	fern	AvK	3	38.8	0.022 *
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	Cpa	fern	AvK	3	46.2	0.007 **
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	Afl	fern	AvK	1	46.9	0.009 **
芒草 <i>Miscanthus sinensis</i>	Msi	herb	AvK	2	36.3	0.048 *
红毛草 <i>Rhynchelytrum repens</i>	Rre	herb	AvK	2	48.3	0.013 *
酸藤果 <i>Embelia laeta</i>	Ela	liane	AvN	3	69.1	0.009 **
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	Afl	fern	CEC	1	55.6	0.015 *
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	Paq	fern	CEC	3	83.4	0.002 **
丰花草 <i>Borreria pusilla</i>	Bpu	herb	CEC	2	45.5	0.027 *
火炭母 <i>Polygonum chinensis</i>	Pch	herb	CEC	3	50.9	0.040 *
鬼针草 <i>Bidens bipinnata</i>	Bbi	herb	CEC	3	52.1	0.032 *
黄花稔 <i>Sida acuta Burm</i>	Sac	herb	CEC	3	66.7	0.008 **
红毛草 <i>Rhynchelytrum repens</i>	Rre	herb	CEC	2	47.1	0.031 *
两耳草 <i>Paspalum conjugatum</i>	Pco	herb	CEC	3	62.4	0.018 *
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	Log	herb	CEC	3	62.7	0.004 **
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	Mca	shrub	CEC	2	57	0.037 *
买麻藤 <i>Gnetum montanum</i>	Gmo	liane	pH	3	38.5	0.024 *
络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	Tja	liane	pH	3	51.2	0.013 *
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	Mca	shrub	pH	1	61.3	0.009 **
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	Ddi	fern	SOM	3	48.8	0.044 *
红毛草 <i>Rhynchelytrum repens</i>	Rre	herb	SOM	2	47.8	0.011 *
黑面神 <i>Breynia fruticosa</i>	Brf	shrub	SOM	3	39.7	0.015 *
桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	Rto	shrub	SOM	3	41.7	0.032 *
五指毛桃 <i>Ficus hirta Vahl</i>	Fhi	shrub	SOM	1	43.8	0.029 *
粗叶悬钩子 <i>Rubus alceaefolius</i>	Ral	shrub	TN	2	40.4	0.024 *
杨桐 <i>Adinandra millettii</i>	Ami	shrub	TN	2	48.8	0.013 *
桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	Rto	shrub	TN	3	52.1	0.032 *
五指毛桃 <i>Ficus hirta Vahl</i>	Fhi	shrub	TN	2	54	0.032 *
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	Mpu	shrub	TN	2	57.5	0.048 *
水杨梅 <i>Adina pilulifera</i>	Api	shrub	TN	3	62.9	0.003 **

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

3.4 地表维管植物排序分析

以调查所获得的地表维管植物种类组成及土壤环境因子构成的数据矩阵,应用典范对应分析(CCA)方法进行排序,输出CCA二维排序图(图1)。图中,“▼”代表地表维管植物种群,环境因子用带有箭头的实线表示。连线长度表示样地、植物种类与该环境因子的相关性大小,箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小,箭头所指的方向为该因子的发展趋势。

典范对应分析(CCA)3个排序轴的特征值分别为0.542、0.488和0.369;地表植物种类组成与土壤因子3个排序轴的Pearson相关系数分别为0.935、0.906和0.876。7个土壤因子中只有阳离子交换量、速效钾、全氮以及pH值与第一、第二排序轴的相关性较强。其中,阳离子交换量(CEC)与第一排序轴相关性最强,相关系数为0.927,其次为速效钾,相关系数为0.874,两者均为正相关;土壤全氮含量和pH值与第一排序轴相关性也比较强,但都表现为负相关,相关系数为分别-0.773和-0.670;pH值与第二排序轴的相关性最强,为-0.737,呈负相关;其他土壤因子与排序轴的相关性都比较弱(未在图中标出)。

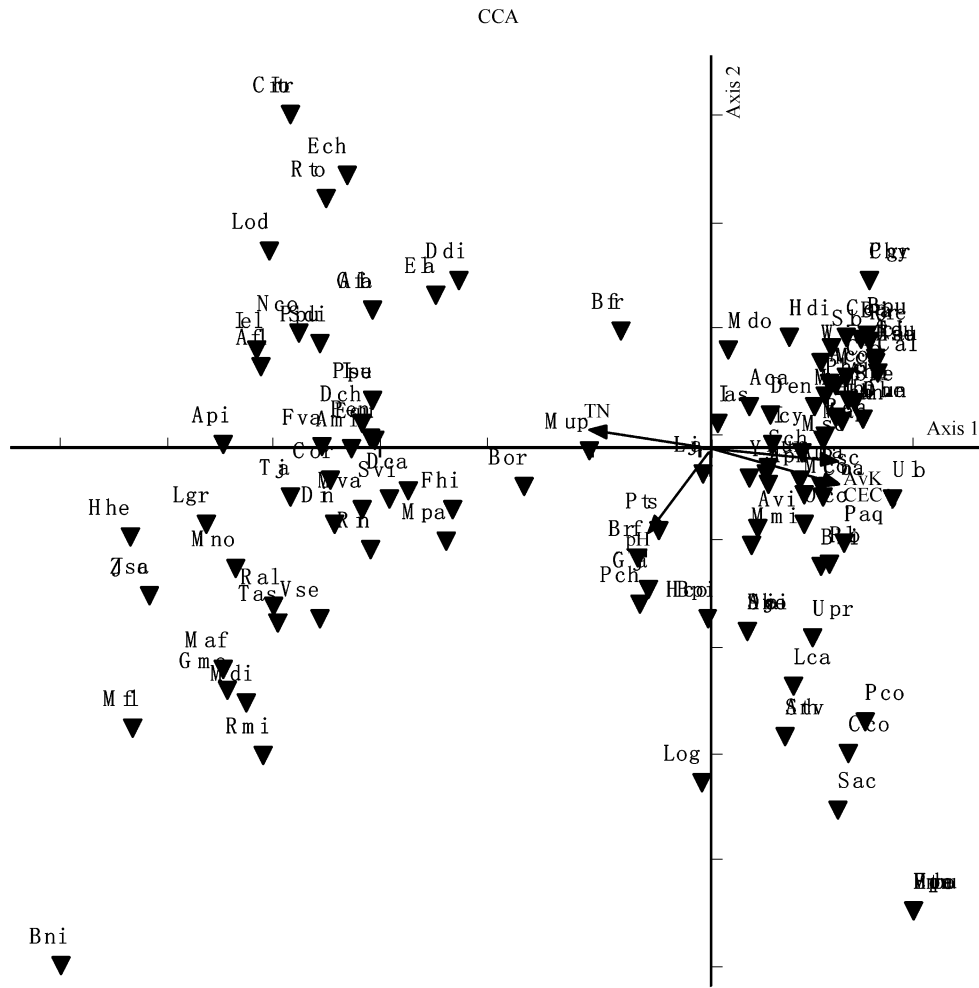


图1 东莞地表植物 CCA 二维排序图

Fig. 1 Two-dimensional plot of CCA ordination for ground vegetation in Dongguan

CEC, 阳离子交换量 cation exchange capacity; AvK, 速效钾 available potassium; TH, 全氮 total nitrogen; pH, pH 值 pH value; Aca 铁线蕨 *Adiantum capillus-veneris*; Aco 胜红蓟 *Ageratum conyzoides*; Afl 扇叶铁线蕨 *Adiantum flabellulatum*; Afo 美丽紫金牛 *Ardisia fordii*; Aho 熊耳草 *Ageratum houstonianum*; Aja 山姜 *Alpinia japonica*; Ake 水竹草 *Aneilema keisak*; Ama 海芋 *Alocasia macrorrhiza*; Ami 杨桐 *Adinandra millettii*; Anv 野棉花 *Anemone vitifolia*; Aph 空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*; Api 水杨梅 *Adina pilulifera*; Avi 野苋 *Amaranthus viridis*; Bbi 鬼针草 *Bidens bipinnata*; Bfr 岗松 *Baeckea frutescens*; Bja 鸭胆子 *Brucea javanica*; Bni 贮麻 *Boehmeria nivea*; Bor 乌毛蕨 *Blechnum orientale*; Bpi 裂叶鬼针草 *Bidens pilosa*; Bpu 丰花草 *Borreria pusilla*; Brf 黑面神 *Breynia fruticosa*; Cal 翅荚决明 *Cassia alata*; Cca 加拿大蓬 *Conyza canadensis*; Cco 鸭跖草 *Commelina communis*; Cfo 鬼灯笼 *Clerodendrum fortunatum*; Cgr 红瓜 *Coccinia grandis*; Cor 木防己 *Cocculus orbiculatus*; Cpa 华南毛蕨 *Cyclosorus parasiticus*; Cro 长春花 *Catharanthus roseus*; Dea 牛耳枫 *Daphniphyllum calycinum*; Dch 假鹰爪 *Desmos chinensis*; Dci 薯良 *Dioscorea cirrhosa*; Ddi 芒萁 *Dicranopteris dichotoma*; Den 山菅兰 *Dianella ensifolia*; Dhe 假地豆 *Desmodium heterocarpum*; Din 野菊 *Dendranthema indicum*; Eca 假臭草 *Eupatorium catarium*; Ech 米碎花 *Eurya chinensis*; Ela 酸藤果 *Embelia laeta*; Equ 吊钟花 *Enkianthus quinqueflorus*; Eso 一点红 *Emilia sonchifolia*; Fhi 五指毛桃 *Ficus hirta* Vahl; Fva 变叶榕 *Ficus variolosa*; Gja 黄栀子 *Gardenia jasminoides*; Gla 大叶算盘子 *Glochidion lanceolarium*; Gmo 买麻藤 *Gnetum montanum*; Han 山芝麻 *Helicteres angustifolia*; Hau 耳草 *Hedyotis auricularia*; Hbi 凤花耳草 *Hedyotis biflora*; Hco 伞房花耳草 *Hedyotis corymbosa*; Hdi 白花蛇舌草 *Hedyotis diffusa*; Hhe 牛白藤 *Hedyotis hedyotidea*; Ias 梅叶冬青 *Ilex asprella*; Ich 龙船花 *Ixora chinensis*; Ici 纤毛鸭嘴草 *Ischaemum ciliare*; icy 白茅 *Imperata cylindrica*; Iel 厚叶冬青 *Ilex emerrilliana*; Ipu 冬青 *Ilex pubescens*; Itr 三花冬青 *Ilex triflora*; Jsa 茉莉 *Jasminum sambac*; Lca 马缨丹 *Lantana camara*; Lgr 土麦冬 *Liriope graminifolia*; Lja 海金沙 *Lygodium japonicum*; Lmo 蔓马缨丹 *Lantana montevidensis*; Lod 鳞始蕨 *Lindsaea odorata* Roxb; Log 淡竹叶 *Lophatherum gracile*; Maf 多花野牡丹 *Melastoma affine*; Map 白背叶 *Mallotus apelta*; Mca 野牡丹 *Melastoma candidum*; Mco 假泽兰 *Mikania cordata*; Mdi 山鸡血藤 *Millettia dielsiana*; Mdo 地茶 *Melastoma dodecandrum*; Mfl 五节芒 *Miscanthus floridulus*; Mmi 微甘菊 *Mikania micrantha*; Mno 展毛野牡丹 *Melastoma normale*; Mpa 布渣叶 *Microcos paniculata*; Mpu 含羞草 *Mimosa pudica*; Mse 勒仔树 *Mimosa sepiaria*; Msi 芒草 *Miscanthus sinensis*; Mup 玉叶金花 *Mussaenda pubescens*; Mva 蔓山秀竹 *Microstegium vagans*; Nco 肾蕨 *Nephrolepis cordifolia*; Oco

醉浆草 *Oxalis corniculata*; Oun 求米草 *Oplismenus undulatifolius*; Paq 蕨 *Pteridium aquilinum*; Pch 火炭母 *Polygonum chinensis*; Pco 两耳草 *Paspalum conjugatum*; Pen 剑叶凤尾蕨 *Pteris ensiformis*; Pfa 金钗凤尾蕨 *Pteris fauriei*; Phc 越南叶下珠 *Phyllanthus cochinchinensis*; Phy 水蓼 *Polygonum hydropiper*; Plo 野葛 *Pueraria lobata*; Ppe 扛板归 *Polygonum perfoliatum*; Ppu 毛竹 *Phyllostachys pubescens*; Psc 鸡失藤 *Paederia scandens*; Pse 蔓九节 *Psychotria serpens*; Pth 雀稗 *Paspalum thunbergii*; Pts 半边旗 *Pteris semipinnata*; Pur 叶下珠 *Phyllanthus urinaria*; Ral 粗叶悬钩子 *Rubus alceaefolius*; Rch 盐肤木 *Rhus chinensis*; Rin 春花 *Raphiolepis indica*; Rmi 红叶藤 *Rourea microphylla*; Rre 红毛草 *Rhynchospora repens*; Rto 桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa*; Sac 黄花捻 *Sida acuta* Burm; Sch 菝葜 *Smilax china*; Sdi 羊角拗 *Strophanthus divaricatus*; Sdu 野甘菜 *Scoparia dulcis*; She 钝叶草 *Stenotaphrum helferi*; Slo 粪箕笃 *Stephania longica*; Sno 金腰剑 *Synedrella nodiflora*; Sth 雀梅藤 *Sageretia thea*; Svi 狗尾草 *Setaria viridis*; Tas 锡叶藤 *Tetracera asiatica*; Tja 白花酸果藤 *Trachelospermum jasminoides*; Ulo 地桃花 *Urena lobata*; Upr 狗脚迹 *Urena procumbens*; Vse 坚荚迷 *Viburnum sempervirens*; Win 了哥王 *Wikstroemia indica*; Yja 黄鹌菜 *Youngia japonica*; Zsc 花椒勒 *Zanthoxylum scandens*

CCA 二维排序图显示, CEC 的箭头长度略长于土壤全氮与速效钾的长度, 但三者与第一轴的夹角都比较小, 说明第一轴基本上反映了各植物群落所在土壤养分梯度上的变化趋势, 土壤 CEC、全氮以及速效 K 对该地区地表维管植物群落及物种分布有着重要影响, 在土壤速效 K、CEC 或者全氮含量比较丰富的地段, 地表维管植物的多度也相对较高。沿第二轴方向, 仅 pH 的夹角较小, 可以认为第二轴为 pH 梯度变化轴, pH 值对该地区地表植被的分布格局也有着重要影响。

3.5 地表植物物种多样性与土壤因子间关系分析

物种丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、生态优势度指数和各土壤因子间的 Pearson 相关分析结果显示(表 5), 各土壤因子与地表植被物种丰富度之间无显著相关。土壤因子中的全氮与多样性指数 H' 间呈显著负相关($p < 0.05$), 与生态优势度间呈显著正相关($p < 0.05$); CEC 和土壤速效钾与多样性指数 H' 间都呈显著正相关($p < 0.05$), 速效钾与生态优势度之间则为负相关关系($p < 0.05$)。此外, 土壤全氮与速效钾与阳离子交换量之间呈负相关($p < 0.05$), 速效钾与阳离子交换量之间呈显著正相关($p < 0.05$), 相关系数比较高($r = 0.8750$); 生态优势度与物种丰富度和多样性指数间都呈负相关($p < 0.05$)。结果同上述地表植被群落组成与土壤因子之间关系的分析结果基本吻合, 土壤速效钾及阳离子交换量的增加有利于地表维管植物多样性的发展, 而土壤全氮成为限制地表维管植物多样性发展的主要因子。

表 5 土壤化学性状间及其与群落物种多样性指数间的 Pearson 相关分析

Table 5 Correlation coefficient between soil chemical properties and between soil chemical properties and diversity indices ($n = 38$)

	AvN	TN	AvP	SOM	CEC	AvK	pH	S	H'	C
AvN	1.0000									
TN	-0.0154	1.0000								
AvP	0.0551	0.2452	1.0000							
SOM	-0.1149	-0.0088	-0.1001	1.0000						
CEC	0.3787 *	-0.6340 *	-0.1349	0.2837	1.0000					
AvK	0.2557	-0.6461 *	-0.1383	0.3669 *	0.8750 *	1.0000				
pH	-0.4541 *	0.2959	0.0240	-0.1109	-0.4860 *	-0.6158 *	1.0000			
S	-0.1680	-0.1498	0.0081	-0.0852	0.1742	0.1699	0.0019	1.0000		
H'	0.0042	-0.4414 *	0.0451	0.0046	0.3436 *	0.4087 *	-0.1787	0.6225 *	1.0000	
C	0.0014	0.3931 *	-0.0578	0.0060	-0.2957	-0.3391 *	0.1080	-0.4802 *	-0.9510 *	1.0000

AvN 速效氮 Available N; TN 全氮 total nitrogen; AvP 速效磷 available phosphorus; SOM 有机质 soil organic matter; CEC 阳离子交换量 cation exchange capacity; AvK 速效钾 available potassium; pH 值 pH value; S 物种丰富度; H' Shannon 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index; C 生态优势度 Ecological dominance; * $p < 0.05$

4 讨论

土壤是植物生存的基质, 土壤理化性质的差异会影响植物群落的结构和功能, 导致群落物种组成以及多样性的变化。MRPP 分析结果表明, 除速效氮以及有机质外, 土壤 pH 值、CEC、土壤全氮、速效磷和速效钾均影响着地表维管植物的种类组成, 从而影响着地表维管植物的分布。在对植物群落与土壤因子间关系的研究中, 因研究地点的不同结论也有所不同。有的认为速效钾和有机质对群落的分布和物种组成有重要影响^[17],

有的认为有机质和氮作为植物生长所需的重要营养物质,对植物多样性发展具有重要影响^[18,19],而本研究结果表明有机质对地表植被物种多样性无显著影响。典范对应分析(CCA)进一步证实了土壤 CEC、全氮和速效钾对该地区地表维管植物种类组成及群落分布有着重要的影响,在上述因子含量比较丰富的地段,地表维管植物的多度较高。土壤 pH 值也是影响植物群落分布和物种多样性的一个重要因子^[20,21],本研究中地表维管植物的分布一定程度上受到土壤 pH 值的影响,在一些土壤 pH 值较低的地段,地表维管植物的多度也较高。在生物多样性与土壤因子关系的分析中,土壤全氮与生态优势度呈正相关,与群落物种多样性指数 H' 呈负相关关系,成为限制地表植被物种多样性发展的主要因子,这一结论与其他研究结果相似^[22]。这可能是由于样地内土壤全氮含量丰富,喜氮植物大量生长,排斥了其他植物,造成群落内物种分布不均匀,强化了生态优势度,从而降低了物种多样性。与全氮相反的是,土壤速效钾与生态优势度呈负相关,而与群落物种多样性指数 H' 呈正相关关系。钾也是植物生长的重要元素,调查样地内土壤速效钾总体水平很低,属于缺钾型土壤^[23],土壤中速效钾含量增加有利于地表植被物种多样性的增加,这一结论与王琳等^[22]的研究结果一致,但在土壤速效钾含量丰富的地区,速效钾反而成了抑制物种多样性发展的因子^[24]。

1997 年 Dufrêne & Legendre 提出的指示种分析方法已被广泛运用^[25,26],国内围绕植物对环境指示作用的研究主要集中于苔藓植物^[27,28]和水体浮游植物^[6]这两个方面,地表维管植物对土壤表层化学性质的指示作用鲜见报道。本研究对位于东莞大岭山和同沙森林公园内两个样地的地表维管植物进行指示种分析,结果表明,共有 23 种地表维管植物对特定土壤因子的指示值 ≥ 35 ,具有显著的指示作用。其中,4 种为蕨类植物,8 种为草本植物,3 种为藤本植物,8 种为灌木。指示植物多为多年生草本植物和灌木,反映了研究样地的土地利用方式以果园、人工林和苗圃为主,土壤长期受到人为干扰强烈的现状。这些物种作为特定土壤因子的指示信号,能较好地反映出东莞的土壤肥力状况,对于监测和评价东莞的土壤环境有着广阔的应用前景。

References:

- [1] Wallace H L, Good J E. Effects of afforestation on upland plant communities and implications for vegetation management. *Forest Ecology and Management*, 1995, 79 (1-2): 29–46.
- [2] Solon J M, Degorski E, Roo-Zielinska. Vegetation response to a topographical-soil gradient. *Catena*, 2007, 71 (2): 309–320
- [3] Liu C F, Yin J, He K N. Indicatory function of soil moisture of undergrowth vegetations in the *Robinia pseudoacacia* forests with different densities in semi-arid region on the Loess Plateaus. *Science of Soil and Water Conservation*, 2004, 2 (2): 62–79.
- [4] Xie W, Cao T, Han G C, Lai Y B, et al. Studies on indication of bryophytes to air pollution in Fushun District, northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18 (3): 1–5.
- [5] Yuan L X, Long N Y, Xie Z Q, et al. Study on modern pollution source and bio-indicator in Ny-alesund, Arctic. *Chinese Journal of Polar Research*, 2006, 18 (1): 9–20.
- [6] Wu B, Chen D H, Xu Y H, et al. Phytoplankton community in Suzhou Creek and its role as water quality monitor. *Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences)*, 2006, 35 (5): 64–70.
- [7] Jacobson S, Gustafsson L. Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand. *Basic and Applied Ecology*, 2001, 2 (3): 233–241.
- [8] Wilson S M, Pyatt D G, Malcolm D C, et al. The use of ground vegetation and humus type as indicators of soil nutrient regime for an ecological site classification of British forests. *Forest Ecology and Management*, 2001, 140 (2-3): 101–116.
- [9] Liu G S, Jiang N H, Zhang L D, et al. The description of soil profile and soil physio-chemical analysis. Beijing: China Standard Press, 1996. 44–102.
- [10] Bao S D ed. Soil and agro-chemistry analysis. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [11] Mallik A U, Lamb E G, Rasid H. Vegetation zonation among the microhabitats in a lacustrine environment: analysis and application of belowground species trait patterns. *Ecological Engineering*, 2001, 18 (2): 135–146.
- [12] Williams M A. Response of microbial communities to water stress in irrigated and drought-prone tallgrass prairie soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39 (11): 2750–2757.
- [13] Dufrêne M, Legendre P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 1997, 67 (3): 345–366.

- [14] Statsoft Inc. STATISTICA for Windows (Computer Program Manual) [CP/DK]. Tulsa: Statsoft Inc, 1997.
- [15] McCune B, Mefford M J. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5.0 MjM software design, Glenneden Beach, Oregon, U. S. A, 2006.
- [16] National soil survey office. Soil of China. Beijing: China Agricultural Press, 1998.
- [17] Li K H, Hu Y K, Fan Y G, *et al.* Influence of environmental factors on distribution of plant communities and composition of species in alpine grassland. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28 (4): 378—382.
- [18] Liu S L, Ma K M, Fu B J, *et al.* The relationship between landform, soil characteristics and plant community structure in the Donglingshan Mountain region, Beijing. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27 (4): 496—502.
- [19] Yang X H, Zhang K B, Hou R P, *et al.* Vegetation variations under different exclusion measures and their correlation to soil factors. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (12): 3212—3219.
- [20] Liu Q F, Kang M Y, Liu Q R. Gradient analysis and environmental interpretation of species diversity of forest vegetation in Hungou of Zhongtiaoshan Mountain. Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin., 2006, 26 (8): 1686—1692.
- [21] Sun X X, Wang X A, Gou H, *et al.* Multivariate analysis and environmental interpretation of the florae in Malan forest region of the Loess Plateau. Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin., 2006, 26 (1): 150—156.
- [22] Wang L, Zhang J T, Shangguan T L, *et al.* Species diversity of mountain meadow of Lishan and the relation with the soil physicochemical properties. Chin J Appl Environ Biol, 2004, 10 (1): 18—22.
- [23] Gong H J, Su, Z Y, Zhu J Y, *et al.* Soil nutrient status of Dongguan Forest Experimental Park. Journal of South China Agricultural University, 2006, 27 (2): 88—91.
- [24] Wang S Z, Chen G C, Bai Y P, *et al.* Interralation between plant species diversity and soil environmental factors in bird island of Qinghai Lake. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (1): 186—188.
- [25] Magura T, Elek Z, Tothmeresz B. Impacts of non-native spruce reforestation on ground beetles. European Journal of Soil Biology, 2002, 38 (3-4): 291—295.
- [26] Dai X, Page B, Duffy K J. Indicator value analysis as a group prediction technique in community classification. South African Journal of Botany, 2006, 72: 589—596.
- [27] Guo S L, Han S J, Cao T. Indicative value of bryophytes on forest eco-boundary. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10 (1): 1—6.
- [28] Huang S L, Wang X R, Zhao J C, *et al.* An investigation on bryophytes and their indication effect to air pollution in the urban district of Shijiazhuang City. Journal of Hebei Normal University (Natural Science Edition), 2004, 28 (6): 615—620.

参考文献:

- [3] 刘晨峰,尹婧,贺康宁,等. 林下植被对半干旱区不同密度刺槐林地土壤水分环境的指示作用. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 62—79.
- [4] 谢维,曹同,韩桂春,等. 苔藓植物对抚顺地区大气污染的指示作用研究. 生态学杂志, 1999, 18(3): 1—5.
- [5] 袁林喜,龙楠焯,谢周清,等. 北极新奥尔松地区现代污染源及其指示植物研究. 极地研究, 2006, 18(1): 9—20.
- [6] 吴波,陈德辉,徐英洪,等. 苏州河浮游植物群落结构及其对水环境的指示作用. 上海师范大学学报(自然科学版), 2006, 35(5): 64—70.
- [9] 刘光崧,蒋能慧,张连第,等. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [17] 李凯辉,胡玉昆,范永刚,等. 环境因子对高寒草地植物群落分布和物种组成的影响. 中国农业气象, 2007, 28(4): 378—382.
- [18] 刘世梁,马克明,傅伯杰,等. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究. 植物生态学报, 2003, 27(4): 496—502.
- [19] 杨晓晖,张克斌,侯瑞萍,等. 半干旱沙地封育草场的植被变化及其与土壤因子间的关系. 生态学报, 2005, 25(12): 3212—3219.
- [20] 刘秋锋,康慕谊,刘全儒. 混沟森林植物物种多样性梯度分析与环境解释. 西北植物学报, 2006, 26(8): 1686—1692.
- [21] 孙晓霞,王孝安,郭华,等. 黄土高原马栏林区植物群落的多元分析与环境解释. 西北植物学报, 2006, 26(1): 0150—0156.
- [22] 王琳,张金屯,上官铁梁,等. 历山山地草甸的物种多样性及其与土壤理化性质的关系. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 018—022.
- [23] 龚弘娟,苏志尧,朱剑云,等. 东莞林科园土壤养分状况分析. 华南农业大学学报, 2006, 27(2): 88—91.
- [24] 王顺忠,陈桂琛,柏玉平,等. 青海湖鸟岛地区植物群落物种多样性与土壤环境因子的关系. 应用生态学报, 2005, 16(1): 186—188.
- [27] 郭水良,韩士杰,曹同. 苔藓植物对森林生态界面指示作用的研究. 应用生态学报, 1999, 10(1): 1—6.
- [28] 黄士良,王晓蕊,赵建成,等. 苔藓植物对石家庄市大气污染的指示作用研究. 河北师范大学学报(自然科学版), 2004, 28(6): 615—620.