

土壤系统分类与生物系统分类体系中的多样性特征对比分析*

张学雷^{1,2†} 王辉^{2,3} 张薇⁴ 肖光平⁵ 陈杰²

(1 郑州大学自然资源与生态环境研究所,郑州 450001)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所),南京 210008)

(3 中国科学院研究生院,北京 100039)

(4 西南大学资源环境学院,重庆 400716)

(5 山东师范大学人口资源与环境学院,济南 250014)

摘要 生物系统分类的数学结构及其令人信服的解释一直以来是生物学界广泛关注的经典学术问题,然而很少有人用统计分布模型对非生物分类系统(如土壤分类系统)的结构进行分析与研究。本文通过计算两种系统分类的幂律和对数正态分布,对土壤植物寄生的线虫类分类体系(垫刃亚目)和非生物系统分类的多样性特征(中国土壤系统分类为例)进行了比较,进而分析它们之间的相似性和差异性。分析结果表明,生物分类和土壤系统分类具有很高的相似性,有着相似的数学结构和多样性特征。据此可认为,两种分类系统都是合理的信息系统,符合相同的分布模型,如幂律分布、对数正态分布等。在两种分类系统中也存在一些细小的差别,垫刃亚目分类体系较中国土壤系统分类具有更丰富的分支体系,而从均匀度指数来看,中国土壤系统分类系统的设计似乎是更加合理。从威利斯曲线可以看出,中国土壤系统分类较垫刃亚目分类体系具有更规则的结构,这一特征可能与两种学科中不同的分类理念有关。

关键词 中国土壤系统分类;垫刃亚目;多样性特征;威利斯曲线

中图分类号 Q149;S154 文献标识码 A

分类对所有的自然资源学科是必不可少的,它是专家进行信息交流的媒介^[1,2]。任何连续的自然资源分类问题是相似的^[2,3],生物分类学家和土壤分类学家试图对研究对象进行分类并认知分类等级。到目前为止,只有少数生物学家对生物分类进行了分析^[4,5],结果表明,所有的生物分类学遵循一个相似的模型,即“威利斯曲线”(Willis curves)。当亚分类概念单元被个体代替时,在生物学系统分类和样区生物多样性总量中,存在两种基本情况:或者是很多分类单元但只包含一个或较少亚分类单元,或者较少分类单元但却包含很多亚分类单元^[4,6]。进一步的分析结果显示,威利斯曲线通常遵循幂律分布(Power law)、几何分布(Geometric)和对数正态分布(Lognormal),有些情况下还遵循断棒分布模型(Broken stick models)和 Weibull 模型(Weibull models)^[7,8]。Ibáñez 和 Saldaña 等^[3,9~12]研

究表明,在一定区域内的土壤类型分布同样符合威利斯曲线。然而,一直以来,土壤学家还没有对土壤分类的结构进行分析,也没有对土壤系统分类与生物系统分类体系中的多样性特征进行对比分析。直到新近,西班牙人 Ibáñez 等^[1,13]才开始尝试做了探索。

许多土壤学家认为,生物类型是自然体,而土壤类型是人为划分的^[2,14](Artificial bodies),因为土壤是分布于地表的连续体,同时土壤类型是土壤系统分类学家根据土壤发生演化所反映的可量测的诊断特征来确定的^[15~19]。而生物学分类则是根据由于生物进化的结果而形成不规则碎片结构^[4,20](Fractal structure)来完成的。因此,许多学者认为,土壤分类和生物分类之间具有显著的差异性^[7]。然而,还有一些学者认为,所有的自然科学分类的结构及特征都应具有相似性^[6],尽管他们还没有用实验数据来

* 国家自然科学基金项目(40671012,40541003)资助

† 通讯作者, E-mail: ZXLzhu@zsu.edu.cn

作者简介:张学雷(1960~),男,江苏沛县人,理学博士,教授,主要从事运用数据库、3S 对自然资源(土壤与土地资源为主)的分析与研究,发表论文 100 余篇

收稿日期:2006-09-11;收到修改稿日期:2007-03-09

证实他们的观点。

本文通过计算两种系统分类的幂律和对数正态分布,对生物系统分类和土壤系统分类中的多样性特征进行比较分析,并尝试分析它们之间的相似性及差异性。

1 材料与方法

在本研究中,采用两种分类学数据。(1)线虫类垫刃亚目^[21](Tylenchina suborder of nematodes):它包含大多数土壤线虫中的植物寄生类群。(2)中国土壤系统分类^[22,23]:它具有生物学分类中典型的分支结构,中国土壤系统分类与美国土壤系统分类相似,也采用类似生物学系统分类中谱系式分类的方法,已经与国际先进土壤分类体系接轨,并在国内产生越来越大的影响。这两种分类体系同时具有足够的分类等级的数量及名称以供研究与分析。例如,中国土壤系统分类为多级分类,高级分类级别为 14 个土纲、39 个亚纲、138 个土类和 588 个亚类,数据见表 1。中国土壤分类系统的土族(Families)和土系(Soil series)是土壤基层分类级别,由于土壤基层分类尚在研究中,没有一个全国性的数据基础,所以本研究只涉及土纲到亚类级别高级分类单元。

表 1 中国土壤系统分类和线虫类垫刃亚目的各等级类别的数量

Table 1 Number of taxa in each hierarchical category of the Chinese Soil Taxonomy and of nematodes of the Tylenchina suborder

分类等级 Hierarchical category	类别数量 Number of taxa
中国土壤系统分类 Chinese Soil Taxonomy	
亚类 Subgroups	588
土类 Great groups	138
亚纲 Suborders	39
土纲 Orders	14
线虫类垫刃亚目 Tylenchina suborder of nematodes	
种 Species	1955
属 Genera	121
亚科 Subfamilies	19
科 Families	9

在生物学分类中,分类级别大小分布(Taxa-size distribution)符合幂律分布,用公式表示为^[24]:

$$N = KS^{-D}$$

式中, N 为高级分类级别数量, S 为次级分类级别数量, K 为常数, D 为指数,也被认为是不规则碎片度(Fractal dimension),它与对数图中的回归斜率相对应。

为了分析这两种分类系统的结构及多样性特征,在研究中用幂律和对数正态分布对两种分类系统进行分析,这种方法得出的结果能够就生物分类和非生物分类进行比较^[1]。对两种分类学结构,分别对各个分类等级数量取对数,对整个分类数据进行回归分析,鉴定两种分类系统中的分类等级是否具有相关性。

通过计算分支率(Bifurcation ratios)来比较这两种分类系统的分支系统。在研究中所有的分类等级都计算了其分支率,分支率是测度分支的数量(如一个土纲下又分为几个亚纲等)或者是分类级别的等比级数。

用 SPSS 软件来论证数据是否符合幂律分布和对数正态分布,通过回归分析得出的相关系数来检验。

对两组数据计算其熵值 H 、最大熵值 H_{\max} 以及均匀度 E 。通过比较两种系统分类的熵值 H 、最大熵值 H_{\max} 以及均匀度 E ,对其多样性特征进行分析。仙农指数^[3,7,25~28](Shannon index)指的是系统的熵值,其表达式为:

$$H = - \sum P_i \ln P_i$$

式中, H 为仙农指数, $P_i = n_i/N$, N 为 i 个 n 相加,如有机土纲下分为 2 个亚纲,正常有机土亚纲 n_1 分为 4 个土类,永冻有机土亚纲 n_2 分为 3 个土类,则 $N = 7$, $p_1 = 0.57$, $p_2 = 0.43$, $H = 0.68$ 。最大熵值 $H_{\max} = \ln S$, S 为分类单元的数目。通过值 H 和其最大值 H_{\max} 来计算均匀度指数 E (Evenness),表达式为: $E = H / H_{\max}$, 它表示分类级别分布的均衡程度, E 的取值范围为 0 至 1 之间。 E 值越接近 1,说明系统均衡程度越高。

2 结果与讨论

2.1 分支体系和威利斯曲线图

图 1 显示了垫刃亚目和中国土壤分类系统从高到低等级分布的分支体系。从图中可以看出,土壤分类系统较生物分类系统具有更好的规律结构,这显然与前者具有 14 个土纲,而后者只有两个总科(Superfamilies)有关。

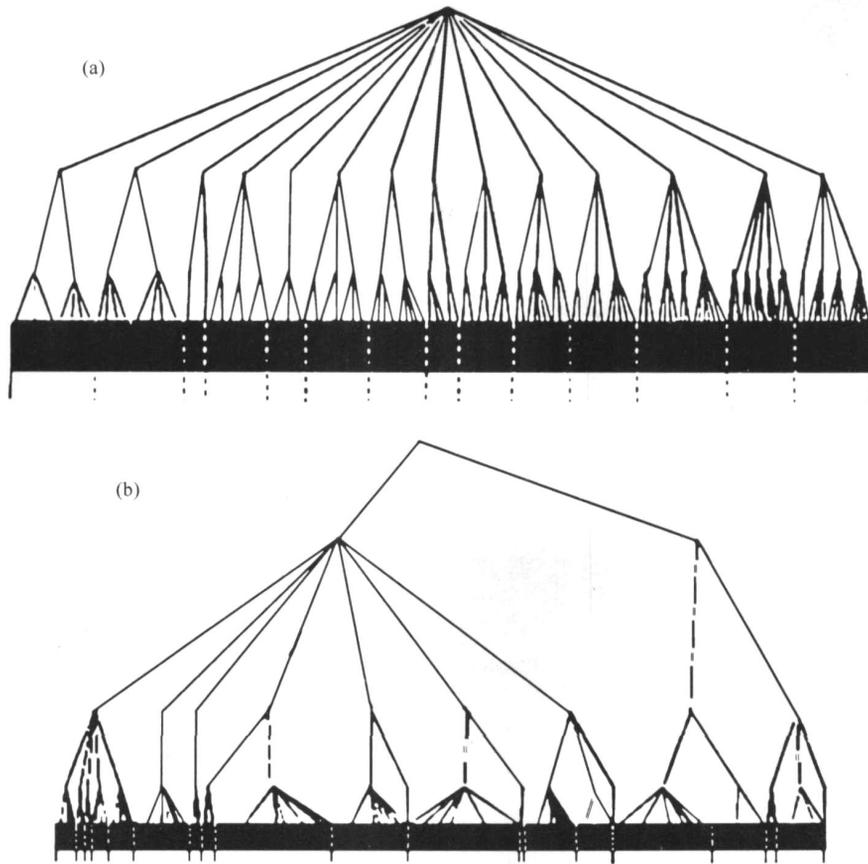


图 1 中国土壤分类系统(a)和线虫类垫刃亚目分类系统(b)的分支体系

Fig. 1 Branching system of the Chinese Soil Taxonomy (a) and branching system of nematodes of the Tylenchina suborder (b)

图 2 显示了两种系统分类的威利斯曲线。从图中可以清楚地看出,中国土壤分类系统与生物学分类系统相比较,其土类中亚类的数量取值范围较小(1~10),相反,在垫刃亚目分类中,其物种取值范围较大,并有很多较少数目的亚级分类单元(“属”单元中只有1~2个种)。尽管两种系统分类在取值范围方面相差较大,但两者都符合威利斯曲线。

2.2 分支体系及分支率

图 3 显示了两种系统分类的线性回归图,从图中可以看出,线性方程(对分类等级中分类单元的数量取对数)的判定系数(R^2)说明两种分类系统都有很好的线性回归关系。两种分类系统具有相似性,并且 R^2 值均大于 0.90。然而,中国土壤分类系统判定系数 R^2 较垫刃亚目的 R^2 稍大一点,这可能是由于中国土壤系统分类仍是主观性较强的分类,而生物分类是随时间通过个体的逐步加入、累积建立起来的。

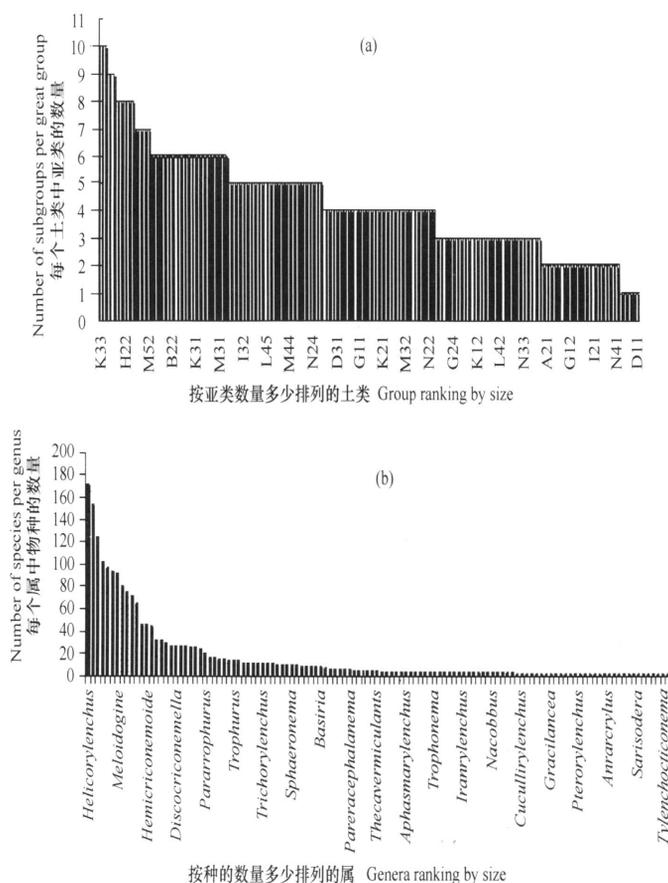
从表 2 和表 3 可以看出,在两种分类系统中,等级树(Hierarchical tree)的分支率都有较大的变化范

表 2 中国土壤系统分类的分支率

Table 2 Bifurcation ratios (BR) for the Chinese Soil Taxonomy

数据集 Data set	N1/N2	N2/N3	N3/N4	N4/N5
整个土壤系统分类 Whole taxonomy	4.26	3.54	2.79	14.00
有机土纲 Histosols	4.57	3.50	2.00	
人为土纲 Anthrosols	5.00	4.00	2.00	
灰土纲 Spodosols	1.50	1.00	2.00	
火山灰土纲 Andosols	3.17	2.00	3.00	
铁铝土纲 Ferralosols	5.33	3.00	1.00	
变性土纲 Vertosols	2.86	2.33	3.00	
干旱土纲 Aridosols	5.11	4.50	2.00	
盐成土纲 Halosols	3.60	2.50	3.00	
潜育土纲 Gleysols	3.57	2.33	3.00	
均腐土纲 Isohumosols	3.50	3.33	3.00	
富铁土纲 Ferrosols	6.20	3.33	3.00	
淋溶土纲 Argosols	4.18	4.25	4.00	
锥形土纲 Cambosols	4.57	5.60	5.00	
新成土纲 Primosols	3.84	4.75	4.00	

注: $BR = N_i / N_{i+1}$; N1 代表亚类, N2 代表土类, N3 代表亚纲, N4 代表土纲, N5 代表整个土壤系统分类
Note: $BR = N_i / N_{i+1}$; N1: Subgroups; N2: Great groups; N3: Suborders; N4: Orders; N5: The whole soil taxonomy



注1 Note1: K33:富铝湿润富铁土 Alliti-Udic Ferrosols; H22:潮湿正常盐成土 Aquic-Orthic Halosols; M52:钙质湿润锥形土 Carbonati-Udic Cambosols; B22:灌淤旱耕人为土 Siltigi-Orthic Histosols; K31:钙质湿润富铁土 Carbonati-Udic Ferrosols; M31:灌淤干润锥形土 Siltigi-Ustic Cambosols; I32:暗沃正常潜育土 Mollis-Orthic Gleysols; L45:酸性湿润淋溶土 Acidi-Udic Argosols; M44:铝质常湿锥形土 Ali-Perudic Cambosols; N24:干润砂质新成土 Ustis-Sandic Primosols; D31:腐殖湿润火山灰土 Humi-Udic Andosols; G11:钙积寒性干旱土 Calcic-Cryic Aridosols; K21:钙质常湿富铁土 Carbonati-Perudic Ferrosols; M32:铁质干润锥形土 Ferri-Ustic Cambosols; N22:潮湿砂质新成土 Aquic-Sandic Primosols; G24:黏化正常干旱土 Argic-Orthic Aridosols; K12:筒育干润富铁土 Hapli-Ustic Ferrosols; L42:钙质湿润淋溶土 Carbonati-Udic Argosols; N33:干旱冲积新成土 Aridis-Alluvic Primosols; A21:落叶正常有机土 Foli-Orthic Histosols; G12:石膏寒性干旱土 Gypsic-Cryic Aridosols; I21:有机滞水潜育土 Histis-Stagnic Gleysols; N41:黄土正常新成土 Loessis-Orthic Primosols; D11:寒冻寒性火山灰土 Gelic-Cryic Andosols

注2:由于专业背景限制,垫刃亚目中属名称的中文译名查对困难,故暂没列出 Note 2:Due to the different professional background, the scientific terms of Tylenchina suborder are not provided in Chinese by the authors

图2 土壤系统分类(a)和线虫类垫刃亚目(b)分类的大小——频率分布的威利斯曲线

Fig. 2 Willis curve of the size-frequency distribution for the (a) Soil Taxonomy and (b) nematodes of Tylenchina suborder

表3 线虫类垫刃亚目的分支率

Table 3 Bifurcation ratios (BR) for nematodes of Tylenchina suborder					
数据集 Data set	N1/ N2	N2/ N3	N3/ N4	N4/ N5	N5/ N6
垫刃亚目 Tylenchina suborder	16.16	6.37	2.11	4.50	2.00
垫刃总科 Tylenchoidea superfamily	14.07	7.21	2.00	7.00	
环总科 Criconematoidea superfamily	26.70	4.00	2.50	2.00	

注: $BR = N_i / N_{i+1} + 1$; N1 代表种, N2 代表属, N3 代表亚科, N4 代表科, N5 代表整个垫刃亚目分类系统 Note: $BR = N_i / N_{i+1} + 1$; N1: Species; N2: Genus; N3: Subfamily; N4: Family; N5: The whole Tylenchina suborder

围,这在不同的生物分类,乃至整个自然系统中也很普遍。从表2和表3也可以看出,生物学分类较土壤分类有更大的分支体系,在分类等级中有更丰富的分支。

2.3 多样性特征对比

表4和表5显示了两个分类系统的熵值(仙农指数 H)、最大熵值 H_{max} 以及均匀度指数 (E)。最大熵值 H_{max} 是一个给定的分类等级中所包含的下一等级的数量以及它们各自的大小。最大熵值 H_{max} 也说明了中国土壤系统分类较垫刃亚目具有更

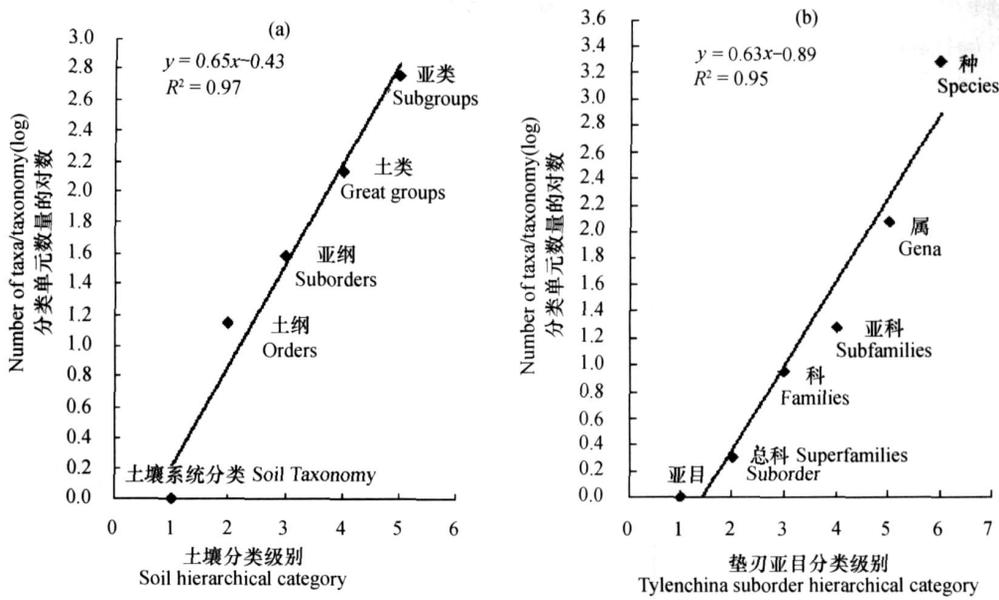


图3 中国土壤系统分类(a)和线虫类垫刃亚目(b)的分类等级单元大小的线性回归图

Fig. 3 Linear regression of the sizes of the taxa as a function of the taxonomic category for the (a) Chinese Soil Taxonomy and (b) nematodes of Tylenchina suborder

规则的分支体系。两种分类系统中的均匀度指数都非常高(接近 1),因此,两种分类系统的均衡程度都较高。从表 4 和表 5 也可以看出,土壤分类系统的均匀度指数 (E) 和仙农指数 (H) 较生物学分类均匀度指数 (E) 和仙农指数 (H) 都稍高。因此,根据 Mayr 的熵值标准,生物分类和土壤分类都是很好的信息表达系统^[29]。

表 6 和表 7 显示了中国土壤系统分类和垫刃亚目的分类等级单元符合幂律分布和对数正态分布的符合程度,以及幂律分布的常数值 K 和 D , D 为回归线指数。总体而言,两组数据都符合幂律分布和对数正态分布,但更符合幂律分布,这两种分布模型的符合程度的差别不大,这与以前生物学分类中的研究结果相一致^[4,5,20]。

从表 6 和表 7 也可以看出,垫刃亚目的幂律分布回归线斜率(D)、常数 K 均较中国土壤系统分类的幂律分布回归线斜率(D)、常数 K 高一些,这可能与线虫学分类等级树(Nematological classification tree)的最大化等级分支有关。从统计学分布模型来说,两种分类系统具有相同的结构。在两种分类系统中都符合幂律分布,这可能是潜在的不规则碎片结构的象征。然而,确证这一观点,还需要进一步更科学精密的分析。

表 4 中国土壤系统分类的最大熵值 (H_{max})、仙农指数 (H) 和均匀度指数 (E) (分析涉及到每个土类中亚类的数量、每个亚纲的土类数量、每个土纲的亚纲数量)

Table 4 Maximum entropy (H_{max}), Shannon index (H), and evenness (E) of the Chinese Soil taxonomy (The analysis addresses numbers of subgroups per great group, great groups per suborder, and suborders per order)

数据集 Data set	H_{max}	H	E
亚类/土类 Subgroups/ Great group			
整个分类等级 Whole classification	4.93	4.52	0.92
有机土纲 Histosols	1.95	1.87	0.96
人为土纲 Anthrosols	2.08	2.03	0.98
灰土纲 Spodosols	0.69	0.64	0.93
火山灰土纲 Andosols	1.79	1.72	0.96
铁铝土纲 Ferralosols	1.10	1.04	0.95
变性土纲 Vertosols	1.95	1.90	0.97
干旱土纲 Aridisols	2.20	2.08	0.95
盐成土纲 Halosols	1.61	1.43	0.89
潜育土纲 Geyosols	1.95	1.87	0.96
均腐土纲 Isohumosols	2.30	2.22	0.97
富铁土纲 Ferrosols	2.30	2.17	0.94
淋溶土纲 Argosols	2.83	2.77	0.98
锥形土纲 Cambosols	3.33	3.27	0.98
新成土纲 Primosols	2.94	2.90	0.99
土类/亚纲 Great groups/ Suborder			
整个分类等级 Whole classification	3.66	3.56	0.97
亚纲/土纲 Suborders/ Order			
整个分类等级 Whole classification	2.64	2.57	0.97

表5 线虫类垫刃亚目的最大熵值 (H_{max})、仙农指数 (H) 和均匀度指数 (E) (分析涉及每个属中种的数量、每个亚科的属的数量、每个科的属的数量以及每个科的亚科数量)

Table 5 Maximum entropy (H_{max}), Shannon index (H), and evenness (E) of nematodes of the Tylenchina suborder. The analysis addresses number of species per genus, genera per subfamily, genera per family, and subfamilies per family

数据集 Data set	H_{max}	H	E
种/属 Species/ Genus			
垫刃亚目 Tylenchina suborder	4.80	3.76	0.78
垫刃科 Tylenchidae	3.37	2.75	0.82
粒科 Anguinidae	2.30	1.03	0.45
锥科 Dolichodoridae	1.10	0.92	0.84
刺科 Belonolaimidae	2.64	1.72	0.65
短体科 Pratylenchidae	2.08	1.43	0.69
枪科 Hoplolaimidae	2.40	1.28	0.53
异皮科 Heteroderidae	3.00	1.85	0.62
环科 Cric nematidae	2.40	1.84	0.77
半穿刺科 Tylenchulidae	2.20	1.34	0.61
总科 Superfamily			
垫刃总科 Tylenchoidea	4.57	3.48	0.76
环总科 Cric nematoidea	3.00	2.29	0.76
亚科/科 Subfamilies/ Family			
垫刃亚目 Tylenchina suborder	2.20	2.08	0.95

表6 中国土壤系统分类的幂律分布和对数正态分布的相关系数以及幂律方程中的系数 K 和 D (分析涉及到每个土类中亚类的数量)

Table 6 Correlation coefficients between the power law distribution and lognormal distribution of the Chinese Soil Taxonomy and coefficients K and D of the power law equation (The analysis addresses number of subgroups per great groups)

数据集 Data set	幂律分布 Power law	K	D	对数正态分布 Lognormal
整个土壤系统分类 Whole taxonomy	0.90	42.63	0.36	不符合 No fit
有机土纲 Histosols	0.91	14.70	0.40	0.94
人为土纲 Anthrosols	0.97	15.93	0.24	0.74
灰土纲 Spodosols	1.00	2.88	0.33	0.41
火山灰土纲 Andosols	0.92	9.56	0.52	0.89
铁铝土纲 Ferralosols	0.89	10.37	0.69	0.67
变性土纲 Vertosols	0.87	12.88	0.29	0.71
干旱土纲 Aridosols	0.95	19.52	0.32	0.76
盐成土纲 Halosols	0.85	18.60	0.43	0.78
潜育土纲 Geyosols	0.84	10.63	0.37	0.56
均腐土纲 Isohumosols	0.87	14.74	0.25	0.81
富铁土纲 Ferrosols	0.82	26.20	0.33	0.59
淋溶土纲 Argosols	0.98	22.04	0.56	0.98
雏形土纲 Cambosols	0.98	39.56	0.27	0.98
新成土纲 Primosols	0.97	23.48	0.21	0.97

表7 线虫类垫刃亚目的幂律分布和对数正态分布的相关系数以及幂律方程中的系数 K 和 D (分析涉及到每个属中种的数量)

Table 7 Correlation coefficients between the power law distribution and lognormal distribution of nematodes of the Tylenchina suborder and the coefficients K and D of the power law equation (The analysis addresses number of species per genus)

数据集 Data set	幂律分布 Power law	K	D	对数正态分布 Lognormal
垫刃亚目 Tylenchina suborder	0.93	221	0.72	不符合 No fit
垫刃总科 Tylenchoidea superfamily	0.94	210.1	0.80	0.93
垫刃科 Tylenchidae	0.93	35	0.79	0.91
粒科 Anguinidae	0.99	102.3	2.20	0.97
锥科 Dolichodoridae	0.97	16.27	1.14	1.00
刺科 Belonolaimidae	0.98	156.6	1.41	0.98
短体科 Pratylenchidae	0.98	96.8	1.40	0.98
枪科 Hoplolaimidae	0.99	174.7	1.65	0.99
异皮科 Heteroderidae	0.96	97.57	1.3	0.22
环总科 Cric nematoidea superfamily	0.95	139.8	0.88	不符合 No fit
环科 Cric nematidae	0.95	135	0.99	0.94
半穿刺科 Tylenchulidae	0.97	77.83	1.44	不符合 No fit

3 结论

尽管在本文中,仅仅对土壤系统分类和土壤线虫类亚目进行分析、对比,但结果与很多生物类别的研究结果相一致^[4,5,20]。研究表明,土壤分布和生物分布或多或少都符合相同的分布模型,如幂律分布和对数正态分布,两者都符合威利斯曲线。两种系统分类的均匀度指数都较大,具有较高的均衡程度。

同样,在两种分类系统中也存在一些细小的差别,垫刃亚目较中国土壤系统分类有更丰富的分支体系,中国土壤系统分类的均匀度指数较垫刃亚目的均匀度指数稍高,这至少可以说明中国土壤系统分类是同样合理的系统分类信息表达系统。从威利斯曲线可以看出,中国土壤系统分类较垫刃亚目系统分类具有更规则的结构,这一特征可能与两种学科中不同的分类理念有关。从本研究结果来看,生物分类和土壤分类具有极高的相似性,具有相似的结构及多样性特征。

参考文献

- [1] Ibáñez J J , Ruiz-Ra M . A mathematical comparison of classification structures : The case of the USDA Soil Taxonomy . *Eurasian Soil Science* , 2006 , 7 : 795 ~ 803
- [2] Ibáñez J J , Boixadera J . The search for a new paradigm in pedology : A driving force for new approaches to soil classification . *In* : Micheli E , *et al.* eds. *Soil Classification* . London : FAO , 2001 . 93 ~ 110
- [3] Ibáñez J J , Saldana A , De-Alba S . Reply to the discussion paper : Pedodiversity and global soil patterns at coarser scales . *Geoderma* , 1998 , 83 : 206 ~ 214
- [4] Burlando B . The fractal geometry of evolution . *J. Biol.* , 1993 , 163 : 161 ~ 172
- [5] Minelli A , Fusco G , Sartori S . Self-similarity in biological classifications . *BioSystematics* , 1991 , 26 : 89 ~ 97
- [6] Dial K P , Marzluff J M . Nonrandom diversification within taxonomic assemblages . *Syst. Zool.* , 1989 , 38 : 26 ~ 37
- [7] 张学雷 , 陈杰 , 龚子同 . 土壤多样性理论在欧美的实践及在我国土壤景观研究中的应用前景 . *生态学报* , 2004 , 24 (5) : 1063 ~ 1072 . Zhang X L , Chen J , Gong Z T . What to do in China after a review of research practices on pedodiversity in Europe and America (In Chinese) . *Acta Eco-Sin.* , 2004 , 24 (5) : 1063 ~ 1072
- [8] Williams C B . *Patterns in the Valance of Nature* . London : Academic Press , 1964
- [9] Ibáñez J J , De-Alba S , Bermudez F F , *et al.* Pedodiversity : Concepts and measures . *Catena* , 1995 , 24 : 215 ~ 232
- [10] Ibáñez J J , De-Alba S , Lobo A , *et al.* Pedodiversity and global soil patterns at coarser scales . *Geoderma* , 1998 , 83 : 171 ~ 192
- [11] Ibáñez J J , Caniego J , Sarr-Jose F , *et al.* Pedodiversity—Area relationships in Islands . *Ecol. Model.* , 2005 , 182 : 257 ~ 269
- [12] Saldaña A , Ibáñez J J . Pedodiversity analysis at large scales : An example of three fluvial terraces of the Henares River (Central Spain) . *Geomorphology* , 2004 , 62 : 123 ~ 138
- [13] Ibáñez J J , Ruiz-Ramos M , Tarquis A M . Mathematical structure of biological and pedological taxonomies . *Geoderma* , 2006 , 134 : 360 ~ 372
- [14] Odeh I O A . In discussion of : Ibáñez J J , De-Alba S , Lobo A , and Zucarello A V , Pedodiversity and global soil patterns at coarser scales . *Geoderma* , 1998 , 83 : 203 ~ 205
- [15] Ahrens R , Rice T J , Eswaran H . Soil classification : Past and present . *In* : Eswaran H , Rice T , Ahrens R , *et al.* eds. *Soil Classification : A Global Desk Reference* . Boca Raton , FL : CRC , 2003 . 19 ~ 25
- [16] Arnold R W , Eswaran H . Conceptual basis for soil classification : Lessons from the fast . *In* : Eswaran H , Rice T , Ahrens R , *et al.* eds. *Soil Classification : A Global Desk Reference* . Boca Raton , FL : CRC , 2003 . 27 ~ 42
- [17] Blum W E H , Laker M C . Soil classification and soil research . *In* : Eswaran H , Rice T , Ahrens R , *et al.* eds. *Soil Classification : A Global Desk Reference* . Boca Raton , FL : CRC , 2003 . 43 ~ 49
- [18] Buol S W . Philosophies of soil classification : From is to does . *In* : Eswaran H , Rice T , Ahrens R , *et al.* eds. *Soil Classification : A Global Desk Reference* . Boca Raton , FL : CRC , 2003 . 3 ~ 10
- [19] Dudal R . How good is our soil classification ? *In* : Eswaran H , Rice T , Ahrens R , *et al.* eds. *Soil Classification : A Global Desk Reference* . Boca Raton , FL : CRC , 2003 . 11 ~ 18
- [20] Burlando B . The fractal dimension of taxonomic systems . *J. Theor. Biol.* , 1990 , 146 : 99 ~ 114
- [21] Burlando B . *Helminthological Abstracts. Series B : Plant Nematology* . CAB International , Wallingford , 1987 ~ 1996 , Vols : 39 ~ 56
- [22] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组 , 中国土壤系统分类课题研究协作组 . 中国土壤系统分类检索 . 第 3 版 . 合肥 : 中国科技大学出版社 , 2001 . Research Group and Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy . Index on Chinese Soil Taxonomy (In Chinese) . 3rd Ed. Hefei : University of Science and Technology of China Press , 2001
- [23] 陈志诚 , 龚子同 , 张甘霖 , 等 . 不同尺度的中国土壤系统分类参比 . *土壤* , 2004 , 36 (6) : 584 ~ 595 . Chen Z C , Gong Z T , Zhang G L , *et al.* Correlation of soil taxa between Chinese soil genetic classification and Chinese soil taxonomy on various scales (In Chinese) . *Soils* , 2004 , 36 (6) : 584 ~ 595
- [24] Clayton W D . The logarithmic distribution of angiosperm families . *Kew Bull.* , 1974 , 29 (2) : 271 ~ 279
- [25] 孙燕瓷 , 张学雷 , 程训强 , 等 . 城市化对南京地区土壤多样性影响的灰色关联分析 . *地理学报* , 2006 , 61 (3) : 311 ~ 318 . Sun Y C , Zhang X L , Cheng X Q , *et al.* Gray correlative analysis of the impact from growing urbanization process on pedodiversity in Nanjing area (In Chinese) . *Acta Geographica Sinica* , 2006 , 61 (3) : 311 ~ 318
- [26] 孙燕瓷 , 张学雷 , 陈杰 , 等 . 城市化对苏州地区土壤多样性的影响 . *应用生态学报* , 2005 , 16 (11) : 2060 ~ 2065 . Sun Y C , Zhang X L , Chen J , *et al.* Impact from the growing urbanization process on pedodiversity in Suzhou area (In Chinese) . *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2005 , 16 (11) : 2060 ~ 2065
- [27] 张学雷 , 陈杰 , 张甘霖 , 等 . 海南岛成土母质的地形多样性分析 . *土壤学报* , 2004 , 41 (2) : 170 ~ 175 . Zhang X L , Chen J , Zhang G L , *et al.* Soil parent material based geomorphic diversity in Hainan Island , China (In Chinese) . *Acta Pedologica Sinica* , 2004 , 41 (2) : 170 ~ 175
- [28] Tan M Z , Zhang X L , Chen J , *et al.* Pedodiversity : A case study based on 1 : 1 million scale SOTER of Shandong Province , China . *Pedosphere* , 2003 , 13 (3) : 219 ~ 226
- [29] Mayr E . *Principles of Systematic Zoology* . New York : McGraw-Hill , 1969

COMPARISON OF DIVERSITY CHARACTERISTICS BETWEEN PEDOLOGICAL AND BIOLOGICAL TAXONOMIES

Zhang Xuelei^{1,2†} Wang Hui^{2,3} Zhang Wei⁴ Xiao Guangping⁵ Chen Jie²

(1 *Institute of Natural Resources and Ecosystem, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China*)

(2 *State Key Lab of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(3 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

(4 *College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China*)

(5 *College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China*)

Abstract Mathematical structure of biological classification and its convincing interpretation have been an academic issue that has aroused extensive attention in the biological circle, but few have applied statistical distribution models to the study or analysis of structure of nonbiological classification, such as Soil Taxonomy. Comparison was made between the biological classification system for soil borne plant parasitic nematodes of the Tylenchina suborder and with a nonbiological one (Chinese Soil Taxonomy as an example) in biodiversity characteristics by calculating the power law distribution and Lognormal distribution of the two systems to analyze their similarities and differences. Results show that the two systems are very similar in mathematical structure and diversity characteristics, and both are reasonable information systems, which fit well to the same distribution models, such as power law distribution and lognormal distribution. Minor differences also exist between the two. The classification system of nematodes of the Tylenchina suborder is a branching system more profuse than the Chinese Soil Taxonomy. The latter seems to be more reasonable in designing in terms of evenness values. The Willis curves show that Chinese Soil Taxonomy has a more regular structure, which is probably related to difference in classification ideology between the two scientific disciplines.

Key words Chinese soil taxonomy; Tylenchina suborder; Diversity characteristics; Willis curves