

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



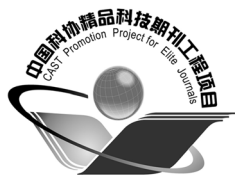
中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第5期

Vol.52 No.5



土 壤 学 报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

目 次

综述与评论

- 基于文献计量分析的近30年国内外土壤科学发展过程解析 宋长青 谭文峰 (957)
土壤生态系统服务的概念、量化及其对城市化的响应 吴绍华 虞燕娜 朱 江等 (970)

研究论文

- 基于土壤系统分类的河南省土壤有机质时空变异 李 玲 张少凯 吴克宁等 (979)
皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系 刘莉红 胡雪峰 叶 玮等 (991)
青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究 张玉柱 黄春长 庞奖励等 (1002)
基于成像光谱技术预测氮素在土壤剖面中的垂直分布 李 硕 汪善勤 史 舟 (1014)
基于探地雷达的典型喀斯特坡地土层厚度估测 王 升 陈洪松 付智勇等 (1024)
淮河流域地表干湿变化的时空分布特征 曹永强 徐 丹 曹 阳 (1031)
神府矿区弃土弃渣体侵蚀特征及预测 郭明明 王文龙 李建明等 (1044)
砂石条形覆盖下土壤水分蒸发动态研究 赵 丹 李 毅 冯 浩 (1058)
pH和三种阴离子对紫色土亚硒酸盐吸附-解吸的影响 周鑫斌 于淑慧 谢德体 (1069)
土壤非交换性钾释放动力学特征及其生物有效性 李 婷 王火焰 陈小琴等 (1078)
生物质灰对红壤酸度的改良效果 时仁勇 李九玉 徐仁扣等 (1088)
小麦秸秆生物炭对高氯代苯的吸附过程与机制研究 李 洋 宋 洋 王 芳等 (1096)
不同温度玉米秸秆生物炭对萘的吸附动力学特征与机理 张 默 贾明云 卞永荣等 (1106)
十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫毒性研究 王赢利 陈建松 阳宇翔等 (1116)
稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响 王 慧 桂 娟 刘满强等 (1124)
沿海区土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化的响应 王诚楠 张伟东 王雪峰等 (1135)
土壤团聚体 N_2O 释放与反硝化微生物丰度和组成的关系 周汉昌 张文钊 刘 毅等 (1144)
基于产量、氮效率和经济效益的春玉米控释氮肥掺混比例 王 寅 冯国忠 张天山等 (1153)

问题讨论

- 中国土壤系统分类基层单元土族建设现状与命名上存在的问题 易 晨 马渝欣 杨金玲等 (1166)

研究简报

- 干旱与重吸水对人工藻结皮光合特性的影响 吴 丽 杨 红 兰书斌等 (1173)
咸水灌溉对沙漠防护林植物根系分布及风沙土演变的影响 李从娟 唐俊妍 高 培等 (1180)
不同 $NaNO_3$ 浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素 张政勤 罗文贱 陈 勇等 (1188)

封面图片: 不同浓度十溴联苯醚对秀丽隐杆线虫的毒性 (由王赢利提供)

沿海区土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化的响应^{*}

王诚楠¹ 张伟东^{1†} 王雪峰² 洪 毅¹

(1 辽宁师范大学生命科学学院, 辽宁大连 116081)

(2 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102)

摘 要 在2013年对大连市大魏家镇海水入侵污染区域进行了土壤理化性质和线虫群落调查, 在此基础上, 应用线虫多样性指数和功能类群指数研究海水入侵土壤盐渍化以及不同土地利用方式对土壤线虫群落结构的影响。研究期间共鉴定出土壤线虫30科48个属。其中食细菌类群的比例最高, 共17属, 占总数42.81%; 其次为杂食/捕食类群, 共9个属, 占总数25.26%。优势属为Plectus。结果显示: 海水入侵已造成该地区土壤盐渍化; 土壤盐分与线虫生态指数SR、f/b、NCR、PPI、MI、PPI/MI、PP%、FF%、BF%和OP%存在显著的相关关系; 土地利用方式、土壤盐分对线虫群落的生态指数影响显著, 是影响该地区土壤线虫群落结构的主要因素。通过开展土壤线虫对海水入侵土壤盐渍化响应的研究, 为促进沿海受海水污染区土壤生态系统的健康发展提供科学依据。

关键词 土壤盐渍化; 土壤线虫; 土地利用方式; 盐分; 生态指数

中图分类号 S154.38 **文献标识码** A

海水入侵是特定区域自然与人类社会经济活动两大因素叠加影响的结果^[1]。海水入侵造成地下水水质恶化, 土壤盐渍化, 给全世界范围内的滨海地区带来了严重的危害, 对生态环境和社会经济造成的影响难以估量。

土壤线虫是土壤生态系统中重要的组成成分^[2-3], 其在土壤有机质分解、营养物质矿化等过程中发挥着基础性的作用, 是土壤肥力形成和保持的活跃因子^[4]。其具有分布广泛、世代周期短、分离鉴定方法简单等优点, 同时能对环境干扰做出迅速反应, 因此常被作为研究土壤环境质量的生物指标^[5]。土地利用方式能显著改变土壤养分和土壤质地^[6-7], 进而影响土壤线虫群落组成及分布状况^[8-9]。近年来, 我国有关土地利用方式和土壤线虫群落动态变化关系的研究有所增加^[10-11], 然而运用土壤线虫作为指示生物来反映受海水污染地区不同农业用地土壤生态健康状况的研究却鲜有报道。本文旨在通过开展不同土地利用方式下线虫群落对被海水污染土壤响应的研究, 为进一步开展海

水入侵区域的农业活动提供参考, 为促进土壤生态系统健康发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于大连市金州区大魏家镇。大连市地处辽东半岛南端(东经120°58′~123°31′, 北纬38°43′~40°12′), 西临渤海, 东接黄海, 海岸线较长, 是我国最早发现海水入侵的地区^[12]。大魏家镇是大连市重要的水源地, 也是水果、农作物的主要生产基地。特殊的地质构造以及过度引用地下水灌溉造成该地区于1970—1982年间地下水氯离子平均含量由375.5 mg L⁻¹增长至1 136.8 mg L⁻¹。1983—1989年, 供水改为季节性开采后, 氯离子含量以年递减85.6 mg L⁻¹的速度下降。1989年后海水入侵现象加剧。直至2003年该地区入侵面积为54 km², 入侵率达到46.11%, 成为大连市海水入侵重点监测区入侵最严重的地段之一。海水入侵导致

^{*} 国家自然科学基金项目(41201245)资助

[†] 通讯作者, E-mail: zhangweidong64@aliyun.com

作者简介: 王诚楠(1991—), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要从事恢复生态学研究。E-mail: 15998491036@163.com

收稿日期: 2014-09-05; 收到修改稿日期: 2015-01-06

地下水变咸,重金属残留过重,引用受污染的地下水灌溉农田、果园,势必造成土壤盐渍化,最终破坏该区域土壤生态系统。

1.2 研究方法

利用GPS定位技术距海由近至远选取了4个样地,分别为金龙观(JLG,距海0.9 km)、吴屯(WT,距海2.9 km)、连丰村(LF,距海5.9 km)和富岭村(FL,距海7.9 km)样地,每个样地均分布有常年灌溉该地区农田的地下井。其中金龙观与富岭村样地土地利用类型为果园(作物种类为桃树),吴屯与连丰村样地土地利用类型为农田(作物种类为玉米)。于春季(5月中旬)、夏季(8月中旬)、秋季(10月下旬)对研究区样地共进行3次采样。每个样地在灌溉区内按照南北方向与地下井间隔100 m、200 m、300 m处分别取样,每个样点采样面积为5 cm×5 cm,取样深度为0~15 cm。4个样地3次共取样36份。将采集到的土壤样品进行编号,研磨过筛,冷藏保存,用于线虫提取、土壤理化性质分析。

1.3 项目分析与测定

参照文献[13]测定土壤理化性质。采用1:5土壤悬液电导法(电导仪法)测定土壤悬液电导率并计算土壤盐分;称重法(烘干法)测定土壤含水量;原子吸收分光光度法测定钾离子、钠离子含量;重铬酸钾-硫酸氧化法测定土壤有机质含量;硝酸淀粉比色法测定土壤硝态氮含量;0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃法测定土壤有效磷含量;玻璃电极法测定土壤pH。

采用淘洗-过筛-浅盘法^[14]分离提取土壤线虫,60℃水浴10 min杀死,加入等量的2倍TAF固定液,保存于青霉素小瓶中备用。线虫标本的鉴定依据《中国土壤动物检索图鉴》,根据土壤含水率,将线虫数量折合为条100 g⁻¹干土。

1.4 数据统计分析

利用Margalef丰富度指数(SR)、Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J')^[15-17]来描述土壤线虫群落多样性。

$$SR = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

$$H' = - \sum n_i / N \times \ln (n_i / N) \quad (2)$$

$$J' = H' / \ln S \quad (3)$$

式中,S为类群数,N为线虫个体总数,n_i为第i个类群个体数量。

采用线虫通路指数(NCR)、成熟度指数

(MI)、植物寄生线虫成熟指数(PPI)来研究土壤线虫群落功能类群特征。

$$NCR = b / (b + f) \quad (4)$$

$$MI(PPI) = \sum_i^n cp_i \times p_i \quad (5)$$

式中,b为食细菌线虫数量;f为食真菌线虫数量;cp_i为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫第i类群c-p值;n为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫类群数;p_i为土壤线虫群落非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫第i类群的个体数占群落总个体数的比例。

数据采用SPSS软件(17.0版,SPSS Inc.)分析。相关分析采用Bivariate分析,各处理间土壤线虫的差异用ANOVA分析。

2 结果

2.1 研究样地土壤理化性质

各样地土壤理化性质分析结果见表1。从表1可以看出,相同土地利用方式下,样地间的全盐差异显著(p<0.05),盐分随距海距离的增加而降低,表现为WT>LF,JLG>FL;Na⁺含量差异也较为显著(p<0.05),表现WT<LF,JLG<FL;K⁺、有机质、硝态氮和有效磷含量则与盐分呈相反的趋势。不同土地利用方式下,有机质含量总体表现为农田<果园;而硝态氮和有效磷含量则表现为农田>果园。

2.2 研究样地土壤线虫群落组成

本研究共调查到土壤线虫13 308.4条(表2),隶属于土壤线虫门30个科48个属。其中食细菌类群的比例最高,共17属,占总数42.81%;其次为杂食/捕食类群,共9属,占总数25.26%;植物寄生类群最低。其中优势类群为Plectus,占总数的13.47%;常见类群共包括23属,占总数的67.48%;稀有类群共包括24属,占总数的18.05%。

2.3 研究样地土壤线虫c-p类群组成

以c-p1~2、c-p3、c-p4~5的类群比例作三角图(图1)。土壤线虫生活史策略中c-p1~2所占比例最大。其中土地利用类型为农田的WT和LF c-p1~2的比例分别为61.24%和56.72%,土地利用类型为果园的JLG和FL c-p1~2的线虫所占比例分别为51.29%和45.35%。相同土地利用方式下c-p值1~2的比例表现为WT>LF、JLG>FL。

表1 不同样地土壤理化性质特征

Table 1 Physical and chemical properties of sample plots relative to type of land use

土地利用方式 Land use	样地 Sample plot	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	pH	K ⁺ (g kg ⁻¹)	Na ⁺ (g kg ⁻¹)	全盐 Total salt (g kg ⁻¹)	含水率 Moisture (%)
农田 Cropland	WT	10.50a	9.23a	9.22a	7.04a	1.31b	0.61a	3.13a	0.16a
	LF	15.01a	9.37a	11.45ab	7.39a	1.35b	0.74b	2.13b	0.12b
果园 Orchard	JLG	14.46a	7.78b	5.48ab	7.10a	1.20a	0.53a	7.33c	0.11b
	FL	19.69a	9.14a	9.82b	6.77a	1.34b	1.07b	3.30ab	0.10b

注：WT，吴屯；LF，连丰；JLG，金龙观；FL，富岭。同列不同小写字母表示各处理间差异显著（ $p < 0.05$ ）。下同 Note：WT, Wutun; LF, Lianfeng; JLG, Jinlongguan; FL, Fuling. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level. The same below

表2 土壤线虫的群落组成

Table 2 Soil nematode community composition

属 Genera	营养类型 及c-p值 Nutrition types and c-p values	线虫数量 Number of nematode				属 Genera	营养类型及 c-p值Nutrition types and c-p values	线虫数量 Number of nematode			
		WT	LF	JLG	FL			WT	LF	JLG	FL
<i>Malenchus</i>	H2	4.2+	1.6+	8.1+	0+	<i>Eucephalobus</i>	Ba2	48.5++	60.8++	50.8++	100.6++
<i>Tylenchus</i>	H2	0+	4.0+	5.5+	0+	<i>Heterocephalobus</i>	Ba2	11.3+	26.5++	43.6++	87.3++
<i>Filenchus</i>	H2	17.8++	16.2+	12.5+	219.6++	<i>Acrobeles</i>	Ba2	0.6+	15.3+	13.4+	36.1+
<i>Psilenchus</i>	H2	6.2+	4.6+	13.4+	13.4+	<i>Acrobeloides</i>	Ba2	238.8+++	175.8++	106.0++	338.1++
<i>Rotylenchus</i>	H3	14.1+	18.4++	121.3++	397.1++	<i>Panagrolaimus</i>	Ba1	4.0+	0+	10.3+	7.4+
<i>Pratylenchus</i>	H3	9.0+	32.8++	59.0++	285.5++	<i>Teratocephalus</i>	Ba3	0+	2.7+	6.1+	8.1+
<i>Heterodera</i>	H3	22.2++	11.6+	20.3+	360.8++	<i>Plectus</i>	Ba2	249.5+++	308.8+++	337.6+++	897.4+++
<i>Criconeimoides</i>	H3	0+	0+	10.9+	0+	<i>Wilsonema</i>	Ba2	1.1+	33.2++	45.5++	41.9+
<i>Paratylenchus</i>	H2	1.6+	28.9++	5.7+	65.2+	<i>Paraplectonema</i>	Ba2	2.0+	13.5+	3.9+	0+
<i>Deladenus</i>	H2	1.0+	7.6+	17.3+	20.8+	<i>Domorganus</i>	Ba3	10.0+	47.4++	16.5+	134.6++
<i>Longidorella</i>	H4	10.5+	6.7+	9.8+	110.9++	<i>Rhabdolaimus</i>	Ba3	3.1+	11.8+	11.6+	35.6+
<i>Axonchium</i>	H5	1.4+	0+	0.5+	0+	<i>Chromadorina</i>	Ba3	1.3+	7.5+	20.0+	17.8+
<i>Xiphinema</i>	H5	96.4++	8.9+	84.2++	15.9+	<i>Achromadora</i>	Ba3	1.5+	16.1+	23.2+	70.6+
<i>Ditylenchus</i>	Fu2	2.2+	6.7+	27.0+	40.1+	<i>Prismatolaimus</i>	Ba3	73.1++	120.0++	173.7++	596.0++
<i>Pseudhalenchus</i>	Fu2	2.1+	19.1++	50.3++	46.1+	<i>Alaimus</i>	Ba4	7.6+	11.4+	8.1+	5.1+
<i>Fungiotonchium</i>	Fu2	10.3+	25.9++	14.6+	388.5++	<i>Cryponchus</i>	Po4	2.1+	42.0++	11.1+	108.3++
<i>Aphelenchus</i>	Fu2	7.1+	120.8++	190.9++	530.8++	<i>Mylonchulus</i>	Po4	5.2+	16.8+	51.5++	97.7++
<i>Paraphelenchus</i>	Fu2	19.0++	38.3++	36.8++	44.2+	<i>Anatonchus</i>	Po4	76.1++	57.4++	201.3++	141.8++
<i>Aprutides</i>	Fu2	0+	9.1+	2.2+	85.3++	<i>Nygolaimus</i>	Po5	74.8++	37.6++	195.6++	46.5+
<i>Aphelenchoides</i>	Fu2	96.4++	8.9+	84.2++	15.9+	<i>Dorylaimus</i>	Po4	61.3++	67.2++	90.0++	236.2++
<i>Doryllium</i>	Fu4	0.5+	11.2+	1.4+	43.1+	<i>Prodorylaimus</i>	Po5	53.6++	96.1++	117.3++	205.6++
<i>Diphtherophora</i>	Fu3	1.9+	4.5+	13.5+	66.3+	<i>Mesodorylaimus</i>	Po5	31.6++	99.7++	74.6++	610.4++
<i>Rhabditoides</i>	Ba1	137.9++	61.1++	353.5+++	55.2+	<i>Kochinema</i>	Po4	24.4++	54.4++	70.3++	122.2++
<i>Cephalobus</i>	Ba2	59.0++	60.4++	62.9++	196.0++	<i>Aporcelaimus</i>	Po5	0.9+	12.5+	16.9+	152.2++

注1)：H，植物寄生线虫；Fu，食真菌线虫；Ba，食细菌线虫；Po，杂食/捕食线虫。2)：+，比例<1%为稀有属；++，比例1%~10%为常见属；+++，比例>10%为优势属。3)：表中结果为各样地累加结果Note 1)：H, plant parasites; Fu, fungivores; Ba, bacterivores; Po, predators/omnivores. 2)：+, <1% in proportion sorted as rare species; ++, 1%~10% in proportion sorted as common species; +++, >10% in proportion sorted as dominant species. 3)：The data in the table are sum of all the sample plots

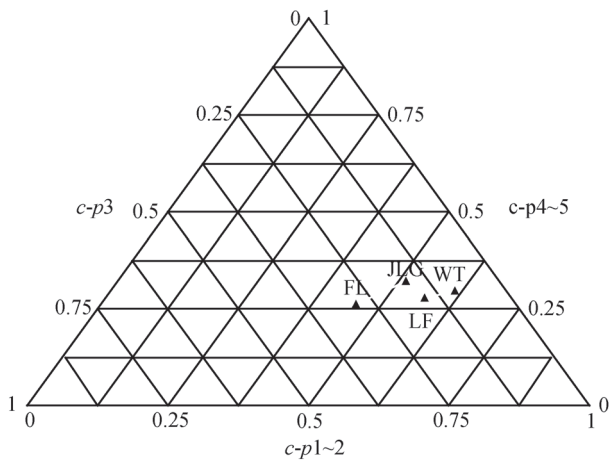


图1 各样地不同c-p值三角图
Fig.1 C-p value triangle relative to sample plot

2.4 研究样地土壤线虫的多样性和功能类群

利用土壤线虫的多样性指数来评价线虫的群落结构。结果如表3所示，线虫类群数（*S*）和线虫数量（*N*）在三个季节中变化较为明显。其中秋季>春季>夏季，线虫类群数（*S*）最高值出现在春季

的JLG，而线虫数量（*N*）最大值则出现在秋季的FL，不同土地利用方式下总体表现为果园>农田。其他多样性表征指数在各季节间变化不大，各指数在相同季节内呈现相似的变化规律。

线虫的功能类群指数结果显示，春季，*f/b*值在FL显著低于其他样地（*p*<0.05），而秋季*f/b*值在WT则显著低于其他样地（*p*<0.05），*f/b*值范围在0.06~0.80之间；通路指数*NCR*在各季节间波动较大，夏季通路指数*NCR*总体低于春季和秋季，在春季，相同土地利用方式下的两个样地间差异显著（*p*<0.05），而在夏季和秋季不同土地利用方式下的样地间差异显著（*p*<0.05）；植物寄生线虫成熟度指数*PPI*指植物寄生线虫r-选择和k-选择的比例，三个季节均呈现相似趋势，且不同土地利用方式下整体表现为果园>农田；成熟指数*MI*在不同季节间变化不大；*PPI/MI* 比值反映土壤生态系统对外界干扰恢复程度，相同土地利用方式下的两个样地间差异不显著，不同土地利用方式下则表现为果园>农田。

表3 不同季节各样地土壤线虫多样性指数和功能类群指数

Table 3 Diversity index and functional group index of soil nematodes in different sample plots and seasons											
季节 Season	样地 Sample plot	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>SR</i>	<i>J'</i>	<i>H'</i> (loge)	<i>f/b</i>	<i>NCR</i>	<i>PPI</i>	<i>MI</i>	<i>PPI/MI</i>
春季 Spring	WT	13.67a	79.00bc	3.16a	0.85ac	2.20a	0.18a	0.68a	2.54a	2.83ab	1.09ab
	LF	17.44a	47.33b	4.31b	0.93bc	2.63a	0.09a	0.95b	2.78ab	2.49a	1.04b
	JLG	24.44b	112.00c	2.81a	0.82a	2.23a	0.18a	0.61a	2.71ab	1.90a	1.62a
	FL	15.78a	306.89a	5.04c	0.94b	3.01b	0.06b	0.86b	2.88b	2.77b	1.24ab
夏季 Summer	WT	7.78b	28.11b	2.12b	0.88a	1.72b	0.23b	0.10ab	0.90b	1.97b	0.67ab
	LF	8.33b	64.00b	1.78ab	0.51a	1.35bc	0.28ab	0.44b	0.69b	2.30ab	0.68a
	JLG	16.56a	135.78c	3.10a	0.88a	2.61a	0.10a	0.31a	0.76a	2.79a	1.04ab
	FL	18.78a	324.33a	3.35a	0.89a	2.48ac	0.11a	0.53a	0.65a	2.73a	1.07b
秋季 Autumn	WT	13.33b	146.56b	2.66a	0.78b	2.01b	0.30b	0.77a	1.74a	2.60a	0.72a
	LF	19.00a	212.44b	3.66b	0.90a	2.63a	0.20a	0.83a	2.31ab	2.37a	0.87a
	JLG	18.22a	202.11ab	3.11ab	0.86a	2.52a	0.80a	0.56b	2.73a	2.63a	1.04a
	FL	19.11a	384.44a	3.72b	0.88ab	2.55a	0.70a	0.59b	2.84b	2.78a	1.03a

注：S，类群数；N，数量；SR，丰富度指数；J'，均匀度指数；H'，多样性指数；f/b，食真菌线虫数/食细菌线虫数；NCR，线虫通路指数；PPI，植物寄生线虫成熟度指数；MI，非植物寄生线虫成熟度指数
Note: S, generic index; N, number; SR, species richness; J', evenness; H', Shannon-Wiener index; f/b, fungivores/ bacterivores ratio; NCR, channel index; PPI, plant-parasitic maturity index; MI, maturity index

2.5 盐分、土地利用方式和季节对土壤线虫群落结构的影响

从表4可以看出，盐分对土壤线虫丰富度指数 SR 、 PPI 指数、 MI 指数、 PPI/MI 均有显著性影

响，对土壤线虫 NCR 指数有极显著的影响；土地利用方式对土壤线虫类群数、多样性指数具有显著性影响，对土壤线虫个体总数和 PPI 指数具有极显著性影响；季节对线虫数量（ N ）有显著性影响。

表4 盐分、土地利用方式和季节对线虫指数的影响

Table 4 Effect of soil salinity on indice of soil nematodes relative to type of land use and season

类别 Sort	S	N	SR	J'	$H' (loge)$	NCR	PPI	MI	PPI/MI
盐分 Salt	0.179	0.217	0.395*	0.082	0.177	0.446**	0.378*	0.399*	0.391*
土地利用方式 Land use	0.017*	0.007**	0.249	0.334	0.022*	0.962	0.008**	0.926	0.534
季节 Season	0.292	0.017*	0.617	0.576	0.443	0.319	0.139	0.609	0.242

*, $p<0.05$; **, $p<0.01$. 下同 The same below

2.6 土壤线虫群落结构与土壤理化性质的关系

表5结果显示，线虫类群数（ S ）、线虫数量（ N ）与土壤有机质含量呈显著正相关，而与土壤 pH 则呈显著负相关；除 S 、 N 、 J' 、 H' 之外，其他指数均与盐分存在相关性，其中 NCR 指数、 PPI 指数、 PPI/MI 、植物寄生线虫比例（ $PP\%$ ）、

食细菌线虫比例（ $BF\%$ ）和杂食/捕食线虫比例（ $OP\%$ ）与盐度呈显著正相关，而 SR 、 f/b 指数、 MI 指数、食真菌线虫比例（ $FF\%$ ）则与盐分呈显著负相关；含水率与线虫群落的相关性也较为明显；此外， MI 指数与 Na^+ 也具有显著正相关性。

表5 土壤线虫群落与土壤理化性质的相关性

Table 5 Correlation coefficients between soil nematode community and soil physic-chemical properties

指数 Index	K^+	Na^+	有机质 Organic matter	硝态氮 $NO_3^- - N$	有效磷 Available phosphorus	pH	全盐 Total salt	含水率 Moisture
S	-0.433	-0.034	0.531**	-0.101	-0.096	-0.343*	-0.179	-0.628**
N	-0.758	-0.497	0.614**	0.069	-0.145	-0.579**	0.217	-0.272
SR	0.121	0.408	0.231	-0.038	0.091	0.053	-0.395*	-0.426**
J'	0.595	0.587	0.195	0.121	0.048	0.134	-0.082	-0.377*
$H' (loge)$	-0.027	0.260	0.425**	0.013	-0.012	-0.084	-0.177	-0.615**
f/b	-0.085	0.712	0.117	-0.186	-0.276	-0.022	-0.353*	-0.212
NCR	0.047	-0.683	-0.191	0.189	0.290	0.014	0.446**	0.388*
PPI	-0.884	-0.729	0.194	-0.203	-0.112	-0.260	0.378*	-0.085
MI	0.350	0.952*	-0.272	-0.347*	-0.186	0.180	-0.399*	-0.209
PPI/MI	-0.878	-0.756	0.203	-0.190	-0.106	-0.266	0.391*	-0.081
$PP\%$	0.010	0.791	0.019	0.191	0.014	-0.111	0.398*	-0.242
$FF\%$	-0.068	0.568	0.173	-0.289	-0.245	0.053	-0.390*	-0.377*
$BF\%$	0.067	-0.715	-0.203	0.063	0.312	0.114	0.486**	0.347*
$OP\%$	-0.070	-0.811	0.064	-0.098	-0.201	-0.032	0.461**	0.372*

3 讨 论

土壤理化性质是对土壤健康状况的直观反映,大魏家镇四个样地总盐分均高于尹怀宁和张德君^[18]研究的环境背景值的2倍~3倍, K^+ 含量低于该地区的环境背景值,而 Na^+ 含量高于环境背景值。土壤中 Na^+ 含量偏高, K^+ 含量低,这是因为海水入侵导致大魏家镇地下水 Na^+ 含量升高,土地盐渍化, K^+ 降低,样地土壤供肥、保肥能力差。表明该地区土壤盐渍化现象明显,且离海岸距离越近,盐渍化程度越高(表1)。

通过对研究区域取样,利用所捕获的土壤线虫来评价土壤环境压力。本研究共鉴定出线虫48个属,其中食细菌线虫占比例最大,其次为杂食/捕食线虫。一定浓度范围内的盐分能够刺激土壤微生物生物量的增加,使得以摄取细菌为食的食细菌线虫数量增多;杂食/捕食线虫在食物网中处于较高的营养级,因此对生境的变化响应相对滞后^[19],这可能是造成杂食/捕食线虫比例高的原因。在对该区域线虫群落与土壤理化性质的相关性分析后发现,样地盐分对土壤线虫群落营养类群比例产生较大的影响。

土壤线虫具有多种生活史策略。根据r-策略至k-策略的生活史连续谱中土壤线虫所处的位置,Bongers将土壤线虫分为不同的c-p(colonizer-persister)类群^[20]。在对本研究区域线虫群落c-p类群组成分析后发现,盐分高的样地c-p1~2比例较盐分低的样地高,这些类群是r-对策者,较能忍受环境压力和外界扰动;不同土地利用方式下,农田的r-对策者比例较高,说明农田受到外界的干扰强烈,需要通过大量繁殖以应对外界环境干扰。

相同土地利用方式下,土壤的理化性质对线虫的多样性指数和功能类群指数存在着不同程度影响,其中盐分和含水率的影响最为明显,这与张建英等^[21]对银北盐碱地土壤动物研究结果一致。土壤盐分与线虫群落的类群数S、丰富度指数SR、多样性指数H'和均匀度指数J'呈显著负相关关系。连丰和富岭两个盐分较低的样地线虫类群数和个体密度较高,土壤线虫丰富度和多样性也较高,土壤环境条件优越。在线虫群落的功能类群指数中,f/b值用于评价碎屑食物网有机质分解的途径,低的f/b值表明食物网具有更高效率的有机质分解和营养转化过程^[22]。本研究中f/b值在0.06~0.80之

间并且与盐分呈显著负相关,表明相同土地利用方式下,盐分越高的样地,f/b值越低,有机质分解途径主要以细菌为主;NCR指数用于评价真菌和细菌在土壤营养利用途径中的比重,本研究中NCR指数与盐分呈极显著正相关,相同土地利用方式下受到海水污染较弱的样地,NCR指数较低,土壤营养含量丰富,食细菌线虫数量较多;MI和PPI指数分别是自由生活线虫和植物寄生线虫r-选择和k-选择的比例,它们各自反映了自由生活线虫和植物寄生线虫的生活周期、繁殖能力和抗干扰能力的强弱。Bongers等^[23]之后又提出采用PPI/MI比值来反映土壤生态系统对外界干扰恢复程度,受到干扰强烈的土壤环境,线虫群落的PPI/MI比值较高。本研究中PPI指数、PPI/MI指数均与盐分显著正相关,相同土地利用方式下,PPI、PPI/MI指数随盐分降低而降低,说明海水入侵严重的近海样地受到的干扰剧烈,盐分的降低使植食性线虫数量减少从而导致PPI指数降低。

不同土地利用方式下,土地利用类型对土壤线虫个体密度、类群数和多样性指数影响显著。已有研究显示,土壤有机质是影响土壤线虫群落结构的主要因素之一^[24]。人类对果园投入了大量有机和无机肥料,改变了土壤状况,提高了土壤肥力,有机质含量较高。有机质和全氮等与线虫个体密度呈显著正相关^[25],土壤有机质含量越高,自由生活线虫数量越大,寄生线虫的数量越少^[26],土壤越适合作物生长,土壤线虫的个体密度相对较高;而农田发育时间短,耕作活动干扰频繁,土壤线虫生境波动大^[27],土壤线虫的个体密度相对较低。这是造成WT、LF两个低盐度样地个体密度较低的主要原因。

4 结 论

通过研究可以得出,线虫群落对受不同程度海水污染的土壤环境产生相应的反应,能够灵敏地指示该地区土壤环境状况和受盐分污染程度。此外,不同土地利用方式对土壤线虫群落的影响差异显著,果园样地土壤线虫群落个体密度、类群数和多样性指数较高,为土壤线虫提供了较农田更为良好的生境。为今后开展线虫群落对海水污染土壤的响应研究、海水污染区的土壤恢复提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等. 大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响. 生态学报, 2011, 31 (13) : 3736—3744. Xiao N W, Xie D Y, Wang X X, et al. Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield (In Chinese) . Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (13) : 3736—3744
- [2] 胡锋, 李辉信, 谢连琪, 等. 土壤食细菌线虫与细菌的相互作用以及对 N、P 矿化—生物固定的影响及机理. 生态学报, 1999, 19 (6) : 914—920. Hu F, Li H X, Xie L Q, et al. Interactions of bacterivorous nematode and bacteria and their effects on mineralization—immobilization of nitrogen and phosphorus (In Chinese) . Acta Ecologica Sinica, 1999, 19 (6) : 914—920
- [3] Yeates G W. Variation in soil nematode diversity under pasture with soil and year. Soil Biology & Biochemistry, 1984, 16 (2) : 95—102
- [4] 马喜君, 陆兆华, 程建龙, 等. 海州露天煤矿区土壤线虫的群落特征. 生态环境学报, 2011, 20 (11) : 1764—1769. Ma X J, Lu Z H, Cheng J L, et al. Soil nematode community characteristics of open coal area (In Chinese) . Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20 (11) : 1764—1769
- [5] Liang W J, Wen D Z. Soil biota and its role in soil ecology. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12 (1) : 137—140
- [6] 李琪, 梁文举, 欧伟潮. 潮棕壤线虫群落对土地利用方式的响应. 生物多样性, 2007, 15 (2) : 172—179. Li Q, Liang W J, Ou W C. Responses of nematode communities to land use in an aquic brown soil (In Chinese) . Biodiversity Science, 2007, 15 (2) : 172—179
- [7] 焦燕, 赵江红, 徐柱. 内蒙古农牧交错带土地利用对土壤性质的影响. 草地学报, 2009, 17 (2) : 234—238. Jiao Y, Zhao J H, Xu Z. Effects of land use changes on soil physico-chemical properties in farm-grazing transition belt of inner Mongolia Autonomous Region (In Chinese) . Acta Agrestia Sinica, 2009, 17 (2) : 234—238
- [8] 杨智杰, 崔纪超, 谢锦升, 等. 中亚热带山区土地利用变化对土壤性质的影响. 地理科学, 2010, 30 (3) : 475—480. Yang Z J, Cui J C, Xie J S, et al. Effects of land use cover change on soil properties in mid-subtropical mountainous area of Southern China (In Chinese) . Scientia Geographica Sinica, 2010, 30 (3) : 475—480
- [9] 刘方明, 孟维韧, 刘今子, 等. 不同土地利用方式下土壤线虫群落的垂直分布分析. 湖北农业科学, 2012, 51 (19) : 4266—4269. Liu F M, Meng W R, Liu J Z, et al. Analysis on vertical distribution of soil nematodes communities under different modes of land use (In Chinese) . Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51 (19) : 4266—4269
- [10] Liang W J, Zhang X K, Li Q, et al. Vertical distribution of bacterivorous nematodes under different land uses. Journal of Nematology, 2005, 37 (3) : 254—258
- [11] Ou W, Liang W J, Jiang Y, et al. Vertical distribution of soil nematodes under different land use types in an aquic brown soil. Pedobiologia, 2005, 49: 139—148
- [12] 黄磊, 郭占荣. 中国沿海地区海水入侵机理及防治措施研究. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19 (2) : 118—123. Huang L, Guo Z R. Mechanism of sea water intrusion in China's coastal areas and its prevention countermeasures (In Chinese) . The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19 (2) : 118—123
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25—109. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese) . 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25—109
- [14] Xie H. Taxonomy of plant nematodes. Beijing: Higher Education Press, 2005: 40
- [15] Wasilewska L. The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. Pedobiologia, 1994, 38 (1) : 1—11
- [16] Imaz A, Heranadez M A, Arino A H, et al. Diversity of soil nematodes across a Mediterranean ecotone. Applied Soil Ecology, 2002, 20: 191—198
- [17] Kandji S T, Ogot C, Albrecht A. Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in Western Kenya. Applied Soil Ecology, 2001, 18: 143—157
- [18] 尹怀宁, 张德君. 大连市地下水海水污染对土壤生态影响研究初报. 水土保持研究, 2007, 14 (3) : 5—6. Yin H N, Zhang D J. Impact of seawater invasion on soil ecology of Dalian City (In Chinese) . Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14 (3) : 5—6
- [19] 李琪, 梁文举, 姜勇. 农田土壤线虫多样性研究现状及展望. 生物多样性, 2007, 15 (2) : 134—141. Li Q, Liang W J, Jiang Y. Present situation and prospect of soil nematode diversity in farmland ecosystems (In Chinese) . Biodiversity Science, 2007, 15 (2) : 134—141
- [20] Bongers T. The maturity index: An ecological measure

- of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, 83: 14—19
- [21] 张建英, 杨贵军, 于有志. 银北盐碱地土壤动物多样性与土壤因子的相关性. *西北农业学报*, 2012, 21 (7): 177—184. Zhang J Y, Yang G J, Yu Y Z. Soil fauna diversity and its relations with soil factors in saline-alkali soil in northern Yinchuan of Ningxia (In Chinese). *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2012, 21 (7): 177—184
- [22] Ferris H, Bongers T, de Goede R G M. A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18 (1): 13—29
- [23] Bongers T, Van Der Meulen H, Korhtals G. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*, 1997, 6 (2): 195—199
- [24] 江春, 黄菁华, 李修强, 等. 长期施用有机肥对红壤旱地土壤线虫群落的影响. *土壤学报*, 2011, 48 (6): 1235—1241. Jiang C, Huang J H, Li X Q, et al. Responses of soil nematode community to long-term application of organic manure in upland red soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48 (6): 1235—1241
- [25] 李辉信, 刘满强, 胡锋, 等. 不同植被恢复方式下红壤线虫数量特征. *生态学报*, 2002, 22 (11): 1882—1889. Li H X, Liu M Q, Hu F, et al. Nematode abundance under different vegetations restored on degraded red soil (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (11): 1882—1889
- [26] Widmer T L, Mitkowski N A, Abawi G S. Soil organic matter and management of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology*, 2002, 34 (4): 289—295
- [27] 吴玉红. 不同土地利用方式对土壤线虫多样性影响研究. *安徽农业科学*, 2012, 40 (7): 9270—9273, 9313. Wu Y H. Effect of different land-use systems on soil animal diversity (In Chinese). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40 (7): 9270—9273, 9313

RESPONSE OF SOIL NEMATODES TO SOIL SALINIZATION INDUCED BY SEAWATER INTRUSION IN COASTAL AREAS

Wang Chengnan¹ Zhang Weidong^{1†} Wang Xuefeng² Hong Yi¹

(¹ School of Life Science, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116081, China)

(² Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China)

Abstract In 2013, soil samples were collected in Daweijia Town of Dalian City where seawater intrusion once occurred, for analysis of soil physical and chemical properties, including soil salinity, moisture content, Na⁺ content, K⁺ content, organic matter content, nitrate content, available P and pH and for counting of soil nematodes, using the ISC process. The nematodes separated from the soil were classified and identified. Then impacts of seawater contamination and land use on soil nematodes community structure were studied using the diversity index and functional group indices. Results show that long-term irrigation with sea water polluted groundwater has caused the background soil salinity value of the region doubled or tripled, with Na⁺ content increasing, K⁺ content decreasing and the soil significantly salinized. The closer to the coast, the higher the degree of soil salinization was. Organic matter content decreased with the increasing salinity. The total of 13 308.4 nematodes identified belonged to 48 genera of 30 families, including 17 genera of bacterivores nematodes and 9 genera of omnivore-predator, representing 42.81% and 25.26%, respectively, of the total. *Plectus* was the dominant genera, representing 13.47% of the total. Among the life history strategies of soil nematodes, *c-p1 ~ 2* was the largest in proportion, and the proportion of *c-p1 ~ 2* was higher in soils high in salinity than in soils low in salinity under the same land use, and higher in farmland than in soils under other forms of land use. With rising soil salinity, *NCR*, *PPI* and *PPI/MI* of soil nematodes and proportions of plant-parasitic nematodes, bacteria-feeding nematodes and omnivores/predatory nematodes all increased, but Shannon-Wiener, *f/b*, *MI*, and proportion of bacterivores reduced. The

relationship between nematode community and soil moisture content was also quite significant. The impacts of type of land use were very significant on number and diversity of soil nematode groups (S) and extremely significant on population and PPI of soil nematodes. Among the different types of land use, orchards received large volumes of organic manure and chemical fertilizer, thus altering their soil properties and raising their soil fertility and organic matter content as well. In such soils, the higher the organic matter content, the great the population of soil nematodes, the less the number of parasite nematodes, the more favorable the soil to crop growth, and the higher the density of nematode individuals in the soil. In croplands, often short in cultivation history, but frequently disturbed by tillage, the habitat for nematodes varied sharply, thus making the density of soil nematodes lower. The findings demonstrate that soil nematode community responds to sea water contamination variably, depending on degree of the contamination. Therefore, its response can be used to indicate status of the soil environment and sea water pollution degree of the region. Beside, the impacts of land use on soil nematode communities relative to type of the land use. In orchard, soil nematodes are quite high in individual density, number of groups and diversity because orchards offer soil nematodes a better habitat than croplands do. The findings of the study provide a theoretical basis for future study on how soil nematode community respond to seawater pollution and how the soils in sea water polluted areas can be remedied.

Key words Soil Salinization; Soil nematodes; Land use; Salt; Ecological index

(责任编辑: 卢 萍)

CONTENTS

Reviews and Comments

- The historical venation of soil science in the past 30 years—Based on the bibliometric analysis Song Changqing, Tan Wenfeng (968)
 Soil ecosystem services: Concept, quantification and response to urbanization Wu Shaohua, Yu Yanna, Zhu Jiang, et al. (977)

Research Articles

- Analysis on spatial-temporal variability of soil organic matter in Henan Province based on Soil Taxonomy Li Ling, Zhang Shaokai, Wu Kening, et al. (989)
 Relationship between illite crystallinity (IC) value and weathering degree of Quaternary Red Clay in southern Anhui Province, Southeast China Liu Lihong, Hu Xuefeng, Ye Wei, et al. (1000)
 Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. (1013)
 Prediction of vertical distribution of soil nitrogen content in soil profile using spectral imaging technique Li Shuo, Wang Shanqin, Shi Zhou (1022)
 Estimation of thickness of soil layer on typical karst hillslopes using a ground penetrating radar Wang Sheng, Chen Hongsong, Fu Zhiyong, et al. (1030)
 Spatio-temporal distribution of dry-wet alteration in surface soil layer of the Huaihe River Basin Cao Yongqiang, Xu Dan, Cao Yang (1042)
 Erosion on dunes of overburden and waste slag in Shenfu coalfield and prediction Guo Mingming, Wang Wenlong, Li Jianming, et al. (1056)
 Dynamics of soil water evaporation from soil mulched with sand-gravels in stripe Zhao Dan, Li Yi, Feng Hao (1067)
 Effect of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil Zhou Xinbin, Yu Shuhui, Xie Deti (1076)
 Release kinetics and bioavailability of nonexchangeable potassium in soil Li Ting, Wang Huoyan, Chen Xiaoqin, et al. (1086)
 Effects of bio-ash ameliorating red soil in acidity Shi Renyong, Li Jiuyu, Xu Renkou, et al. (1095)
 Effect of wheat straw biochar on high chlorinated benzene sorption process and mechanism Li Yang, Song Yang, Wang Fang, et al. (1104)
 Sorption kinetics and mechanism of naphthalene on corn-stalk-derived biochar with different pyrolysis temperature Zhang Mo, Jia Mingyun, Bian Yongrong, et al. (1114)
 Toxicity of deca-brominated diphenyl ether to *Caenorhabditis elegans* Wang Yingli, Chen Jiansong, Yang Yuxiang, et al. (1122)
 Effects of clover and straw decomposition on soil microfaunal community Wang Hui, Gui Juan, Liu Manqiang, et al. (1133)
 Response of soil nematodes to soil salinization induced by seawater intrusion in coastal areas Wang Chengnan, Zhang Weidong, Wang Xuefeng, et al. (1142)
 Relationships of N₂O emission with abundance and composition of denitrifying microorganisms in soil aggregates Zhou Hanchang, Zhang Wenzhao, Liu Yi, et al. (1151)
 Optimizing blending ratio of controlled release N fertilizer for spring maize based on grain yield, N efficiency, and economic benefit Wang Yin, Feng Guozhong, Zhang Tianshan, et al. (1164)

Communications and Comments

- Status quo and problems in setting-up and naming of basic taxon-Soil family in Chinese Soil Taxonomy Yi Chen, Ma Yuxin, Yang Jinling, et al. (1172)

Research Notes

- Effects of drought and rehydration on photosynthetic characteristics of artificial algal crusts Wu Li, Yang Hong, Lan Shubin, et al. (1179)
 Effect of irrigation with saline water on plant root distribution and evolution of aeolian sandy soil in shelterbelts along desert highways Li Congjuan, Tang Junyan, Gao Pei, et al. (1186)
 Distribution of Cu (II) desorption rate in variable charge soils relative to concentrations of NaNO₃ and its affecting factors Zhang Zhengqin, Luo Wenjian, Chen Yong, et al. (1194)

Cover Picture: Toxicity of deca-brominated diphenyl ether (BDE-209) to *Caenorhabditis elegans*
 (by Wang Yingli)

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：（按姓氏笔画为序）

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

（双月刊，1948年创刊）

第 52 卷 第 5 期 2015 年 9 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

（Bimonthly, Started in 1948）

Vol. 52 No. 5 Sep., 2015

编 辑 《土 壤 学 报》编 辑 委 员 会
地址：南京市北京东路 71 号 邮政编码：210008
电话：025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

出 版 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717
电话：010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国 外 发 行 中国国际图书贸易总公司
地址：北京 399 信箱 邮政编码：100044

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号：CN 32-1119/P

国内邮发代号：2-560

国外发行代号：BM45

定价：60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156