

兰州八里镇蔬菜基地春季土壤纤毛虫群落特征

马正学¹ 申海香¹ 邹涛¹ 马尚盛⁰ 宁应之¹
(¹ 西北师范大学生命科学院 兰州 730070; ⁰ 武威二中 武威 733000)

摘要: 2005年4月至2007年6月,用活体观察和固定染色方法对兰州八里镇蔬菜基地春季土壤纤毛虫的群落特征进行了研究。共鉴定出土壤纤毛虫67种,其中包括2个未定名种和14个中国土壤纤毛虫新纪录种。在八里镇蔬菜基地的土壤中鉴定到纤毛虫34种,隶属于3纲、7目、17科、18属;下毛目、肾形目、前口目为其优势类群;吻吴氏虫(*Woodruffia rostrata*)、近亲游仆虫(*Euplotes affinis*)、苔藓圆纤虫(*Strongyloidium muscorum*)、鱼形瘦尾虫(*Urdleptus piscis*)、似膜袋虫(*Cyclidium simulans*)等为其优势种。在对照样点(兰山)中鉴定到纤毛虫49种,隶属于3纲、9目、23科、30属;下毛目、盾纤目、肾形目和篮口目为其优势类群;苔藓游仆虫(*E. muscicola*)、近缘殖口虫(*Gonostomum affine*)、皮速体虫(*Tachysoma pellionella*)、食藻斜管虫(*Cydidium simulans*)等为其优势种。八里镇蔬菜基地和对照样点的Gleason-Margalef物种多样性指数分别为31.672、51.393;与对照样点土壤纤毛虫的群落Jaccard相似系数为0.239。结果表明,八里镇蔬菜基地春季土壤纤毛虫的物种多样性与对照样点相比有所降低,其群落结构简单化。

关键词: 兰州八里镇蔬菜基地; 土壤纤毛虫; 群落特征

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0252-3263(2008)03-87-07

Community Characteristics of Soil Ciliates in Vegetables Base of Bali Town in Lanzhou in Spring

MA ZhengXue¹ SHEN HaiXiang¹ ZOU Tao¹ MA ShangSheng⁰ NING YingZhi¹
(¹ College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070; ⁰ No. 2 High School of Wuwei, Wuwei 733000, China)

Abstract: The community characteristics of soil ciliates in Vegetables Base of Bali Town in Lanzhou in spring were studied by observation in vivo and fixation-staining from April 2005 to June 2007. Totally 67 species were identified, including 2 unnamed species and 14 new records of soil ciliates in China. 34 species were found in Vegetables Base of Bali Town, belonging to 18 genera of 17 families from 7 orders in 3 classes; Hypotrichida, Colpodida and Prostomatida were dominant groups; *Woodruffia rostrata*, *Euplotes affinis*, *Strongyloidium muscorum*, *Urdleptus piscis* and *Cyclidium simulans* were dominant species in Vegetables Base of Bali Town. 49 species were identified in the contrast soils (Lanshan), belonging to 30 genera of 23 families from 9 orders in 3 classes; Hypotrichida, Scuticociliatida, Colpodida and Nassulida were dominant groups; *E. muscicola*, *Gonostomum affine*, *Tachysoma pellionella* and *Chilodonella albigera* were dominant species in contrast soils. The Gleason-Margalef Species Diversity Index of Vegetables Base of Bali Town and contrast soils were 31.672 and 51.393, respectively; the Jaccard Similarity Index was 0.239 between Vegetables Base of Bali Town and contrast soils. The results suggested that compared of the contrast soils, species diversity in Vegetables Base of Bali Town was lower, and the community structure of soil ciliates was simpler.

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30470208), 兰州市科技局资助项目(No. 032266), 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室开放基金资助;

第一作者介绍 马正学, 男, 副教授; 研究方向: 动物生物学和污染生态学; E-mail: mzhx53@163.com.

收稿日期: 2007-02-13, 修回日期: 2008-02-28

Key words: Vegetables Base of Bali Town in Lanzhou; Soil ciliates; Community characteristics

土壤纤毛虫是土壤生态系统微生物群落 (microbiota community) 的重要组成部分^[1]。纤毛虫在调节农业土壤生态系统的植物根际微生物群落结构, 改变植物根际微环境和对进入到土壤环境中的各种污染物的吸收分解、分泌钝化等方面具有不可替代的作用。因此, 研究土壤纤毛虫群落动态变化特征有助于了解农业土壤生态环境安全状况, 在调节改善、监测和评价农业土壤生态环境质量等方面都发挥着重要的作用^[2,3]。

国内外对土壤纤毛虫的研究多侧重于森林生态系统土壤纤毛虫的分类学和生态学研究^[4-10]。国外对农业生态系统土壤纤毛虫群落结构的研究较少, 主要集中在研究不同杀虫剂、除草剂、杀真菌剂以及化肥等对土壤纤毛虫群落结构的影响^[11-13]。而国内对农业生态系统土壤纤毛虫的研究则更少, 主要研究工作有曹志平^[14]、孙焱鑫等^[15]、马正学等^[16]、牛世全等^[17]对农业生态系统土壤纤毛虫群落结构的研究。目前全球农业生态系统退化和污染问题较为严重, 已知退化面积占农田总面积的 4P5^[18,19], 在中国西北地区这一问题更为严重, 农业生态系统中土壤环境污染问题极为普遍。目前在学术界已经形成的共识是, 在评价农田生态系统退化和污染的指标中包含了土壤微生物群落特征指标。因此, 有必要对我国农业生态系统中土壤纤毛虫群落进行广泛的研究。2005 年 4 月至 2007 年 6 月, 对甘肃省兰州市八里镇蔬菜基地春季土壤纤毛虫进行了研究, 旨在探讨西部干旱农业区土壤纤毛虫的群落特征, 进而深入了解人类的农业耕作方式对土壤纤毛虫群落特征的影响以及变化规律, 其结果将为逐步建立农田生态系统环境质量监测、评价和农业生态系统安全的指标体系积累生物学基础资料。

1 研究地区概况

兰州市 (35b34c~ 37b07c N, 102b36c~ 104b34c

E) 位于中国西北区, 属于蒙新、青藏和黄土高原的交汇地带。城区东西长而南北窄, 四面环山, 形成一个半封闭的哑铃状河谷盆地。土壤以沙黄土和亚沙土为主, 尤以沙黄土覆盖面积大, 高达 60% 以上。自然植被稀少, 覆盖率为 15%, 森林覆盖率仅 41135%, 低于 618% 的全 国平均水平。属温带半干旱大陆季风气候, 温差大, 降水量少, 冬季较长。大部分地区年平均气温 6~ 9e, 年降水量 200~ 300 mm, 蒸发量 1 300~ 2 100 mm。市内少风, 风力一般 2~ 3 级, 多以东、东南风为主, 静风率 60% 以上。

八里镇蔬菜基地位于兰州市七里河区略偏东南部 (图 1), 该区以山坡地为主, 完全是自然种植农作区, 耕地面积 566167 hm²。该蔬菜基地以生产芹菜、香菜、菠菜、胡萝卜等为主, 产品质量好, 远销青海西宁、新疆乌鲁木齐、北京及港澳地区。

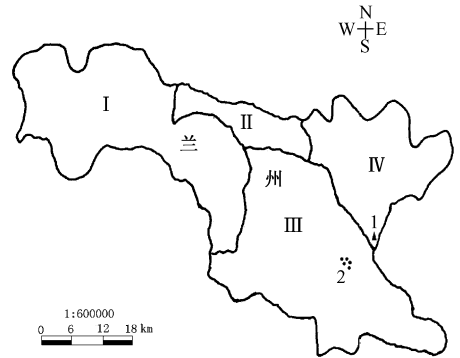


图 1 土壤纤毛虫采样点示意图

Fig. 1 Sampling sites of soil ciliates

- N̂: 西固区; Ô: 安宁区; Ó: 七里河区; Ô: 城关区。
- 1. 对照样点: 兰山; 2. 八里镇蔬菜基地。
- N̂: Xigu District; Ô: Anning District; Ó: Qilihe District; Ô: Chengguan District. 1. Contrast site: Lanshan; 2. Vegetables Base of Bali Town.

2 研究方法

211 样点设置及采样 在八里镇蔬菜基地种植有不同蔬菜的大棚区和非大棚区设置样点, 另在附近选择自然环境条件与农业区土壤环境

样点类似,但未受人为干扰的兰山山坡作为对照样点。

在约 400 m² 的采样区内用 30 ml 不锈钢圆筒采样器采集 20 份土样,采样时测量土壤温度、相对湿度和 pH。蔬菜基地非大棚区的土壤温度为 23~ 25 e,土壤相对湿度为 18%;大棚内的土壤温度达 30~ 33 e,土壤相对湿度为 50%~ 54%。大棚区与非大棚区 pH 相近,均介于 7.18~ 7.120 之间,大棚区内其他条件如灌溉、施肥等与非大棚区完全一致。对照样点的土壤温度为 10~ 12.15 e,土壤相对湿度为 15%,pH 为 7.110。采样时间为 2005 年 3~ 4 月。

212 样品预处理 用自然风干法^[20]将土壤风干备用。风干过程需防止外界空气中的纤毛虫孢囊和其他杂质进入土样中。等土样干燥后,放进纸袋中封口保存。

213 培养与鉴定 每份风干土样取 10~ 50 g 于培养皿中,用/非淹没培养皿法^{0 (non2flooded petri dish method)}^[20,21]于光照培养箱中在 25 e 左右的温度下培养。在培养的第 2、4、7、11、14、21、30 d 镜检鉴定物种。每份土样重复培养若干次,直到未出现新见物种为止。鉴定技术包括活体观察(利用 0.1% 的次甲基蓝或 5% 的冰醋酸对细胞核进行染色和观察)和固定染色,固定染色技术参照 Fernandez2Galiano^[22]、宋微波等^[23]、Wilbert^[24] 的蛋白银染色法。根据参考文献^[4-6,8-10,25-29]鉴定物种,分类系统采用 Levine 等^[30] 的分类系统。

214 数据统计与分析及优势类群和罕见类群的划分 (1) 数据统计。用直接计数法(direct counting method)进行定量研究,即取 0.14 g 新鲜土壤,加土壤浸出液(soil extract medium)(300 g 土壤+ 1 L 蒸馏水,煮沸 10 min 后过滤,取滤液)2~ 3 ml,充分摇匀并避免土壤颗粒粘附于容器壁上,直接取土壤悬浮液在显微镜下计数,直到将全部悬浮液检查完为止^[30]。(2) 多样性指数计算。根据 Gleason2Margalef 物种多样性指数公式 $d = (S - 1) / \ln N$ 计算。式中, d 为多样性指数, S 为种类数, N 为个体总数。 d 值的

小表示物种多样性的高低^[31]。(3) 群落相似性分析。根据 Jaccard 相似性系数公式 $J = \frac{c}{a + b - c}$ 计算群落相似性系数,式中 J 为相似性系数, a 、 b 、 c 分别为 a 地物种数、 b 地物种数和 a 、 b 两地共有物种数。 J 值在 0~ 0.125 范围内为极不相似,在 0.125~ 0.15 范围内为中等不相似,在 0.15~ 0.175 范围内为中等相似,在 0.175~ 0.110 范围内为极相似^[20]。(4) 优势类群和罕见类群的划分。对鉴定到的各级分类单元及物种进行统计,将物种数最多的 2 个目(order)定义为优势类群,将物种数次多的 2 个目定义为次优势类群,将单种的目定义为罕见类群^[1]。

3 结果

311 物种多样性 通过研究,共鉴定到土壤纤毛虫 67 种,其中包括 2 个未定名种和 14 个中国土壤纤毛虫新纪录种(表 1)。在八里镇蔬菜基地土壤中鉴定到纤毛虫 34 种,对照样点中 49 种,二者共有种 16 种。

根据 Gleason2Margalef 物种多样性指数公式的计算结果是:八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫的物种多样性指数为 31.672,对照土壤中纤毛虫的物种多样性指数为 51.393。结果表明,八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫的物种数和多样性指数均明显低于对照样点。

312 群落结构 在八里镇蔬菜基地土壤中鉴定到纤毛虫 34 种,隶属于 3 纲、7 目、17 科、18 属;优势类群为下毛目和肾形目,各有 10 种和 8 种,优势度分别为 29.14% 和 23.15%;次优势类群为前口目,有 6 种,优势度为 17.17%(表 2)。优势种为似膜袋虫、长圆膜袋虫、近亲游仆虫、切割拟游仆虫、苔藓圆纤虫、鱼形瘦尾虫、吻吴氏虫(表 1)。对照样点(兰山)土壤中鉴定到纤毛虫 49 种,隶属于 3 纲、9 目、23 科、30 属;优势类群为下毛目,有 14 种,优势度为 28.16%;次优势类群为盾纤目、肾形目和篮口目,各有 7 种、6 种和 6 种,优势度为 14.13% 和 12.12%(表 2)。食藻斜管虫、苔藓游仆虫、近缘殖口虫、皮速体虫、尾瘦尾虫、肌瘦尾虫为其优势种(表 1)。结果表明,兰州市八里镇蔬菜基地土壤纤

表 1 八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫物种组成及其相对数量

Table 1 Species list and abundance of soil ciliates in the vegetables base soils of Bali Town and contrast soils

物种 Species	相对数量 Individual relative abundance	
	八里镇蔬菜基地土壤 Vegetables base soils of Bali Town	对照土壤 Contrast soils
肋裂口虫 <i>Amphileptus pleurosigma</i>		+
异常后刀口虫 <i>Apospathidium atypicum</i> s	+	
食藻斜管虫 <i>Chilodondia algivora</i>	+	+++
巴维利亚斜管虫 <i>C. bavariensis</i>		+
僧帽斜管虫 <i>C. cucullus</i>		+
膨胀斜管虫 <i>C. turgidula</i>		+
钩刺斜管虫 <i>C. uncinata</i>	++	++
珍珠映毛虫 <i>Cinetochilum margaritaceum</i>		++
纺锤康纤虫 <i>Cohnilampus fusiformis</i>	+	
小康纤虫 <i>C. pusillus</i> s		+
僧帽肾形虫 <i>Copoda cucullus</i>	+	+
膨胀肾形虫 <i>C. inflata</i>	++	+
肾状肾形虫 <i>C. reniformis</i>	+	+
似肾形虫 <i>C. similans</i>	+	
齿脊肾形虫 <i>C. stüni</i>	+	
居中膜袋虫 <i>Cydidium centrale</i>		+
纵长膜袋虫 <i>C. elongatum</i> s	+	
颗粒膜袋虫 <i>C. granuloseum</i>	+	
瞬目膜袋虫 <i>C. glaucoma</i>	++	
苔藓膜袋虫 <i>C. muscicola</i>		+
长圆膜袋虫 <i>C. oblongum</i>	+++	++
似膜袋虫 <i>C. similans</i>	+++	+
善变膜袋虫 <i>C. versatile</i>		+
长篮环虫 <i>Cyrtolophosis elongata</i>	++	++
大篮环虫 <i>C. major</i>		++
楔形双膜虫 <i>Dichilum cuneiforme</i>		+
钝单镰虫 <i>Drepanomonas obtusa</i>		++
唇斜吻虫 <i>Enchelydium labiosum</i>		+
多变斜口虫 <i>Enchelys variabilis</i>	+	
切割拟游仆虫 <i>Euplotopsis incisa</i> s	+++	
近亲游仆虫 <i>Euplotes affinis</i> s	+++	
苔藓游仆虫 <i>E. muscicola</i>	++	+++
近缘殖口虫 <i>Gonostomum affine</i>		+++
大弹跳虫 <i>Halteria grandinella</i>		+
似织毛虫 <i>Histiculus similis</i>		+
念珠角毛虫 <i>Keronopsis monilata</i>	+	++
有肋薄咽虫 <i>Lepidopharynx costatus</i>		+
大口薄咽虫 <i>L. aurostoma</i>		++
龙骨漫游虫 <i>Litonotus carinatus</i>		+
片状漫游虫 <i>L. fasciola</i>		+
巧篮口虫 <i>Nassula elegans</i> s		+
绣花篮口虫 <i>N. picta</i> s		+
微小篮口虫 <i>N. pusilla</i> s		+
黑睫杵虫 <i>Ophryoglena atra</i> s		+
似尖毛虫 <i>Oxytricha similis</i>		+
伪尖毛虫 <i>O. fallax</i>		+
多变斜板虫 <i>Plagiocampa mutabilis</i>	+	

续表 1

物种 Species	相对数量 Individual relative abundance	
	八里镇蔬菜基地土壤	对照土壤
	Vegetables base soils of Bali Town	Contrast soils
沫项匙口虫 <i>Platyophrya spumacola</i> s	++	+
绿前管虫 <i>Prorodon viridis</i> s		+
棍刀口虫 <i>Spathidium claviforme</i>		++
膨胀扭曲刀口虫 <i>S. turgitorum</i> s	+	
矛形圆纤虫 <i>Strongylidium lanceolatum</i>	++	+
苔藓圆纤虫 <i>S. muscorum</i>	+++	+
圆纤虫属一种 <i>S. sp.</i> r		+
弯棘尾虫 <i>Stylonychia curvata</i>		+
皮速体虫 <i>Tachysoma pedionella</i>	+	+++
智利管叶虫 <i>Trachelophyllum chilense</i>	+	+
卑怯管叶虫 <i>T. pusillum</i>	+	+
尾瘦尾虫 <i>Urolophus caudatus</i>		+++
差异瘦尾虫 <i>U. dispar</i>	+	
肌瘦尾虫 <i>U. musculus</i>		+++
苔藓瘦尾虫 <i>U. muscorum</i>	+	
鱼形瘦尾虫 <i>U. piscis</i> s	+++	
片尾虫属一种 <i>Urosoma sp.</i> r		+
小口钟虫 <i>Vorticella microstoma</i>	+	
条纹钟虫 <i>V. striata</i>	+	
吻吴氏虫 <i>Woodruffia rostrata</i>	+++	

s 国内土壤纤毛虫新记录种; r 未定名种; +++ 表示优势种; ++ 表示常见种; + 表示偶见种。

s New records of soil ciliates in China; r Unnamed species; +++ Dominant species; ++ Common species; + Incidental species.

表 2 土壤纤毛虫的群落结构

Table 2 Community structure of soil ciliates

土壤纤毛虫 Soil ciliates	八里镇蔬菜基地				对照土壤			
	Vegetables base soils of Bali Town				Contrast soils			
	科 Family	属 Genus	种 Species	百分比(%) Percentage	科 Family	属 Genus	种 Species	百分比(%) Percentage
动基片纲 <i>Kinetofragminophorea</i>	9	10	16	47.1	11	13	25	50.9
前口目 <i>Prostomatida</i>	4	5	6	17.7	3	4	5	10.2
肾形目 <i>Colpodida</i>	4	4	8	23.5	3	3	6	12.2
侧口目 <i>Pleurostomatida</i>	2	2	2	2	2	2	3	6.1
篮口目 <i>Nassulida</i>	2	2	2	2	2	3	6	12.2
管口目 <i>Cyrtophorida</i>	1	1	2	5.9	1	1	5	10.2
寡膜纲 <i>Oligohymenophorea</i>	3	3	8	23.5	5	5	9	18.4
膜口目 <i>Hymenostomatida</i>	1	1	1	2.9	2	2	2	4.1
盾纤目 <i>Scuticociliatida</i>	1	1	5	14.7	3	3	7	14.3
缘毛目 <i>Peritrichida</i>	1	1	2	5.9	2	2	2	2
多膜纲 <i>Polyhymenophorea</i>	5	5	10	29.4	7	12	15	30.7
寡毛目 <i>Oligotrichida</i>	2	2	2	2	1	1	1	2.1
下毛目 <i>Hypotrichida</i>	5	5	10	29.4	6	11	14	28.6
总计 Total	17	18	34	100	23	30	49	100

2 没有分布。2 Undistribution.

毛虫的优势类群和优势种与对照土壤中的有明显差异, 其群落结构与对照样点相比趋于简单化。

313 群落相似性 八里镇蔬菜基地土壤样点和对照土壤样点中共有的纤毛虫 16 种, 根据

Jaccard 相似性系数公式计算的结果为 01239, 在 0~ 0125 的范围之内, 为极不相似。表明八里镇蔬菜基地与对照样点的土壤纤毛虫群落为极不相似, 具有其独特性。

4 讨 论

原生动物是单细胞动物, 具有个体微小、细胞膜纤薄、繁殖迅速、比表面积大等特点, 因而对环境条件的波动呈现出高度敏感性。环境条件的变化有自然变化(如季节性节律)和人类活动的干扰(如环境污染)因素, 前者当然会对原生动物的生命活动和生存产生影响, 其影响程度相对较小, 大多在原生动物的耐受范围之内, 而后者所产生的影响则是巨大的, 且通常是致命的^[16]。

本研究结果表明, 人类频繁的耕作活动导致了八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫物种多样性和群落结构发生了很大变化。主要表现在: 1 物种数减少。在所鉴定到的 67 种土壤纤毛虫中, 八里镇蔬菜基地土壤中有 34 种, 对照土壤中 49 种, 其中两者共有种 16 种; 2 物种多样性指数降低。八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫的物种多样性指数为 31672, 对照样点为 51393。群落多样性指数有二个方面的意义, 一是直接地反映了生物群落本身结构的复杂程度和稳定性大小; 二是间接地反映了生态环境质量的优劣^[32]。八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫物种多样性指数的降低, 表明纤毛虫群落结构的复杂程度和稳定性降低, 同时也间接地反映出八里镇蔬菜基地土壤生态环境质量有所下降。这是因为在自然环境中土壤纤毛虫受人为干扰较小, 其生活的外界条件变化很小, 而八里镇蔬菜基地的土壤环境受人为干扰较大(耕作活动频繁、种植农作物类型较为单一、使用了一些农药如阿维菌素、辛硫磷、敌敌畏、乐果等和化学肥料), 这些人为活动严重破坏了土壤结构, 改变了土壤纤毛虫原有的生活环境, 使得一些不适应新环境的敏感性物种数量急剧减少, 如食藻斜管虫、苔藓游仆虫、皮速体虫等, 甚至导致一些物种消失, 如近缘殖口虫、尾瘦尾虫、肌瘦尾虫、棍刀口虫、大

口薄咽虫等, 从而造成八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫物种多样性指数的降低。这一研究结果与 Foissner 的结论相符, 即农业生态系统中土壤纤毛虫的物种多样性与附近自然环境中的相比有所降低^[13]。» 群落结构简单化。八里镇蔬菜基地土壤中分布有隶属于 3 纲、7 目、17 科、18 属的 34 种纤毛虫, 而对照土壤中分布有隶属于 3 纲、9 目、23 科、30 属的 49 种。¼ 八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫的群落结构与对照样点的相比, 有明显的不同。八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫的优势类群为下毛目、肾形目, 次优势类群为前口目, 而对照样点中的优势类群为下毛目, 次优势类群为盾纤目、肾形目和篮口目; 八里镇蔬菜基地土壤中没有发现侧口目、篮口目、寡毛目的类群, 但这些类群在对照样点中均存在, 而对照样点中没有出现缘毛目的类群; 八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫与对照样点的群落相似性系数为 01239, 介于 0~ 0125 之间, 表明八里镇蔬菜基地土壤纤毛虫的群落结构和对照样点的极不相似。

以上结果均表明, 人类频繁的耕作活动导致了土壤纤毛虫群落结构发生了明显变化, 群落呈现简单化和出现不稳定的演替趋势。群落结构与群落功能是密切相关的, 群落结构的这种演替趋势又间接地反映出在人类频繁耕作活动的干扰下, 导致纤毛虫群落功能逐渐不健全和降低^[17]。

研究结果还表明, 在八里镇蔬菜基地纤毛虫群落中有部分物种对土壤环境有较强的适应能力。由表 1 可见, 有 16 种纤毛虫是对照样点和八里镇蔬菜基地共有的种类, 这些种类既能在自然土壤环境中生存, 同时也能在耕作活动频繁的蔬菜基地中生存。这些种类虽然能在干扰环境中生存下来, 但生长情况必然比在自然环境中差, 如繁殖速度降低、种群密度小, 因而难以形成优势物种。真正能在人为干扰的土壤环境中形成优势物种的是少数对环境变化耐受性强的种类, 它们一旦适应了受人为干扰的环境条件, 进而大量繁殖成为优势种。这些优势物种和另一些敏感物种如果经过多次实验证明

是相对稳定的, 就可以作为某种或某些特定土壤环境的指示生物^[12]。在本文中提出的 16 种两地共有种中, 似膜袋虫、苔藓圆纤虫为八里镇蔬菜基地土壤中的优势种, 表明这两种纤毛虫对八里镇蔬菜基地土壤环境有很高的耐受性, 但能否作为该蔬菜基地土壤环境的指示物种还有待进一步的深入研究验证。

参 考 文 献

- [1] 宁应之, 王娟, 刘娜等. 甘肃天水麦积山风景名胜区内土壤纤毛虫的物种多样性. *动物学研究*, 2007, 28(4): 367~373.
- [2] 徐润林, 莫燕. 垃圾渗滤液浇灌对红壤原生动物的影响. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(1): 41~44.
- [3] 王焕校. *污染生态学*. 北京: 高等教育出版社, 施普林格出版社, 1999, 88~102.
- [4] Foissner W. Tropical protozoan diversity: 80 ciliates species (Protozoa, Ciliophora) in a soil sample from a tropical dry forest of Costa Rica, with description of four new genera and seven new species. *Arch Protistenk*, 1995, 145: 37~79.
- [5] Foissner W. Soil ciliates (Protozoa: Ciliophora) from evergreen rain forests of Australia, South America and Costa Rica: diversity and description of new species. *Biol Fertil Soils*, 1997, 25: 317~339.
- [6] Foissner W. Global soil ciliate (Protozoa, Ciliophora) diversity: a probability-based approach using large sample collectives from Africa, Australia, and Antarctica. *Biodiv Conserv*, 1997, 6: 1627~1638.
- [7] 崔振东. 长白山北坡针阔混交林土壤原生动物的生态分布. *生态学杂志*, 1986, 2: 3~7.
- [8] 宁应之, 沈韞芬. 中国土壤原生动物新记录种(纤毛虫门: 寡膜纲). *动物学杂志*, 1999, 34(6): 2~4.
- [9] 宁应之, 沈韞芬. 中国土壤原生动物新记录种(纤毛虫门: 多膜纲, 异毛目). *动物学杂志*, 2000, 35(1): 2~4.
- [10] 宁应之, 沈韞芬. 土壤原生动物区系特点. 见: 尹文英编著. *中国土壤动物*. 北京: 科学出版社, 2000, 209~220.
- [11] Foissner W. Soil Protozoa: Fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the Literature. *J Progress in Protistology*, 1987, 2: 69~212.
- [12] Foissner W. Soil protozoa as bioindicators in ecosystems under human influence. In: Darbyshire J F ed. *Soil Protozoa*. Wallingford, Oxon: CAB International, 1994, 146~187.
- [13] Foissner W. Protozoa as bioindicators in agroecosystems, with emphasis on farming practice, biocides and biodiversity. *Agri Ecos Environ*, 1997, 62: 93~103.
- [14] 曹志平, 陈国庚, 张凯等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田原生动物的影响. *生态学报*, 2005, 25(11): 2992~2996.
- [15] 孙焱鑫, 林启美, 赵小蓉等. 玉米根际与非根际土壤中的 4 种原生动物分布特征. *中国农业科学*, 2003, 36(11): 1399~1402.
- [16] 马正学, 龚大洁, 宁应之等. 铅锌矿废物对土壤原生动物的影响. *甘肃科学学报*, 2002, 14(3): 53~57.
- [17] 牛世全, 宁应之, 马正学等. 重金属复合污染土壤中原生动物的群落特征. *甘肃科学学报*, 2002, 14(3): 44~48.
- [18] 陈灵芝, 陈伟烈. *中国退化生态系统研究*. 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 1~98.
- [19] Hoffman C A, Carroll C R. Can we sustain the biological basis of agriculture. *Annu Rev Ecol Syst*, 1995, 26: 69~92.
- [20] 土壤动物研究方法手册编写组. *土壤动物研究方法手册*. 北京: 中国林业出版社, 1998, 56~57, 63~72, 109.
- [21] Foissner W. Estimating the species richness of soil protozoa using the nonflooded petri dish method. In: Lee J J, Solda A T eds. *Protocols in Protozoology*. Lawrence: Allen Press, 1992, 10.1~10.2.
- [22] Ferrandez Galiano D. Silver impregnation of ciliated protozoa: procedure yielding good results with the pyridinated carbonate method. *Trans Am Microsc Soc*, 1976, 95: 557~560.
- [23] 宋微波, 徐奎栋. 纤毛虫原生动物形态学研究的常用方法. *海洋科学*, 1994, 6: 6~8.
- [24] Wilbert N. Eine verbesserte Technik der Protargolinimpregnation für Ciliaten. *Mikrokosmos*, 1975, 6: 171~179.
- [25] 沈韞芬, 刘江, 宋碧玉等. 第五章 原生动物. 见: 尹文英编著. *中国亚热带土壤动物*. 北京: 科学出版社, 1992, 97~156.
- [26] 宁应之, 沈韞芬. 中国土壤原生动物新记录种(纤毛虫门: 多膜纲, 下毛目). 见: 中国动物学会. *中国动物科学研究*. 北京: 中国林业出版社, 1999, 156~160.
- [27] 宁应之, 沈韞芬. 中国典型地带 29 种土壤纤毛虫记述(纤毛门: 动基片纲). *西北师范大学学报(自然科学版)*, 1999, 35(3): 75~82.
- [28] 宋微波. 长颈虫属两种土壤纤毛虫研究(动基片纲: 刺钩目). *动物分类学报*, 1994, 19(4): 385~391.
- [29] 宋微波. 青岛地区土壤纤毛虫区系 2 属. 动基片纲, 寡膜纲, 肾形纲. *青岛海洋大学学报*, 1994, 24(1): 15~23.
- [30] Levine N D, Corliss J O, Cox F E G, et al. A newly revised classification of the protozoa. *Protozool*, 1980, 27: 37~58.
- [31] 沈韞芬. *微型生物监测新技术*. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990, 135.
- [32] 宁应之, 沈韞芬. 中国典型地带土壤原生动物群落结构及其特征. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 1999, 35(2): 50~54.