

# 西藏拉鲁湿地夏季土壤线虫群落特征

陈德来<sup>①</sup> 普布<sup>②</sup> 巴桑<sup>②\*</sup> 马正学<sup>③</sup> 陈凌云<sup>④</sup>

① 陇东学院生命科学与技术学院 庆阳 745000; ② 西藏大学理学院 拉萨 850000; ③ 西北师范大学生命科学院 兰州 730070; ④ 中国海洋大学海洋生物多样性与进化研究所 青岛 266003

**摘要:** 2010年7月,对拉鲁湿地5个采样区的土壤动物进行调查,共捕获土壤线虫10183条,隶属于2纲6目8科14属,其中真矛属(*Eudorylaimus*)、似绕线属(*Anaplectus*)、地单官属(*Geomonhystera*)为优势类群。表层(0~5 cm)土壤线虫个体数量占总数的90.03%,表聚性明显。营养类群有食细菌线虫和捕食-杂食线虫两类。线虫群落生态指数对采样区生境有不同的响应,土壤线虫群落多样性指数 $H'$ 、均匀度指数 $E$ 在不同采样区的分布依次为: $5^{\#} > 4^{\#} > 3^{\#} > 1^{\#} > 2^{\#}$ ,而优势度指数 $C$ 的分布为: $2^{\#} > 3^{\#} > 1^{\#} > 4^{\#} > 5^{\#}$ ,表明 $2^{\#}$ 采样区的线虫群落多样性和稳定性小于其他采样区,土壤线虫群落趋于单一化。土壤理化特征与线虫数量、营养类群、生态指数间存在明显相关关系。5个采样区间土壤线虫群落的相似程度为极不相似到中等不相似( $S$ 值0.154~0.667)。表明线虫群落的变化能很好地反映生境的多样性,土壤线虫可作为湿地生态系统中一个重要的生物指示因子。

**关键词:** 土壤线虫; 群落特征; 营养类群; 拉鲁湿地

**中图分类号:** S154.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2014)05-744-10

## Characterization of Nematode Communities in Lhalu Wetlands during the Summer

CHEN De-Lai<sup>①</sup> Purbu<sup>②</sup> Basang<sup>②\*</sup> MA Zheng-Xue<sup>③</sup> CHEN Ling-Yun<sup>④</sup>

① *College of Life Science and Technology, Longdong University, Qingyang 745000;* ② *School of Science, Tibet University, Lhasa 850000;* ③ *College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070;* ④ *Laboratory of Protozoology, Institute of Evolution & Marine Biodiversity, Ocean University of China, Qingdao 266003, China*

**Abstract:** Soil nematode was sampled from two soil lines 0–5 cm and 5–15 cm at 5 representative sites in Lhalu in July 2010, a total of 10 183 nematodes which belong to 2 classes, 6 orders, 8 families, 14 genera were isolated using the Baermann method. The dominant genera were *Eudorylaimus*, *Anaplectus*, *Geomonhystera* (Table 3). Approximate 90.03% individuals of the nematodes sampled was in the top line of soil (0–5 cm, Fig. 2, 3). Bacterivores and plant-parasites were the most abundant trophic groups and they were found at both soil lines at all sites. The ecological indices of nematode was differently at different habitat sampled. ANOVA analysis indicated that the value Shannon index ( $H'$ ) and evenness index ( $E$ ) at each sampled site showed a decreased trend in the order  $5^{\#} > 4^{\#} > 3^{\#} > 1^{\#} > 2^{\#}$ , and the value of dominance index ( $C$ ) was  $2^{\#} > 3^{\#} > 1^{\#} > 4^{\#} > 5^{\#}$  (Table 4, Fig. 2, 3). It suggested that the diversity and stability of the nematode community at  $2^{\#}$  sampled site were lower than other four samples, and it indicated the nematode community at  $2^{\#}$  site to be

**基金项目** 教育部科学技术研究重点项目(No. 210214),国家自然科学基金项目(No. 31360509),甘肃省自然科学基金项目(No. 096RJZA123),中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室开放基金项目;

\* 通讯作者, E-mail: hbasang2003@aliyun.com;

**第一作者介绍** 陈德来,男,硕士;研究方向:寒旱区土壤动物生态学;E-mail: cdl829@126.com。

**收稿日期:** 2013-09-25, **修回日期:** 2014-05-31

simplified. A significant correlation existed between the soil physical and chemical characteristics and the nematode numbers (Table 5), trophic groups, and ecological indices. The similarity of Soil nematode community at the 5 sample sites was relatively small ( $S 0.154 - 0.667$ , Table 6) from medium dissimilarity to extreme dissimilarity. Our results demonstrated that the changes of soil nematode community structure was an important bio-indicator which could be used as an indicator to reflect the habitat diversity and the health of wetland ecosystem in the cold region.

**Key words:** Soil nematode; Community characteristics; Trophic group; Lhalu wetlands

土壤线虫数量繁多, 种类丰富, 分布广泛, 形态和习性多样, 是土壤中重要的生物类群。土壤线虫在土壤食物网中占据多个营养级 (Ingham et al. 1985, Moore et al. 1991), 对于维持土壤生态系统稳定、促进物质循环和能量流动具有重要意义 (胡诚等 2007)。由于线虫在各类土壤中普遍存在, 属和个体数量丰富, 群落生物多样性高, 所以被看作是评价土壤质量变化的重要指示生物之一 (Ekschmitt et al. 2001, Schlöter et al. 2003, 吴东辉等 2006)。

我国对土壤线虫群落多样性的研究主要集中在森林、草地以及农业生态系统, 对湿地土壤线虫群落多样性的研究较少, 有关青藏高原沼泽湿地土壤线虫学方面的研究很少涉及, 对拉鲁湿地土壤线虫群落特征的研究尚未见报道。2010年7月, 作者对位于拉萨市的拉萨河流域沼泽湿地——拉鲁湿地土壤线虫的群落特征进行了初步调查研究, 旨在了解该湿地土壤线虫多样性及群落结构特征, 为保护高原湿地生态环境和生物多样性, 优化湿地生态系统的结构与功能等方面提供依据, 为我国系统地开展青藏高原地区土壤线虫学分类研究积累基础资料。

## 1 研究区域与研究方法

**1.1 研究区自然概况** 拉鲁湿地位于拉萨市区西北, 平均海拔 3 645 m, 属高寒气候 (夏季温暖, 降水较多, 冬季寒冷干燥), 是目前世界上罕见的海拔最高的天然内陆湿地, 也是我国惟一的位于城市市区面积最大的 (超过 5 km<sup>2</sup>) 天然内陆湿地。湿地分布区为东西向不规则长带状, 地势由东北向西南略为倾斜, 坡降比

2‰ (刘汉武等 2005, 巴桑等 2012)。土壤类型较单一, 主要为腐泥沼泽土、泥炭沼泽土和泥炭土 (华国春等 2007)。

因独特的地理环境, 拉鲁湿地植物资源丰富。主要有芦苇 (*Phragmites australis*)、菖蒲 (*Acorus calamus*)、水毛茛 (*Batrachium bungei*)、杉叶藻 (*Hippuris vulgaris*)、水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、灯心草 (*Juncus* spp.)、马先蒿 (*Podicalaris* spp.)、白睡莲 (*Nymphaea tetragona*)、龙胆 (*Centiana* sp.)、委陵菜 (*Potentilla anserine*)、苔草 (*Carex* spp.)、嵩草 (*Kobresia* spp.) 等。此外, 在湿地边缘有杨树 (*Populus* spp.)、柳树 (*Salix* spp.) 人工林和沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、蔷薇 (*Rosa* sp.)、小檗 (*Berberis* sp.) 等天然植被 (陈德来等 2011, 巴桑等 2012)。

### 1.2 采样点设置及采样

**1.2.1 采样点设置** 根据湿地环境特征和植被类型将研究区域划分为 5 个采样区 (刘汉武等 2005, 陈德来等 2011, 巴桑等 2012), 每个样区设置 5 个采样点 (表 1)。

1<sup>#</sup> 采样区是湿地水源流入区, 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 采样区位于湿地核心区域, 4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup> 采样区是天然湿地。在 3<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 采样区之间有一条约 50 m 宽的公路及其缓冲带, 两个采样区之间水道相互接通; 2<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 采样区主要为放牧区, 人为干扰程度较大; 3<sup>#</sup>、5<sup>#</sup> 采样区内家畜和人类活动较少, 基本保持天然湿地的原貌。湿地保护区周围设有围栏 (图 1)。

**1.2.2 采样方法** 2010年7月, 在每个采样区选取 5 个面积为 (20 m × 20 m) 的样地, 每个样地中再选取 3 个面积为 1 m × 1 m 的样方, 在

表 1 拉鲁湿地生境特征

Table 1 Habitat characteristics of the Lhalu Wetland

采样区 Plot	生境类型 Habitat type of plot	主要植物组成 Dominant species
1 <sup>#</sup>	长期浸水区 Submersed area	芦苇( <i>Phragmites australis</i> )、白睡莲( <i>Nymphaea tetragona</i> )、杉叶藻( <i>Hippuris vulgaris</i> )
2 <sup>#</sup>	污水浸没区 Submersed by sullage	紫浮萍草( <i>Spirodela</i> sp.)
3 <sup>#</sup>	块状草甸和小丘区 Meadow patch	苔草( <i>Carex</i> spp.)、蒿草( <i>Artemisia</i> spp.)、委陵菜( <i>Potentilla anserina</i> )、西藏报春花( <i>Primula tibetisa</i> )、茵草( <i>Beckmannia syzigochne</i> )、稗( <i>Echinochloa</i> sp.)
4 <sup>#</sup>	间歇性浸水区(人为干扰大) Timely submersed with heavy human disturbers	菖蒲( <i>Acorus ealams</i> )、水蓼( <i>Polygonum</i> sp.)、荸荠( <i>Eleocharis</i> sp.)、柳叶菜( <i>Epilobium</i> sp.)、灯心草( <i>Juncus</i> spp.)、蔺菜( <i>Rorippa</i> sp.)
5 <sup>#</sup>	间歇性浸水区(人为干扰小) Timely submersed with little human disturbers	菖蒲( <i>Acorus ealams</i> )、水蓼( <i>Polygonum</i> sp.)、芦苇( <i>Phragmites australis</i> )、荸荠( <i>Eleocharis</i> sp.)、灯心草( <i>Juncus</i> spp.)、柳叶菜( <i>Epilobium</i> sp.)、蔺菜( <i>Rorippa</i> sp.)

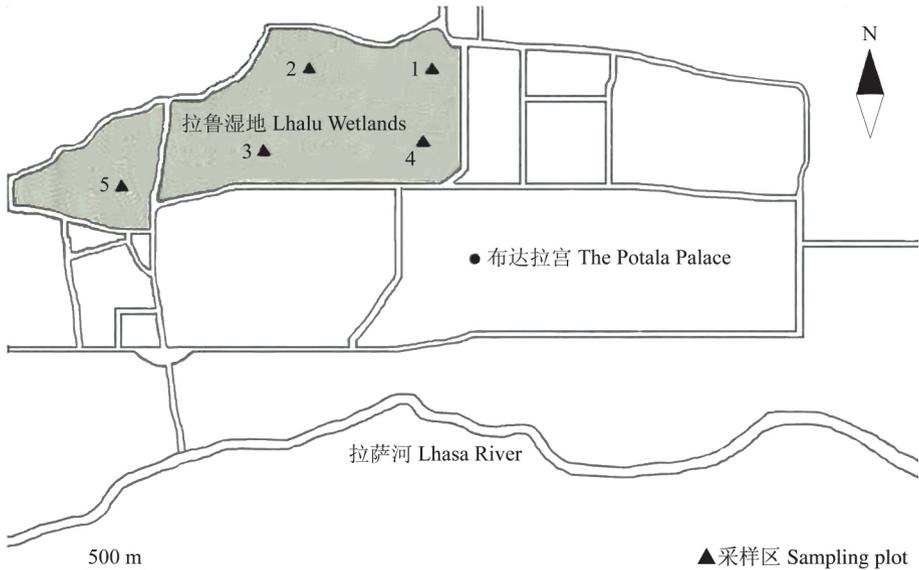


图 1 采样点分布示意图

Fig. 1 Location of sampling site

每个样方对角线四分位和中心点设置 5 个采样点。在每个采样点内径为 5 cm 的环刀分两层取样,分别为 0~5 cm 层与 5~15 cm 层。1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>采样区在周围没有水的点取样,3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>采样区在样方中间取样。采用 Baermann 法实验室分离提取土壤线虫,60℃ 温热杀死,再加入等量的 2 倍 TAF 固定液固定。线虫总数通过解剖镜直接计数,显微镜下分析鉴定。形态特征计测采用德曼氏公式,并按照线虫属分类有

关资料(尹文英 1998)进行鉴定。

采集土壤动物样品的同时用土温计测定土壤温度。以土壤表层和 5 cm 温度平均值作为土壤 0~5 cm 层温度,5 cm 和 15 cm 土壤温度平均值作为土壤 5~15 cm 层温度(武海涛等 2008);土壤含水率采用烘干法(105℃);土壤 pH 采用电位法(pH 值酸度计)测定。

**1.3 数据处理** 各类群数量等级划分:个体数量占全部捕获量 10% 以上为优势类群,介于

1% ~ 10% 的为常见类群, 介于 0.1% ~ 1.0% 为稀有类群 (陈鹏 1983)。根据线虫的取食习性和食道特征将其分成 4 个营养类群 (Yeates et al. 1993): 食细菌类 (bacterivores, BF)、食真菌类 (fungivores, FF)、植物寄生类 (plant-parasites, PP)、捕食-杂食类 (predators-omnivores, PO)。

采用国内外学者普遍运用的 3 个指数研究土壤线虫群落的多样性。Shannon-Weiner 物种多样性指数  $H' = -\sum(P_i \ln P_i)$ , Simpson 优势度指数  $C = \sum P_i^2$ , Pielou 均匀度指数  $E = H'/\ln S$ , 式中,  $P_i = N_i/N$ ,  $N$  是样品中所有类群的总个体数,  $N_i$  是第  $i$  类群的个体数,  $S$  是样品中的类群数。

采用 Sprengson 相似性指数 (苏智先等 1989, 张金屯 2004),  $S = 2C/(A + B)$ , 式中,  $C$  为两个群落或样点共有类群数,  $A$  和  $B$  分别为样点 a 和样点 b 的类群数。

数据统计采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS19.0, 对土壤线虫群落结构的分析采用单因素方差 (ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 比较不同数据组间的差异, 以  $P < 0.05$  作为差异显著水平。

## 2 结果与分析

**2.1 研究区主要环境特征** 根据拉鲁湿地生态环境和植被类型划分 5 个采样区 (4 种生境类型), 实地测定环境特征 (表 2)。

**2.2 土壤线虫群落组成及营养类群结构** 5 个采样区共捕获土壤线虫 10 183 条, 隶属于 2 纲 6 目 8 科 14 属 (表 3)。优势类群为真矛属 (*Eudorylaimus*)、似绕线属 (*Anaplectus*) 和地单宫属 (*Geomonhystera*), 占总捕获量的 62.23%; 常见类群有 10 属, 为明杆属 (*Rhabditophanes*)、矛线属 (*Dorylaimus*)、中矛线属 (*Mesodorylaimus*)、孔咽属 (*Aporcelaimus*)、巴氏属 (*Bastiania*)、绕线属 (*Plectus*)、单齿属 (*Mononchus*)、托布利属 (*Tobrilus*)、单宫属 (*Monhystera*) 和棱咽属 (*Prismatolaimus*), 占总捕获量的 37.59%。优势类群和常见类群占捕获土壤线虫总量的 99.82%, 是拉鲁湿地土壤线虫的主体类群; 稀有类群为真头叶属 (*Eucephalobus*), 仅占土壤线虫总捕获量的 0.18%。

优势类群中的真矛属为广布类群, 在 5 个采样区都有分布, 且在 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup>, 4<sup>#</sup>, 5<sup>#</sup> 四个采样区为优势类群, 占湿地土壤线虫总捕获量的 38.24%; 似绕线属和地单宫属为狭布类群, 各自仅在 1 个采样区有分布, 但数量较多, 占湿地土壤线虫总捕获量的比例分别为 11.14% 和 12.84%。常见类群绕线属和中矛线属为分布在 4 个采样区的广布类群, 明杆属和棱咽属则是仅在 1 个采样区分布的狭布类群。3<sup>#</sup> 采样区土壤线虫个体数和类群数最多, 而且出现了该湿地土壤线虫优势类群地单宫属和常见类群明杆属、棱咽属等狭布类群。5<sup>#</sup> 采样区土壤线

表 2 拉鲁湿地各采样区环境特征

Table 2 Soil properties at five sample site in the Lhalu Wetland

采样区 Plot	海拔(m) Altitude	坐标 Coordinate		平均地温(°C) Mean soil temperature		土壤含水率(%) Soil moisture content		土壤 pH Soil pH
		N	E	0~5 cm	5~15 cm	0~5 cm	5~15 cm	
2 <sup>#</sup>	3 654	29°40'49"	91°06'03"	29.3	26.8	73.99	74.25	10.56
3 <sup>#</sup>	3 650	29°40'16"	91°06'15"	30.6	20.5	53.63	69.37	8.97
4 <sup>#</sup>	3 646	29°40'21"	91°05'46"	32.2	21.6	53.52	63.36	8.54
5 <sup>#</sup>	3 647	29°39'55"	91°04'43"	26.5	19.4	63.66	69.68	7.18

表 3 拉鲁湿地土壤线虫群落组成

Table 3 Community composition of soil nematode in the Lhalu Wetland

营养类群(属) Trophic group and genus	相对丰度 Relative abundance									
	1 <sup>#</sup>		2 <sup>#</sup>		3 <sup>#</sup>		4 <sup>#</sup>		5 <sup>#</sup>	
食细菌类群 Bacterial-feeders BF										
明杆属 <i>Rhabditophanes</i>					8.57	++				
真头叶属 <i>Eucephalobus</i>									1.00	++
巴氏属 <i>Bastiania</i>							16.77	+++	4.82	++
绕线属 <i>Plectus</i>	5.75	++			3.32	++	1.72	++	4.97	++
似绕线属 <i>Anaplectus</i>							52.10	+++		
单宫属 <i>Monhystera</i>					9.16	++				
地单宫属 <i>Geomonhystera</i>					59.68	+++				
棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>					8.78	++				
捕食-杂食类群 Predators-omnivores PO										
真矛属 <i>Eudorylaimus</i>	69.06	+++	58.60	+++	6.22	++	16.25	+++	22.33	+++
矛线属 <i>Dorylaimus</i>	2.81	++	5.01	++			8.70	++	21.48	+++
中矛线属 <i>Mesodorylaimus</i>			15.19	++			3.26	++	4.06	++
孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	0.78	+			0.68	+			36.03	+++
单齿属 <i>Mononchus</i>					3.58	++			5.32	++
托布利属 <i>Tobrilus</i>	2.85	++	21.20	+++			1.20	++		
个体数 Individual number	2 314		1 198		2 346		2 332		1 993	
类群数 Fauna number	5		4		8		7		8	

+++ 优势类群, 个体数/总数 >10%; ++ 常见类群, 个体数/总数 =1% ~10%; + 稀有类群, 个体数/总数 =0.1% ~1.0%。

+++ Dominant group, individual number is more than 10% of total individuals; ++ Common group, individual number is between 1% and 10%; + Rare group, individual number is between 0.1% and 1.0%.

虫类群数(8类)与3<sup>#</sup>采样区相同, 而且出现了此次调查土壤线虫的稀有类群真头叶属, 分布类群丰富, 但可能受土壤含水率较高等因素影响, 土壤线虫数量较3<sup>#</sup>采样区少。4<sup>#</sup>采样区虽然与5<sup>#</sup>采样区生态类型相同, 但因放牧等人为干扰程度大于5<sup>#</sup>采样区, 土壤线虫类群数较少。2<sup>#</sup>采样区土壤线虫个体数和类群数均最少, 这可能与该区域接纳了大量的城市生活污水, 土壤受到一定程度的污染有关。1<sup>#</sup>采样区土壤线虫类群数量明显少于3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>采样区( $P < 0.05$ ), 这可能与该采样区长期浸水, 土壤含水率较高有关, 个体数量与3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>采样区差异不显著( $P > 0.05$ ), 优势类群真矛属在此样点大量存在, 丰度高达69.06%。

将捕获的土壤线虫分为4个营养类群, 拉鲁湿地夏季土壤线虫群落只鉴定出食细菌线虫

(BF)和捕食-杂食线虫(PO), 未鉴定出食真菌线虫(FF)和植物寄生线虫(PP), 营养类群结构单一(表3)。食细菌线虫(BF)和捕食-杂食线虫(PO)在各采样区的分布不均匀, 1<sup>#</sup>和5<sup>#</sup>采样区捕食-杂食线虫(PO)优势明显, 占采样区线虫总量的比例分别为75.50%、90.04%, 1<sup>#</sup>采样区真矛属为绝对优势类群(丰度69.06%), 5<sup>#</sup>采样区孔咽属为绝对优势类群(丰度36.06%), 真矛属(丰度22.33%)和矛线属(丰度21.48%)为次优势类群; 3<sup>#</sup>和4<sup>#</sup>采样区食细菌线虫(BF)优势明显, 占采样区线虫总量的比例分别为89.52%、70.59%, 3<sup>#</sup>采样区地单宫属为绝对优势类群(丰度59.68%), 4<sup>#</sup>采样区似绕线属为绝对优势类群(丰度52.10%), 食细菌线虫巴氏属(丰度16.77%)和捕食-杂食线虫真矛属(丰度

16.25%)为次优势类群;2<sup>#</sup>采样区没有发现食细菌线虫,捕食-杂食线虫真矛属为绝对优势类群(丰度36.60%),托布利属为次优势类群(丰度13.24%)。

**2.3 土壤线虫垂直分布特征** 拉鲁湿地5个采样区土壤线虫个体数(图2a)和类群数(图2b)总体上随着土壤深度的增加而减少,具有明显的表聚性特征。分析结果显示,表层(0~5 cm)土壤线虫类群数和个体数量与深层(5~15 cm)土壤线虫数量差异显著( $P < 0.05$ )。2<sup>#</sup>采样区的深层土壤未获得土壤线虫,可能与该区域接纳了大量的城市生活污水,土壤受到一定程度的污染有关,真正原因尚需进一步调查。

拉鲁湿地表层土壤线虫占整个湿地土壤线虫捕获量的90.03%。表层土壤线虫的优势类群为真矛属、矛线属和地单宫属,占土壤线虫总个体数的64.40%;常见类群9属,为明杆属、中矛线属、孔咽属、巴氏属、绕线属、似绕线属、托布利属、单宫属、棱咽属,占土壤线虫总个体数的34.59%。优势类群和常见类群占获得的土壤线虫总量的98.99%,是拉鲁湿地表层土壤线虫的主体类群;稀有类群有2属,为真头叶属和单齿属,占土壤线虫总个体数的1.01%。深层土壤线虫占整个湿地土壤线虫捕获量的9.97%。深层土壤线虫的优势类群为

真矛属、矛线属、似绕线属和单宫属,占深层总捕获量的52.48%;常见类群有7属,为真头叶属、中矛线属、孔咽属、巴氏属、绕线属、单齿属和托布利属,占深层总捕获量的47.52%。

**2.4 土壤线虫群落的多样性特征** 由于采样区的植被组成和土壤环境因子等环境条件有所不同,各采样区土壤线虫群落组成存在差异。土壤线虫个体数在5个采样区分布由多到少依次为:3<sup>#</sup> > 4<sup>#</sup> > 1<sup>#</sup> > 5<sup>#</sup> > 2<sup>#</sup>(图2a)。类群数的分布与个体数有所不同,类群数最多的是5<sup>#</sup>采样区,最少的是2<sup>#</sup>采样区(4类),类群数由多到少依次为:5<sup>#</sup> > 3<sup>#</sup> > 4<sup>#</sup> > 1<sup>#</sup> > 2<sup>#</sup>(图2b)。多样性指数( $H'$ )、均匀度指数( $E$ )和优势度指数( $C$ )常被用来表征土壤线虫群落多样性特征。不同采样区土壤线虫的群落多样性指数( $H'$ )和均匀度指数( $E$ )均为5<sup>#</sup> > 4<sup>#</sup> > 3<sup>#</sup> > 1<sup>#</sup> > 2<sup>#</sup>,而优势度指数( $C$ )则为2<sup>#</sup> > 3<sup>#</sup> > 1<sup>#</sup> > 4<sup>#</sup> > 5<sup>#</sup>。优势度指数( $C$ )可显示优势种群的存在及其特征,其值越小,表明样点中土壤线虫群落越稳定。2<sup>#</sup>采样区的优势度指数( $C$ )大于其他采样区,土壤线虫群落多样性和稳定性小于其他采样区,土壤线虫群落组成趋于单一化,5<sup>#</sup>采样区的土壤线虫群落多样性和稳定性高于其他采样区(表4)。造成采样区之间土壤线虫群落结构差异的主要线虫类群不同。食细菌线虫明杆属、单宫属、地单宫属和棱咽属是造成3<sup>#</sup>采样

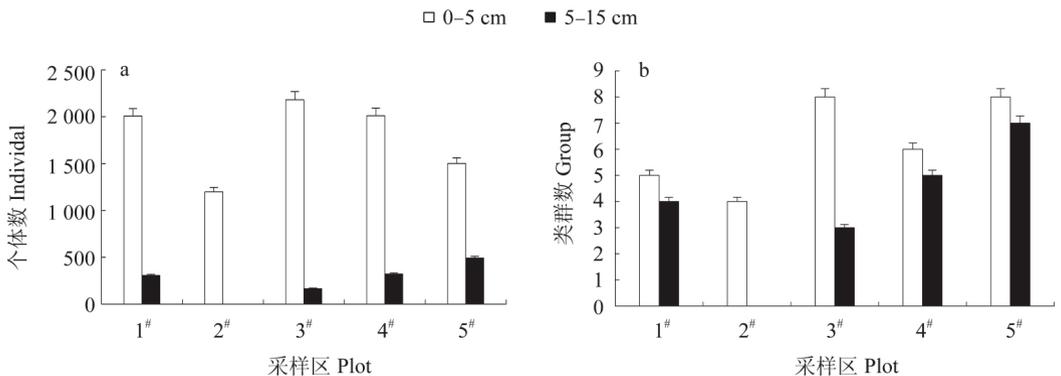


图2 土壤线虫个体数(a)及类群数(b)

Fig. 2 The comparison of soil nematode individuals (a) and groups (b)

表 4 不同采样区土壤线虫群落的生态指数

Table 4 Ecological indices of the soil nematode communities in each sample site

生态指数 Ecological index	1 <sup>#</sup> 采样区 Plot 1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup> 采样区 Plot 2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup> 采样区 Plot 3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup> 采样区 Plot 4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup> 采样区 Plot 5 <sup>#</sup>
多样性指数 Shannon index ( <i>H'</i> )	0.97±0.30 <sup>b</sup>	0.79±0.07 <sup>b</sup>	1.31±0.13 <sup>ab</sup>	1.38±0.05 <sup>ab</sup>	2.09±0.05 <sup>a</sup>
均匀度指数 Evenness index ( <i>E</i> )	0.54±0.10 <sup>b</sup>	0.49±0.01 <sup>b</sup>	0.63±0.04 <sup>ab</sup>	0.71±0.03 <sup>a</sup>	0.82±0.18 <sup>a</sup>
优势度指数 Dominance ( <i>C</i> )	0.35±0.05 <sup>ab</sup>	0.52±0.02 <sup>a</sup>	0.42±0.02 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>ab</sup>	0.16±0.01 <sup>b</sup>

同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different small letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level.

区与其他 4 个采样区土壤线虫群落结构差异的主要贡献类群；食细菌线虫似绕线属是造成 4<sup>#</sup> 采样区与其他采样区土壤线虫群落结构差异的主要贡献类群；食细菌线虫真头叶属是造成 5<sup>#</sup> 采样区与其他采样区土壤线虫群落结构差异的主要贡献类群。由此可见，土壤线虫对于采样区生境变化具有一定的指示作用。

**2.5 土壤线虫群落与土壤环境间的关系** 深层(5~15 cm)土壤线虫数量和表层(0~5 cm)土壤线虫类群数与平均地温有显著的正相关关系，与土壤 pH 存在显著的负相关关系 ( $P < 0.05$ ) (表 5)。在线虫营养类群方面，食细菌线虫与土壤 pH 呈显著负相关，表层土壤捕食-杂食线虫与土壤含水率呈显著负相关，与平均地温呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )，而深层土壤捕食-杂食线虫与土壤含水率呈负相关，相关程度达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。在线虫生态

指数方面，土壤理化性质与线虫生态指数的相关性并不是很高，多样性指数 ( $H'$ )、均匀度指数 ( $E$ ) 与土壤理化性质的相关性未达到显著水平，而优势度指数 ( $C$ ) 受土壤理化性质影响较大，与表层土壤含水率呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )，与深层土壤含水率呈显著负相关。表明不同生境的线虫群落无论从数量上、营养类群上还是功能多样性上，都与土壤理化性质存在一定的相关关系。

**2.6 土壤线虫群落相似性特征** 不同样点土壤线虫群落的水平分布和垂直分布特征存在差异，但通过对各采样区的 Sprensen 相似性系数的计算，5 个采样区之间存在一定的相似性。5 个采样区的 Sprensen 相似性系数介于 0.154~0.667 (表 6)，主要为中等相似和极不相似，说明某些采样区间土壤线虫群落的相似性程度较高，某些采样区间土壤线虫群落的相似性程

表 5 线虫数量、营养类群、生态指数与土壤理化指标的相关系数

Table 5 Correction coefficients between nematode abundance, nematode tropic groups, ecological indices and soil physical-chemical properties

	平均地温(°C)		土壤含水率(%)		土壤 pH Soil pH
	Mean soil temperature		Soil moisture content		
	0~5 cm	5~15 cm	0~5 cm	5~15 cm	
线虫数量 Nematode abundance	0.729	0.664*	-0.261	-0.305	-0.743*
线虫类群 Fauna number	0.777*	0.698	-0.509	-0.533	-0.662
食细菌线虫 Bacterial-feeders	0.702	0.586	-0.410	-0.591	-0.751*
捕食-杂食线虫 Predators-omnivores	0.793**	0.709	-0.671*	-0.780**	-0.426
多样性指数 Shannon index ( <i>H'</i> )	0.689	0.645	-0.218	-0.437	-0.191
均匀度指数 Evenness index ( <i>E</i> )	0.727	0.570	0.452	0.526	-0.124
优势度指数 Dominance ( <i>C</i> )	-0.359	-0.333	-0.829**	-0.701*	0.360

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

表 6 拉鲁湿地土壤线虫相似性

Table 6 The similarity of soil nematode communities between sample sites

	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
1 <sup>#</sup>	1.000				
2 <sup>#</sup>	0.545	1.000			
3 <sup>#</sup>	0.571	0.154	1.000		
4 <sup>#</sup>	0.615	0.667	0.267	1.000	
5 <sup>#</sup>	0.241	0.444	0.381	0.400	1.000

度较低。相似性最高的为 2<sup>#</sup> 采样区与 4<sup>#</sup> 采样区, 相似性系数为 0.667, 二者共有的类群为 4 类; 其次是 1<sup>#</sup> 采样区与 4<sup>#</sup> 采样区, 相似性系数为 0.615, 二者共有的类群为 4 类; 相似性最低的为 2<sup>#</sup> 采样区与 3<sup>#</sup> 采样区, 相似性系数为 0.154, 二者共有的类群为 1 类。分析原因, 2<sup>#</sup> 采样区和 4<sup>#</sup> 采样区附近为牛羊主要活动区, 受到人类活动(如放牧)的干扰相对较大, 环境条件相似, 因此两者土壤线虫群落特征最为相似; 1<sup>#</sup> 采样区是湿地水源入口, 为长期浸水区, 4<sup>#</sup> 采样区是天然湿地, 为间歇性浸水区, 二者环境条件具有共性, 因此土壤线虫群落特征相似程度较高。2<sup>#</sup> 采样区与 3<sup>#</sup> 采样区, 前者为牛羊主要活动区且接纳了大量的城市生活污水, 后者为块状草甸和小丘这类退化湿地, 环境条件差异较大, 相应它们的土壤线虫群落特征相似程度最低。

### 3 讨 论

本研究表明, 拉鲁湿地夏季土壤线虫的群落结构在不同采样区存在差异, 反映了土壤线虫群落对生境异质性的响应, 这些差异可能与不同土壤线虫的生物学特性、可获得食物资源的种类和数量以及土壤理化性质的变化相关联 (Connell et al. 1977, 欧伟等 2004, 王邵军等 2008)。

调查表明, 拉鲁湿地真矛属、似绕线属、地单宫属占土壤线虫总捕获量的 62.23%。综合优势度与空间分布两个方面的特征, 可以认为真矛属、似绕线属、地单宫属是拉鲁湿地夏季最重要的类群, 少量优势科和属对土壤线虫群落

特征起着至关重要的作用 (Liang et al. 1999)。常见类群个体数量尽管较少, 但分布的范围并不狭小, 土壤线虫各类群空间分布的广狭与个体数量的多寡在夏季的拉鲁湿地并未呈现出明显的一致性。

一个地区生物的种类、个体数量组成和生物多样性与环境资源的丰度密切相关 (吴东辉等 2005)。藏东南季拉山冷杉林采集土壤线虫 67 属 (薛会英等 2012), 藏北高寒草甸采集土壤线虫 93 属 (薛会英等 2013)。本研究拉萨拉鲁湿地采集土壤线虫 14 属, 低于相近海拔 (3 600 ~ 3 800 m) 的藏东南亚高山冷杉林 (薛会英等 2012)、高海拔 (4 300 ~ 5 200 m) 的藏北高寒草甸 (薛会英等 2013)。拉鲁湿地土壤线虫类群数和生物多样性低于相近海拔的藏东南亚高山冷杉林和高海拔的藏北高寒草甸的原因, 主要是藏东南季拉山属于亚高山温带半湿润气候, 冬温夏凉、干湿季分明, 森林群落环境保持稳定时间长, 林下调落物厚, 环境条件优越, 土壤线虫群落受扰动小, 在藏东南特殊的气候条件下, 自然选择的作用使线虫类群的繁殖能力朝着高水平的方向发展, 种类丰富, 数量升高 (薛会英等 2012)。藏北高寒草甸的植物群落在物种组成、丰富度等方面都较拉鲁湿地简单, 人为活动 (如放牧) 干扰较强 (普布等 2010, 薛会英等 2013), 但肖红艳等 (2012) 对川西北亚高山草甸 (平均海拔 3 600 m) 3 个不同放牧强度 (轻度放牧、中度放牧、重度放牧) 干扰下的土壤动物群落进行调查研究表明, 中度放牧干扰生境的中小型土壤动物密度最大, 主要原因是随着放牧强度的增

加,家畜排泄物堆积增多给线虫等土壤动物提供了丰富的有机质,有利于中小型土壤动物的类群数和生物多样性增长。藏北高寒草甸及拉鲁湿地部分采样区的放牧活动对土壤线虫数量的影响是否具有川西北亚高山草甸的中度放牧活动对中小型土壤动物的促进作用有待进一步研究。

本研究中土壤线虫类群数量和个体数量的垂直分布具有表聚性。根据已有的研究结果(Samuelson et al. 1985, Beare et al. 1992, 朱永恒等 2012),土壤线虫垂直分布的差异主要取决于土壤的理化性质和营养状况。不同土壤层次的微生境条件存在差异,包括土壤温度、土壤湿度和 pH 值等。随着拉鲁湿地土壤剖面加深,土壤空隙度变小,土壤温度下降(平均低于表层 6.3℃),土壤湿度增加(平均高于表层 7.6%),影响到深层土壤线虫的个体数和属数。有学者认为土壤线虫在土壤中需要水膜来运动,它们的活动被土壤结构和含水量的相互关系所强烈地影响(Ritz et al. 1999, 欧伟等 2004)。关于线虫数量与土壤含水量之间的密切关系是如何建立起来的,还需进一步研究。Connell 等(1977)认为,植被结构通过改变小气候条件和土壤养分影响土壤动物的种群密度。拉鲁湿地各采样区生境的差异也深刻影响着土壤线虫群落的差异,5 个采样区的植物群落组成,枯落物形成的土壤有机质的积累等不同,而土壤有机质与土壤微生物高度相关(侯本栋等 2008),食物资源能够影响食微线虫(食细菌线虫和捕食-杂食线虫)数量的变化。

个体数量、类群数量、群落多样性、优势度和均匀度是评价土壤线虫群落结构变化的量化指标,上述不同指数组成的指标,能够一定程度上反映群落环境质量状况(侯本栋等 2008, 张伟东等 2010)。本文通过研究土壤线虫个体数量、类群数量、群落多样性指数反映不同生境间的差异,体现了土壤动物对环境变化的响应和指示作用。

**致谢** 衷心感谢审稿专家和《动物学杂志》编辑老师对本文提出的宝贵意见!

## 参 考 文 献

- Beare M H, Parmelee R W, Hendrix P F, et al. 1992. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems. *Ecological Monographs*, 62 (4): 569 - 591.
- Connell J H, Slatyer R O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, 111(982): 1119 - 1144.
- Ekschmitt K, Bakony G, Bongers M, et al. 2001. Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils. *European Journal of Soil Biology*, 37(4): 263 - 268.
- Ingham R E, Trofymow J A, Ingham E R, et al. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs*, 55(1): 119 - 140.
- Liang W J, Lavian I, Steinberger Y. 1999. Dynamics of nematode community composition in a potato field. *Pedobiologia*, 43 (1): 459 - 469.
- Moore J C, De Ruiter P C. 1991. Temporal and spatial heterogeneity of trophic interactions within below-ground food webs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34(1/4): 371 - 397.
- Ritz K, Trudgill D L. 1999. Utility of nematode community analysis as an integrated measure of the functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and Soil*, 212(1): 1 - 11.
- Samuelson M O. 1985. Dissimilatory nitrate reduction to nitrate, nitrous oxide, and ammonium by *Pseudomonas putrefaciens*. *Applied and Environmental Microbiology*, 50 (4): 812 - 815.
- Schlöter M, Dilly O, Munch J C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98 (1/3): 255 - 262.
- Yeates G W, Bongers T, De Goede R G M, et al. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 25(2): 315 - 331.
- 巴桑, 普布, 马正学, 等. 2012. 西藏拉鲁湿地夏季和秋季浮游藻类群落特征. *湿地科学*, 10(4): 404 - 416.
- 陈德来, 马正学, 普布, 等. 2011. 拉萨拉鲁湿地夏季土壤动物的群落特征. *动物学杂志*, 46(5): 1 - 7.
- 陈鹏. 1983. 土壤动物的采集和调查方法. *生态学杂志*, (3): 46 - 51.
- 侯本栋, 马风云, 吴海燕, 等. 2008. 黄河三角洲不同演替阶段湿地土壤线虫的群落特征. *应用与环境生物学报*, 14 (2): 202 - 206.

胡诚, 曹志平, 白娅舒, 等. 2007. 长期不同施肥措施对土壤线虫群落的影响. 生态与农村环境学报, 23(3): 31-35.

华国春, 黄川友, 李艳玲, 等. 2007. 拉萨拉鲁湿地生态恢复与重建对策研究. 水资源保护, 23(6): 93-96.

刘汉武, 李春. 2005. 高原湿地研究——拉萨拉鲁地区湿地研究. 北京: 气象出版社, 22-52.

欧伟, 李琪, 梁文举, 等. 2004. 不同水分管理方式对稻田土壤生物学特性的影响. 生态学杂志, 23(5): 53-56.

普布, 拉多, 巴桑, 等. 2010. 西藏拉萨拉鲁湿地国家级自然保护区脊椎动物物种多样性研究. 西藏大学学报: 自然科学版, 25(1): 1-7.

苏智先, 王仁卿. 1989. 生态学概论. 济南: 山东大学出版社, 104-110.

王邵军, 蔡秋锦, 阮宏华. 2008. 不同生境柳杉根际线虫群落的生态特征. 生态学杂志, 27(4): 583-590.

吴东辉, 张柏, 陈鹏. 2006. 长春市不同土地利用生境的土壤线虫群落结构特征. 应用生态学报, 17(3): 450-456.

吴东辉, 张柏, 殷秀琴, 等. 2005. 吉林省中西部平原区土壤

线虫群落生态特征. 生态学报, 25(1): 59-67.

武海涛, 吕宪国, 杨青, 等. 2008. 三江平原湿地岛状林土壤动物群落结构特征及影响因素. 北京林业大学学报, 30(3): 50-58.

肖红艳, 刘红, 李波, 等. 2012. 放牧干扰对亚高山草甸土壤动物群落影响的研究. 草业学报, 21(2): 26-33.

薛会英, 胡锋, 罗大庆. 2013. 藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响. 生态学报, 33(5): 1482-1494.

薛会英, 罗大庆, 于宝政. 2012. 西藏色季拉山急尖长苞冷杉林土壤线虫群落特征. 应用生态学报, 23(12): 3402-3408.

尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 51-59, 437-475.

张金屯. 2004. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 179-213.

张伟东, 尚艳芳, 王雪峰. 2010. 土壤线虫群落对大连石门山森林植被恢复的响应. 生态学报, 30(4): 878-886.

朱永恒, 李克中, 余健, 等. 2012. 铜尾矿复垦地土壤动物群落的恢复. 动物学杂志, 47(6): 417-427.

DOI: 10.13859/j.cjz.201405023

## 湖北荆州发现红颈苇鹀

### Ochre-rumped Bunting (*Emberiza yessoensis*) Found in Jingzhou, Hubei Province

2014年3月15日10:00~14:00时,在湖北省荆州市观音档镇的长湖边(30°22'55"N, 112°21'27"E, 海拔30 m)发现3~5只体长约15 cm 体色偏灰的鸟降落在油菜丛中。笔者使用单反相机(Nikon D300S, 镜头500F4)对其拍照并进行长达30 min 观察。该鸟具有较高的机警性,见到行人立即隐藏于灌丛或油菜地中。根据其形态特征,并查阅相关文献(约翰·马敬能等2000, 郑光美2011),确定该鸟为红颈苇鹀(*Emberiza yessoensis*),是湖北省鸟类分布新纪录。

该鸟种体型大小似苇鹀(*E. pallasi*),腰及颈背粉棕色,耳羽深。头和上体羽毛的栗色羽缘明显,使上体呈浅栗色;颊和喉的黑色部分具棕灰色羽缘。虹膜黑色。上喙近黑,下喙肉黄色。脚与趾偏粉色。

红颈苇鹀属雀形目(Passeriformes)鹀科(Emberizidae)的小型鸣禽,已被国际自然保护联盟濒危物种红色名录(IUCN Redlist)列为全球性近危物种(IUCN 2013)。主要繁殖于滨海(河流)区域,包括中国东北、蒙古、朝鲜半岛、日本以及俄罗斯的极东南地区(赵正阶2001, 郑光美2002, 高玮2006, BirdLife International 2014)。

3月20日,笔者再次前往该地区进行观察,仍然发现3~5只红颈苇鹀在该区域活动。此外,湖北鸟友管思杰曾于2013年10月28日在荆州市虎渡河边观察到2~3只该鸟类活动。综上所述,可推测该物种在湖北省应为冬候鸟。

陈德智<sup>①②</sup> 李少斌<sup>①\*</sup>

① 长江大学生命科学院 荆州 434025; ② 中石化江汉分公司 潜江 433124

\* 通讯作者, E-mail: shaobinlee@126.com;

第一作者介绍 陈德智,男,硕士研究生;研究方向:鸟类学;E-mail: 344722909@qq.com。

收稿日期:2014-05-09, 修回日期:2014-08-03