

退耕还茶地土壤动物群落结构及其动态变化

王永东, 郑子成, 李廷轩, 申燕

(四川农业大学 资源学院, 四川 成都 611130)

摘要: [目的] 研究退耕还茶地土壤动物群落结构和季节变化特征, 旨在为深入了解退耕还茶后土壤质量变化趋势及研究区生态系统的健康评价提供科学依据。[方法] 以川西低山丘陵区名山区退林还茶地为对象, 采用手捡法和干、湿漏斗法, 并以相邻退耕还林地为对照进行研究。[结果] 退耕还茶地土壤动物群落以蜱螨目(A)、线虫纲和弹尾目(C)为优势类群, 其类群数、密度、Shannon-Wiener 指数、密度-类群指数和群落复杂性指数均低于退耕还林地, 而群落 A/C 值较大, 且差异多达显著 ($p < 0.05$) 或极显著水平 ($p < 0.01$)。退耕还茶地土壤动物类群数、个体数、密度-类群指数均以秋季最高, 呈单峰曲线变化, 且季节间波动大于退耕还林地。受 2008 年春季的冰冻天气影响, 退耕还茶地土壤动物个体数、类群数和密度类群指数明显降低, 并在 2009 年有一定回升, 而退耕还林地动物群落结构受气候影响较小。[结论] 退耕还茶地土壤动物群落对季节变化和低温天气等外界干扰反应较退耕还林地强烈, 且对生态环境给予的负面刺激的反馈能力相对较差。与退耕还林相比, 退耕还茶地生态系统可能存在更大的潜在风险。

关键词: 土壤动物; 群落结构; 退林还茶; 退耕还林; 季节动态; 年份动态

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0048-06

中图分类号: S571.1, Q958.15

文献参数: 王永东, 郑子成, 李廷轩, 等. 退耕还茶地土壤动物群落结构及其动态变化[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 48-53. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.010

Community Structure and Dynamic Changes of Soil Fauna in Farmland-transformed Tea Plantation

WANG Yongdong, ZHENG Zicheng, LI Tingxuan, SHEN Yan

(College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: [Objective] In order to investigate the change of soil quality and provide scientific basis for ecosystem health assessment, the community structure and seasonal change of soil fauna were studied in farmland-transformed tea plantation. [Methods] A farmland-transformed tea plantation in Mingshan, which is located in the hilly region of Western Sichuan Province, was chosen as research plot. In which, soil macrofauna were picked up by hand; mesofauna and microfauna were separated and collected from the soil samples by Baermann and Tullgren methods. [Results] Acarina(A), Nematoda and Collembola(C) were the dominant groups in the farmland-transformed tea plantation. The density, number of group, Shannon-Wiener index, index of density-group number and community complexity of soil fauna were all lower than the corresponding values observed in farmland. However, A/C value of soil fauna community of tea plantation was significantly higher than that of farmland. The maximum values of group number, individual number and index of density-group number appeared in Autumn. These indices showed unimodal curves and the variance among seasons was greater than that between farmland and plantation. The group number, individual number and density-group number of tea plantation decreased due to disastrous frozen snow in 2008 and increased in 2009. However, little influence was observed for the farmland-transformed forestry. [Conclusion] Soil animal community in farmland-transformed tea plantation is interfered by season transition, cold weather's attack, and other disturbances as well. And also, the feedback ability to negative stimulus of ecological

收稿日期: 2014-12-12

修回日期: 2015-03-29

资助项目: 四川省科技支撑项目“富营养化水体及土壤磷的提取与修复关键技术研究”(2013NZ0044); 四川农业大学学科建设双支计划团队项目(2014)

第一作者: 王永东(1972—), 男(汉族), 四川省三台县人, 硕士, 副教授, 主要从事土壤生态与信息技术方面的研究。E-mail: wangyongdong@sicau.edu.cn.

environment is relatively poor. In comparison with farmland-transformed forestry, the ecological system of farmland-transformed tea plantation may undergo great potential risk.

Keywords: soil fauna; community structure; conversion of farmland to tea plantation; conversion of farmland to forestry plantation; seasonal dynamics; inter-annual dynamics

土壤动物对土壤生态系统的物质循环、养分转化及土壤肥力演变等有着重要影响^[1-2],其群落特征可以反映土壤中食源、生境多样性、环境压力强度及其对环境的耐受力等^[3]。土壤动物对环境反应具有一定的灵敏性和综合性^[4],且能响应环境的变化^[5]。目前,对土壤动物的研究主要集中在森林、农田、草原生态系统及高山林木交错区^[5-8],而对人为扰动强烈的退耕还茶地研究甚少,且仍停留在部分类群或群落结构的初步调查方面^[9-11],缺乏群落结构动态变化的研究。决定土壤动物群落组成的主要因子包括气候、植被、人类干扰、土壤条件等^[12]。其中,土壤动物群落组成结构与植被状况密切相关^[13]。自实施退耕还林(草)工程以来,为了发展地方经济,川西低山丘陵区大面积推广了退耕还茶模式,在产生一定经济效益和社会效益的同时也使该地区生态环境发生了变化,也必将会对土壤动物的多样性及其群落结构产生较大的影响。因此,本研究选择地形和规模较为典型的名山县大面积退耕还茶地作为研究对象,以区域内退耕还林地作为对照,对比分析退耕还茶和退耕还林地土壤动物群落结构、季节和年份动态变化,以期为川西低山丘陵区退耕还茶地土壤动物群落组成特征方面提供资料,同时也为了解退耕还茶后土壤质量变化趋势及研究区生态系统的健康评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地貌以台状丘陵为主,海拔 680~780 m,土壤类型为第四纪老冲积物发育而成的黄壤。属亚热带湿润季风气候区,年均温 15.4 °C,无霜期 296 d,年降雨量 1 500 mm 左右,6—9 月占全年降雨量的 72.6%。退耕还茶和退耕还林是研究区的主要退耕模式。茶树品种主要有:老川茶、蒙山 11 号、青心乌龙和福选 9 号,其中老川茶的栽种最为广泛。退耕还茶地种植方式以横坡种植为主,少部分为竖坡种植。退耕还林地主要有杉树林等。本研究选择相同坡向和退耕还茶地和相邻退耕还林地进行定点观测,其中退林还茶地为梯田式双行条列式种植茶园,梯坎高 1 m,阶面宽 1 m(表 1)。退耕还茶地植被种类主要为老川茶、少量杉木、铁芒萁、蕨。退耕还林地主要植被种类为四季竹、红叶李、菝葜、三花悬钩子、杉木、枞木、蕨、铁芒萁、芒。

表 1 研究区环境特征

生境条件	退耕还茶地	退耕还林地
坡度/(°)	36	36
林冠郁闭度/%	55	70
草本层覆盖度/%	50	90
凋落物量/(g·m ⁻²)	2 500	3 396

1.2 研究方法

分别于 2007—2009 年春季(4 月)、2008 年夏季(7 月)、秋季(10 月)和 2009 年冬季(1 月)进行采样。每次采样按“品”字形布设 3 个 30 cm×30 cm 的样方(其中退耕还茶地样方取样在树蓬滴水线下的茶棵间),按凋落物层、0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm 土层进行手捡,将采集所得的大型动物分层登记后放入盛有 20 ml 酒精(75%)瓶中。同时,用采样器(100 ml)按 0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm 层自上而下取样,每个层次采集 2 份/次(分别用于中小型动物的干、湿漏斗法分离),每样地的 3 个样方共取土样 1 800 ml,并在每样方采集凋落物(10 cm×10 cm)2 份/次,分别用 100 目尼龙纱布包好贴上标签后装入黑布袋中带回室内用干漏斗进行分离^[13]。此外,分层采集混合土样用于理化性质测定,用地温计和气温计分别测定适时地温、气温,GPS72 测定海拔,地质罗盘仪测量坡度,目测估计法测量林冠郁闭度和草本层覆盖度。土壤动物的分离参照肖玖金等^[14]的方法。将手捡所得大型土壤动物和分离所得中小型土壤动物置于双目解剖镜(OLYMPUS,SZ2-ILST)下,参考《中国土壤动物检索图鉴》和《土壤动物》鉴定计数至纲或目^[15-16]。

1.3 数据分析与处理

(1) 类群数量等级:个体数占总数的 10.0%及以上为优势种群,1.0%~10.0%为常见种群,1.0%以下为稀有种群^[14]。

(2) 群落多样性:采用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、密度—类群指数(DG)和群落复杂性指数(C_j)来描述土壤动物群落的特征^[17]。

(3) 群落相似性:采用 Jaccard(q)系数和 Gower 系数(S_g)描述群落间的相似程度。

数据的处理和分析采用 DPS 6.55 进行。

2 结果与分析

2.1 退耕还茶地土壤动物群落特征

由表 2 分析可知,在研究区共获实得土壤动物

18 984 只,隶属于 6 门 16 纲 34 目 38 类。4 个优势类群:线虫(26.94%)、蛴螬目(23.42%)、弹尾目(12.11%)和膜翅目(10.49%);7 个常见类群:等翅目(7.18%)、线蚓科(4.62%)、双尾目(3.09%)、综合纲(2.43%)、蜘蛛目(2.05%)、鞘翅目(1.45%)和姬马陆目(1.12%)。

表 2 退耕还茶与退耕还林地土壤动物群落类群与数量组成

类群名	退耕还茶			退耕还林		
	个体数	百分比/%	多度	个体数	百分比/%	多度
三肠目	4	0.04	+	0	—	—
轮虫	55	0.61	+	56	0.57	+
线虫	2826	31.38	+++	2262	22.90	+++
线蚓	442	4.91	++	431	4.36	++
正蚓目	1	0.01	+	6	0.06	+
腹足纲	4	0.04	+	5	0.05	+
蝎目	0	—	—	2	0.02	+
裂盾目	0	—	—	1	0.01	+
蜘蛛目	139	1.54	++	248	2.51	++
伪蝎目	26	0.29	+	70	0.71	+
盲蛛目	29	0.32	+	17	0.17	+
蛴螬目	2743	30.45	+++	1680	17.01	+++
猛水蚤目	0	—	—	3	0.03	+
等足目	1	0.01	+	9	0.09	+
带马陆目	0	—	—	21	0.21	+
姬马陆目	22	0.24	+	189	1.91	++
蜘蛛目	0	—	—	2	0.02	+
石蜈蚣目	5	0.06	+	13	0.13	+
蜈蚣目	5	0.06	+	22	0.22	+
地蜈蚣目	4	0.04	+	19	0.19	+
综合目	194	2.15	++	264	2.67	++
蝎纲	1	0.01	+	0	—	—
原尾目	5	0.06	+	12	0.12	+
弹尾目	1041	11.56	+++	1245	12.61	+++
双尾目	194	2.15	++	389	3.94	++
石蛎目	3	0.03	+	19	0.19	+
蜚蠊目	14	0.16	+	28	0.28	+
等翅目	4	0.04	+	1351	13.68	+++
直翅目	1	0.01	+	5	0.05	+
革翅目	3	0.03	+	17	0.17	+
同翅目	8	0.09	+	26	0.26	+
半翅目	7	0.08	+	34	0.34	+
啮虫目	58	0.64	+	15	0.15	+
缨翅目	135	1.50	++	8	0.08	+
鞘翅目	95	1.05	++	179	1.81	++
鳞翅目	7	0.08	+	21	0.21	+
双翅目	56	0.62	+	102	1.03	++
膜翅目	875	9.71	++	1106	11.20	+++
密度/(ind·m ⁻²)	4765			5225		
类群数	33			36		
Shannon-Wiener(H)	2.7390			3.3558		

注:“+++”优势类群;“++”常见类群;“+”稀有类群;“—”未检出

退耕还茶地土壤动物群落以线虫、蛴螬目和弹尾目为优势类群,总个体数占总数 73.39%;常见类群有膜翅目、线蚓和综合目等 7 类,个体数占总数 23.03%;其余 23 类为稀有类群,类群数占总类群数 69.70%,个体数占总数 3.59%。而退耕还林地优势类群为线虫、蛴螬目、等翅目、弹尾目和膜翅目,其个体数占总数 77.39%;常见类群有线蚓、双尾目和综合目等 7 类,个体数之和占总数的 18.24%;稀有类群 24 类,类群数占总类群数 66.67%,个体数占总数 4.36%。退耕还茶地土壤动物总个体数、密度、类群数和 Shannon-Wiener 多样性指数均小于退耕还林地。此外,退耕还茶土壤有 25 个类群个体数较小,其中等翅目差异最大,占总差值的 49.98%;蛴螬目、线虫、缨翅目等 6 个类群个体数较大,其中蛴螬目上升幅度最大,占总增加数的 58.25%;蝎目、裂盾目、猛水蚤目等 5 个类群缺失,其减少个体数占总减少数的 1.08%。

2.2 退耕还茶地土壤动物群落季节动态

2.2.1 群落组成

退耕还茶地土壤动物群落以线虫、蛴螬目和弹尾目为优势类群,而退耕还林地优势类群为线虫、蛴螬目、等翅目、弹尾目和膜翅目。由图 1 可知,退耕还茶地土壤动物类群数以秋季最高,冬、夏季次之,春季最低,季节间差异不显著。退耕还林地群落类群数显著大于退耕还茶地($F=7.27, p<0.05$),且与退耕还茶地呈现相同的季节动态。退耕还茶地土壤动物个体数随季节变化先增加后减少,峰值出现在秋季,其中春季和秋季间差异显著($F=2.44, p<0.05$)。退耕还林地土壤动物数量最高值出现在秋季,最低值出现在夏季,季节间差异亦不显著。除春季外,退耕还林地动物数量小于退耕还茶地,但差异未达到显著水平。

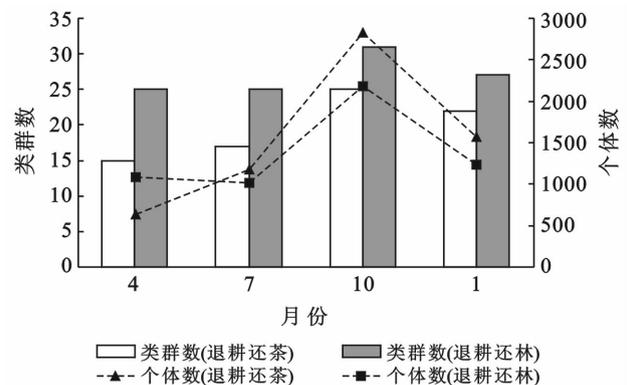


图 1 退耕还茶与退耕还林地土壤动物类群数和个体数量的季节动态

同时,退耕还茶地生态系统土壤动物群落相对于退耕还林地表现为动物类群数和个体数随季节呈现较大波动,其土壤动物常见和稀有类群百分比总和均较小且峰值出现季节不同,其中与退耕还林地夏季常见类群和春季稀有类群差异最大(表 3)。

2.2.2 群落多样性 由图 2 可知,退耕还林地群落

多样性季节动态与退耕还茶地相似,但 H' 指数、DG 指数和 C_j 指数均大于退耕还茶地。其中,2 样地间群落 H' 指数差异达极显著 ($F=35.38, F=41.10, p<0.01$),而 DG 指数和 C_j 指数差异未达到显著水平。除个别季节外,退耕还茶地各季节群落间相似性均小于退耕还林地,多为中等相似。

表 3 不同季节退耕还茶地与退耕还林地土壤动物优势、常见和稀有类群结构组成

优势度		4 月		7 月		10 月		1 月	
		退耕还茶	退耕还林	退耕还茶	退耕还林	退耕还茶	退耕还林	退耕还茶	退耕还林
优势类群	类群数	3	4	4	4	3	4	2	3
	百分比/%	79.81	62.59	90.34	75.49	78.87	70.88	76.21	70.26
常见类群	类群数	7	8	1	7	6	8	6	9
	百分比/%	18.3	32.59	5.85	20.59	17.7	24.53	19.63	26.5
稀有类群	类群数	5	13	12	14	16	19	14	14
	百分比/%	1.89	4.82	3.81	3.92	3.43	4.59	4.16	3.24

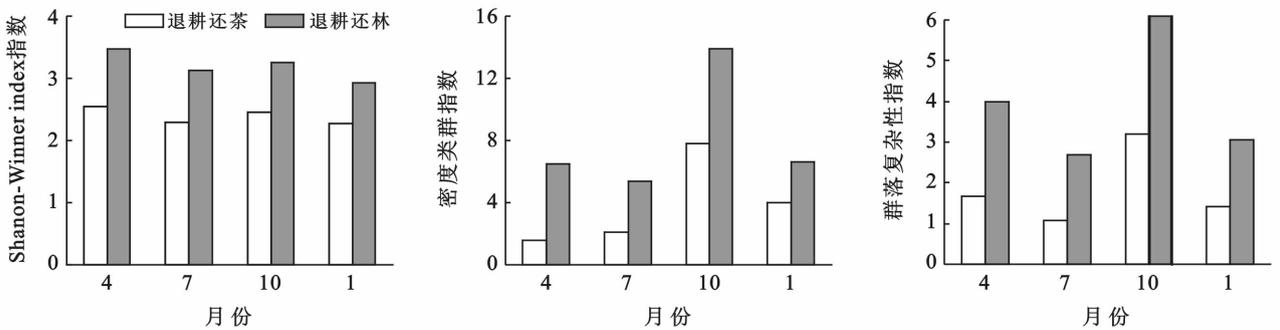


图 2 退耕还茶与退耕还林地土壤动物群落多样性指数季节动态

2.3 退耕还茶地土壤动物群落年际动态

2.3.1 群落组成 由图 3 可知,在 2007—2009 年,退耕还茶地土壤动物群落类群数量和个体数均呈 V 字形变化(图 3),其中 2009 年退耕还茶地群落个体数较 2007 和 2008 年显著增大 ($p<0.05$)。2007 年春季到 2008 年春季,退耕还茶地土壤动物中有 14 个类群的个体数量减少,其中减少最多为线虫,占减少总数的 85.26%,个体数较 2007 年下降了 86.73%;8 个类群个体数有所增多,其中增幅最大的为蟬蛄目和弹尾目,占总增多个体数的 84.75%。2008 年春季到 2009 年春季,有 17 个类群的个体数量增加,其中增加最多为膜翅目和线虫,分别占增加总数的 50.09% 和 24.58%;仅 6 个类群个体数有所减少且减幅均较小。

退耕还林地土壤动物类群数和个体数随着种植年限的增加呈逐年上升但年际间变化不明显(图 3)。退耕还茶地土壤动物优势类群频度之和大于退耕还林(除 2009 年外),而常见类群和稀有类群百分数较小,其中两者间稀有类群百分数总和在 2008 年差异达到最大,退耕还茶仅为退耕还林的 39.29%(表 4)。

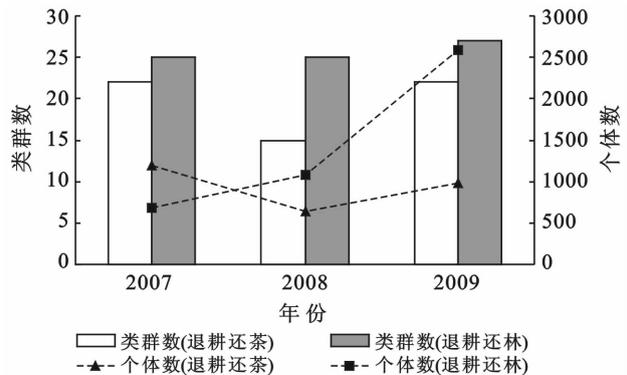


图 3 退耕还茶与退耕还林地土壤动物群落多样性指数年际动态

2.3.2 群落多样性 从图 4 可以看出,退耕还茶地土壤动物群落 H' 指数和 C_j 指数随时间的变化均呈递增趋势,DG 指数呈 V 形变化,2008 年最低(DG = 2.136 0)。说明在 2007—2009 年,退耕还茶地土壤动物群落多样性在均匀程度和相对丰度方面逐渐上升,而群落丰富程度在受气候条件刺激后,在 2008 年明显降低,而后回升。而退耕还林地动物多样性指数年际变化有所不同,群落相对丰度受到低温天气的一

定影响,均匀和丰富程度则未受影响。退耕还林地各多样性指数均明显大于退耕还茶地,其中 2007 年 H

指数、2008 年 DG 指数和 2007 年 C_j 指数差异最大,分别为退耕还茶地的 2.13,3.74 和 4.05 倍。

表 4 不同年份退耕还茶与退耕还林地土壤动物优势、常见和稀有类群结构组成

优势度	2007 年		2008 年		2009 年		
	退耕还茶	退耕还林	退耕还茶	退耕还林	退耕还茶	退耕还林	
优势类群	类群数	1	4	3	4	3	4
	百分比/%	77.90	74.20	79.81	62.59	72.86	82.73
常见类群	类群数	7	7	7	8	8	6
	百分比/%	19.24	20.70	18.30	32.59	24.08	13.53
稀有类群	类群数	14	14	5	13	11	17
	百分比/%	2.86	5.10	1.89	4.81	3.06	3.74

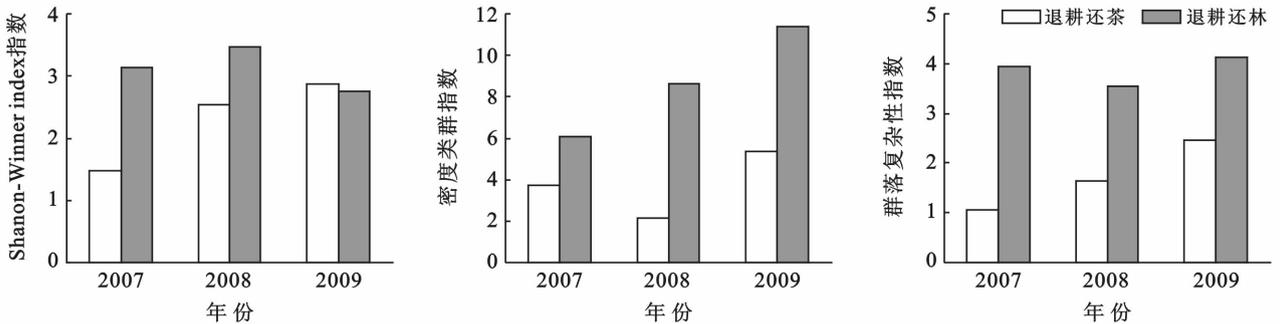


图 4 退耕还茶与退耕还林地土壤动物群落多样性指数年际动态

3 讨论

3.1 退耕还茶地土壤动物群落弹尾目(A)/弹尾目(C)之比

土壤动物弹尾目(A)/弹尾目(C)之比在一定程度上能反映不同地带土壤动物的分布特征。经计算,退耕还茶地土壤动物群落不同季节 A/C 值介于 1.83~4.53,均高于退耕还林地(0.57~1.78)且差异显著($F=7.56, p<0.05$)。自春季起,其各季节 A/C 分别为退耕还林地的 2.54,3.22,1.67,2.69 倍。此外,2007—2009 年土壤动物 A/C 值也表现为退耕还茶地大于退耕还林地,分别是退耕还林地的 1.17,1.14,3.09 倍。有关研究^[14,18-19]表明,人为干扰强度与土壤动物群落 A/C 值呈负相关,即干扰越强烈,群落 A/C 值越小。而本研究发现,退耕还茶地土壤人为干扰远远大于退耕还林地,但其 A/C 值为退耕还林的数倍且差异显著,与以往研究结果不同。退耕还茶地植被结构简单,甚至部分地面裸露而被阳光直射,土壤水热条件变幅大,易出现季节性干旱,而退耕还林地因其丰富的植被群落和凋落物层,具有较好的保水保温功能,因此退耕还茶地土壤动物 A/C 值更具有亚热带特征。本研究中人为干扰相对强烈的退耕还茶地土壤动物 A/C 值较大,体现了低山丘陵区退耕还茶地土壤动物 A/C 值具有自身的特殊性。退耕还茶地

适宜弹尾目的繁衍,弹尾目与凋落物的存留量呈正相关,而弹尾目与凋落物的存留量无明显相关性^[20],退耕还茶地凋落物层单薄,不利于弹尾目积聚。

3.2 季节和气候条件对退耕还茶地土壤动物的影响

退耕还茶地土壤动物群落季节动态与土壤温、湿度条件及凋落物积累等有关。经测定,研究区土壤自然含水量在不同季节的分布依次为:秋季>春季>冬季>夏季,土温表现为:夏季>春季>秋季和冬季。秋季是雨水多且较为集中的季节,适宜的水热条件和凋落物的积累,是动物群落数量及多样性的高峰期。尤其是优势种群中的弹尾目和弹尾目,均属于高温活动型动物,湿热条件活性较强,故在夏季和秋季相当活跃。随着凋落物的不断腐解,加之 3—5 月,10—12 月为线虫发生期^[20],且线虫为第一优势种群。此外,优势种群中的膜翅目,适宜温度与水分条件较低,因此土壤动物群落个体数在冬季和春季仍可保持在较高水平。相对于退耕还林地,退耕还茶地生态系统土壤动物群落随季节波动较大,这是由于退耕还茶地呈单优势群落,其凋落物减少,有机成分单一,以及人类频繁介入使得土壤紧实,容重增加,导致土壤微气候环境和土壤的稳定性差,这些因素均不利于土壤动物的生存。

退耕还茶地土壤动物群落特征的年际变化与该区域在 2008 年 1 月遭受了罕见的大范围持续性暴

雪、冻雨灾害有一定关系。该次低温天气具有持续时间长、灾害强度大和灾害破坏性强等特点,造成了油菜、小麦、茶叶等农作物大面积减产或绝收。研究表明,大规模的雨雪冰冻可对森林中乔木、下层幼树、鸟类、栖居地的环境异质性、林下植被的演替等造成强烈影响,但未引起混交林和纯林土壤动物群落组成明显变化。本研究中退耕还林地群落在灾害性雨雪冰冻以后总体有所降低,主要是但受气候干扰小,与已有的研究结果相似;而退耕还茶地土壤动物群落在受刺激后表现出个体密度、类群数及密度一类群指数等指标的明显降低,这与其生态系统中土壤动物的组成和生态环境的差异有关。退耕还茶地植被组成单一,土地裸露面积较多,土壤动物多样性较低,群落稳定性较差。雨雪冰冻天气对各种以相对裸露方式生存的动物的发生是极其不利,连续的雨雪冰冻天气会增加其自然死亡率,降低越冬动物的存活基数,减少当年的种群数量。因此,退耕还茶地土壤动物群落在低温天气的刺激下表现出群落波动较大,对环境刺激的缓冲能力较差。

4 结论

(1) 与退耕还林地相比,退耕还茶地土壤动物群落类群数、密度及多样性均较小,土壤动物群落稳定性和调节能力较差,但两者间群落复杂性和丰富度未呈现显著差异。但退耕还茶地群落 A/C 值均高于退耕还林地,且差异显著,其原因有待于进一步研究。

(2) 退耕还茶地土壤动物群落对季节变化和低温天气等外界干扰反应较退耕还林地强烈,且对生态环境给予的负面刺激的反馈能力相对也较差。随着全球各类极端天气发生频繁,与退耕还林相比,退耕还茶地生态系统可能存在更大的潜在风险。

[参 考 文 献]

[1] 武海涛,吕宪国,杨青,等. 土壤动物主要生态特征与生态功能研究进展[J]. 土壤学报,2006,43(2):314-323.

[2] Cole L, Buckland S M, Bardgett R D. Influence of disturbance and nitrogen addition on plant and soil animal diversity in grassland[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008,40(2):505-514.

[3] 焦向丽,朱教君,闫巧玲. 辽东山区次生林生态系统大、中型土壤动物组成与季节动态[J]. 生态学报,2009,29(5):2631-2638.

[4] 申燕,郑子成,李廷轩,等. 茶园土壤动物群落结构特征研究[J]. 茶叶科学,2009,29(4):275-281.

[5] 朱永恒,赵春雨,王宗英,等. 我国土壤动物群落生态学综述[J]. 生态学杂志,2005,24(12):1477-1481.

[6] 吴东辉,尹文英,李月芬. 刈割和封育对松嫩草原碱化羊草草地土壤跳虫群落的影响[J]. 草业学报,2008,17(5):117-123.

[7] 殷秀琴,李建东. 羊草草原土壤动物群落多样性的研究[J]. 应用生态学报,1998,9(2):186-188.

[8] 黄旭,张健,杨万勤,刘洋,等. 川西亚高山林牧交错区土壤动物多样性[J]. 生态学报,2010,30(19):5161-5173.

[9] 谭济才,邓欣,袁哲明. 不同类型茶园昆虫、蜘蛛群落结构分析[J]. 生态学报,1998,18(3):289-294.

[10] 唐美君,曾建民,郭华伟,等. 西南茶区病虫害发生与防治情况调查初报[J]. 中国茶叶,2009(3):26-27.

[11] Wolters V. Invertebrate control of soil organic matter stability[J]. Soil Fertile Soils, 2000,31(1):1-19.

[12] 张雪萍,李春艳,殷秀琴,等. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系[J]. 应用与环境生物学报,1999,5(1):26-31.

[13] 肖玖金,张健,杨万勤,等. 巨桉(*Eucalyptus grandis*)人工林土壤动物群落对采伐干扰的初期响应[J]. 生态学报,2008,28(9):4531-4539.

[14] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京:科学出版社,1998.

[15] 张贞华. 土壤动物[M]. 浙江 杭州:杭州大学出版社,1993.

[16] 傅必谦,陈卫,董晓晖,等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构[J]. 生态学报,2002,22(2):215-223.

[17] 黄玉梅,张健,杨万勤. 巨桉人工林土壤动物群落结构特征[J]. 生态学报,2006,26(8):2502-2509.

[18] 傅荣恕,尹文英. 伏牛山地区土壤动物群落的初步研究[J]. 动物学研究,1999,20(5):396-398.

[19] 尹文英,张荣祖,殷绥公. 中国土壤动物[M]. 北京:科学出版社,2000.

[20] 董博,张仁陟,荆世杰,等. 寿光市不同棚龄温室土壤动物群落结构[J]. 应用生态学报,2008,19(8):1769-1774.