
川中丘陵区柏木边坡防护林对 相邻农田大型土壤动物群落的英雄

吕严凤 蒋容 鲜骏仁 杨远洋 杨占彪*

(四川农业大学环境学院, 四川 成都 611130)

【摘要】为了研究川中丘陵区柏木(*Cupressus funebris*)边坡防护林对相邻农田中大型土壤动物群落的影响,分别以油菜(*Brassica campestris* L.)地和玉米(*Zea mays* L.)地为研究样地,分别调查了有边坡防护林和无边坡防护林农田的大型土壤动物类群数、密度、多样性和生物量。结果显示:共捕获大型土壤动物4 525只,隶属3门8纲18目25科。优势类群为正蚓科、蚁科、链胃蚓科和地么蚣科,常见类群为铗科、蟋蟀总科、地蜈蚣科、大赤螨科、狼蛛科和跳蛛科。有边坡防护林的农田大型土壤动物类群数、密度、多样性指数和生物量均明显高于无边坡防护林农田($P<0.05$)。距边坡防护林5 m处的大型土壤动物类群数、密度、多样性指数明显低于0 m处($P<0.05$)。对大型土壤动物进行功能群划分后发现,边坡防护林明显增加了植食性、捕食性和腐食性土壤动物数量,对杂食性大型土壤动物数量影响不明显。结果表明川中丘陵区柏木边坡防护林促进了相邻农田大型土壤动物群落的发展,但随着距离的增加其对农田大型土壤动物群落的影响逐渐减弱。

【关键词】柏木; 农田; 大型土壤动物; 群落; 川中丘陵区

【中图分类号】 S154.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1004-8227(2016)08-1299-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201608018

随着农村土地利用强度的增加,景观破碎化程度随之增加,导致生物多样性锐减^[1]。然而发展农业和生物多样性保护并不相互矛盾^[2],如可持续农业通过强化、促进和调控生态系统服务以实现食物生产和生物多样性保护的协调发展^[3]。作为陆地生态系统的重要组成部分,土壤动物通过积极参与物质循环和能量流动来提供生态系统服务,从而调节和维持陆地生态系统的正常结构和功能^[4]。同时,土壤动物群落能对植被类型、干扰程度和土壤水热动态等做出敏感的反应。如森林砍伐、土壤扰动、农业强度等管理措施通常能明显减少大型土壤动物物种丰富度和多度^[5-7]。防护林作为农田生态系统的重要生态屏障,在调节农田微气候、控制水土流失、改良土壤等方面表现出了突出生态效应^[8]。防护林与农田组成的农林复合生态系统在生物多样性保护方面也

收稿日期: 2015-12-03; **修回日期:** 2016-04-08

基金项目: 四川省教育厅科研项目(13ZA0260) [A Project Supported by Scientific Reserch Fund of Sichuan Provincial Education Department(13ZA0260)]

作者简介: 吕严凤(1992~), 硕士研究生, 主要从事土壤生态方面研究. E-mail: lvyanfeng1101@163.com

***通讯作者** E-mail: yzb195@126.com

具有优势。在对土壤无脊椎动物多度和多样性的调查中发现农林复合生态系统比单一农田生态系统有更高的土壤无脊椎动物多样性和多度^[9]。然而以往研究多集中在不同类型生态系统中土壤动物群落和多样性的比较,对农林复合生态系统中防护林对农田内部土壤动物群落的影响报道较少。

川中丘陵区由于长期的人为破坏,森林覆盖率急速下降,景观的破碎化程度进一步增加,农业生产条件遭到前所未有的破坏。经过20世纪70年代植被恢复,森林覆盖率上升了4倍以上,形成了林地与农地镶嵌的复合格局^[10]。本文选取川中丘陵区面积较大的柏木(*C. funebris*)边坡防护林为研究对象,调查相邻农田中与边坡防护林不同距离处的土壤动物群落特征,探讨柏木边坡防护林对川中丘陵区生物多样性保护的生态功能。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川盆地中北部的盐亭县(105° 12' 17" ~105° 43' 20" E, 30° 58' 31" ~31° 29' 40" N)。该县地貌以低山丘陵为主,海拔 400~600 m。气候类型为亚热带季风湿润气候,平均气温 17.3 °C,极端最高气温 40 °C,极端最低气温 -5.1 °C,多年均降水量 825.8 mm^[11]。土壤以石灰性紫色土和水稻土为主,分别占全县耕地面积的 72.8%和 23.26%^[12]。农作物以油菜(*B. campestris* L.)、玉米(*Z. mays* L.)、小麦(*Triticum aestivum* L.)、甘薯(*Dioscorea esculenta*)和水稻(*Oryza sativa* L.)为主,其中农业用地以旱地所占比重最大。

历史上,由于燃料、肥料等缺少,该区域的植被遭到严重破坏,20世纪70年代开始进行了大规模人工造林,最初采用桉木(*Alnus cremastogyne*)和柏木为主要造林树种,形成大面积的桉柏混交林。后期由于演替和人为因素,桉木大部分死亡,形成了目前以纯柏木为主的防护林。

1.2 试验设计

2014年4月在盐亭县林山乡截流村、金线村和梨园村小流域内选择山坡中部、坡向和海拔相近、农田管理措施基本一致的有柏木边坡防护林和无边坡防护林旱地为试验样点(图1)。每个样点选择3个重复样地(平均宽度为15 m,长度500~800m),主要土壤特性见表1。样地的边坡防护林平均宽7 m,平均树高8 m,树距2 m,分布在旱地的上下边坡处。

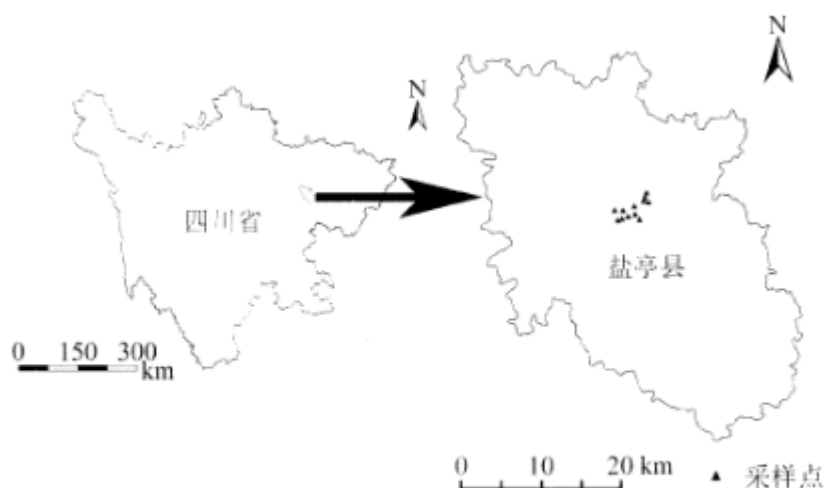


图1 实验样点详情

Fig.1 Information of the Sample Plots

表1 实验样地土壤特性

Tab.1 Characteristic of Sample Plots

	pH	土壤有机碳SOC(mg/kg)	全氮TN(g/kg)	碱解氮Available N(mg/kg)	全磷TP(g/kg)
油菜地	8.31±0.03	7.51±0.17	0.77±0.03	15.38±0.91	0.67±0.02
玉米地	8.12±0.02	6.72±0.12	0.72±0.02	14.77±0.88	0.67±0.02

本研究分别选择油菜地和玉米地及其相应无防护林农田作对照，将试验样地分为有边坡防护林的油菜地(RS)、无防护林的油菜地(RF)、有边坡防护林的玉米地(MS)和无防护林的玉米地(MF)四种处理。在每个处理的样地内，根据距离边坡防护林的远近分别按样地边缘(距离防护林0 m; RS0, MS0, RF0和MF0)和样地中央(距离防护林5 m; RS5, MS5, RF5和MF5)两个距离等级进行样方布设，样方大小为15 cm×15 cm×30 cm(长×宽×深)，3次重复(图2)，共调查72个样方。

1.3 土壤动物采集与鉴定

大型土壤动物采集用手拣法^[13]，收集前采用与样方面积等大小的木板方框迅速圈住防止土壤动物逃跑，并将整块土壤全部移至塑料桶进行收集。将收集到的大型土壤动物用75%的酒精杀死固定，带回室内鉴定。土壤动物的鉴定采用光学显微镜，依据主要来源于《中国土壤动物》^[13]、《中国亚热带土壤动物》^[14]和《中国土壤动物检索图鉴》^[15]，鉴定到科。

1.4 数据处理

土壤动物群落多样性采用Shannon-Wiener多样性指数计算^[16]，公式为：

$$H' = - \sum p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

均匀性测度采用Pielou均匀性指数计算^[16]，公式为：

$$E = \frac{H'}{\log_2(s)} \quad (2)$$

式(1)、式(2)中: H' 为Shannon-Wiener多样性指数; P_i 为第*i*个物种个体数占有物种个体数总数的比例; E 为Pielou均匀性指数; S 为物种数。

土壤动物数量等级划分采用Berger-Parker优势度指数计算^[16], 公式为:

$$D = N_{\max}/N \quad (3)$$

式中: N_{\max} 为优势类群的个体数; N 为全部类群的个体数; D 为Berger-Parker优势度指数。 $D > 0.1$ 为优势类群; $0.01 \leq D \leq 0.1$ 为常见类群; $D < 0.01$ 为稀有类群。

生物量: 将大型土壤动物带回鉴定后, 60 °C下干燥至恒重并测其干重。采用CANOCO 4.0软件对大型土壤动物群落结构进行PCA排序, 排序数据进行 $\ln(n+1)$ 转化。根据土壤动物食性的不同, 将其分为捕食性、植食性、腐食性和杂食性4个功能群^[17]。

采用Kolmogorov-Smirnov检验法检验数据的正态性, 若不符合正态分布, 采用 $(\sqrt{x} + 0.5)$ 转化以符合方差齐性检验。

有防护林和无防护林农田土壤动物类群数、密度、多样性和生物量采用独立样本T检验(independent-sample T test); 土壤动物水平空间类群数、密度、多样性和生物量采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验, 用L. S. D. 法进行组间多重比较。数据以平均值(标准误)表示, 显著性水平设置为5%显著水平。所有统计分析采用SPSS13.0软件完成, 制图采用CanoDraw和Origin8.1绘制。

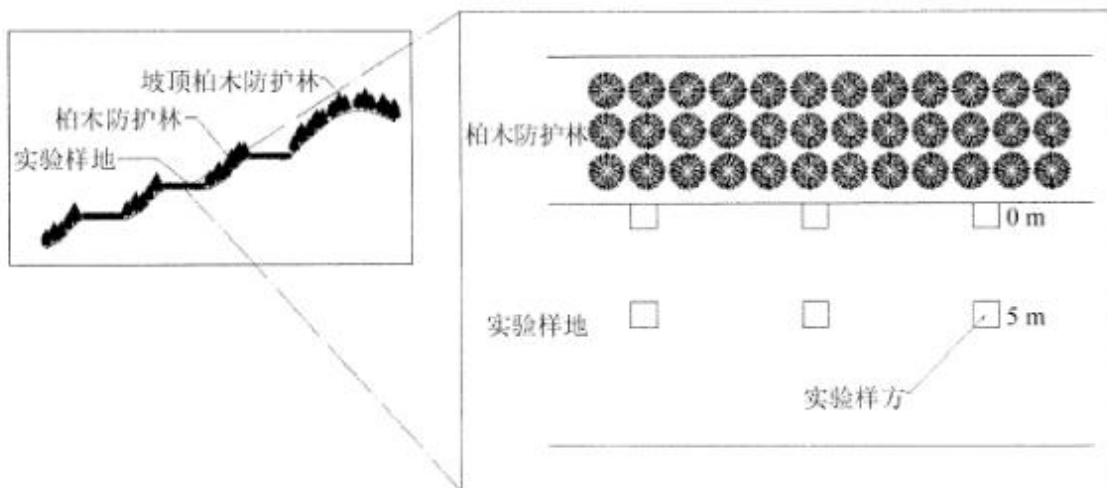


图2 实验样地及样方示意图

Fig.2 Diagram of Samples Plots

2 结果与分析

2.1 大型土壤动物组成

共获得大型土壤动物4 525只，油菜地中共捕获2 513只，玉米地中共捕获2 012只；隶属3门8纲18目25科(表2)。所有土壤动物中，节肢动物门数量最多，占有土壤动物数量的55.47%；其次为环节动物门，占有土壤动物数量的42.08%；软体动物门数量最少，仅占0.69%。寡毛纲在8个纲中所占数量最多，其次为昆虫纲(31.12%)和综合纲(12.24%)。不同类群中，正蚓科(Lumbricidae)、蚁科(Formicidae)、链胃蚓科(Moniligastridae)、地么蚣科(Geophillellidae)为优势类群；铈科(Japygidae)、巨蚓科(Megascolecidae)、蟋蟀总科(Grylloidea)、地蜈蚣科(Geophilidae)、大赤螨科(Anystidae)、狼蛛科(Lycosidae)、跳蛛科(Salticidae)等为常见类群；其余类群为稀有类群。

表 2 川中丘陵区农田大型土壤动物组成

Tab.2 Composition of Soil Macrofauna of Farmland in Hilly Area of Central Sichuan Basin

门	纲	目	科	个体数		优势度(D)		
				油菜地	玉米地			
节肢动物门(Arthropoda)	昆虫纲(Insecta)	膜翅目(Hymenoptera)	蚁科(Formicidae)	444	396	+++		
		双尾目(Diplura)	铈科(Japygidae)	205	202	++		
		鞘翅目(Coleoptera)	小蓟甲科(Mycetophagidae)	17	16	+		
			象甲科(Curculionidae)	0	2	+		
			拟叩甲科(Languriidae)	2	2	+		
			伪瓢甲科(Endomychidae)	4	0	+		
			隐翅虫科(Staphylinidae)	4	2	+		
			蟋蟀总科(Grylloidea)	29	20	++		
		直翅目(Orthoptera)	蚱总科(Tetrigoidea)	9	10	+		
			螞蛄总科(Gryllotalpoidea)	2	4	+		
			革翅目(Dermaptera)	绵螻科(Spongiphoridae)	16	14	-	
		综合纲(Symphyla)	蜚蠊目(Blattoptera)	光蠊科(Epilampridae)	4	2	-	
	缨翅目(Thysanoptera)		管蓟马科(Phlaeothripidae)	2	0	-		
	软甲纲(Malacostraca)		综合目(Symphyla)	地么蚣科(Geophillellidae)	262	292	---	
	倍足纲(Diplopoda)		等足目(Isopoda)	鼠妇虫科(Porcellionidae)	6	4	-	
			圆马陆目(Sphaerotheriida)	生圆马陆科(Sphaeropoeidae)	17	10	-	
	唇足纲(Chilopoda)		蜈蚣目(Scolopendromorpha)	蜈蚣科(Scolopendridae)	14	4	-	
			地蜈蚣目(Geophilomorpha)	地蜈蚣科(Geophilidae)	88	84	--	
			前气门亚目(Prostigmata)	大赤螨科(Anystidae)	46	45	--	
	蛛形纲(Arachnida)		蜘蛛目(Araneae)	狼蛛科(Lycosidae)	78	41	--	
				跳蛛科(Salticidae)	54	46	--	
			伪蝎目(Pseudoscorpionida)	鞭蝎科(Thelyphonidae)	5	6	-	
			环节动物门(Annelida)	寡毛纲(Oligocheta)	后孔寡毛目(Opisthopora)	正蚓科(Lumbricidae)	576	380
	链胃蚓科(Moniligastridae)				379	228	---	
		巨蚓科(Megascolecidae)			189	152	--	
软体动物门(Mollusca)	腹足纲(Gasteropoda)	柄眼目(Stylommatophora)	钻头螺科(Subulinidae)	2	2	-		
		基眼目(Basommatophora)	树螺科(Helicinidae)	14	13	-		
		鳞翅目幼虫(Lepidoptera larvae)		29	22			
鞘翅目幼虫(Coleoptera larvae)		16	13					
合计(Sum)				2513	2012			

注：+++表示优势类群；++表示常见类群；+表示稀有类群。

2.2 大型土壤动物类群和数量

图3表示大型土壤动物类群、密度、多样性和生物量在有边坡防护林和无防护林农田中的变化情况。从图3A可以看出，土壤动物类群数在有边坡防护林的RS和MS中分别明显高于无防护林的RF和MF ($F_{1, 34} = 8.983, P = 0.005$, $F_{1, 34} = 7.093, P = 0.012$)。大型土壤动物密度表现为RS>RF ($F_{1, 34} = 22.464, P < 0.001$)和MS>MF ($F_{1, 34} = 11.794, P = 0.002$ ；图3B)。RS、RF、MS和MF中土壤动物多样性指数分别为2.24、1.85、2.14和1.95，且RS和RF之间、MS和MF之间均达到显著性差异 ($F_{1, 34} = 14.138, P = 0.001$, $F_{1, 34} = 8.762, P = 0.006$)，而RS和MS之间、RF和MF之间不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。大型土壤动物生物量同样表现为有防护林的

农田(RS和MS)明显大于无防护林农田(RF和MF)。

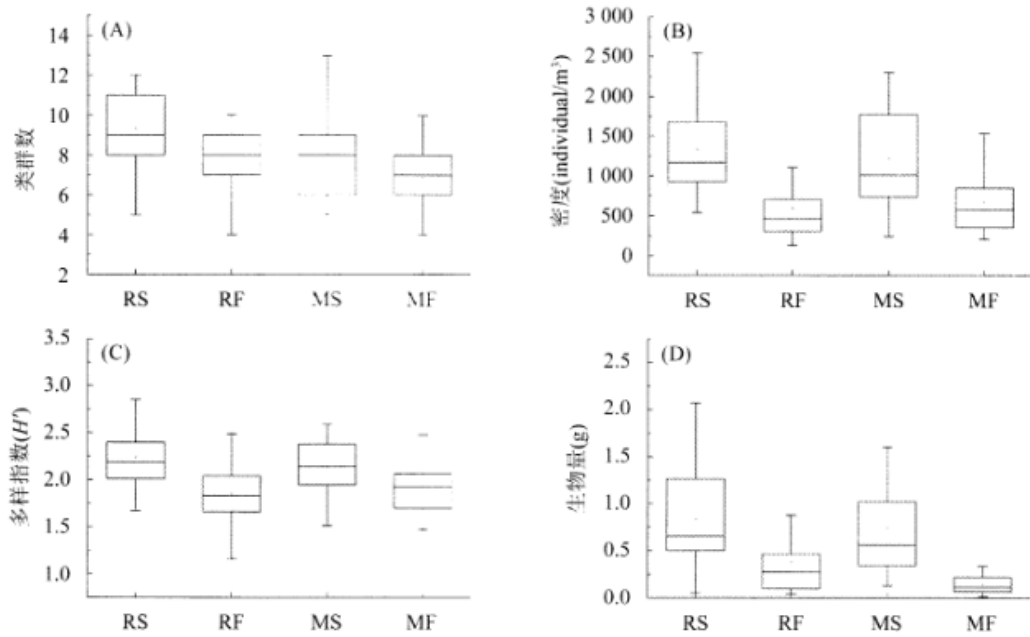


图3 防护林对大型土壤动物类群数(A)、密度(B)、多样性(C)和生物量(D)的影响

Fig.3 Effects of Shelterbelt on Group Number (A), Density (B), Diversity (C) and Biomass (D) of Soil Macrofauna

RS: 有边坡防护林的油菜地; RF: 无边坡防护林的油菜地; MS: 有边坡防护林的玉米地; MF: 无边坡防护林的玉米地

RS Rape Fields with Shelterbelt; RF Rape Fields without Shelterbelt; MS Maize Fields with Shelterbelt; MF Maize Fields without Shelterbelt

2.3 大型土壤动物空间分布

2.3.1 大型土壤动物密度

在油菜地和玉米地内, 土壤动物密度最大值出现在边坡防护林最近土壤中(RS0和MS0; 图4)。每立方米土壤中的土壤动物个体数明显随距防护林距离增加而减少(图4A: $F_{3, 32}=10.238, P<0.001$; 图4B: $F_{3, 32}=5.232, P=0.005$)。而在无防护林的农田中, 农田中心(RF5和MF5)和农田边缘(RF0和MF0)之间不存在显著差异。

表3为常见大型土壤动物在离边坡防护林远近的变化情况。可以看出, 大部分大型土壤动物密度表现为随着离边坡防护林的距离增加而减少, 且其密度减少程度达到了显著水平($P<0.05$, 表3)。而在无防护林农田中, 较多的大型土壤动物仍表现为农田边缘(RF0、MF0)密度大于农田中央(RF5、MF5), 但其差异性不显著($P>0.05$, 表3)。所有常见大型土壤动物中, 铗科(Japygidae)、地么蚣科(Geophilellidae)、生圆马陆科(Sphaeropoeidae)和跳蛛科(Salticidae)的密度随离防护林距离的增加呈增加的趋势, 即在农田中央的密度高于农田边缘, 这可能与其生活习性及其生境喜好有关^[13]。

表 3 常见大型土壤动物密度

Tab.3 Density (individuals/m³) of Major Soil Macrofauna Families in Farmlands

科(Family)	油菜地						玉米地					
	RS0	RS5	RF0	RF5	F _{3,32}	P	MS0	MS5	MF0	MF5	F _{3,32}	P
蚊科 (Formicidae)	273.3(54.4)a	157.8(86.2)b	193.6(36.8)b	165.1(71.0)b	3.915	0.017	228.6(80.7)a	157.9(56.3)b	168.4(64.9)b	149.2(47.3)b	3.714	0.024
小甲虫科 (Mycetophagidae)	14.6(5.1)a	2.1(0.7)b	7.5(3.5)b	5.9(2.4)b	3.109	0.04	16.0(6)a	4.2(1)b	3.3(2)b	5.0(3)b	5.39	0.004
蟋蟀总科 (Grylloidea)	30.0(4.4)a	2.4(0.5)c	11.5(3.6)b	7.7(2.0)b	3.416	0.029	18.5(2.6)a	4.9(2.0)c	9.9(1.6)b	3.1(1.9)c	4.314	0.009
铁科 (Japygidae)	45.4(23.8)b	116.2(23.1)a	78.3(21.7)ab	123.8(49.3)a	5.253	0.005	83.2(19.4)b	115.2(33.3)ab	67.2(13.8)b	94.4(33.7)a	3.027	0.044
蛙总科 (Tetrigoidea)	7.0(2.1)a	2.4(0.5)b	3.9(1.1)ab	2.3(0.7)b	3.091	0.045	8.3(4.6)	2.8(1.0)	4.2(2.1)	3.0(1.1)	ns	ns
缩螋科 (Spongiphoridae)	6.2(0.9)ab	10.8(4.2)a	4.8(0.8)b	6.5(2.2)ab	3.205	0.037	1.6(0.3)b	8.0(1.7)ab	4.8(0.9)ab	9.6(2.6)a	3.114	0.038
地玄蛭科 (Geophilidae)	46.8(5.7)b	180.2(65.1)a	73.9(21.8)b	164.7(43.5)a	14.061	<0.001	80.0(20)b	212.8(46)a	78.4(24)b	147.2(31)ab	3.879	0.017
鼠妇虫科 (Porcellionidae)	5.3(0.7)	0.6(0.2)	4.7(1.2)	0.3(0.1)	ns	ns	3.2(1.0)	1.0(1.0)	1.6(0.9)	1.6(0.9)	ns	ns
生圆马陆科 (Sphaeropocidae)	4.1(2.4)	9.7(3.7)	5.3(3.0)	11.4(4.6)	ns	ns	1.8(1.0)	5.3(2.1)	3.6(2.4)	6.4(2.1)	ns	ns
蜈蚣科 (Scolopendridae)	12.4(2.7)a	3.7(1.1)b	4.1(1.1)b	4.5(1.7)b	4.211	0.011	4.8(1.1)	1.6(0.4)	1.6(0.7)	0(0)	ns	ns
地蜈蚣科 (Geophilidae)	64.6(10.1)a	29.5(7.8)b	34.0(10.5)b	27.4(9.1)b	11.714	<0.001	60.8(24.4)a	29.2(7.0)b	49.2(22.3)ab	9.9(3.7)c	3.441	0.027
跳蛛科 (Salticidae)	17.5(7.0)b	34.8(3.9)a	15.7(9.5)b	27.9(8.4)ab	3.827	0.019	12.3(2.8)b	33.3(7.7)a	16.7(2.6)b	19.4(3.3)ab	3.106	0.037
狼蛛科 (Lycosidae)	44.1(6.7)a	31.0(5.0)b	38.4(8.7)ab	25.3(4.9)c	3.751	0.02	25.6(4.9)a	16.0(7.3)b	17.4(6.4)b	14.6(5.5)b	4.677	0.008
后孔寡毛目 (Opisthopora)	866.6(153.1)a	592.8(112.7)b	378.4(97.6)bc	195.6(47.3)c	8.268	<0.001	502.4(99.9)a	292(15.6)b	497.6(43.3)ab	159.2(24.7)b	15.475	<0.001
树螺科 (Helicinidae)	8.8(4.0)	4.0(1.8)	6.9(4.7)	5.2(2.2)	ns	ns	3(1)	2(1)	2(1)	2(1)	ns	ns
鳞翅目幼虫 (Lepidoptera larvae)	12.1(6.7)	13.2(5.1)	10.9(3.8)	14.6(5.6)	ns	ns	8.7(2.4)	9.6(3.1)	9.9(4.0)	11.5(2.5)	ns	ns
鞘翅目幼虫 (Coleoptera larvae)	5.3(2.7)	8.7(3.5)	7.1(4.3)	7.7(5.3)	ns	ns	4.9(1.7)	6.1(3.6)	5.7(2.2)	6.4(2.9)	ns	ns

注：同一行数据后不同字母表示差异显著(P<0.05)，ns表示组间差异不显著。(下同)

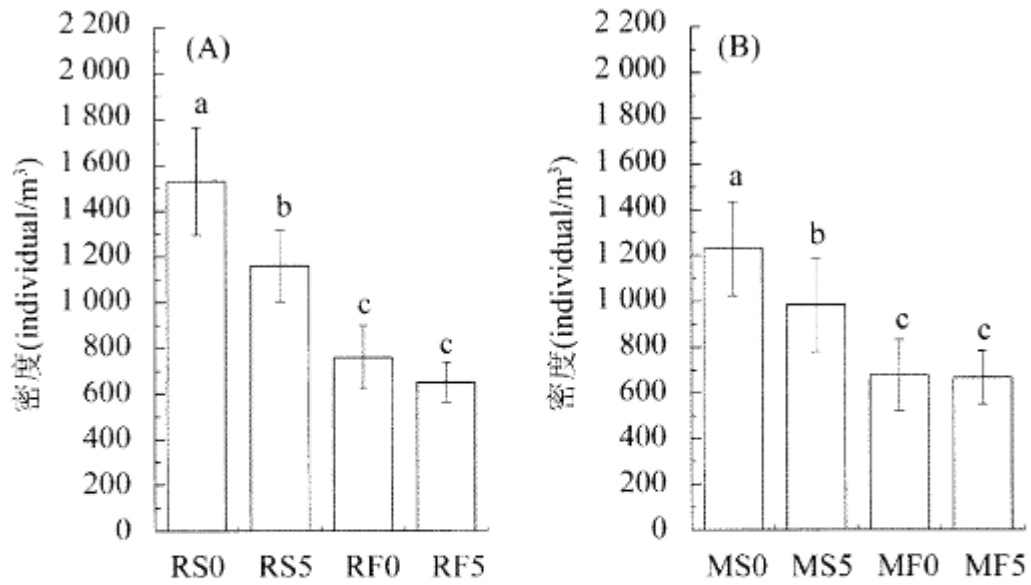


图 4 大型土壤动物的密度(A: 油菜地; B: 玉米地)

Fig.4 Mean Density of Macrofauna (A: Rape Farmland; B: Maize Farmland)

注: 不同小写字母表示处理间存在显著性差异, $P < 0.05$

2.3.2 大型土壤动物多样性

单因素方差分析得出, 不同处理大型土壤动物类群数在油菜地和玉米地中均达到显著性水平($P < 0.05$; 表4)。其中油菜地和玉米地中土壤动物类群数最大值出现在靠近防护林土壤中(RS0、MS0), 平均值分别为10.33和8.40。而在离防护林较远的农田中央的RS5和MS5, 土壤动物科数目分别明显低于RS0和MS0($P < 0.05$)。当农田没有边坡防护林时, 虽然农田边缘土壤动物科数目多于农田中央土壤中, 但不存在显著差异($P > 0.05$; 表4)。边坡防护林对农田中大型土壤动物多样性的影响明显(表4), 防护林0m处(RS0和MS0)多样性指数(H')明显高于5 m(RS5和MS5)。而无防护林农田中不同距离处土壤动物多样性指数(H')不存在显著差异($P > 0.05$)。

表 4 大型土壤动物的类群数、多样性和均匀度

Tab.4 Number of Family, Diversity and Evenness of Soil Macrofauna

处理	科	多样性(H')	均匀度(E)
RS0	10.33(0.62)a	2.37(0.11)a	0.68(0.04)b
RS5	8.56(0.44)b	2.11(0.07) b	0.77(0.03)a
RF0	7.56(0.65)bc	1.97(0.13)bc	0.64(0.03)b
RF5	6.33(0.60)c	1.74(0.07)c	0.63(0.03)b
$F_{3,32}$	7.85	7.453	4.279
P	<0.001	0.001	0.012
MS0	8.40(0.34)a	2.24(0.08)a	0.76(0.04)
MS5	7.90(0.11)b	2.02(0.09)b	0.73(0.02)
MF0	7.10(0.48)bc	1.94(0.13)bc	0.70(0.02)
MF5	6.40(0.40)c	1.77(0.06)c	0.68(0.04)
$F_{3,32}$	3.086	6.048	ns
P	0.039	0.002	ns

2.3.3 大型土壤动物生物量

大型土壤动物生物量总体表现为有边坡防护林农田中大于无防护林的农田中。在有边坡防护林的农田中，土壤动物生物量最大值分别出现在RS0和MS0，但与农田中央(RS5和MS5)之间不存在显著性差异($P>0.05$)，图5A、B)。而无防护林农田中各样方大型土壤动物生物量没有显著性差异(图5)。

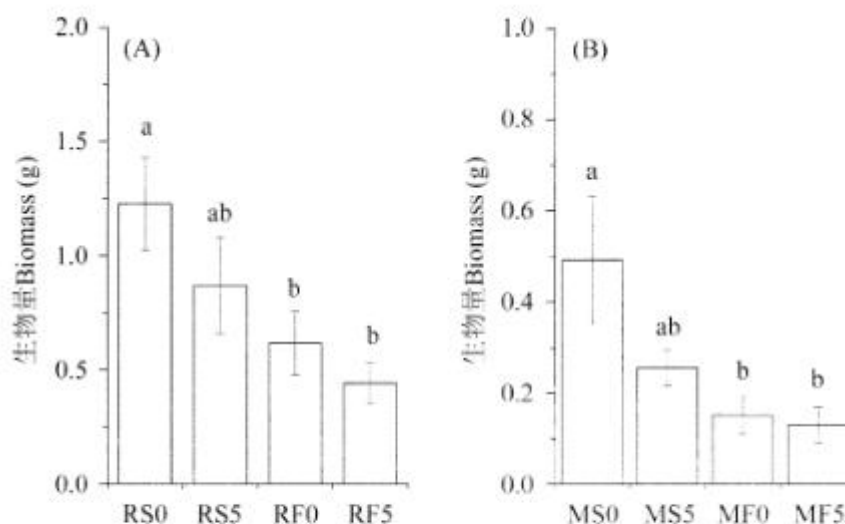


图5 大型土壤动物的生物量(A: 油菜地; B: 玉米地)

Fig.5 Biomass of Soil Macrofauna(A: Rape Farmland; B: Maize Farmland)

2.3.4 大型土壤动物功能群

植食性、捕食性和腐食性土壤动物密度最大值出现在RS0和MS0，且明显高于其他几个样方($P<0.05$)；图6)。而在无防护林农田中，捕食性和腐食性土壤动物密度在RF0和RF5、MF0和MF5之间差异显著($P<0.05$)，但植食性土壤动物在RF0和RF5、MF0和MF5之间差异不显著($P>0.05$)。说明边坡防护林的存在明显地改变了农田中植食性土壤动物的密度变化。此外，杂食性土壤动物密度最大值分别出现在RF0和MF0，且处理间无显著差异($P>0.05$)，说明防护林对杂食性土壤动物影响甚微。如从PCA分析可以看出，植食性的小草甲科、蟋蟀总科，捕食性的蜈蚣科、地蜈蚣科、狼蛛科以及腐食性的正蚓科等土壤动物较多地分布在边坡防护林处，明显地与RS0和MS0呈正相关关系(图7)。

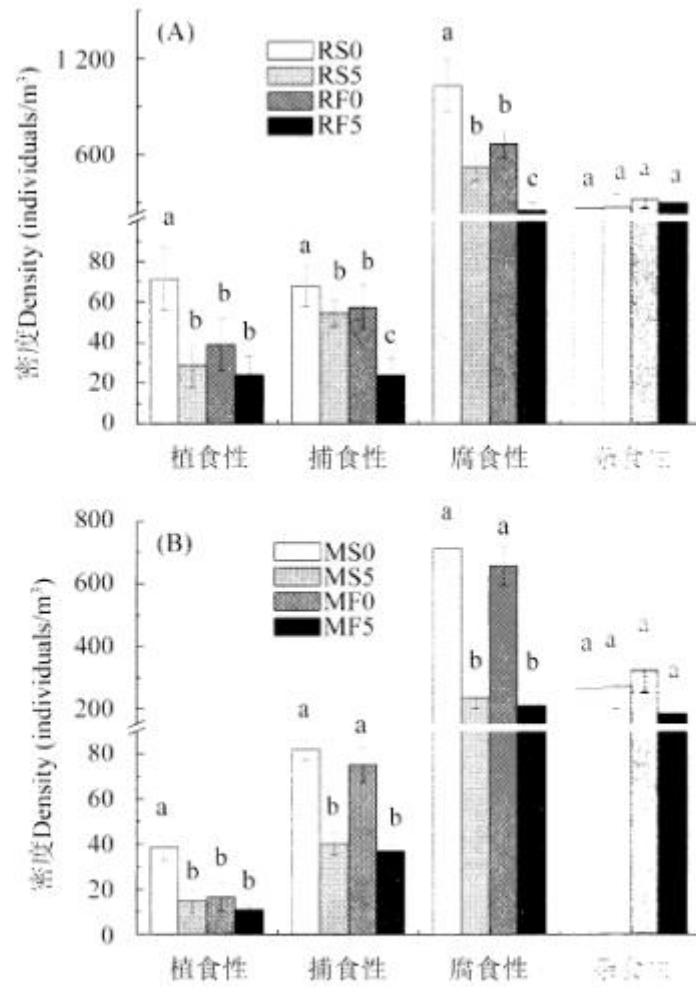


图 6 农田大型土壤动物的密度功能群变化(A: 油菜地; B: 玉米地)

Fig.6 Density (individuals/m³) of Functional Groups of Soil Macrofauna in Rape and Maize Fields(A: Rape Farmland; B: Maize Farmland)

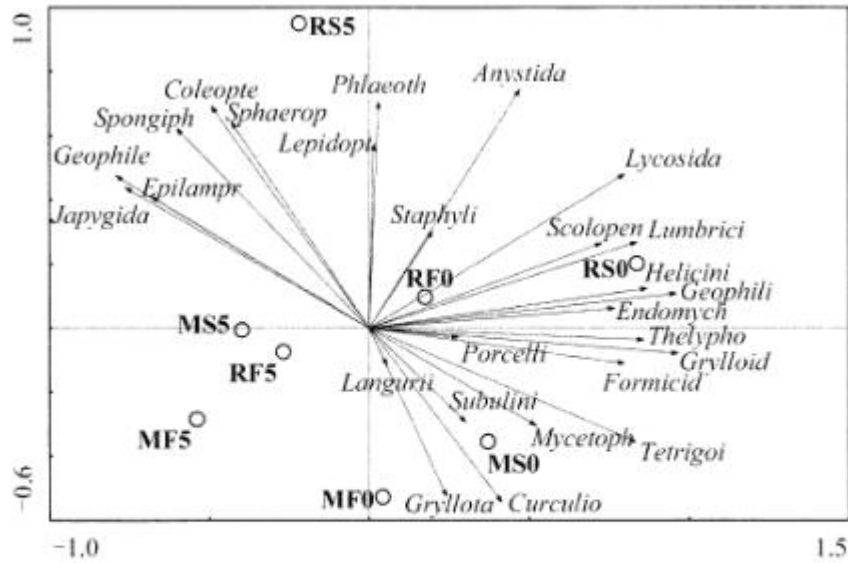


图7 大型土壤动物群落主成分分析图

Fig.7 PCA of Macrofauna Community Based on $\log(a+1)$ Abundances of all Taxa among Plots

3 讨论

土壤动物是陆地生态系统重要组成成分，对系统物质循环和能量流动有重要的调节作用。同时，土壤动物对环境的变化表现得非常敏感^[18]。本文研究结果显示，柏木防护林能明显促进相邻农田中土壤动物的类群数、密度、多样性和生物量。这可能与防护林对相邻农田环境及土壤性质的改善紧密相关。以往研究表明，杨树防护林明显改善了科尔沁沙地相邻农田的土壤理化性质^[19]。柏木防护林有增加川中丘陵区农田有机碳和微生物生物量碳的作用^[11]。而土壤养分含量越高，土壤动物数量增加越明显^[6, 20]。因此就生物多样性保护角度而言，在土地利用程度逐渐强烈和栖息地逐渐消失的现状下，以防护林和农田构成的农林复合生态系统比单纯农田生态系统更具有生物多样性保护的优势^[9]。

在农田的水平尺度上，随着与防护林距离的增加，大型土壤动物类群数、多样性及密度明显减少，说明随着距离的增加，防护林对农田土壤动物的影响逐渐减弱。相比农田中央，越接近防护林土壤动物栖息环境越复杂、异质性越高，主要表现在地上植物多样性明显提高。由于防护林和农田的交错带中不仅有种植的农作物，而且防护林内灌草也向交错带入侵^[21]，所以较高的空间异质性不仅为植食性土壤动物提供不同的食物资源种类，而且为其他不同功能群的土壤动物提供捕食和庇护场所。

从不同功能群角度看，川中丘陵区柏木边坡防护林明显地增加了农田中被誉为“生态系统工程师”的蚯蚓与蚂蚁的数量，这对土壤结构改善和土壤养分的起关键作用。一方面，通过土壤动物的地下活动导致土壤“地下隧道”网络的发展，增加土壤孔隙度和水分入渗，增加团聚体含量^[22]。另一方面，蚂蚁等土壤动物不仅是碎屑食物链中的消费者，更重要的是在取食过程中对有机质的破碎作用。这一定程度上加速了有机物质的分解和养分的循环。但在边坡防护林附近农田中，部分植食性土壤动物也表现出较高的密度。以上结果与环境异质性有关外，还与植食性昆虫的本身生活习性有关。较多的植食性昆虫似乎对农作物造成危害，但本研究仍然发现在边坡防护林旁农田中，捕食性土壤动物密度也明显增加。这个结果与Unsicker等^[23]研究结果一致。说明较高的天敌群体能有效控制植食性昆虫种群密度从而抑制其爆发。

随着土地利用强度的逐渐增加，农业生态系统和其它陆地生态系统相比具有较低的生物多样性。川中丘陵区边坡防护林建

设不仅具有生物多样性保护作用,而且具有已经被较多研究证实的保持水土^[24]、改良土壤^[11]等生态效应。但川中丘陵区目前存在大面积的柏木纯人工林,其对相邻农田的生态效应范围有限。因此,对现有纯柏木边坡防护林的改造有待于深入研究。

4 结论

(1)川中丘陵区旱地土壤动物优势类群有正蚓科、蚁科和地氐蛭科;常见类群有铗科、蟋蟀总科、地蜈蚣科、大赤螨科、狼蛛科和跳蛛科。

(2)与无边坡防护林的农田相比,柏木边坡防护林促进了相邻农田中土壤动物类群数、密度、多样性和生物量。

(3)边坡防护林明显增加了植食性、捕食性和腐食性土壤动物数量,但对杂食性大型土壤动物数量影响不明显。

(4)随着距离的增加,柏木边坡防护林对相邻农田大型土壤动物的影响作用逐渐减弱。

参考文献:

[1] DE BARROS FERRAZ S F, VETTORAZZI C A, THEOBALD D M, et al. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 204(1): 69 - 85.

[2] HUERTA E, VAN DER WAL H. Soil macroinvertebrates' abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover[J]. European Journal of Soil Biology, 2012, 50: 68 - 75.

[3] BRUSSAARD L, CARON P, CAMPBELL B, et al. Reconciling biodiversity conservation and food security: scientific challenges for a new agriculture[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2010, 2(1/2): 34 - 42.

[4] NOBLE J C, WHITFORD W G, KALISZWESKI M. Soil and litter microarthropod populations from two contrasting ecosystems in semiarid eastern Australia[J]. Journal of Arid Environments, 1996, 32(3):329 - 346.

[5] MARICHAL R, GRIMALDI M, FEIJOO M A, et al. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia[J]. Applied Soil Ecology, 2014, 83: 177 - 185.

[6] AYUKE F O, PULLEMAN M M, VANLAUWE B, et al. Agricultural management affects earthworm and termite diversity across humid to semi-arid tropical zones[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, 140(1/2): 148 - 154.

[7] CURRY J P, BYRNE D, SCHMIDT O. Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land[J]. European Journal of Soil Biology, 2002, 38(2): 127 - 130.

[8] 范志平, 曾德慧, 朱教君, 等. 农田防护林生态作用特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 130 - 133, 140.

[9] RAHMAN P M, VARMA R V, SILESHI G W. Abundance and diversity of soil invertebrates in annual crops, agroforestry and forest ecosystems in the Nilgiri biosphere reserve of Western Ghats, India[J]. Agroforestry Systems, 2012, 85(1):

165 - 177.

- [10] 朱 波, 彭 奎, 高美荣, 等. 川中丘陵区土地利用变化的生态环境效应——以中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站集水区为例[J]. 山地学报, 2001, 19(S1): 14 - 19.
- [11] 李亚琴, 李 梁, 黄 蓉, 等. 川中丘陵区边坡防护林对农田土壤有机碳的影响——以盐亭县为例[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(3): 255 - 259.
- [12] 罗怀良, 王慧萍, 陈 浩. 川中丘陵地区近25年来农田土壤有机碳密度变化——以四川省盐亭县为例[J]. 山地学报, 2010, 28(2): 212 - 217.
- [13] 尹文英. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [14] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [15] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [16] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231 - 239.
- [17] FROUZ J. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1999, 74(1/3): 167 - 186.
- [18] WICKINGS K, GRANDY A S. Management intensity interacts with litter chemistry and climate to drive temporal patterns in arthropod communities during decomposition[J]. Pedobiologia, 2013, 56(2): 105 - 112.
- [19] 王永芳, 包慧娟, 海春兴, 等. 防护林对科尔沁沙地耕地土壤理化性质的影响[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 1009 - 1013.
- [20] 鲍毅新, 程宏毅, 葛宝明, 等. 不同土地利用方式下大型土壤动物群落对土壤理化性质的响应[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2007, 30(2): 121 - 127.
- [21] OLECHOWICZ E. Soil and litter macrofauna in shelterbelts and in adjacent croplands: changes in community structure after tree planting[J]. Polish Journal of Ecology, 2007, 55(4): 647 - 664.
- [22] PAULI N, BARRIOS E, CONACHER A J, et al. Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual Slash-and-Mulch Agroforestry System, western Honduras[J]. Applied Soil Ecology, 2011, 47(2): 119 - 132.
- [23] UNSICKER S B, BAER N, KAHMEN A, et al. Invertebrate herbivory along a gradient of plant species diversity in extensively managed grasslands[J]. Oecologia, 2006, 150(2): 233 - 246.
- [24] 梅盛德, 赵 亮. 川中丘陵区防护林水土保持能力研究[J]. 四川林勘设计, 1996(2): 24 - 32.