

三江平原农田地表和地下土壤螨群落空间自相关性研究*

高梅香^{1,2} 刘冬² 吴东辉^{2†} 张雪萍¹

(1 黑龙江省高校地理环境与遥感监测重点实验室(哈尔滨师范大学), 哈尔滨 150025)

(2 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102)

摘要 多尺度空间自相关性是土壤动物空间异质性和空间共存格局研究的重要基础。在中国科学院三江平原沼泽湿地生态实验站的农田内, 以 5 m 为步长设置一个 50 m × 50 m 的样地, 结合全局 Moran's *I* 和局部 Moran's *I* 指数, 研究地表、地下和地表—地下土壤螨群落多尺度空间自相关性特征。结果表明, 地表和地下土壤螨群落的物种数量和平均密度均有显著差异。全局空间自相关性结果表明, 除了地表螨群落, 地下螨群落平均密度在 8 月(35 ~ 40 m) 和 10 月(5 ~ 30 m)、地表—地下螨群落平均密度在 8 月(5 ~ 10 m 和 35 ~ 45 m) 和 10 月(5 ~ 35 m) 均有显著的多尺度全局空间自相关性, 土壤螨群落中数量较多的优势和常见类群易形成明显的多尺度全局空间自相关性。局部空间自相关性结果表明, 地表、地下和地表—地下螨群落及所有螨类的平均密度均存在显著的局部空间自相关性, 形成“斑块”和“孔隙”并存的水平分布格局。本研究表明, 多尺度全局空间自相关性是地下和地表—地下土壤螨群落的重要特征, 群落和物种的平均密度均在局部地区形成“斑块”和“孔隙”并存的的水平分布格局。

关键词 空间自相关性; 多尺度; 地表螨群落; 地下螨群落; 地表—地下螨群落; 三江平原

中图分类号 P935 **文献标识码** A

土壤动物具有显著的空间分布格局, 研究土壤有机体的空间分布格局及其驱动因子是近年来土壤动物生态学的中心课题^[1]。然而土壤动物在一定范围内的空间分布常常表现出空间自相关性, 即彼此接近的样点较远离的样点具有更大的相似性^[2]。采用常规研究方法(如 ANOVA, 相关分析和回归分析)来检验统计假设时, 当存在正的空间自相关性时标准误差常常被低估, 会引起统计分析中第一类误差的产生^[3-4]。因此, 识别土壤动物的空间自相关性特征, 是准确揭示土壤动物空间异质性和空间共存格局的重要前提。

土壤动物的空间自相关性依赖于空间尺度, 不同尺度条件下的空间自相关性特征可能是不同的。土壤动物在 <100 m 的野外尺度很少空间独立^[5]。目前有很多研究致力于揭示不同尺度条件下土壤动物的空间特征, 如 Jiménez 等^[6]在 50 m × 50 m 的

空间幅度内, 以 5.8 m 为步长, 对不同尺度条件下蚯蚓的空间自相关性进行了分析; Gutiérrez-López 等^[7]在 112 m × 84 m 的空间幅度内, 以 16 m × 14 m 为最小单元, 对螨类和跳虫的空间自相关性进行了分析, 但综合地表和地下土壤动物群落多尺度空间自相关性的研究较少。在局地尺度(local scale), 地表和地下交互作用是生态系统属性的重要驱动因子, 对地表和地下群落的研究有利于促进生物多样性调节和功能维持的研究^[8]。因此, 揭示地表和地下土壤动物群落多尺度空间自相关性特征, 会促进地表和地下土壤动物群落空间格局的进展, 并为地表和地下土壤动物群落生物多样性维持机制和功能作用的研究奠定基础。

我国土壤动物空间生态学研究已久, 对土壤动物的生态地理分布进行了广泛的调查研究^[9], 但仍缺少地表和地下土壤动物空间自相关性的研究。

* 国家自然科学基金项目(41101049, 40601047, 41201245, 31101617)、中国博士后科学基金面上项目(2012M511361)和哈尔滨师范大学青年学术骨干资助计划项目(KGB201204)资助

† 通讯作者, E-mail: wudonghui@neigae.ac.cn

作者简介: 高梅香(1980—), 山东省高青县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤动物空间生态学和群落生态学研究。E-mail: gmx102@hotmail.com

收稿日期: 2013-10-13; 收到修改稿日期: 2014-01-03

本文以三江平原农田生态系统为研究区,在 50 m × 50 m 的空间幅度内,以 5 m 为步长,通过全局空间自相关和局部空间自相关指数相结合的方法,研究地表、地下和地表—地下土壤螨群落的多尺度空间自相关性特征,为地表和地下土壤动物空间异质性和空间共存机制的研究打下基础。

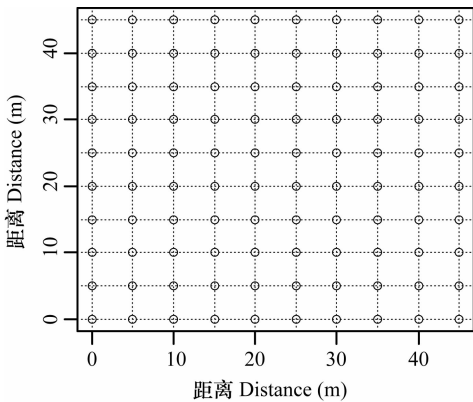
1 材料与方法

1.1 研究区概况

三江平原位于黑龙江省东部,包括完达山以北的松花江、黑龙江和乌苏里江冲积形成的低平原和完达山以南乌苏里江支流与兴凯湖形成的冲—湖积平原,是中国最大的淡水沼泽湿地集中分布区,现在已经成为重要的粮食生产基地。试验在中国科学院三江平原沼泽湿地生态实验站内进行(133° 31' E, 47° 35' N),研究区属温带大陆性季风气候区,年均气温 1.9 °C,年均降水量约 600 mm,降水集中在 7—9 月,土壤为草甸沼泽土、腐殖质沼泽土、泥炭沼泽土、潜育白浆土和草甸白浆土。

1.2 样地设置与野外调查方法

实验样地设置在沼泽湿地开垦的大豆地内,土壤类型为白浆土,具 30 a 以上的开发历史,实验当年作物类型为大豆。在远离排水沟的中心区域,选择一块 50 m × 50 m 的样地,将样地以 5 m 为间隔等间距划分为 100 个 5 m × 5 m 的小样方,来揭示地表、地下和地表—地下土壤螨群落空间自相关性特征(图 1)。样方设置完毕,在每个网格样方内,以左下角网格线交叉点为中心,以 15 cm 为半径,用土钻随机采集 4 个土柱(内径 7 cm,深度 10 cm)作为



注:图中空心圆为空间采样点 Note: The hollow circulars

represent the sampling sites

图 1 野外调查示意图

Fig. 1 A sketch map of field survey

一个空间采样点获得地下土壤螨群落。然后在相同的空间范围内随机布置 3 个陷阱(内径 33 mm,高度 54 mm),内置醋和糖(诱捕)以及酒精(防腐)来获得地表土壤螨群落,将陷阱放置于野外 3 d。野外样品于 2011 年 8 月和 10 月进行采集,地下土壤螨类样品回到室内采用 Tullgren 干漏斗法进行分离,分离结束后显微镜下鉴定种类并计数。

1.3 数据处理分析

陷阱法和土钻法获得的地表和地下螨群落^[10-11]基本鉴定到种^[12-15],鉴定时成虫和若虫分开计数,在所有的分析过程中仅考虑成年个体^[10,16]。重复测量数据方差分析(对数转换后的数据)比较不同月份及地表和地下土壤螨群落物种数量和平均密度的差异显著性,单因素方差分析比较 8 月和 10 月地表—地下土壤螨群落物种数量和平均密度的差异显著性,软件平台选择 SPSS 19.0。

全局 Morans' I 指数判断群落是否存在全局空间自相关性特征,表达式如下:

$$I(d) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (1)$$

式中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$; n 为参与分析的土壤螨样品的数目; x_i 和 x_j 分别为样品 i 和样品 j 的观测值; \bar{x} 为所有样品观测值的平均值; W_{ij} 为空间权重矩阵值,表示空间单元 i 和 j 的空间关系,当空间单元 i 和 j 为邻近的空间单元时, $W_{ij} = 1$,反之 $W_{ij} = 0$ 。在空间随机分布零假设下, I 的预期值 $E(I) = -1/(n-1)$ 。当被检验样本足够多时, $E(I)$ 接近于 0。Moran's I 的值域为 $[-1, 1]$, Moran's I 值为 0 时,代表种群不存在空间自相关性; Moran's I 值大于 0,说明全局自相关性是正相关,小于 0 为负相关关系。正空间自相关代表相邻空间具有相似的特征或属性,负空间自相关则表示相邻空间具有不同的属性或特征。Moran's I 偏离预期值的显著程度采用标准正态偏差法检验。

局部 Moran's I 指数判断局部区域是正相关还是负相关以及相关程度,公式如下:

$$I_i(d) = \frac{1}{S^2} (x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (2)$$

式中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, 在完全随机的假定下, I_i 的理论平均值为 $E(I_i) = -W_i/(n-1)$ 。局部空间

自相关指标结合 Lisa 聚类图,将土壤螨空间分布划分为 5 种类型:“高一高”、“低—低”为空间聚集 (Spatial clusters),表示高高相邻或低低相邻,即某观测点自身和该观测点周围其他观测点的螨类密度均较高或较低,同一聚集类型中土壤螨类密度的空间差异程度显著较小;“高一低”、“低—高”为空间孤立 (Spatial outliers),表示高低相邻,即某观测点自身土壤螨类密度较高(或较低),而该观测点周围其他观测点的土壤螨类密度较低(或较高),同一聚集类型中土壤螨类密度的空间差异程度显著较大;“不显著”表示某观测点与其周围观测点的土壤螨类密度空间差异不显著。

全局 Moran's I 指数和局部 Moran's I 指数在 Geoda 1.0.0 软件平台上实现 (<http://geodacenter.asu.edu/software/downloads>)。

2 结 果

2.1 土壤螨群落的统计特征

本次调查共捕获土壤螨 12 种,在地表和地下螨群落,8 月和 10 月捕获的土壤螨种类数 ($F = 448.81, p < 0.001, n = 100$) 和平均密度 ($F = 295.14, p < 0.001, n = 100$) 均有显著差异。地表和地下螨群落的种类数 ($F = 2241.79, p < 0.001, n = 100$) 和平均密度 ($F = 632.95, p < 0.001, n = 100$) 均有显著差异(表 1)。8 月地表—地下土壤螨物种数量明显多于 10 月 ($F = 17.82, p < 0.001, n = 100$),而平均密度明显少于 10 月 ($F = 6.18, p = 0.014, n = 100$)。

2.2 全局空间自相关性

将 Global Moran's I 指数与步长相结合,便可得到群落平均密度的多尺度空间自相关变化。8 月和 10 月地表螨群落在整个研究尺度内均没有显著的全局空间自相关性。地下螨群落,8 月在 35~40 m 为显著的负的空间自相关性;10 月,在 5~30 m 为显著的正的空间自相关。地表—地下螨群落,8 月在 5~10 m 为显著的正的空间自相关,35~45 m 为显著的负的空间自相关;10 月在 5~35 m 为显著的正的空间自相关。地表、地下和地表—地下螨群落,除了华端三甲螨 (*Acrotritria sinensis* Jocat)、中气门亚目未识别 (*Mesostigmata unknwn* sp. 1) 和中气

门亚目未识别 (*Mesostigmata unknwn* sp. 2),其他螨类在 8 月和 10 月分别在不同的尺度上表现出显著的全局空间自相关性(表 2)。

2.3 局部空间自相关性

地表螨群落,8 月在样方的左下部区域存在两个零散的“高一高”聚集区;至 10 月,这两个斑块消失,在样方的右上部形成一个较小的“高一高”聚集区。8 月分别在样方的左上角和左下角形成一个较大和较小的“低—低”聚集区;至 10 月,左上角的斑块消失,左下角的斑块扩大且向右拓展,同时在样方近中心区域新增一个“低—低”聚集区。8 月“低—高”和“高一低”空间孤立区离散的分布在样方内,至 10 月,这些空间孤立区的位置和大小有所变化(图 2A,图 2B)。

地下螨群落,8 月存在一个明显的“高一高”聚集区,位于样方的左侧偏上部区域;至 10 月该斑块偏移至样方的近中心区域,且面积明显扩大。8 月存在 3 个明显的“低—低”聚集区,分别位于样方的左上部、左下角和右上部;至 10 月,左上部聚集区仍保留在原有区域附近,左下角和右上部的聚集区消失;在样方的下部近中心区域新形成一个面积较大、延伸较长的“低—低”聚集斑块。8 月仅离散的分布着“高一低”空间孤立区,至 10 月,这些孤立区退缩;仅 10 月存在“低—高”空间孤立区,分布于样方上部偏中心和样方近中心区域(图 2C,图 2D)。

地表—地下螨群落,8 月存在“高一高”、“低—低”聚集斑块和“高一低”、“低—高”空间孤立区斑块,至 10 月,这些斑块的大小和空间位置均有变化。

局部空间自相关性指数表明,8 月尖棱甲螨属 (*Punctoribates* sp.) 在地表(图 3A)、地下(图 3C)和地表—地下群落中,均存在显著的“高一高”和“低—低”聚集区斑块;至 10 月,在地表(图 3B)、地下(图 3D)和地表—地下群落中的聚集区斑块的空间位置和分布范围有所变化。8 月和 10 月尖棱甲螨属 (*Punctoribates* sp.) 的“低—高”和“高一低”空间孤立区离散的分布在样方内(图 3)。其他螨类在地表、地下和地表—地下螨群落中均有显著的局部空间自相关性($p < 0.05$),从 8 月至 10 月,存在显著的“高一高”和/或“低—低”聚集区,同时伴随着“高一低”和/或“低—高”空间孤立区斑块。

表 1 土壤螨统计特征
Table 1 Statistical characteristics of mite communities

物种 Species	地表螨群落 Aboveground mite community			地下螨群落 Belowground mite community		
	8 月 August		10 月 October	8 月 August		10 月 October
	均值 Mean	密度百分比 Percentage in density(%)	均值 Mean	密度百分比 Percentage in density(%)	均值 Mean	密度百分比 Percentage in density(%)
尖梭甲螨属 <i>Punctoribates</i> sp.	7 292 ± 4 983	84.89	24 ± 114	8.33	2 327 ± 1 476	14.97
长刀小盾蛛甲螨属 <i>Suctobelbella</i> sp.	890 ± 1 638	10.36	12 ± 91	4.17	2 936 ± 2 367	18.89
盖甲螨属 <i>Tectocephus</i> sp.	98 ± 299	1.14	NF	NF	6 579 ± 4 909	42.33
甲螨亚目 <i>Areozetes</i> sp.	82 ± 356	0.95	16 ± 100	5.56	597 ± 2 264	3.84
华端三甲螨 <i>Acrotritia sinensis</i> Jocat, 1923	NF	NF	NF	NF	2 ± 20	0.01
上洛甲螨属 <i>Epilohmannia</i> sp.	NF	NF	NF	NF	1 ± 12	0.01
厉螨科 <i>Laelapidae</i> sp.	123 ± 359	1.43	28 ± 120	10.07	2 666 ± 1 731	17.15
缓螨科 <i>Sejidae</i> sp.	36 ± 132	0.42	NF	NF	252 ± 243	1.62
坎盲走螨属 <i>Kampinodromus</i> sp.	8 ± 58	0.09	NF	NF	5 ± 18	0.03
中气门亚目未识别 <i>Mesostigmata</i> unknown sp. 1	45 ± 175	0.52	207 ± 207	71.88	176 ± 205	1.13
中气门亚目未识别 <i>Mesostigmata</i> unknown sp. 2	4 ± 41	0.05	NF	NF	NF	NF
前气门亚目未识别 <i>Prostigmata</i> unknown sp.	12 ± 91	0.14	NF	NF	NF	NF
物种数 Number of species	10		5		10	
平均密度 Mean density	8 590		288		15 541	

注: NF, 未发现。数据来自每个群落的 100 个采样点 Note: NF indicates not found. Data come from 100 sampling sites of each community

表 2 部分螨类在地表和地下螨群落的多尺度全局空间自相关性
Table 2 Multi-scale global Moran's I indices of some mite species in aboveground and belowground mite communities

群落 Community	尺度 Scale (m)	8 月 August					10 月 October					群落平均 密度 Mean density	
		尖棱甲螨属 <i>Punctori bates</i> sp.	长刀小盾蛛 甲螨属 <i>Suctobel bella</i> sp.	盖甲螨属 <i>Tectoce pheus</i> sp.	甲螨亚目 <i>Areo zetes</i> sp.	厉螨科 <i>Laelapidae</i> sp.	群落平均密度 Mean density	尖棱甲螨属 <i>Punctori bates</i> sp.	长刀小盾蛛 甲螨属 <i>Suctobel bella</i> sp.	盖甲螨属 <i>Tectoce pheus</i> sp.	甲螨亚目 <i>Areozetes</i> sp.		厉螨科 <i>Laelapidae</i> sp.
地表螨群落 Aboveground mite community	5	0.013 0	-0.041 2	-0.026 4	0.083 8	-0.030 0	0.028 3	0.155 5*	-0.018 3	NF	-0.027 4	0.340 3	-0.031 1
	10	-0.004 7	-0.041 4	-0.028 4	0.025 8	-0.026 1	-0.004 2	0.028 1	-0.018 8	NF	-0.025 1	0.184 7**	0.060 8
	15	-0.003 6	-0.036 2*	-0.047 5*	0.002 2	-0.008 1	0.009 1	-0.004 8	-0.020 2	NF	-0.023 2	0.076 2*	0.031 8
	20	0.011 1	-0.028 6	-0.005 8	-0.015 1	0.009 9	0.018 9	-0.014 9	-0.003 8	NF	-0.024 4	0.029 4*	0.010 7
	25	-0.016 8	-0.016 7	-0.017 8	-0.013 6	0.011 6	-0.006 6	-0.013 6	-0.013 6	NF	-0.025 1	0.008 3	0.010 0
	30	-0.012 9	-0.017 9	-0.014 3	-0.018 4	-0.004 0	-0.009 1	-0.003 9	-0.016 2	NF	-0.024 7*	-0.004 9	0.004 0
	35	-0.020 6	-0.010 6	-0.011 4	-0.013 1	-0.004 5	-0.016 7	-0.000 3	-0.015 3	NF	-0.014 5	-0.010 0	-0.002 1
	40	-0.018 0	-0.009 7	-0.013 7	-0.005 2	-0.010 6	-0.020 2	-0.004 2	-0.013 5	NF	-0.016 4	-0.006 5	-0.000 5
	45	-0.013 2	-0.009 3	-0.011 6	-0.009 6	-0.011 7	-0.015 9	-0.009 2	-0.011 5	NF	-0.015 1	-0.014 2	-0.006 2
	50	-0.011 5	-0.010 9	-0.010 9	-0.009 9	-0.011 5	-0.012 3	-0.009 2	-0.010 5*	NF	-0.009 5	-0.010 1	-0.010 6
地下螨群落 Belowground mite community	5	0.234 4***	-0.029 9	0.143 2*	0.088 4*	0.264 5***	0.114 1	0.094 0	0.390 1***	0.204 6**	0.019 9	0.126 9	0.170 0**
	10	0.076 0*	-0.019 1	0.063 3	0.020 0	0.203 9***	0.063 4	0.130 1**	0.285 3***	0.165 9***	0.023 0*	0.064 2	0.177 5***
	15	-0.003 9	-0.050 3	0.030 1	0.008 9	0.160 8***	0.010 9	0.087 9**	0.192 7***	0.074 3**	0.003 3	0.044 4*	0.110 7**
	20	-0.010 5	-0.051 1	0.022 1	0.011 4*	0.133 3***	0.002 7	0.042 6*	0.167 1***	0.033 9*	0.005 2*	0.005 2	0.0715**
	25	0.013 9	-0.026 2	0.018 5	-0.005 5	0.090 5***	0.006 6	0.010 9	0.113 5***	0.002 4	-0.002 7	-0.015 7	0.019 8*
	30	-0.010 8	-0.019 8	-0.005 1	-0.007 6	0.055 7***	-0.014 4	0.005 6	0.085 1***	0.000 2	-0.004 8	-0.021 4	0.019 8*
	35	-0.029 7**	-0.019 3	-0.018 7	-0.013 4	0.032 2***	-0.029 8**	-0.000 4	0.061 6***	-0.010 5	-0.007 3	-0.018 8	0.005 2
	40	-0.025 3**	-0.011 6	-0.014 9	-0.010 8	0.015 1**	-0.024 5**	-0.003 7	0.0309***	-0.013 4	-0.009 8	-0.014 7	-0.005 9
	45	-0.008 4	-0.008 8	-0.012 5	-0.010 4	-0.000 6	-0.015 3	-0.004 3	0.006 0**	-0.009 9	-0.010 3	-0.013 8	-0.009 9
	50	-0.009 0	-0.011 4	-0.010 1	-0.010 5	-0.005 3	-0.0105	-0.009 5	-0.005 1	-0.009 2	-0.010 5	-0.011 1	-0.010 2

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, $E(I) = -0.0101$. 重复置换 (Permutations) = 9999

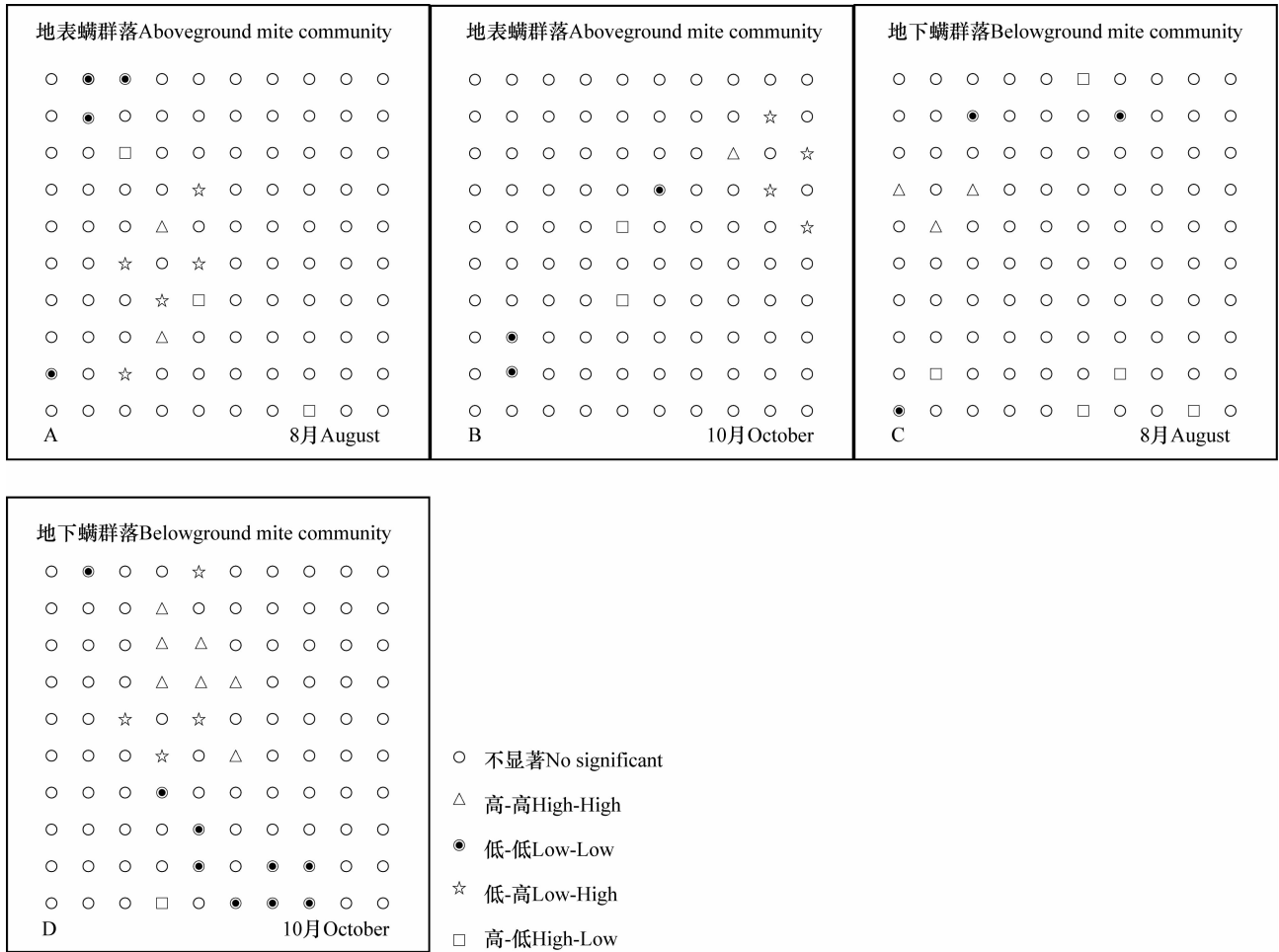


图2 地表和地下螨群落平均密度的空间聚类图

Fig. 2 Spatial cluster maps of mean density of the aboveground and belowground mite communities

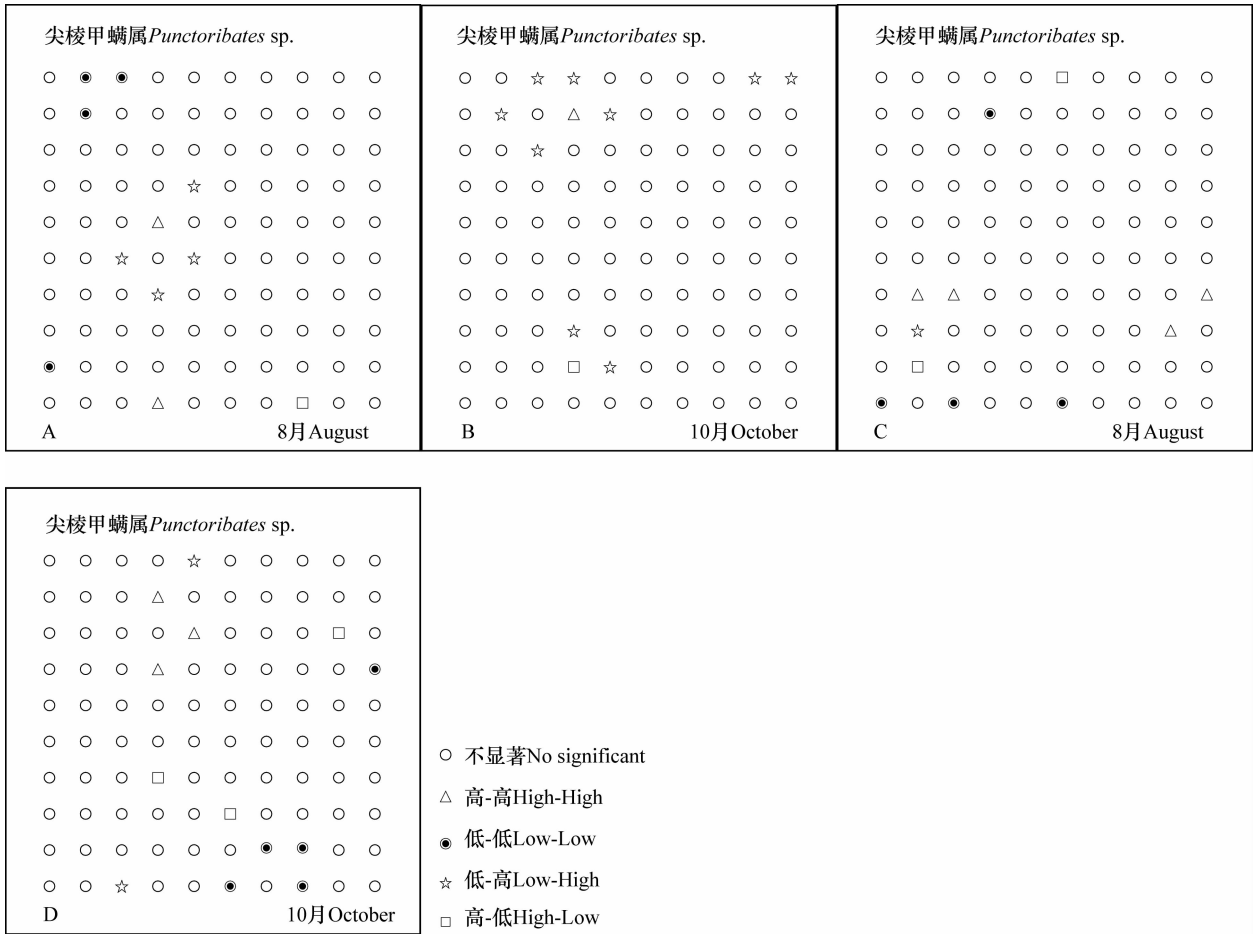
3 讨论

地表和地下螨群落的物种数量和平均密度均有显著差异,且具有明显的时间动态特征。温度和湿度是影响土壤螨活动的重要因素^[17],10月较低的地表温湿度可能不适宜一些物种大量活动,导致一些螨类衰退或迁移至深层土壤,如果群落的一些优势类群对这种温湿度变化特别敏感,可能会导致群落结构的明显变化。8月尖棱甲螨属(*Punctori-bates* sp.)和长刀小盾蛛甲螨属(*Suctobelbella* sp.)在地表螨群落占明显优势,至10月二者在地表螨群落数量显著减少,均变为稀有类群;但这两个物种10月在地下群落数量和优势度均较8月明显增加,这些优势类群的主体在寒冷季节可能迁移到地下活动,从而导致明显的季节差异。

土壤螨类扩散能力相对较差,具有显著的空间

自相关性,往往容易形成空间聚集斑块^[7, 18 - 19]。地下和地表—地下螨群落平均密度分别在不同的尺度存在显著的全局空间自相关性,群落内多数螨类具有多尺度空间自相关性,总体看来,优势类群或常见类群容易形成显著的多尺度空间自相关性,而稀有类群不易在整体上形成显著的空间自相关性。

土壤螨群落平均密度和所有的螨类均存在显著的局部空间自相关性,在局部区域形成明显的“高一高”和“低—低”空间聚集区斑块,其间也零散分布着“高一低”和“低—高”空间孤立区斑块,形成显著的“斑块”和“孔隙”并存的水平分布格局。且这种格局具时间动态性特征,从8月至10月,这些聚集区和孤立区的空间位置和斑块大小表现出时间动态变化。Rossi^[20]在蚯蚓群落发现了相似的特征,证明了“斑块”和“孔隙”这种水平镶嵌格局的存在;此外,我们在三江平原农田生态系统也发现了



注:其中图 A 和 B 代表地表螨群落,图 C 和 D 代表地下螨群落 Note: Pictures A and B for aboveground mite communities. Pictures C and D for belowground mite communities

图 3 地表和地下螨群落中尖棱甲螨的空间聚类图

Fig. 3 Spatial cluster maps of *Punctoribates* sp. in the aboveground and belowground mite communities

跳虫的这种“斑块”和“孔隙”镶嵌分布的水平分布格局,进一步说明这种格局在研究区土壤动物群落中的普遍性。

土壤螨群落的这种空间自相关性格局可能受到外在(土壤环境、随机干扰等)和内在因素(扩散、定殖繁殖、家域范围、竞争和捕食风险等)的双重影响^[21],由于缺少足够的环境因子和物种生态学特征数据^[22],这种影响因素和形成机制是很难确定的^[21]。国外针对地表和地下螨群落的空间格局及共存机制陆续展开研究^[10, 23, 17],非确定性的随机扩散^[10, 24]和确定性的环境过滤、种间竞争^[4, 10, 25]均可能导致土壤动物空间自相关性的产生,土壤环境异质性是蚯蚓群落(50 m × 50 m)空间格局形成的调控机制^[26]。样地内土壤含水量、pH 和大豆株高等环境因子具有明显的空间异质性特征,这种环境异质性可能导致这种空间格局的形成,相关研究还有待于深入开展和探讨。

群落物种空间自相关性格局受到尺度的影响^[27],节肢动物是揭示不同尺度条件下空间格局和过程的很好的研究对象^[28]。土壤动物多样性在小尺度和交互尺度(intermediate scales)表现出空间相关性和空间结构特征^[29-30],因此实验设计时选择合适的空间尺度是土壤动物研究的重要步骤^[16]。其他研究表明土壤螨群落分别在 20 cm 至几米^[31]、<60 m^[16]和 <50 m^[7]的尺度表现出空间自相关性。本研究揭示地下和地表—地下土壤螨群落分别在 <40 m 和 <45 m 尺度具有显著的空间自相关性,因此在研究区采集土壤螨类样品时,这个距离内的样品彼此不相互独立,统计分析时将邻近样品(<40 m 和 <45 m)作为相互独立的重复可能会导致错误的结论^[16],野外实验应该尽可能地将空间自相关性考虑在内。此外,本研究仅能说明 50 m × 50 m 的空间尺度内土壤螨群落的多尺度空间自相关特征,更大空间尺度的特征研究还有

待于深入开展。

4 结 论

在三江平原农田生态系统,地表和地下土壤螨群落的物种数量和平均密度均有显著差异。地下和地表—地下土壤螨群落平均密度均存在显著的多尺度全局空间自相关性,地表、地下和地表—地下土壤螨群落中,优势和常见类群易形成明显的多尺度全局空间自相关性。群落和螨类的平均密度均存在显著的局部空间自相关性,形成“斑块”和“孔隙”并存的水平分布格局。研究区地下和地表—地下土壤螨类调查过程中,相互独立样品的距离至少要大于 40 m 和 45 m。

致 谢 感谢中国科学院东北地理与农业生态研究所常亮、张兵、宋理洪在野外调查和样品分离过程中的帮助。

参 考 文 献

- [1] Huston M A. Biological diversity. Cambridge: Cambridge University Press, 1994
- [2] Dormann C F, McPherson J M, Araújo M B, et al. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: A review. *Ecography*, 2007, 30(5): 609—628
- [3] Diniz-Filho J A F, Bini L M, Hawkins B A. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(1): 53—64
- [4] Legendre P. Spatial autocorrelation: Trouble or new paradigm. *Ecology*, 1993, 74(6): 1659—1673
- [5] Robertson G P. Geostatistics in ecology: Interpolating with known variance. *Ecology*, 1987, 68(3): 744—748
- [6] Jiménez J J, Decaëns T, Amézquita E, et al. Short-range spatial variability of soil physico-chemical variables related to earthworm clustering in a neotropical gallery forest. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43(5): 1071—1080
- [7] Gutiérrez-López M, Jesús J B, Trigo D, et al. Relationships among spatial distribution of soil microarthropods, earthworm species and soil properties. *Pedobiologia*, 2010, 53(6): 381—389
- [8] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, 304(5677): 1629—1633
- [9] Yin X Q, Song B, Dong W H, et al. A review on the eco-geography of soil fauna in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(3): 333—346
- [10] Ingimarsdóttir M, Caruso T, Ripa J, et al. Primary assembly of soil communities: Disentangling the effect of dispersal and local environment. *Oecologia*, 2012, 170(3): 745—754
- [11] Querner P, Bruckner A, Drapela T, et al. Landscape and site effects on collembola diversity and abundance in winter oilseed rape fields in eastern Austria. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 164: 145—154
- [12] Balogh J, Balogh P. The oribatid mites genera of the world. Vol. 1 and 2. Budapest, Hungary: The Hungarian National Museum Press, 1992
- [13] Krantz G W, Walter D E. A manual of acarology. 3rd ed. Lubbock, Texas: Texas Tech University Press, 2009
- [14] Walter D E, Proctor H C. Mites in soil. CD-rom. Collingswood, Australia: CSIRO Publishing, 2001
- [15] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998. Yin W Y. Pictorial keys to soil animals of China (In Chinese). Beijing, China: Science Press, 1998
- [16] Minor M A. Spatial patterns and local diversity in soil oribatid mites (Acari: Oribatida) in three pine plantation forests. *European Journal of Soil Biology*, 2011, 47(2): 122—128
- [17] Lindo Z, Winchester N N. Spatial and environmental factors contributing to patterns in arboreal and terrestrial oribatid mite diversity across spatial scales. *Oecologia*, 2009, 160(4): 817—825
- [18] Caruso T, Migliorini M, Bucci C, et al. Spatial patterns and autocorrelation in the response of microarthropods to soil pollutants: The example of oribatid mites in an abandoned mining and smelting area. *Environmental Pollution*, 2009, 157(11): 2939—2948
- [19] Lindo Z, Visser S. Forest floor microarthropod abundance and oribatid mite (Acari: Oribatida) composition following partial and clear-cut harvesting in the mixedwood boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34(5): 998—1006
- [20] Rossi J P. Short-range structures in earthworm spatial distribution. *Pedobiologia*, 2004, 47(5/6): 582—587
- [21] Dormann C F. Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16(2): 129—138
- [22] Cain M L, Milligan B G, Strand A E. Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany*, 2000, 87(9): 1217—1227
- [23] Lindo Z, Winchester N N. Scale dependent diversity patterns in arboreal and terrestrial oribatid mite (Acari: Oribatida) communities. *Ecography*, 2008, 31(1): 53—60
- [24] Hubbell S P. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton: Princeton University Press, 2001
- [25] Benkman C W. Biotic interaction strength and the intensity of selection. *Ecology Letters*, 2013, 16(8): 1054—1060
- [26] Jiménez J-J, Decaëns T, Rossi J-P. Soil environmental heterogeneity allows spatial co-occurrence of competitor earthworm species in a gallery forest of the Colombian ‘llanos’. *Oikos*, 2012, 121(6): 915—926
- [27] Pearman P B. The scale of community structure: Habitat variation and avian guilds in tropical forest understory. *Ecological Monographs*, 2002, 72(1): 19—39
- [28] Hortal J, Roura-Pascual N, Sanders N J, et al. Understanding (insect) species distributions across spatial scales. *Ecography*, 2010, 33(1): 51—53

- [29] Ettema C H, Yeates G W. Nested spatial biodiversity patterns of nematode genera in a New Zealand forest and pasture soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35(2): 339—342
- [30] Robertson G P, Freckman D W. The spatial distribution of nematode trophic groups across a cultivated ecosystem. *Ecology*, 1995, 76(5): 1425—1432
- [31] Klironomos J N, Rillig M C, Allen M F. Designing belowground field experiments with the help of semi-variance and power analyses. *Applied Soil Ecology*, 1999, 12(3): 227—238

SPATIAL AUTOCORRELATION OF ABOVEGROUND AND BELOWGROUND MITE COMMUNITIES IN FARMLAND OF THE SANJIANG PLAIN

Gao Meixiang^{1,2} Liu Dong² Wu Donghui^{2†} Zhang Xueping¹

(1 Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

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

Abstract Multi-scale autocorrelation is an important basis of the study on spatial heterogeneity and spatial co-occurrence patterns of soil animals. A sampling field, 50 m × 50 m, was set up in farmland of the Sanjiang Plain Marsh and Wetland Ecological Experiment Station. The farmland had a history of more than 30 years of cultivation. The sampling field was divided into 100 subsamples and intensive samplings were done at the nodes of a 10 × 10 regular grid with 5 m inter-sample distances. Overall Moran's *I* and Local Moran's *I* were used to determine multi-scale spatial autocorrelations for mean density of the aboveground, belowground and above-belowground mite communities. Results show that the number of species and mean density of mite communities varied sharply between aboveground and belowground ones. Overall spatial autocorrelation analysis revealed that the mean density of the belowground mite communities showed significantly spatial autocorrelations was 35 ~ 40 m in August and 5 ~ 30 m in October, and of the above-belowground mite communities was 5 ~ 10 m, 35 ~ 45 m and 5 ~ 35 m, respectively, showing obvious multi-scale spatial autocorrelations between them and obvious multi-scale spatial autocorrelations also existed between dominant mite groups that were often large in number and commonly observed miter groups in the soil mite communities. Local spatial autocorrelation analysis indicates that significant local autocorrelations existed between the whole soil mite community and mite communities above the ground, under the ground and above-belowground in mean density, thus forming a horizontal distribution pattern with coexisting "patches" and "gaps". All the above listed findings demonstrate that multi-scale spatial autocorrelation is an important feature of the belowground and above-belowground mite communities in farmland of the Sanjiang Plain, with mean densities of the mite communities and species forming a horizontal pattern with coexisting "patches" and "gaps".

Key words Spatial autocorrelation; Multi-scale; Aboveground mite community; Belowground mite community; Above-belowground mite community; The Sanjiang Plain

(责任编辑: 卢萍)