

应用多元逐步回归分析法评价稻田生态系统稳定性

陈洪凡^{1,2} 梁玉勇^{1*} 程正新¹ 万 鹏¹ 王旭明³ 钟达士⁴

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所, 南昌 330200; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510640; 3. 江西省大余县植保植检站, 赣州 341500; 4. 江西省赣州市全南县植保植检站, 赣州 341800)

摘要: 为明确稻田生态系统稳定性量化评价指标, 通过扫网法调查了2010年和2011年江西省万载县茭湖乡茭湖村有机稻田和化防稻田2种稻田节肢动物群落结构特征参数的动态变化, 并利用SAS 9.0软件对2种稻田中节肢动物群落Shannon-Wiener多样性指数与个体数、物种数、优势集中性指数、物种丰富度指数、Pielou均匀度指数进行多元逐步回归分析。结果显示: 连续2年有机稻田物种数(102、145)和个体数(5 228、5 811)均高于化防稻田物种数(78、102)和个体数(2 222、2 329); 在2010年水稻生长期, 除个别调查日期外, 有机稻田优势集中性指数(0.25、0.27、0.15、0.10、0.11、0.09)整体低于化防稻田(0.30、0.40、0.18、0.17、0.24、0.14), 多样性指数(1.69、2.44、2.83、2.93、2.85)整体高于化防稻田(1.39、2.24、2.35、2.29、2.49); 在2011年水稻生长前、中期, 有机稻田优势集中性指数(0.38、0.33、0.27、0.63、0.40)大于化防稻田(0.27、0.32、0.17、0.58、0.20); 水稻抽穗扬花期, 有机稻田优势集中性指数(0.06、0.04、0.05)低于化防稻田(0.12、0.05、0.12), 多样性指数恰好相反。2011—2012连续2年2种类型稻田多元逐步回归方程中仅有Pielou均匀度指数与多样性指数呈显著正相关关系, 有机稻田的Pielou均匀度指数回归系数(1.45、2.37)均小于化防稻田(3.37、3.16); 有机稻田的常数(1.24、-0.37)均大于化防稻田(-0.64、-0.44)。表明以稻田节肢动物群落多样性指数为因变量的多元逐步回归方程中常数和Pielou均匀度指数回归系数可作为稻田生态系统稳定性测定指标。

关键词: 稻田; 群落结构特征指数; 多元逐步回归; 稳定性评价

Stability evaluation of rice field ecosystems using multiple regression analysis

Chen Hongfan^{1,2} Liang Yuyong^{1*} Cheng Zhengxin¹ Wan Peng¹ Wang Xuming³ Zhong Dashi⁴

(1. Research Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, Jiangxi Province, China; 2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, Guangdong Province, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station of Dayu County, Jiangxi Province, Ganzhou 341500, Jiangxi Province, China; 4. Plant Protection and Quarantine Station of Quannan County, Jiangxi Province, Ganzhou 341800, Jiangxi Province, China)

Abstract: In order to determine the quantitative evaluation index of rice field ecosystem stability, the dynamics of the structural characteristics of arthropod community in organic and chemical control paddy fields was investigated during 2010 to 2011 using sweeping method in Jiaohu Village, Jiaohu Town of Wanzai County, Jiangxi Province. Multiple regression analysis of the structural characteristic index of arthropod communities, Shannon-Wiener diversity and number of individuals, number of species, dominance index, dominant concentration, species richness, evenness index between organic and chemical control paddy fields were analyzed using SAS 9.0 software. The results indicated that species number (102, 145) and individual number (5 228, 5 811) in organic paddy fields were greater than species

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0200400), 国家973项目(2010CB126200), 江西省科技支撑(农业领域)项目(20132BBF60007)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: lyuyiong@163.com

收稿日期: 2018-05-24

number (78, 102) and individual number (2 222, 2 329) in chemical control paddy fields. In 2010, the dominance index (0.25, 0.27, 0.15, 0.10, 0.11, 0.09) of arthropod community in organic paddy fields was generally lower than that (0.30, 0.40, 0.18, 0.17, 0.24, 0.14) of in chemical control paddy fields, but diversity index (1.69, 2.44, 2.83, 2.93, 2.85) of arthropod community was generally higher than that (1.39, 2.24, 2.35, 2.29, 2.49) in chemical control paddy fields. In 2011, before the metaphase of rice growth, the dominance index (0.38, 0.33, 0.27, 0.63, 0.40) of arthropod community in organic paddy fields was higher than that (0.27, 0.32, 0.17, 0.58, 0.20) in chemical control paddy fields, but after the metaphase of rice growth the dominance index (0.06, 0.04, 0.05) was lower than that (0.12, 0.05, 0.12) in chemical control paddy fields, and the transformation circumstance of diversity index of arthropod community was contrary to that of dominance index. Only evenness index was significantly positively correlated with arthropod diversity over two consecutive years in organic and chemical control paddy fields. The evenness index in organic rice fields (1.45, 2.37) was lower than that in chemical control paddy fields (3.37, 3.16), and the constant value in organic rice field (1.24, -0.37) was greater than that in chemical control paddy fields (-0.64, -0.44). The evenness index regression coefficient and the constant value of multiple regression equation could be used for the stability evaluation of the structural characteristics of arthropod communities in different rice ecosystems.

Key words: rice field; arthropod community structural characteristic index; multiple stepwise regression; stability evaluation

生态系统稳定性包含生态系统组成、生态功能和一切干扰因素(刘增文和李雅素,1997),是指不超过生态阈值的生态系统敏感性和恢复力(柳新伟等,2004)。生态稳定性评价是生态系统稳定性研究的重要组成,其依据一定判断标准对生态系统各组织环境状况、作用与变化程度进行调查和分析论证(张福群,2010)。农田生态系统稳定有利于增强农田节肢动物应对病虫害的自我调控能力。

生态系统稳定性研究始于群落稳定性(MacArthur, 1955)。群落稳定性量化评价是利用群落稳定性对害虫进行防控的重要理论基础(Schoenly et al., 1996; Justo et al., 1998)。群落稳定性不仅可以采用物种数与物种个体数、天敌物种数与植食性昆虫物种数等参数比值进行直接评价(Scheiring & Deonier, 1979; Pfadt, 1982; 岳磊等, 2014),还可以采用模型进行间接评价,如MacArthur(1955)首先用Shannon-weaver指数来描述节肢动物群落稳定性;万方浩(1988)应用模糊稳定性综合评判模型从定性和定量角度评价了昆虫群落稳定性;尤民生和庞雄飞(1990)运用Liapunov稳定性定理和耗散结构理论探讨了稻田节肢动物群落稳定性;陈超英(2005)利用累加生成和线性回归方法建立了节肢动物群落稳定性测度灰色模型;陈超英(2007)应用典型相关分析方法建立了节肢动物群落稳定性分析灰典型相关模型;李新旺等(2008)基于农田生态系统稳定性评

价指标体系建立了农田生态系统稳定性综合评价模型,而将数学模型与具体群落稳定性指标相结合对生态稳定性进行评价的研究较少。农田生态系统群落稳定性需根据多样性指数来评价(金翠霞等, 1990),而明确多样性指数与其它结构特征指数的内在相关性可为农田生态系统稳定性评价提供依据。多元逐步回归分析可以解决1个因变量与多个自变量之间的数量依存关系(陈小军等,2019),可用于多样性指数与其它群落结构特征参数内在规律的分析。

本研究连续2年通过扫网法取样拟对有机稻田和化学防治稻田节肢动物群落结构特征指数动态变化进行系统分析,并对其中多样性指数与物种数、个体数、优势集中性指数、物种丰富度指数、Pielou均匀度指数之间的相关性进行多元逐步回归分析,确定稻田生态系统稳定性评价的量化指标,以期为稻田生态系统管理和可持续发展提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

药剂及仪器:4%春雷霉素(kasugamycin)可湿性粉剂,延边春雷生物药业有限公司;0.5%印楝素(azadirachtin)乳油,云南光明印楝产业开发股份有限公司;75%三环唑(tricyclazole)可湿性粉剂,江苏丰登农药有限公司;15%井冈霉素(validamycin)可

溶粉剂,江苏省百灵农化有限公司;40%三唑磷(triazophos)乳油,安徽省舒农农药种业有限公司;25%塞嗪(buprofezin)·异丙威(isoprocarb)可湿性粉剂,河北润达农药化工有限公司;15%井冈霉素-5%三环唑可湿性粉剂,山东奥维特农药有限公司;25%三唑磷-毒死蜱(chlorpyrifos)乳油,广西安泰化工有限责任公司。捕虫网,网口直径28 cm,网深71 cm,手柄长大约74 cm,60目尼龙网纱。

1.2 方法

1.2.1 稻田生态系统设置

分别于2010年7—9月和2011年6—9月在江西省万载县茭湖乡茭湖村水稻田中进行试验。茭湖乡属国家有机农业生产基地,从2000年开始,政府统一组织农户进行有机农业生产,所用肥料为有机肥或农家堆沤肥,农药为生物制剂类农药。试验田中种植的水稻品种为金香二号,平均株、行距分别为14 cm和20 cm。为评估生态环境变化对稻田节肢动物群落结构稳定性的影响,试验设有机稻田和化防稻田2个处理,水稻移栽前耙田时施肥,有机稻田施用农家堆沤肥,肥料用量11 250 kg/hm²,化防稻田施用高浓度硫酸钾复合肥,复合肥用量为300 kg/hm²,每个处理设5个重复,每个重复田块面积不小于667 m²。

第1年田间试验:水稻移栽时间为2010年6月5日,有机稻田于7月10日喷施生物农药1次,生物农药为4%春雷霉素可湿性粉剂和0.5%印楝素乳油,喷施量分别为1.5 kg/hm²和1.5 L/hm²;化防稻田于7月7日和9月1日各喷药1次,农药为75%三环唑可湿性粉剂、15%井冈霉素可溶粉剂、25%塞嗪·异丙威可湿性粉剂和40%三唑磷乳油,喷施量分别为0.3、1.2、1.875 kg/hm²和1.2 L/hm²。按照常规农田农事操作进行田间管理。

第2年田间试验:水稻移栽时间为2011年6月15日,有机稻田于7月19日喷药1次,生物农药同2010年,化防稻田于7月7日和8月3日分别喷药1次,农药为15%井冈霉素-5%三环唑可湿性粉剂和25%三唑磷-毒死蜱乳油,喷施量分别为1.2 kg/hm²和1.2 L/hm²。按照常规农田农事操作进行田间管理。

1.2.2 稻田节肢动物群落调查方法

于2010年7—9月和2011年6—9月采用网捕法对稻田系统内的节肢动物群落进行调查,分别于2010年7月10日和2011年6月20日开始调查,每2周进行1次扫网取样,扫网取样时以0.5 m/s速度在稻田中行走,左右挥动180°为1复网,每个重复田块取

30复网。将昆虫标本转入75%酒精中保存,统一编号后带回室内鉴定,统计种类和数量。

1.2.3 结构特征指数计算及多元逐步回归分析

群落结构是影响群落稳定性的重要因素,本研究采用Shannon-Wiener多样性指数 H 、物种丰富度 R 、优势集中性指数 C 、优势度指数 d 、Pielou均匀度指数 J 和多样性指数最大值 $H_{\max}$ 等结构特征指数对群落结构进行量化。Shannon-Wiener多样性指数 $H=-\sum P_i \ln P_i$,其中 P_i 为相对丰度, $P_i=N_i/N$, N_i 表示群落中第 i 个物种的个体数, N 表示群落中所有物种的个体数;丰富度指数 $R=(S-1)/\ln N$,其中 S 为群落中物种数;优势集中性指数 $C=\sum P_i^2$;优势度指数 $d=N_{\max}/N$,其中 $N_{\max}$ 为优势物种个体数;Pielou均匀度指数 $J=H/\ln S$;Shannon-Wiener多样性指数最大值 $H_{\max}=\ln S$ 。采用Excel 2003和SAS 9.0软件进行数据统计分析。

应用多元逐步回归分析法分析Shannon-Wiener多样性指数与其它群落结构特征指数的关系,以Shannon-Wiener多样性指数 H 作因变量,分别以物种个体数 N 、群落中物种数 S 、优势集中性指数 C 、物种丰富度 R 和Pielou均匀度指数 J 为自变量,每次取样为1个样本,采用公式 $H=a+b_1N+b_2S+b_3C+b_4R+b_5J$ 进行多元逐步回归分析,其中 a 为常数项, b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 为回归系数。通过多元逐步回归方程筛选出主要影响Shannon-Wiener多样性指数的群落结构特征指数。

2 结果与分析

2.1 不同稻田节肢动物群落组成

2010年7—9月,在有机稻田中共调查到5 228头节肢动物,分属102种68科,其中植食类52种28科、捕食类28种24科、寄生类14种9科、中性类8种7科;在化防稻田中共调查到2 222头节肢动物,分属78种53科,其中植食类37种19科、捕食类19种17科、寄生类13种8科、中性类9种9科。2011年6—9月,在有机稻田中共调查到5 811头节肢动物,分属145种75科,其中植食类58种29科、捕食类37种22科、寄生类35种12科、中性类15种12科;在化防稻田中共调查到2 329头节肢动物,分属102种60科,其中植食类45种23科、捕食类25种20科、寄生类23种8科、中性类9种9科。

2.2 不同稻田节肢动物群落结构特征指数分析

2010年,有机稻田物种数、个体数和物种丰富度指数均高于化防稻田;除8月28日外,有机稻田优

势度指数和优势集中性指数分别为0.35、0.40、0.31、0.21、0.27、0.17和0.25、0.27、0.15、0.10、0.11、0.09,低于化防稻田优势度指数(0.47、0.56、0.32、0.35、0.46、0.24)和优势集中性指数(0.30、0.40、0.18、0.17、0.24、0.14);有机稻田 Shannon-Wiener 多样性指数最大值

$H_{\max}$ 都高于化防稻田,除7月10日和8月28日外,其它日期的有机稻田 Shannon-Wiener 多样性指数分别为1.69、2.44、2.83、2.93、2.85,均高于化防稻田(1.39、2.24、2.35、2.29、2.49)(表1)。

表1 2010年扫网法取样下有机稻田和化防稻田节肢动物动物群落结构特征指数动态

Table 1 Quantitative dynamics of the characteristic indices of arthropod community structure in organic and chemical control paddy fields using sweeping methods in 2010

稻田类型 Type of rice field	特征指数 Characteristic index	调查日期 Investigation date						
		7-10	7-17	7-31	8-14	8-28	9-11	9-25
有机稻田 Organic paddy field	N	992.00	2 224.00	408.00	298.00	377.00	676.00	264.00
	S	41.00	52.00	33.00	35.00	41.00	58.00	33.00
	d	0.35	0.40	0.31	0.21	0.36	0.27	0.17
	C	0.25	0.27	0.15	0.10	0.17	0.11	0.09
	R	5.80	6.62	5.32	5.97	6.74	8.75	5.74
	J	0.48	0.43	0.70	0.80	0.67	0.72	0.82
	H	1.80	1.69	2.44	2.83	2.50	2.93	2.85
	$H_{\max}$	3.71	3.95	3.50	3.56	3.71	4.06	3.50
化防稻田 Chemical control paddy field	N	256.00	603.00	193.00	187.00	339.00	435.00	245.00
	S	30.00	34.00	24.00	28.00	29.00	38.00	26.00
	d	0.47	0.56	0.32	0.35	0.29	0.46	0.24
	C	0.30	0.40	0.18	0.17	0.13	0.24	0.14
	R	5.23	5.15	4.37	5.16	4.81	6.09	4.54
	J	0.53	0.39	0.71	0.71	0.76	0.63	0.76
	H	1.82	1.39	2.24	2.35	2.55	2.29	2.49
	$H_{\max}$	3.40	3.53	3.18	3.33	3.37	3.64	3.26

N : 物种个体数; S : 群落物种数; d : 优势度指数; C : 优势集中性指数; R : 物种丰富度; J : Pielou 均匀度指数; H : Shannon-Wiener 多样性指数; $H_{\max}$: Shannon-Wiener 多样性指数最大值。 N : Number of individuals; S : number of species; d : dominance index; C : dominant concentration index; R : species richness index; J : Pielou evenness index; H : Shannon-Wiener diversity index; $H_{\max}$: maximum of Shannon-Wiener diversity index.

2011年,除6月20日外,有机稻田物种数、个体数和物种丰富度指数均高于化防稻田;水稻生长前、中期(6月20日—8月15日)有机稻田中优势度指数和优势集中性指数分别为0.60、0.56、0.39、0.79、0.62和0.38、0.33、0.27、0.63、0.40,均大于化防稻田中优势度指数(0.47、0.54、0.33、0.76、0.41)和优势集中性指数(0.27、0.32、0.17、0.58、0.20);水稻抽穗扬花期(8月29日—9月26日),有机稻田优势度指数与优势集中性指数分别为0.15、0.12、0.12和0.06、0.04、0.05,均低于化防稻田优势度指数(0.19、0.12、0.34)和优势集中性指数(0.12、0.05、0.12);水稻生长前、中期(6月20日—8月15日)有机稻田 Shannon-Wiener 多样性指数分别为1.62、1.88、1.91、1.12、1.80,均低于化防稻田(1.87、1.97、2.31、1.30、2.37),水稻抽穗扬花期(8月29日—9月26日),有机稻田 Shannon-Wiener 多样性指数分别为3.31、3.68、3.47,均高于化防稻田(3.20、3.46、2.96),该指数在2种稻田中

动态变化规律与优势度指数、优势集中性指数的规律恰好相反;除6月20日外,有机稻田 Shannon-Wiener 多样性指数最大值均高于化防稻田。连续2年扫网法取样下2种稻田中群落 Pielou 均匀度指数均未呈现规律性变化(表2)。

2.3 稻田群落结构特征指数的多元逐步回归分析

2010年有机稻田多元逐步回归方程中,物种数、优势集中性指数与 Shannon-Wiener 多样性指数均呈负相关,其回归系数分别为-0.01、-2.99,物种丰富度、Pielou 均匀度指数均与 Shannon-Wiener 多样性指数呈正相关,其回归系数分别为0.19、1.45;化防稻田多元逐步回归方程中仅保留了物种数和 Pielou 均匀度指数这2个自变量,其回归系数分别为0.02、3.37,均与 Shannon-Wiener 多样性指数呈正相关(表3)。2011年有机稻田多元逐步回归方程中包含优势集中性、物种丰富度和 Pielou 均匀度指数3个自变量,优势集中性指数与 Shannon-Wiener 多样性

指数呈负相关,回归系数为-1.18,物种丰富度、Pielou均匀度指数均与Shannon-Wiener多样性指数呈正相关,其回归系数分别为0.11、2.37;化防稻田多元逐步回归方程中包含物种数、优势集中性指数与Pielou均匀度指数这3个自变量,其回归系数分别为0.02、-0.52、3.16(表3)。

表2 2011年扫网法取样下有机稻田和化防稻田节肢动物动物群落结构特征指数动态
Table 2 Quantitative dynamics of the characteristic indices of arthropod community structure in organic and chemical control paddy fields using sweeping methods in 2011

稻田类型 Type of rice field	特征指数 Characteristic index	调查日期 Investigation date							
		6-20	7-04	7-18	8-01	8-15	8-29	9-12	9-26
有机稻田 Organic paddy field	<i>N</i>	114.00	845.00	541.00	2 552.00	560.00	373.00	479.00	389.00
	<i>S</i>	16.00	42.00	37.00	60.00	41.00	55.00	80.00	55.00
	<i>d</i>	0.60	0.56	0.39	0.79	0.62	0.15	0.12	0.12
	<i>C</i>	0.38	0.33	0.27	0.63	0.40	0.06	0.04	0.05
	<i>R</i>	3.17	6.09	5.72	7.52	6.32	9.12	12.80	9.06
	<i>J</i>	0.59	0.50	0.53	0.27	0.48	0.83	0.84	0.87
	<i>H</i>	1.62	1.88	1.91	1.12	1.80	3.31	3.68	3.47
	<i>H</i> _{max}	2.77	3.74	3.61	4.09	3.71	4.00	4.38	4.00
化防稻田 Chemical control paddy field	<i>N</i>	135.00	379.00	135.00	755.00	203.00	329.00	301.00	195.00
	<i>S</i>	17.00	37.00	26.00	41.00	30.00	36.00	51.00	42.00
	<i>d</i>	0.47	0.54	0.33	0.76	0.41	0.19	0.12	0.34
	<i>C</i>	0.27	0.32	0.17	0.58	0.20	0.12	0.05	0.12
	<i>R</i>	3.26	6.06	5.10	6.04	5.46	6.04	8.76	7.78
	<i>J</i>	0.66	0.55	0.71	0.35	0.70	0.91	0.88	0.79
	<i>H</i>	1.87	1.97	2.31	1.30	2.37	3.20	3.46	2.96
	<i>H</i> _{max}	2.83	3.61	3.26	3.71	3.40	3.58	3.93	3.74

N: 物种个体数; *S*: 群落物种数; *d*: 优势度指数; *C*: 优势集中性指数; *R*: 物种丰富度; *J*: Pielou均匀度指数; *H*: Shannon-Wiener多样性指数; *H*_{max}: Shannon-Wiener多样性指数最大值。*N*: Number of individuals; *S*: number of species; *d*: dominance index; *C*: dominant concentration index; *R*: species richness index; *J*: Pielou evenness index; *H*: Shannon-Wiener diversity index; *H*_{max}: maximum of Shannon-Wiener diversity index.

表3 不同稻田节肢动物群落结构特征指数的多元逐步回归分析
Table 3 Multiple stepwise regression analysis of arthropod community structural characteristics using sweeping sampling method

年度 Year	稻田类型 Rice field type	多元逐步回归方程 Multiple stepwise regression equation	<i>df</i>	<i>P</i>	相关系数 Correlation coefficient
2010	有机稻田 Organic paddy field	$H=1.24-0.01S-2.99C+0.19R+1.45J$	(5, 29)	0.0005	0.9998
	化防稻田 Chemical control paddy field	$H=-0.64+0.02S+3.37J$	(5, 29)	<0.0001	0.9989
2011	有机稻田 Organic paddy field	$H=-0.37-1.18C+0.11R+2.37J$	(5, 34)	<0.0001	0.9984
	化防稻田 Chemical control paddy field	$H=-0.44+0.02S-0.52C+3.16J$	(5, 34)	<0.0001	0.9998

H: Shannon-Wiener多样性指数; *S*: 群落物种数; *C*: 优势集中性指数; *R*: 物种丰富度; *J*: Pielou均匀度指数。*H*: Shannon-Wiener diversity index; *S*: number of species; *C*: dominant concentration index; *R*: species richness index; *J*: Pielou evenness index.

在5个群落结构特征指数中,个体数与Shannon-Wiener多样性指数无相关性,有机稻田的物种丰富度指数与Shannon-Wiener多样性指数呈正相关,Pielou均匀度指数与Shannon-Wiener多样性指数呈稳定正相关。2年的有机稻田多元逐步回归方程中Pielou均匀度指数回归系数分别为1.45、2.37,均小于化防稻田(3.37、3.16),表明在Pielou均匀度指数同等波动条件下,有机稻田生态系统Shannon-

Wiener多样性指数波动比化防稻田生态系统要小,即有机稻田生态系统相对稳定;有机稻田多元逐步回归方程中常数分别为1.24、-0.37,均大于化防稻田多元逐步回归方程中常数(-0.64、-0.44),表明有机稻田生态系统比化防稻田生态系统更稳定。

3 讨论

本研究结果显示除6月20日外,2010年和2011年

有机稻田物种数、个体数、物种丰富度指数和多样性指数最大值均高于化防稻田,表明不同田间管理可以改变群落稳定性。黄正恩等(2004)研究结果也表明有机管理方式有利于茶园节肢动物群落稳定性。叶火香等(2016)研究结果也表明管理方式与种植模式均可以改变群落稳定性。本研究结果显示2年试验中有机稻田和化防稻田 Shannon-Wiener 多样性指数最大值同时出现,而胡文超等(2018)研究结果显示不同种植模式下邻作苜蓿田多样性指数最大值出现时间早于间作模式,这表明多样性指数最大值出现时间可能与管理方式、种植模式等因素有关。

高环境稳定性是高群落多样性的基础,同时高群落多样性导致高群落稳定性(万方浩和陈常铭, 1986; Gupta & Chandra, 2017),故本研究将多样性指数作为衡量群落稳定性的指标。李剑泉等(2000)研究结果表明丰富度、多样性、均匀性三者之间呈正相关,本研究结果中仅有机稻田中物种丰富度指数、均匀度指数与 Shannon-Wiener 多样性指数呈显著正相关。Noreika(2016)研究结果表明不仅田间管理会影响群落结构特征指数的相关性,而且生境类型也会影响群落结构特征指数的相关性,本研究结果显示,在连续2年2种稻田中 Pielou 均匀度指数对 Shannon-Wiener 多样性指数的影响大于其它群落结构特征指数,也证明了稳定稻田中节肢动物群落均匀性和有序度较高的结论(尤民生和庞雄飞, 1990; 王磊等, 2018)。

生物多样性是生态系统抗干扰能力和恢复能力的物质基础(刘德广等, 2001),稻田生态系统节肢动物群落稳定性与生境类型有关。本研究结果表明有机稻田生态系统相对于化防稻田生态系统抗外界干扰能力更强,其原因可能是有机稻田中有机物的增加促进了天敌猎物即腐食者的种群数量,从而增加了捕食者种群数量(Settle et al, 1996),由于施用农药,化防稻田节肢动物群落多样性锐减。潘伊凌等(2018)研究结果也表明节肢动物的群落结构与生境条件密切相关,会随着生境的变化而变化。本研究将多元逐步回归方程中的常数项数值和均匀度回归系数作为评价群落稳定性的指标,比 Liapunov 稳定性定理和耗散结构理论(尤民生和庞雄飞, 1990)、综合指数评价法(Roe & Vaneeten, 2001)、灰色模型(陈超英, 2005)等方法更简单、更直观。多样性增加系统稳定性是解释生态系统稳定性机制的理论之一(Morin, 1995),本研究结果可为生态系统稳定性机理延伸提供参考,即均匀性影响多样性。

生物多样性与生态系统稳定性直接相关,是评价生态系统稳定性必不可少的指标(李忠配等, 1998; 蔚立强等, 2017)。本研究通过多元逐步回归分析筛选出主要影响 Shannon-Wiener 多样性指数的群落结构特征指数为 Pielou 均匀度指数,并且将 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数作为评价群落结构稳定性的2个重要指标。但本试验试验时间为2年且生境类型单一,需要进一步增加试验年限和生境类型来检验结果的正确性。

参 考 文 献 (References)

- Chen CY. 2005. A grey model for measuring the stability of arthropod community and its application. *Acta Ecologica Sinica*, 25(11): 3112–3116 (in Chinese) [陈超英. 2005. 节肢动物群落稳定性测度的灰色模型及其应用. *生态学报*, 25(11): 3112–3116]
- Chen CY. 2007. A grey canonical correlation model for analyzing the stability of arthropod community and its application. *Acta Ecologica Sinica*, 27(8): 3370–3378 (in Chinese) [陈超英. 2007. 节肢动物群落稳定性分析-灰典型相关模型及其应用. *生态学报*, 27(8): 3370–3378]
- Chen XJ, Li PF, Li P, Hui P, Guo YH. 2019. Application of multiple stepwise regression analysis in prediction of coal seam gas content. *Coal Engineering*, 51(2): 106–111 (in Chinese) [陈小军, 李鹏飞, 李萍, 慧鹏, 郭燕珩. 2019. 多元逐步回归分析法在煤层含气量预测中的应用. *煤炭工程*, 51(2): 106–111]
- Gupta SK, Chandra K. 2017. Diversity of Orthoptera (Insecta) fauna of Achanakmar Wildlife Sanctuary, Bilaspur, Chhattisgarh, India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10(1): 91–103
- Hu WC, He DH, Guan XQ, Liu JH, Zhao ZH. 2018. Community diversity and temporal dynamics of spiders in alfalfa fields under three different cropping patterns in Yinchuan Plain. *Journal of Plant Protection*, 45(2): 272–281 (in Chinese) [胡文超, 贺达汉, 关晓庆, 刘军和, 赵紫华. 2018. 银川平原不同种植模式下苜蓿田地蜘蛛群落多样性及时间动态模拟. *植物保护学报*, 45(2): 272–281]
- Huang ZE, Du XG, Dong M, Yang DP, Zhang LD. 2004. Effects of organic management on the stability of arthropods in organic tea garden. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 20(6): 57–98 (in Chinese) [黄正恩, 杜相革, 董民, 杨东鹏, 张禄达. 2004. 有机管理对茶园节肢动物群落稳定性的影响. *中国农学通报*, 20(6): 57–98]
- Jin CX, Wu Y, Wang DL. 1990. Diversity of arthropod communities in paddy fields. *Acta Entomologica Sinica*, 33(3): 287–295 (in Chinese) [金翠霞, 吴亚, 王冬兰. 1990. 稻田节肢动物群落多样性. *昆虫学报*, 33(3): 287–295]
- Justo HD Jr., Rillon GS, Flor LB. 1998. Arthropod community structure and pest incidence in regular and late-planted rice crops. *Philippine Journal of Crop Science*, 23: 89
- Li JQ, Zhao ZM, Hou JJ. 2000. Ecological pest management in paddy fields. *Journal of Southwest Agricultural University*, 22(6): 496–

- 500 (in Chinese) [李剑泉, 赵志模, 侯建筠. 2000. 稻虫生态管理. 西南农业大学学报, 22(6): 496-500]
- Li XW, Men MX, Wang ST, Qi YP, Du BY, Xu G. 2008. An evaluation of stability of farm land ecosystem based on processes in Hebei Plain. *Journal of Natural Resources*, 23(3): 430-439 (in Chinese) [李新旺, 门明新, 王树涛, 齐跃普, 杜博洋, 许焱. 2008. 基于过程的河北平原农田生态系统稳定性评价. 自然资源学报, 23(3): 430-439]
- Li ZP, Zhang TL, Lin XX. 1998. The cycling and balance of soil organic carbon and utilization of organic resources in red soil region of China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 7(2): 140-147 (in Chinese) [李忠配, 张桃林, 林心雄. 1998. 红壤区土壤有机碳的循环和平衡及有机资源利用. 长江流域资源与环境, 7(2): 140-147]
- Liu DG, Xiong JJ, Tan BL, Huang MD, Zhang RJ. 2001. Diversity and stability analyses of arthropod community in litchi-herbage complex system. *Acta Ecologica Sinica*, 21(10): 1596-1601 (in Chinese) [刘德广, 熊锦君, 谭炳林, 黄明度, 张润杰. 2001. 荔枝-牧草复合系统节肢动物群落多样性与稳定性分析. 生态学报, 21(10): 1596-1601]
- Liu XW, Zhou HC, Li P, Peng SL. 2004. A conceptual analysis of ecosystem stability. *Acta Ecologica Sinica*, 24(11): 2635-2640 (in Chinese) [柳新伟, 周厚诚, 李萍, 彭少林. 2004. 生态系统稳定性定义剖析. 生态学报, 24(11): 2635-2640]
- Liu ZW, Li YS. 1997. History and status of research of ecosystem stability. *Chinese Journal of Ecology*, 16(2): 58-61 (in Chinese) [刘增文, 李雅素. 1997. 生态系统稳定性研究的历史与现状. 生态学杂志, 16(2): 58-61]
- Macarthur R. 1955. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. *Ecology*, 36(3): 533-536
- Morin PJ. 1995. Functional redundancy, non-additive interactions, and supply-side dynamics in experimental pond community. *Ecology*, 76: 133-149
- Noreika N. 2016. Specialist butterflies benefit most from the ecological restoration of mires. *Biological Conservation*, 196: 103-114
- Pan YL, Huang J, Ge D, Ding Y, Ke X, Liu MP. 2018. Arthropod community structure and environmental assessment in the important frog habitats under ecological restoration and protection in the Pujiang Suburb of Shanghai. *Ecology and Environmental Sciences*, 27(7): 1189-1202 (in Chinese) [潘伊凌, 黄骥, 葛栋, 丁莹, 柯欣, 刘漫萍. 2018. 上海浦江郊野蛙类重要栖息地不同生境下节肢动物的群落结构研究. 生态环境学报, 27(7): 1189-1202]
- Pfadt RE. 1982. Density and diversity of grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in an outbreak on Arizona rangeland. *Environmental Entomology*, 11(3): 690-694
- Roe E, Vaneeten M. 2001. Threshold-based resource management: a framework for comprehensive ecosystem management. *Environmental Management*, 27(2): 195-214
- Scheiring JF, Deonier DL. 1979. Spatial and temporal patterns in Iowa shore fly diversity. *Environmental Entomology*, 8(5): 879-882
- Schoenly K, Cohenge JE, Heong KL, Iltisinger JA, Aquino GB, Barrion AT, Arida G. 1996. Food web dynamics irrigated rice fields at five elevations in Luzon Philippines. *Bulletin of Entomological Research*, 56(4): 451-466
- Settle WH, Ariawan H, Astuti ET, Cahyaan W, Hakim AL, Hindayana D, Lestari A. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 77(7): 1975-1988
- Wan FH. 1988. The relationship between diversity and stability and the integrated judgement of fuzzy community stability. *Journal of Hunan Agricultural College*, 14(1): 43-47 (in Chinese) [万方浩. 1988. 论生物群落多样性—稳定性关系及模糊稳定性的综合评判. 湖南农学院学报, 14(1): 43-47]
- Wan FH, Chen CM. 1986. Studies on the structure of the rice pest-natural enemy community and diversity under IPM area and chemical control area. *Acta Ecologica Sinica*, 6(2): 159-170 (in Chinese) [万方浩, 陈常铭. 1986. 综防区和化防区稻田害虫—天敌群落组成及多样性的研究. 生态学报, 6(2): 159-170]
- Wang L, Li G, Xi YG, Chen QH, Li Y, Tian W, Zhang C, Li P, Yang H, Zhang JB, et al. 2018. Investigation on animal diversity in different paddy fields with organic farming: a case study in Daizhuang of Jurong County, Jiangsu Province, China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 34(7): 614-621 (in Chinese) [王磊, 李刚, 席运官, 陈秋会, 李妍, 田伟, 张弛, 李鹏, 杨豪, 张纪兵, 等. 2018. 有机种植方式对稻田动物多样性的影响: 以句容戴庄为例. 生态与农村环境学报, 34(7): 614-621]
- Wei LQ, Chen GH, Lu WQ, Zhang XM, Wu ZF, Wu JR, Fu Y. 2017. Study on structure and stability of insect community in maize interaction with weed field. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 30(5): 1057-1062 (in Chinese) [蔚立强, 陈国华, 卢文琴, 张晓明, 吴智峰, 吴俊荣, 傅扬. 2017. 玉米与杂草互作田昆虫群落结构及稳定性研究. 西南农业学报, 30(5): 1057-1062]
- Ye HX, Han SJ, Han BY. 2016. The composition of arthropod communities in four types tea plantations with different planting patterns. *Journal of Plant Protection*, 43(3): 377-383 (in Chinese) [叶火香, 韩善捷, 韩宝瑜. 2016. 四种不同种植模式茶园节肢动物的群落组成. 植物保护学报, 43(3): 377-383]
- You MS, Pang XF. 1990. The stability of the arthropod communities in paddy fields. *Journal of Fujian Agricultural College*, 19(3): 282-288 (in Chinese) [尤民生, 庞雄飞. 1990. 稻田节肢动物群落的稳定性. 福建农学院学报, 19(3): 282-288]
- Yue L, Luo K, Ma L, Song JX, Shi AX, Gao X, Li Q. 2014. Effect of farm management on arthropod community structure and stability in *Zanthoxylum bungeanum* garden. *Chinese Journal Eco-Agriculture*, 22(4): 464-472 (in Chinese) [岳磊, 罗凯, 马丽, 宋家雄, 石安宪, 高熹, 李强. 2014. 不同管理模式对花椒园节肢动物群落结构及稳定性的影响. 中国生态农业学报, 22(4): 464-472]
- Zhang FQ. 2010. Analysis based on stability of ecosystem in Wolong lake wetland and evaluation. Ph. D Thesis. Shenyang: Northeastern University (in Chinese) [张福群. 2010. 卧龙湖湿地生态系统稳定性分析与评价研究. 博士学位论文. 沈阳: 东北大学]

(责任编辑: 张俊芳)