技术与方法

应用主成分分析法评价稻田生态系统稳定性*

陈洪凡[1,2**] 兰 波[1] 梁玉勇[1] 杨迎青[1***] 李湘民[1]

（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）

摘 要 **【目的】** 为量化不同类型稻田生态系统调控功能。**【方法】** 利用 SAS 软件对连续 2 年不同取样方法下有机稻田和化防稻田中主要节肢动物群落结构特征指数分别进行了方差分析和主成分分析。**【结果】** 方差分析结果表明：不同取样方法下 4 个群落结构特征指数中，仅有物种数连续 2 年在有机稻田和化防稻田中表现出差异显著性；主成分分析结果表明：第一年黄板和吸虫器法取样下有机稻田中主要节肢动物群落结构特征指数第一主成分贡献率分别为 74.12%和 77.69%，均大于化防稻田中第一主成分贡献率 67.18%和 56.24%；第 2 年黄板法和目测法取样下有机稻田中主要节肢动物群落结构特征指数第一主成分贡献率分别达到 77.20%和 75.93%，均大于化防稻田中第一主成分贡献率 55.17%和 71.15%。**【结论】** 本研究认为，稻田节肢动物群落结构特征指数第一主成分贡献率可以作为有机稻田和化防稻田生态系统调控功能差异的量化指标之一，同时参考物种数指标，以综合评价稻田生态系统抗性程度。

关键词 稻田，群落结构特征指数，方差分析，主成分分析，稳定性

Application of principal component analysis to evaluation of the stability of rice paddy ecosystems

CHEN Hong-Fan[1,2**] LAN Bo[1] LIANG Yu-Yong[1] YANG Ying-Qing[1***] LI Xiang-Min[1]

(1. Research Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China;
2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract **[Objectives]** To evaluate the control of insect pests in different rice ecosystems. **[Methods]** Analysis of variance (ANOVA) and principal component analysis of the structural characteristic index of arthropod communities using different sampling methods in organic and non-organic paddy fields was conducted for two consecutive years using SAS software. **[Results]** The ANOVA results show that, of four arthropod community structural characteristic indices, only the number of species was significantly different over two consecutive years in organic and non-organic paddy fields. The results of principal component analysis indicate that the contribution ratio of the first principal component to the arthropod community structural characteristic index (obtained using yellow board traps and suction sampling) in organic paddy fields reached 74.12% and 77.69%, respectively in the first year, greater than the corresponding values of 67.18% and 56.24% in non-organic paddy fields. In the second year, the contribution ratio of the first principal component to the arthropod community structural characteristic index reached 77.20% and 75.93% respectively, which were also greater than the corresponding values of 55.17% and 71.15% values in non-organic paddy fields. **[Conclusion]** The contribution ratio of the first principal component to the arthropod community structural characteristic index could be used as an index of the effectiveness of pest control in organic and non-organic paddy fields. Combining this with the species diversity index allows evaluation of levels of resistance in paddy field ecosystems.

*资助项目 Supported projects：国家 973 项目（2010CB126200）；江西省水稻产业技术体系（JXARS-02-04）；江西省科技厅科技支撑（农业领域）项目（20132BBF60007）；南昌市科技局对外科技合作项目（2013HZCG020）

**第一作者 First author，E-mail：hongfan211@sohu.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：yyq8295@163.com

收稿日期 Received：2017-03-08，接受日期 Accepted：2017-06-20

Key words　paddy field, arthropod community structural characteristic index, variance analysis, principal components analysis, stability

稳定性是生态系统最重要的特征之一，生态系统稳定性研究不仅在理论上而且在实践中都具有重要意义。由于生态系统在结构、功能上的复杂性，时空上的动态变化性以及稳定性表达多样化，使得生态系统稳定性的度量没有统一指标可表达（Ma，2002）。农田节肢动物群落多样性与节肢动物群落的自我调控能力密切相关，即：多样性在一定程度上决定稳定性（Fitt，1989）。分析稻田节肢动物群落的多样性常采用物种丰富度、均匀度和申农指数等指标来衡量（金翠霞等，1990）。主成分分析是将多指标线性组合为较少的综合指标，这些综合指标彼此间既不相关，又能反映原来多指标的信息（袁志发和周静芋，2002）。近年来，主成分分析法被广泛应用于玉米主要挥发性物质（宋江峰等，2010），花生主要品质性状（殷冬梅，2011），苹果果肉流变特性（杨玲等，2015），芸豆品种筛选（余莉等，2016）等分析研究方面。而将主成分分析应用于不同稻田生态系统中节肢动物群落结构特征指数差异分析方面，还未见研究报道。

国家重点研发计划“典型脆弱生态恢复与保护研究”重点专项实施方案中将生态监测与评估技术作为现阶段的主要任务。本研究通过连续 2 年采用黄板、吸虫器和目测 3 种取样方法对有机稻田和化防稻田节肢动物群落取样调查，并对物种数、物种丰富度、均匀度和多样性指数 4 项结构特征指数进行测定，分别运用方差分析法和主成分分析法简化不同稻田生态系统调控功能差异评价指标，构建稻田生态系统抗性评价体系，从而为害虫生态控制提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验地设在江西省万载县茭湖乡（114°23′E，28°15′N，海拔 156 m）水稻田中，茭湖乡为国家有机之乡，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；化防稻田为当地农户单独耕种，所用肥料为农用化学肥料，农药为化学合成农药进行（陈洪凡等，2015）。

1.2　试验处理

试验分别于 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。试验田中所用水稻品种为金香二号，平均株行距 14 cm×20 cm。试验设有机稻田处理和化防稻田对照。每个处理设 5 个重复，每个重复面积不小于 667 m^2。有机稻田中农家堆沤肥肥料用量为：11 250 $kg \cdot hm^{-2}$，化防稻田中复合肥用量为：300 $kg \cdot hm^{-2}$。

第一次调查于 2010 年 7—9 月进行，水稻移栽时间为 2010 年 6 月 5 日，有机稻田喷药一次，化防稻田于 7 月 7 日和 9 月 1 日分别喷药一次。化防稻田所用化学农药：75%三环唑可湿性粉剂 0.3 kg/hm^2（江苏丰登农药有限公司）、15%井冈霉素可溶粉剂 1.2 kg/hm^2（江苏省百灵农化有限公司）、40%螟施净乳油 1.2 L/hm^2（安徽省舒农农药种业有限公司）、25%噻嗪·异丙威可湿性粉剂 1.875 kg/hm^2（河北润达农药化工有限公司）。

第 2 次调查于 2011 年 6—9 月进行，水稻移栽时间为 2011 年 6 月 15 日，有机稻田于 7 月 19 日喷药一次，化防稻田于 7 月 7 日和 8 月 3 日分别喷药一次。有机稻田所用生物农药：4%春雷霉素可湿性粉剂 1.5 kg/hm^2（延边春雷生物药业有限公司），0.5%印楝素乳油 1.5 L/hm^2（云南光明印楝产业开发股份有限公司）；化防稻田所用化学农药：15%井冈-5%三环唑可湿性粉剂 1.2 kg/hm^2（山东奥维特农药有限公司）和 25%唑啉-毒死蜱乳油 1.2 L/hm^2（广西安秦化工有限责任公司）（陈洪凡等，2015）。

1.3　调查方法

1.3.1　吸虫器取样　2010 年采用吸虫器法，本

研究所采用的吸虫器是由山东博发动力机械有限公司生产的博发牌 3WF-18 型背负式喷雾喷粉机改装而成，改装方法参考刘雨芳等(1999)。以五点取样法，分别在有机稻田和化防稻田中，每隔 2 周调查一次，每点吸 1 丛水稻。取样框上方加接纱网，防止围罩水稻时，昆虫飞出。样品用 75%的酒精浸泡，带回室内鉴定并计数。

1.3.2 目测法取样 2011 年采用目测法分别在有机稻田和化防稻田中，按照稻株从上到下的顺序，非常仔细地清点每丛稻株内稻飞虱及其主要天敌类群的物种数及个体数量，难以当即辨认的种带回室内镜检。于 6 月 20 日开始调查，每隔 2 周进行一次调查，共调查 8 次。以五点取样法，每点调查 20 丛水稻，每次共调查 100 丛水稻。

1.3.3 黄板诱集法 将黄板（宽 10 cm，高 25 cm）张贴于可伸缩支架上的正方形有机玻璃表面（宽 25 cm，高 25 cm），根据水稻生长季节逐步调高支架高度，使黄板高于水稻冠层之上 5 cm 左右。移栽后 1 周开始诱集节肢动物，以后每两周进行一次黄板取样，每次每块田张贴 4 张黄板，间隔 6 m，分别朝东、南、西、北 4 个方向。经 24 h 后取下黄色粘虫板，用保鲜膜覆盖包好，带回室内，保存于 4℃冰箱中，及时鉴别统计处理区和对照区所获得样本。

1.4 数据处理分析

原始数据采用 SAS9.0 和 Excel 软件处理。统计分析节肢动物群落的相关生态学指标（黄德超，2003）：

（1）相对丰盛度 $P_i=N_i/N$，其中 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；

（2）Shannon-wiener 多样性指数 $H=-\sum P_i ln(P_i)$；

（3）Pielou 均匀度指数 $E=H'/lnS$；

（4）丰富度指数 $R=(S-1)/LnN$，其中 S 为群落中物种数。

采用 SAS9.0 统计软件中 Duncan's 新复极差法(DMRT)对 3 种取样方法下在两种类型稻田中的群落结构特征指数进行差异显著性分析；主成分分析在 SAS9.0 上进行。

2 结果与分析

2.1 2010 年黄板法和吸虫器法取样下两种类型稻田中群落结构特征指数的方差分析与主成分分析

对 2010 年黄板法和吸虫器法取样下有机稻田和化防稻田群落结构特征指数（表 1）分别进行方差分析，得出两种取样方法下 4 个特征指数在两种类型稻田中的差异显著性（表 2）；进行主成分分析得出主分量特征值、贡献率和累计贡献率（表 3），以及两种取样方法下 4 个特征指数在两种类型稻田中第一主成分和第二主成分的特征向量（表 4）。由表 2 可知，两种取样方法下 4 个特征指数中，仅有物种数在有机稻田和化防稻田中表现出差异显著性，而丰富度指数、均匀度指数和多样性指数在两种类型稻田中均未表现出差异显著性。由表 3 可知，黄板法和吸虫法取样下有机稻田中第一主成分贡献率分别达到 74.12%和 77.69%，均大于化防稻田中第一主成分贡献率 67.18%和 56.24%；黄板法和吸虫法取样下有机稻田中第二主成分贡献率分别为 25.44%和 21.16%，均小于化防稻田中第二主成分贡献率 32.75%和 42.45%。黄板和吸虫器取样方法下有机稻田中第一和第二主成分累计贡献率分别共提取了群落特征指数 S、R、J 和 H 4 个指标中 99.56%和 98.86%的信息量，化防稻田中第一和第二主成分累计贡献率分别共提取了群落特征指数 S、R、J 和 H 4 个指标中 99.93%和 98.69%的信息量，均满足大于 85%的原则。由表 4 可知，黄板法和吸虫器法取样下有机稻田中 4 个群落结构特征指数 S、R、J 和 H 在第一主成分中的系数，均是 H 的系数最大，分别为 0.5565、0.5503；而在化防稻田中 4 个群落结构特征指数 S、R、J 和 H 在第一主成分中的系数，黄板法取样下 R 的系数最大，为 0.5718，吸虫器法取样下 S 的系数最大，为 0.5922，未表现出规律性。

表 1　2010 年黄板法和吸虫器法取样下有机稻田和化防稻田节肢动物群落结构特征指数动态

Table 1　The quantitative dynamics of arthropod community structure characteristic index in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap and suction sampling methods in 2010

样田 Samples	取样方法 Sampling methods	特征指数 Characteristic index	调查日期（月.日） Investigation date (month.day)						
			7.10	7.17	7.31	8.14	8.28	9.11	9.25
有机稻田 Organic paddy field	黄板法 Yellow board trap sampling	*S*	41.00	43.00	51.00	59.00	63.00	95.00	48.00
		R	7.14	7.07	8.21	8.53	8.12	14.43	8.28
		J	0.73	0.72	0.81	0.70	0.64	0.84	0.90
		H	2.72	2.69	3.20	2.85	2.65	3.83	3.50
	吸虫器法 Suction sampling	*S*	17.00	22.00	18.00	24.00	26.00	31.00	21.00
		R	3.08	3.41	3.44	4.49	4.44	5.00	3.79
		J	0.65	0.53	0.74	0.68	0.68	0.77	0.72
		H	1.85	1.65	2.14	2.15	2.22	2.66	2.18
化防稻田 Chemical control paddy field	黄板法 Yellow board trap sampling	*S*	32.00	41.00	29.00	37.00	51.00	69.00	36.00
		R	5.56	6.93	4.72	5.51	7.14	10.94	6.54
		J	0.81	0.78	0.75	0.69	0.61	0.82	0.89
		H	2.82	2.88	2.52	2.50	2.41	3.49	3.18
	吸虫器法 Suction sampling	*S*	15.00	19.00	14.00	14.00	17.00	21.00	15.00
		R	3.01	3.94	3.20	2.79	3.44	3.74	3.09
		J	0.80	0.69	0.72	0.78	0.63	0.85	0.80
		H	2.16	2.04	1.89	2.07	1.79	2.58	2.16

表 2　2010 年黄板法和吸虫器法取样下 4 个特征指数在有机稻田和化防稻田中的差异显著性分析

Table 2　Analysis on significant difference of four arthropod community structure characteristic index in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap and suction sampling methods in 2010

特征指数 Characteristic index	取样方法 Sampling methods	稻田类型 Type of paddy fields	
		有机稻田 Organic paddy field	化防稻田 Chemical control paddy field
物种数 *S*	黄板法 Yellow board trap sampling	57.14±18.50a	42.14±13.79b
	吸虫器法 Suction sampling	22.71±4.82a	16.43±2.70b
丰富度指数 *R*	黄板法 Yellow board trap sampling	8.83±2.54a	6.76±2.04b
	吸虫器法 Suction sampling	3.95±0.70a	3.32±0.41a
均匀度指数 *J*	黄板法 Yellow board trap sampling	0.76±0.09a	0.76±0.09a
	吸虫器法 Suction sampling	0.68±0.08a	0.75±0.08a
多样性指数 *H*	黄板法 Yellow board trap sampling	3.06±0.46a	2.83±0.40a
	吸虫器法 Suction sampling	2.12±0.32a	2.10±0.25a

表中同行数字后标有不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。表 6 同。

Data with different letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level. The same as Table 6.

2.2　2011 年黄板法和目测法取样下两种类型稻田群落结构特征指数主成分分析

对 2011 年黄板法和目测法取样下有机稻田和化防稻田群落结构特征指数（表 5）分别进行方差分析，得出两种取样方法下 4 个特征指数在两种类型稻田中的差异显著性（表 6）；进行主成分分析，得出主分量特征值、贡献率和累计贡献率（表 7），以及两种取样方法下 4 个特征指

表 3 2010 年黄板法和吸虫器法取样下有机稻田和化防稻田节肢动物群落结构特征指数主分量的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 3 Eigenvalues, contribution rate and cumulative contribution rate of the arthropod community parameters in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap and suction sampling methods in 2010

取样方法 Sampling methods	稻田类型 Type of paddy fields	主分量 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate (%)	累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)
黄板法 Yellow board trap sampling	有机稻田 Organic paddy field	1	2.9647	74.12	74.12
		2	1.0176	25.44	99.56
		3	0.0175	0.44	99.99
		4	0.0003	0.01	100.00
	化防稻田 Chemical control paddy field	1	2.6873	67.18	67.18
		2	1.3098	32.75	99.93
		3	0.0018	0.04	99.97
		4	0.0011	0.03	100.00
吸虫器法 Suction sampling	有机稻田 Organic paddy field	1	3.1077	77.69	77.69
		2	0.8466	21.16	98.86
		3	0.0455	1.14	100.00
		4	0.0002	0.00	100.00
	化防稻田 Chemical control paddy field	1	2.2498	56.24	56.24
		2	1.6980	42.45	98.69
		3	0.0520	1.30	99.99
		4	0.0002	0.01	100.00

表 4 黄板法和吸虫器法取样下 2010 年有机稻田和化防稻田节肢动物群落结构特征指数主分量的特征向量

Table 4 Eigenvector of the arthropod community parameters on the principal components in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap and suction sampling methods in 2010

稻田类型 Type of paddy fields	特征指数 Characteristic index	黄板法 Yellow board trap sampling		吸虫器法 Suction sampling	
		第一主分量 First principal component	第二主分量 Second principal component	第一主分量 First principal component	第二主分量 Second principal component
有机稻田 Organic paddy field	*S*	0.4805	-0.5525	0.4834	-0.5520
	R	0.5453	-0.3261	0.5304	-0.3406
	J	0.4027	0.7142	0.4267	0.7161
	H	0.5565	0.2798	0.5503	0.2579
化防稻田 Chemical control paddy field	*S*	0.4958	-0.5083	0.5922	-0.3344
	R	0.5718	-0.3032	0.4454	-0.5577
	J	0.3271	0.7373	0.3431	0.6557
	H	0.5658	0.3257	0.5772	0.3837

数在两种类型稻田中的第一主成分和第二主成分的特征向量（表 8）。由表 6 可知，两种取样方法下仅有物种数和目测法取样下丰富度指数在有机稻田和化防稻田中表现出差异显著性，而黄板法取样下丰富度指数，黄板法和目测法取样下均匀度指数和多样性指数在两种类型稻田中

表 5　2011 年黄板法和目测法取样下有机稻田和化防稻田节肢动物群落结构特征指数动态

Table 5　The quantitative dynamics of arthropod community structure characteristic index in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap sampling and eyeballing methods in 2011

样田 Samples	取样方法 Sampling methods	特征指数 Character index	调查日期 （月.日）Investigation date (month.day)							
			6.20	7.4	7.18	8.1	8.15	8.29	9.12	9.26
有机稻田 Organic paddy field	黄板法 Yellow board trap sampling	*S*	35.00	46.00	52.00	59.00	67.00	77.00	106.00	50.00
		R	6.24	7.67	8.35	9.29	9.73	10.22	15.82	8.59
		J	0.63	0.72	0.73	0.78	0.68	0.70	0.82	0.91
		H	2.25	2.74	2.87	3.20	2.87	3.05	3.84	3.54
	目测法 Eyeballing	*S*	12.00	25.00	29.00	35.00	30.00	25.00	33.00	23.00
		R	2.23	4.07	4.35	5.48	4.88	4.06	5.20	4.33
		J	0.36	0.65	0.43	0.56	0.73	0.79	0.74	0.80
		H	0.89	2.09	1.44	1.99	2.48	2.54	2.59	2.52
化防稻田 Chemical control paddy field	黄板法 Yellow board trap sampling	*S*	37.00	41.00	42.00	37.00	45.00	62.00	73.00	40.00
		R	6.79	7.15	7.02	6.03	6.74	8.86	11.42	7.51
		J	0.84	0.84	0.83	0.75	0.70	0.63	0.82	0.90
		H	3.03	3.13	3.09	2.70	2.68	2.62	3.52	3.40
	目测法 Eyeballing	*S*	10.00	19.00	14.00	26.00	18.00	22.00	28.00	14.00
		R	2.30	3.50	2.67	4.37	3.86	4.02	3.91	2.33
		J	0.78	0.75	0.67	0.62	0.84	0.50	0.42	0.90
		H	1.79	2.21	1.77	2.02	2.42	1.56	1.41	2.37

表 6　2011 年黄板法和目测法取样下 4 个特征指数在有机稻田和化防稻田中的差异显著性分析

Table 6　Analysis on significant difference of four arthropod community structure characteristic index in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap sampling and eyeballing methods in 2011

特征指数 Characteristic index	取样方法 Sampling methods	稻田类型 Type of paddy fields	
		有机稻田 Organic paddy field	化防稻田 Chemical control paddy field
物种数 *S*	黄板法 Yellow board trap sampling	61.50±22.11a	47.13±13.17b
	目测法 Eyeballing	26.50±7.17a	18.88±6.22b
丰富度指数 *R*	黄板法 Yellow board trap sampling	9.49±2.85a	7.69±1.71a
	目测法 Eyeballing	4.33±1.00a	3.37±0.82b
均匀度指数 *J*	黄板法 Yellow board trap sampling	0.75±0.09a	0.79±0.09a
	目测法 Eyeballing	0.63±0.17a	0.69±0.17a
多样性指数 *H*	黄板法 Yellow board trap sampling	3.05±0.49a	3.02±0.34a
	目测法 Eyeballing	2.07±0.62a	1.94±0.37a

均未表现出差异显著性。由表 7 可知，黄板法和目测法取样下有机稻田中第一主成分贡献率分别达到 77.20%和 75.93%，均大于化防稻田中第一主成分贡献率 55.17%和 71.15%%；黄板法和目测法取样下有机稻田中第二主成分贡献率分别为 22.33%和 23.70%，均小于化防稻田中第二主成分贡献率 44.68%和 26.44%。黄板和目测取样方法下有机稻田中第一和第二主成分累计贡献率分别共提取了群落特征指数 *S*、*R*、*J* 和 *H* 4 个指标中 99.53%和 99.62%的信息量，两种取样方法下化防稻田中第一和第二主成分累计贡献率分别共提取了群落特征指数 *S*、*R*、*J* 和 *H* 4 个

表 7 2011 年黄板法和目测法取样下有机稻田和化防稻田节肢动物群落结构特征指数的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 7 Eigenvalues, contribution rate and cumulative contribution rate of the arthropod community parameters in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap sampling and eyeballing methods in 2011

	稻田类型 Type of paddy fields	主分量 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate (%)	累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)
黄板法 Yellow board trap sampling	有机稻田 Organic paddy field	1	3.0879	77.20	77.20
		2	0.8932	22.33	99.53
		3	0.0182	0.45	99.98
		4	0.0007	0.02	100.00
	化防稻田 Chemical control paddy field	1	2.2068	55.17	55.17
		2	1.7872	44.68	99.85
		3	0.0050	0.12	99.97
		4	0.0010	0.03	100.00
目测法 Eyeballing	有机稻田 Organic paddy field	1	3.0370	75.92	75.92
		2	0.9479	23.70	99.62
		3	0.0145	0.36	99.98
		4	0.0006	0.02	100.00
	化防稻田 Chemical control paddy field	1	2.8461	71.15	71.15
		2	1.0573	26.44	97.59
		3	0.0902	2.25	99.84
		4	0.0064	0.16	100.00

表 8 2011 年黄板法和目测法取样下有机稻田和化防稻田节肢动物群落结构特征指数主分量的特征向量

Table 8 Eigenvector of the arthropod community parameters on the principal components in organic and chemical control paddy fields by yellow board trap sampling and eyeballing methods in 2011

稻田类型 Type of paddy fields	特征指数 Characteristic index	黄板法 Yellow board trap sampling		目测法 Eyeballing	
		第一主分量 First principal component	第二主分量 Second principal component	第一主分量 First principal component	第二主分量 Second principal component
有机稻田 Organic paddy field	*S*	0.5004	－0.4980	0.4785	－0.5615
	R	0.5286	－0.3770	0.5216	－0.4184
	J	0.4100	0.7332	0.4674	0.5955
	H	0.5496	0.2689	0.5297	0.3938
化防稻田 Chemical control paddy field	*S*	0.5508	－0.4295	0.5360	0.3587
	R	0.6425	－0.2207	0.4752	0.5462
	J	0.1785	0.7208	－0.5640	0.2929
	H	0.5020	0.4973	－0.4107	0.6980

指标中 99.85%和 97.59%的信息量，均满足大于 85%的原则。由表 8 可知，黄板法和目测法取样下有机稻田中 4 个群落结构特征指数 *S*、*R*、*J* 和 *H* 在第一主成分中的系数，均是 *H* 的系数最大，分别为 0.5496、0.5297；而在化防稻田中 4 个群落结构特征指数 *S*、*R*、*J* 和 *H* 在第一主成

分中的系数，黄板法取样下 R 的系数最大，为0.6425，目测法取样下 J 的系数绝对值最大，为0.5640，未表现出规律性。

3　结论和讨论

农田生态系统中生物多样性降低所导致的后果在作物病虫害防治方面显得最为突出（Flint and Roberts，1988）。因此，研究稻田生态系统中生物多样性变化规律是水稻病虫害防治的理论基础。本研究中，连续两年 3 种取样方法下两种类型稻田中 4 个结构特征指数方差分析结果表明仅有物种数在有机稻田和化防稻田中表现出差异显著性。连续两年 3 种取样方法下两种类型稻田中结构特征指数主成分分析表明有机稻田中 4 个群落结构特征指数 S、R、J 和 H 在第一主成分中的系数，均是多样性指数 H 的系数最大，这表明多样性指数 H 对群落“综合指标”的贡献最大；而在化防稻田中 4 个群落结构特征指数 S、R、J 和 H 在第一主成分中的系数未表现出规律性。这可能与化学农药的使用干扰了稻田生态系统平衡有关。群落稳定性一直为群落生态学家所关注，但对其表述及成因解释也各不相同（高宝嘉等，1992；陈亦根等，2004）。本研究对不同取样方法下两种类型稻田中结构特征指数分别采用方差分析法和主成分分析法，得出对群落稳定性贡献最大不同的结构特征指数，也证明了群落稳定性成因复杂性。

对于以害虫控制为目标的节肢动物群落稳定性，害虫的发生情况以及群落对害虫的自然控制作用应是稳定性的基本内涵（张飞萍和尤民生，2007）。多样性是稳定性的前提和基础，多样性会增加稳定性（MacArthur，1955）。以往研究中对群落稳定性的测度多数是应用物种丰富度、Shannon-Wienner 指数等多样性指数进行稳定性分析（William and Murdoch，1975；金翠霞等，1990；黄正恩等，2004）。本研究中，第一年黄板和吸虫器法取样下有机稻田中主要节肢动物群落结构特征指数第一主成分贡献率大于化防稻田中第一主成分贡献率；第 2 年黄板法和目测法取样下有机稻田中主要节肢动物群落结构特征指数第一主成分贡献率也大于化防稻田中第一主成分贡献率。主成分分析法在不损失或很少损失原有信息的前提下，将原来个数较多而且彼此相关的指标转化为新的个数较少且彼此独立的综合指标，避免了重复信息干扰（张振文和姚庆群，2005）。基于这种主成分分析法定义，本研究认为，稻田节肢动物群落结构特征指数第一主成分贡献率可以作为有机稻田和化防稻田生态系统调控功能差异的量化指标之一，以评价稻田生态系统抗性程度。

参考文献 (References)

Chen YG, Xiong JJ, Huang MD, Gu DJ, 2004. Diversity and stability of arthropod assemblage in tea orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(5): 875–878. [陈亦根, 熊锦君, 黄明度, 古德就, 2004. 茶园节肢动物类群多样性和稳定性研究. 应用生态学报, 15(5): 875–878.]

Chen HF, Li KS, Yu P, Huang JH, 2015. Analysis on arthropod community structure parameters in paddy fields by the yellow board trap sampling. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 35(1): 447–450. [陈洪凡, 李快生, 余鹏, 黄建华, 2015. 黄板诱集法取样下稻田节肢动物群落结构特征参数分析. 山西农业大学学报, 35(1): 447–450.]

Fitt GP, 1989. The ecology of *Heliothis* species in relation to agro-ecosystem. *Annual Review of Entomology*, 34: 17–52.

Flint ML, Roberts PA, 2009. Using crop diversity to manage pest problems: some California examples. *American Journal of Altiernative Agriculture*, 3(4): 163–167.

Gao BJ, Zhang ZZ, Li ZY, 1992. Studies on the influence closed forest on the structure, diversity and stability of insect community. *Acta Ecologica Sinca*, 12(1): 1–7. [高宝嘉, 张执中, 李镇宇, 1992. 封山育林对昆虫群落结构及多样性稳定性影响的研究. 生态学报, 12(1): 1–7.]

Huang DC, 2003. Dynamic monitoring of arthropod and major pests in organic paddy fields. Doctoral thesis. Guangzhou : South China Agricultural University. [黄德超, 2003. 有机稻田节肢动物与主要害虫动态监测. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学.]

Huang ZE, Du XG, Dong M, Yang DP, Zhang LD, 2004. Effects of organic management on the stability of arthropods in organic tea ardens. Chinese *Agricultural Science Bulletin*, 20(6): 57–98.

[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 communties in paddy fields. *Acta Entomologica Sinica*, 33(3): 287–295. [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.]

Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 1999b. Study on the arthropod community in paddy field using modified blower-vac machine. *Plant Protection*, 25(6): 39–40. [刘雨芳, 张古忍, 古德祥, 1999b. 利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落. 植物保护, 25(6): 39–40.]

Macarthur R, 1955. Fluctuation of animal populations and ameasure of community stability. *Ecology*, 36(3): 533–536.

Ma FY, 2002. Research advances on ecosystem stability. *Journal of Desert Research*, 22(4): 401–407.

Song JF, Li DJ, Liu CQ, Liu YH, Liu YH, 2010. Principal components analysis and cluster analysis of flavor compositions in waxy corn soft can. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(10): 2122–2131. [宋江峰, 李大婧, 刘春泉, 刘玉花, 2010. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析. 中国农业科学, 43(10): 2122–2131.]

Murdoch WW, 1975. Diversity, complexity, stability and pest control. *Journal of Applied Ecology*, 12(3): 795–807.

Yang L, Zhang CX, Kang GD, Tian Y, Cong PH, 2015. Rheologic properties of ‘Huahong’apple pulp and their principal component analysis. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(12): 2417–2427. [杨玲, 张彩霞, 康国栋, 田义, 丛佩华, 2015. ‘华红’苹果果肉的流变特性及其主成分分析. 中国农业科学, 48(12): 2417–2427.]

Yin DM, Zhang XG, Wang Y, Cui DH, 2011. Principal component analysis and comprehensive evaluation on quality traits of peanut parents. *Journal of Plant Genetic Resources*, 12(4): 507–512. [殷冬梅, 张幸果, 王允, 崔党辉, 2011. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价. 植物遗传资源学报, 12(4): 507–512.]

Yuan ZF, Zhou JY, 2002. Multivariate Statistical Analysis. Beijing: Science Press. 234–258. [袁志发, 周静芋, 2002. 多元统计分析. 北京: 科学出版社. 234–258.]

Yu L, Zhang SL, Li QC, Yang S, Wang ZL, Wu XZ, Lu Y, Zhao L, 2016. Application of principal component analysis in the screening of kidney bean varieties. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 41(1): 91–96. [余莉, 张时龙, 李清超, 杨珊, 王昭礼, 吴宪志, 卢运, 赵龙, 2016. 主成分分析在芸豆品种筛选中的应用. 东北农业科学, 41(1): 91–96.]

Zhang FP, You MS, 2007. Diversity and stability of the arthropod communities in different forest types of the bamboo *Phyllostachys heterocycla cv. pubescens*. *Acta Entomologica Sinica*, 50(1): 31–37. [张飞萍, 尤民生, 2007. 不同林分类型毛竹林节肢动物群落的多样性与稳定性. 昆虫学报, 50(1): 31–37.]

Zhang ZW, Yao QQ, 2005. Application of principal component analysis in the mango storing up characteristic. *Subtropical Plant Science*, 34(2): 25–28. [张振文, 姚庆群, 2005. 主成分分析法在芒果贮藏特性分析中的应用. 亚热带植物科学, 34(2): 25–28.]