

# 不同样方尺度下鄱阳湖湿地典型草洲植物种间关联性

段后浪<sup>1</sup>, 赵安<sup>1\*</sup>, 姚忠<sup>2</sup>

(1. 江西师范大学地理与环境学院, 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022; 2. 江西省科学院, 南昌 330096)

**摘要:** 为了解群落中优势植物的关联程度和性质随样方尺度的变化, 在鄱阳湖湿地典型草洲-南矶湿地国家级自然保护区选取 8 块样地(大小 8 m×8 m, 样带间隔 100 m, 样地间隔 80 m), 每个样地依次划分为 1 m×1 m、2 m×2 m 和 4 m×4 m 等 3 个样方尺度, 利用方差比率法、卡方检验和 Jaccard 指数检验方法, 研究群落优势植物总体关联程度和性质及两两物种对间关联程度和性质随样方尺度扩大的变化。结果表明, 该研究区优势物种有灰化藁草(*Carex cinerascens*)、水田碎米荠(*Cardamine lyrata*)、萎蒿(*Artemisia selengensis*)、通泉草(*Mazus japonicus*)、菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)、南荻(*Triarrhena lutarioriparia*)和早熟禾(*Poa annua*)。随样方尺度扩大, 物种重要值除灰化藁草先增加后减少以外, 其他物种的变化均不显著。7 种优势植物组成的 21 个物种对随样方尺度扩大, 植物总体关联性不显著且由负关联转向正关联。在 3 个样方尺度条件, 21 个物种对的多呈现不显著关联。随样方尺度的扩大, 种间呈显著关联的物种对逐渐减少; 种间呈正关联的物种对逐渐增加。Jaccard 指数表明, 各物种对随样方尺度的扩大, 种间关联程度不断增加。这是由于研究区地被植物种类较多, 分布频度较低, 不同样方尺度下, 群落内部资源分布差异以及物种之间的竞争与协同关系所致。

**关键词:** 鄱阳湖; 湿地; 草洲植物; 样方尺度; 种间关联

doi: 10.11926/jtsb.3862

## Species Relationship among Typical Marshland Plants in Poyang Lake Region on Different Sample Scale

DUAN Hou-lang<sup>1</sup>, ZHAO An<sup>1\*</sup>, YAO Zhong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, School of Geography and Environmental Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China)

**Abstract:** In order to understand the changes in species relationship of dominant species with sample scale, a typical wetland in the Poyang Lake region, the Nanji Wetland National Nature Reserve was selected as the study area, three belt transects with spacing interval 100 m were surveyed, which consisting of 2–3 sample plots (8 m×8 m in size) with sample spacing interval 80 m for each transect, eight sample plots in total. Each sample plot was divided into three sample unit scales with spatial sizes of 1 m×1 m, 2 m×2 m and 4 m×4 m. The methods of variance ratio test,  $\chi^2$  test, Jaccard index were used to measure the change tendency of overall interspecies association and pair interspecies association for the community dominant plants with expansion of the sample unit scales. The results showed that *Carex cinerascens*, *Cardamine lyrata*, *Artemisia selengensis*, *Mazus japonicus*, *Potentilla tanacetifolia*, *Triarrhena lutarioriparia*, and *Poa annua* were dominant species according impotence

收稿日期: 2017-12-12 接受日期: 2018-01-25

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(81260449); 江西省青年科学基金项目(20132BAB214022); 江西省教育厅 2012 年度科技项目(CJJ12185)资助  
This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 81260449), the Science Foundation for Youths in Jiangxi Province (Grant No. 20132BAB214022), and the Project for Science and Technology of Jiangxi Education Department in 2012 (Grant No. CJJ12185).

作者简介: 段后浪(1992~), 男, 硕士研究生, 从事植物生态学研究。E-mail: duanh12408@126.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zhaonjxsd@126.com

value. With increase of sample unit scale, the changes in importance value of dominant species were not significant except of *Carex cinerascens*, which increased at first and then decreased. According to variance ratio test, there were no significant difference in overall interspecies association for the 21 species pairs from the seven dominant species, and which changed from negative association to positive association with the increment of the sample unit scale. From  $\chi^2$  test, there was no significant difference in species-species association for most of the 21 species pairs at the three sample unit scales. With enlargement of sample unit sizes, the number of species pairs with significant association dropped down and that with positive association stepped up gradually. According to Jaccard index, the degree of species pair association enhanced continuously with increment of sample unit scales. Therefore, it was caused that there were many plant species with low occurrence frequency, the resources distribution variation within plant communities at different sample scales and the competition/cooperation relations between plant species in the study area.

**Key words:** Poyang Lake region; Wetland; Marshland species; Sample scale; Species relationship

种间关联性是指植物群落中不同植物种群空间分布上的相互关联,是由区域环境因子差异导致的<sup>[1-2]</sup>。根据植物群落内物种对生境的选择及相互促进和相互抑制关系,可将植物种间关联性分为正关联和负关联。植物种间正关联是由两物种生物学特性相近、具有相似的生态环境适应性形成的<sup>[3]</sup>;植物种间负关联是由物种自身生物学特性的差异或对不同环境的适应有显著区别所导致的<sup>[4]</sup>。有研究表明,植物群落种间关联的性质和程度会随着取样面积的变化而发生改变。具体表现为,当样方面积较小时,区域环境资源有限,物种间对资源的争夺产生的竞争关系一般呈负关联,随着样方面积的扩大,区域空间及资源量也在增加,物种间由竞争逐渐转向协同进化,种间关联也由负关联转向正关联<sup>[5-6]</sup>;而关联程度的变化要根据物种的生物学特性去具体分析。因此,基于一定取样面积序列探讨植物种间关联性很有必要,不仅可以理清物种对间关联性随取样面积的变化规律,同时有助于正确认识植物群落物种相互作用的生态学过程<sup>[7-8]</sup>。

鄱阳湖作为我国第一大淡水湖泊,在其“高水是湖,低水似河”的水文过程作用下,形成了独特的水陆兼有的湿地生态系统<sup>[9]</sup>,湖区水位年际波动导致植物群落生物多样性及分布格局发生变化。近年来,有关湖区植被的研究主要集中在群落成分和分布格局方面<sup>[10-11]</sup>,而对于植物种间关系的研究较少且仅停留在单一取样尺度上<sup>[12]</sup>,无法真正理清不同样方面积序列植物种间相互作用关系的变化规律。本文选取鄱阳湖区典型草洲-南矶山国家级自然保护区穿盔甲东湖草洲为试验

区,在试验区设置 8 个 8 m×8 m 的样地,考虑到试验区植被种类以草本植物(多数物种盖度低于 50%,株高低于 1 m)为主,且预试验时沿着 8 个样地起点横纵方向 8 m 左右调查,当距离大于 4 m 后物种数变化不大,故每个样地按 1 m×1 m、2 m×2 m、4 m×4 m 共 3 个面积梯度取样,探讨随着取样面积增加,研究区群落优势植物总体关联程度和性质如何变化,以及研究区优势植物两两物种对间的关联程度和性质的变化规律,为鄱阳湖湿地生态系统植物群落中物种关系研究提供科学参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

鄱阳湖南矶湿地国家级自然保护区,位于江西南昌鄱阳湖主湖区南部,是赣江三大支流的河口与鄱阳湖大水体之间的水陆过渡地带<sup>[13]</sup>。自然保护区由南山岛、矾山岛及大面积的湖泊与草洲组成,总面积约 33 300 hm<sup>2</sup>。保护区属于亚热带暖湿型季风气候,四季分明,年均气温 17℃~17.8℃,年均降雨量为 1 650 mm。区内受人为干扰较小,拥有独特的湿地自然景观和丰富的生物多样性。植被类型繁多,有水生植物、湿生植物、湖滨高滩草甸植被、丘陵岗地植被、人工植被。其中湿生植被中以灰化藁草(*Carex cinerascens*)、水田碎米荠(*Cardamine lyrata*)、萹蒿(*Artemisia selengensis*)、通泉草(*Mazus japonicus*)、菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)、南荻(*Triarrhena lutarioriparia*)、早熟禾(*Poa annua*)为主要优势物种。

### 1.2 采样方法

正式调查之前, 在南矶湿地国家级自然保护区穿盩甲东湖开展相关预试验, 观察同一地点不同高程段上植物群落物种的变化, 确定正式调查拟设置的样点位置。于 2016 年 10 月 30 日-11 月 3 日在南矶湿地国家级自然保护区穿盩甲东湖草洲(图 1: A)依海拔高程梯度从湖岸往湖心方向平行设置 3 条样带, 样带间隔 100 m, 于每条样带上等间距 80 m 设置 3 个 8 m×8 m 的固定样地, 其中第 3 条样带第

1 个样地因受当地人锄草影响较大舍弃, 共设置 8 个样地(图 1: B)。每个样地划分成 64 个 1 m×1 m 的基本样方(图 1: C), 以面向湖面左下角的基本样方为起点, 在纵向与横向依次扩大样方, 形成 3 个面积尺度: 1 m×1 m、2 m×2 m、4 m×4 m。8 个样地 3 个面积尺度的样方数分别为 512、128 和 32 个。记录每个样地 1 m×1 m 尺度内的植物种数、名称、高度和盖度, 以及内部微环境。以样地为单位用 GPS 记录经纬度。

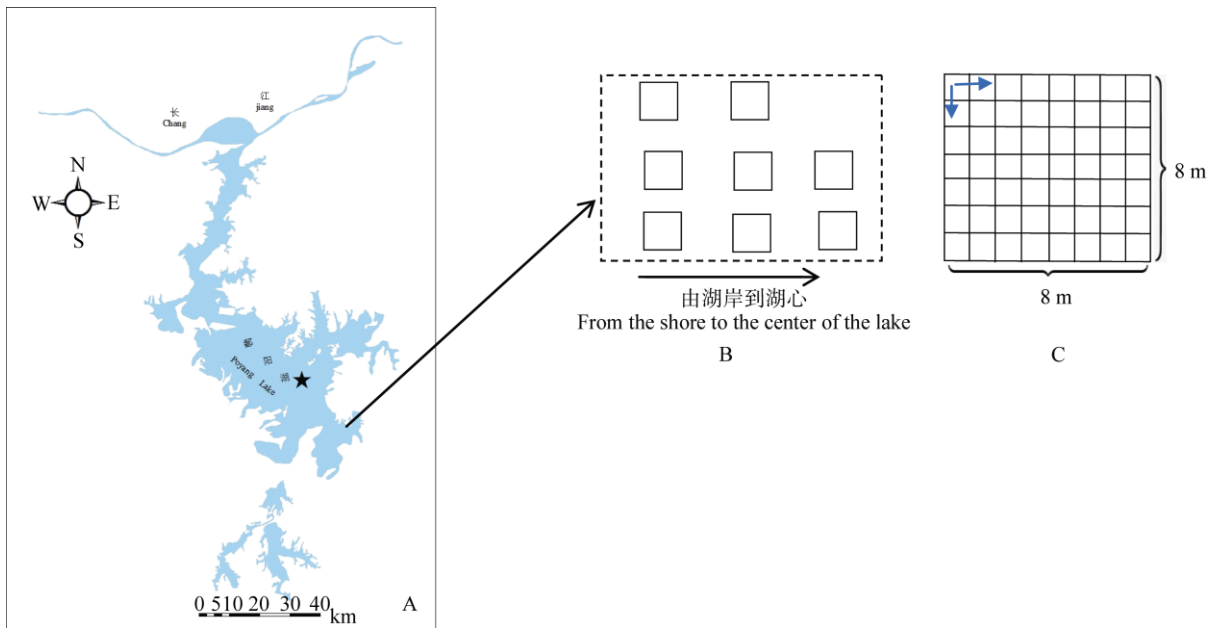


图 1 研究区位置及样地设置图

Fig. 1 Map of study area and sample plots

### 1.3 重要值计算

根据物种在 8 个样地 512 个 1 m×1 m 样方中出现的频率, 以频率大于 10% 的物种为优势植物, 有灰化藁草、水田碎米荠、萎蒿、通泉草、菊叶委陵菜、南荻、早熟禾共 7 种。分别计算 7 种植物在 3 个面积梯度内的重要值(IV)<sup>[14]</sup>:  $IV = (\text{相对高度} + \text{相对盖度})/2$ ,  $IV_{\text{平均}} = IV / \text{样方总数}$ , 相对高度以每物种在每个样地该面积梯度内的高度除以该面积梯度内所有物种高度之和; 相对盖度以每物种在每个样地该面积梯度内的盖度除以该面积梯度内所有物种的盖度之和。 $IV_{\text{平均}}$ 为每物种在所有样地该面积梯度内重要值的均值。对于 2 m×2 m 和 4 m×4 m 面积梯度, 每物种在每个样地该面积梯度内的高度和盖度取该面积梯度内所有 1 m×1 m 样方中该物种高度和盖度的均值。

### 1.4 多物种间的总体关联性测度

基于研究区 7 优势物种在样方中存在与否的二元数据矩阵, 根据 Schluter 提出的方差比率法(VR)<sup>[15]</sup>计算 3 个样方尺度物种总体间的关联性, 并用统计量 W ( $W = VR \times N$ )判断关联性是否显著, 计算公式为:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^s p_i(1 - p_i); p_i = \frac{n_i}{N}; S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2;$$

$$VR = \frac{S_T^2}{\delta_T^2}$$

式中,  $\delta_T^2$  表示不同物种出现的样方数目方差,  $S_T^2$  表示不同样方出现的物种数目方差。S 为不同样方尺度下的总物种数; N 为不同样方尺度下的样方数;

$n_i$  为不同样方尺度下物种  $i$  出现的样方数;  $T_j$  为不同样方尺度下样方  $j$  内出现的物种数;  $t$  为不同样方尺度下全部样方中物种的平均数, 即  $t=(T_1+T_2+\dots+T_N)/N$ 。

$VR>1$  表示物种总体呈正关联;  $VR<1$  表示物种总体呈负关联;  $VR=1$  表示物种总体无关联; 当  $W$  值位于  $\chi^2_{0.95}, N<W<\chi^2_{0.05}, N$  这一分布范围时, 表示物种总体上表现为不显著关联。

### 1.5 两两物种间关联性测度

**卡方检验** 用卡方统计量检验每个面积梯度内两两物种对间的关联性, 多采用 Yate 的连续性校正公式<sup>[16]</sup>计算:

$$\chi^2 = \frac{(|ad - bc| - N/2)^2 * N}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

式中,  $a$  为 2 物种同时出现的样方数;  $b$ 、 $c$  为 2 物种仅有 1 物种出现的样方数;  $d$  为 2 物种都不出现的样方数。当  $\chi^2<3.814$ , 表明 2 物种间关联不显著; 当  $3.814<\chi^2<6.635$ , 认为 2 物种间显著关联; 当  $\chi^2>6.635$ , 表明 2 物种间极显著关联。用公式  $V=(a+d)-(b+c)/(a+b+c+d)$  判定种间关联的正负性, 当  $V>0$  时, 种间呈正关联;  $V<0$  时, 种间呈负关联。

表 1 3 个面积梯度下植物物种重要值

Table1 Importance value of plant species at three area scales

植物 Species	科 Family	面积 Area		
		1 m×1 m	2 m×2 m	4 m×4 m
1. 灰化藁草 <i>Carex cinerascens</i>	莎草科 Cyperaceae	0.486	0.507	0.450
2. 水田碎米荠 <i>Cardamine lyrata</i>	十字花科 Cruciferae	0.017	0.018	0.014
3. 萎蒿 <i>Artemisia selengensis</i>	菊科 Compositae	0.086	0.091	0.083
4. 通泉草 <i>Mazus japonicus</i>	玄参科 Scrophulariaceae	0.004	0.004	0.002
5. 菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	蔷薇科 Rosaceae	0.037	0.036	0.030
6. 南荻 <i>Triarrhena lutarioriparia</i>	禾本科 Gramineae	0.045	0.044	0.030
7. 早熟禾 <i>Poa annua</i>	禾本科 Gramineae	0.229	0.232	0.208

### 2.2 总体关联性

采用方差比率法计算出研究区 3 个样方尺度 1 m×1 m、2 m×2 m、4 m×4 m 内的 VR 值分别为 0.81、0.86 和 1.63, 3 个样方尺度总体关联性依次为负关联、负关联、正关联。3 个样方尺度内检验统计量分别为 414.7、110.8 和 52.16, 分别对照不同自由度下的卡方检验临界值  $\chi^2_{0.95,512}$  和  $\chi^2_{0.05,512}$ 、 $\chi^2_{0.95,128}$  和  $\chi^2_{0.05,128}$ 、 $\chi^2_{0.95,32}$  和  $\chi^2_{0.05,32}$ , 均落在相对应的临界值之间, 说明 3 个样方尺度内物种总体关

**Jaccard 指数** 卡方检验只能检验出两个物种间关联性是否显著, 而对于两个物种之间关联不显著的情况, 不一定就不存在关联性, 可用 Jaccard 来计算种间关联程度强弱。相比其他种间关联程度计算公式, Jaccard 指数可以避免由于  $d$  值较高(即多数物种对在多个样地都没有出现)而计算出的两物种间关联程度偏高的情况<sup>[8]</sup>, 比较符合本研究的现状。计算公式为:  $Jaccard=a/(a+b+c)$ <sup>[17]</sup>, 其中,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  与卡方检验中相同, Jaccard 值越接近于 1, 表示两物种间关联性越强。

## 2 结果和分析

### 2.1 物种重要值

研究区中植物种类较多, 除优势种灰化藁草外, 以株高较矮的地被植物为主, 且多数出现频率较低, 重要值极小。根据 8 个样地 512 个 1 m×1 m 样方统计每物种出现频度, 计算出现频率, 以出现频率大于 10% 的 7 物种作为群落优势种。从表 1 可见, 每个样方面积梯度内, 灰化藁草和早熟禾的重要值均位于前两位, 且随着取样面积的增加, 重要值呈现先增后减的趋势; 其他物种在 3 个面积梯度内重要值相对较低, 且随样方面积的增加变化较小。

关联性均不显著, 趋于独立分布。

### 2.3 两两物种间关联性卡方检验结果

3 个面积梯度的卡方检验结果见图 2~4。7 优势物种组成 21 个种对, 取样面积为 1 m×1 m 时, 种间显著和极显著的物种对有 9 对, 占总数的 42.86%; 21 个物种对中种间正负关联比为 8:13。取样面积为 2 m×2 m 时, 种间显著和极显著的物种对有 6 对, 占总数的 28.57%; 21 个物种对中种间

正负关联比为 10 : 11。取样面积为 4 m × 4 m 时, 种间显著和极显著的物种对有 5 对, 占总数的 23.81%; 21 个物种对中种间正负关联比为 20 : 1。3 个样方尺度条件下, 植物种间呈显著关联的物种对很少, 随着取样尺度的增加, 物种对之间逐渐由负关联转向正关联, 且呈显著关联的物种对数也在不断减少。

1							
-	2						
-	-**	3					
+	+	-	4				
+	-**	+**	-	5			
-	+	+	+	-	6		
-	-**	+	-	-**	-**	7	

图 2 1 m × 1 m 面积梯度内卡方检验。1~7 见表 1; -: 负关联; \*: 显著; \*\*: 极显著; +: 正关联。

Fig. 2  $\chi^2$  test in the area gradient of 1 m × 1 m. 1-7 see Table 1; -: Negative correlation; \*: Significant; \*\*: Most significant; +: Positive correlation.

1							
-	2						
+	-**	3					
-	+	+	4				
+	-**	+**	-	5			
-	-	-	+	-	6		
+	-**	+	+**	+**	-	7	

图 3 2 m × 2 m 面积梯度内卡方检验

Fig. 3  $\chi^2$  test in the area gradient of 2 m × 2m

1							
null	2						
null	+	3					
null	+	+	4				
null	+	+**	+	5			
null	-	+	+	+**	6		
null	+	+**	+	+**	+	7	

图 4 4 m × 4 m 面积梯度内卡方检验。Null: 无有效的卡方值。

Fig. 4  $\chi^2$  test in the area gradient of 4 m × 4m. null: No effective  $\chi^2$  value.

### 2.4 两两物种间关联性 Jaccard 指数结果

3 个面积梯度种间关联性 Jaccard 指数结果见表 2~4。7 个优势物种组成的 21 个种对中, 样方尺度为 1 m × 1 m 时, Jaccard > 0.6 占 4.8%, 0.4 < Jaccard ≤ 0.6 占 19.0%, Jaccard ≤ 0.4 的有 16 对占 76.2%; 样方尺度为 2 m × 2 m 时, Jaccard > 0.6 占 23.8%, 0.4 < Jaccard ≤ 0.6 占 9.5%, Jaccard ≤ 0.4 占 66.7%; 样方尺度为 4 m × 4 m 时, Jaccard > 0.6 占 47.6%; 0.4 <

Jaccard ≤ 0.6 占 33.3%, Jaccard ≤ 0.4 占 19.1%。样方尺度由 1 m × 1 m 到 4 m × 4 m, 绝大多数物种间关联程度在逐渐增加。

表 2 1 m × 1 m 面积梯度内 Jaccard 指数

Table 2 Jaccard index in the area gradient of 1 m × 1m

物种编号 Species No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00						
2	0.27	1.00					
3	0.46	0.12	1.00				
4	0.11	0.11	0.08	1.00			
5	0.52	0.10	0.42	0.12	1.00		
6	0.12	0.04	0.13	0.06	0.12	1.00	
7	0.54	0.09	0.38	0.14	0.62	0.08	1.00

表 3 2 m × 2 m 面积梯度内 Jaccard 指数

Table 3 Jaccard index in the area gradient of 2 m × 2m

物种编号 Species No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00						
2	0.56	1.00					
3	0.71	0.35	1.00				
4	0.26	0.24	0.19	1.00			
5	0.70	0.32	0.65	0.29	1.00		
6	0.17	0.11	0.19	0.15	0.25	1.00	
7	0.76	0.29	0.58	0.32	0.64	0.17	1.00

表 4 4 m × 4 m 面积梯度内 Jaccard 指数

Table 4 Jaccard index in the area gradient of 4 m × 4 m

物种编号 Species No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00						
2	0.81	1.00					
3	0.91	0.72	1.00				
4	0.59	0.50	0.60	1.00			
5	1.00	0.69	0.90	0.62	1.00		
6	0.28	0.20	0.38	0.41	0.56	1.00	
7	0.69	0.55	0.75	0.60	0.92	0.53	1.00

## 3 讨论

种间总体关联与种对关联的衡量是基于物种之间完全没有关联的零假设<sup>[18]</sup>上的, 本研究区域范围较小, 影响物种空间分布的大尺度环境因子相对一致, 如果不考虑微观环境因子的局部变异性 and 物种之间的相互作用关系, 物种应该与完全随机(即相对独立)分布大致吻合。但由于局部微观环境因子的空间差异和物种之间的相互关联, 导致物种在空间上形成一定的吸引聚集和排斥离散分布规律。局部

尺度的种间关联与区域尺度的种间关联可能是不同的<sup>[19]</sup>；样方面积不同，其内部微环境会有差异，群落组成及结构也随之发生变化<sup>[20]</sup>。本研究样方尺度从 1 m×1 m 到 4 m×4 m，群落物种数逐渐增加，且增加的植物以株高较矮的地被植物为主，出现频率较低；灰化藁草、水田碎米荠、萎蒿、通泉草、菊叶委陵菜、南荻、早熟禾均为群落优势种，而且除灰化藁草和早熟禾之外，其他物种重要值随样方尺度的增加变化较小，原因主要是水田碎米荠、通泉草、菊叶委陵菜均为地被植物，与灰化藁草伴生，喜阴湿，出现频率较低，能够适应的土壤湿度范围较广，样方面积的扩大对其生长影响较小；而灰化藁草和早熟禾多数高度大于 80 cm，盖度之和超过样方面积半数，易受到样方尺寸变化带来的环境异质性的影响。

方差比率法结果表明，样方尺度扩大，种间总体关联性均不显著，且由负关联转向正关联，植物种间关系由竞争变成协同，对资源的利用趋于平衡，群落趋向稳定<sup>[21-22]</sup>。卡方检验显示样方尺度从 1 m×1 m 扩大到 4 m×4 m，种间呈显著关联的物种对较少且呈递减趋势，表明 3 个样方尺度，物种种间关系较为松散，呈独立分布，且该趋势随取样面积的扩大越来越显著<sup>[23]</sup>，原因可能是物种只能在一定空间尺度范围内才会发生相互作用，超过这个尺度后二者之间的相互作用会逐渐减弱<sup>[24]</sup>，多数物种如水田碎米荠、通泉草等，株高较矮、盖度极低，种间关系仅在小尺度样方才能得以体现，当样方面积扩大到一定程度后，不再受其他植物影响。而且，植物种间关联性在取样面积增加的过程中会由负关联转向正关联，这也是植物群落趋向稳定的表现。以灰化藁草、早熟禾为例，二者生物学特性相近，株高和盖度均在群落中占据绝对优势，在 1 m×1 m 样方尺度内，资源缺乏，二者相互竞争极易产生种间负关联<sup>[25]</sup>，当样方尺度扩大时，区域资源相对丰富，二者由相互竞争开始逐渐趋于双方有利的生长模式，维持群落内的稳定性，种间关系转向正关联<sup>[26]</sup>，这也进一步验证了方差比率法的结果。

在卡方检验基础上，进一步通过 Jaccard 指数来反映卡方检验不显著的物种对间的种间关联程度。样方尺度由 1 m×1 m 向 4 m×4 m 的转变过程中，绝大多数物种对间 Jaccard 指数在不断上升，因为随着样方面积由 1 m<sup>2</sup> 增加到 16 m<sup>2</sup>，*a* 值增加，相应的 *b*、*c* 值减小，于是 Jaccard 指数增大。值得注

意的是，当样方尺度增加到 4 m×4 m 时，灰化藁草与其他几种植物卡方检验值均无效，但 Jaccard 指数值却较大，原因主要是当样方尺度扩大到 4 m×4 m 时，灰化藁草出现频率已达到 100%，无法得到与其形成种对的有效卡方值。研究过程中我们参考了王伯荪等<sup>[27]</sup>提出的当某个物种在所有样方中都出现的情况，将灰化藁草进行加权处理，令 *b*、*d* 均为 1，但计算结果依然是种对间呈不显著关联。相关研究表明，当样方面积过大时，导致 1 个样方中的物种数过多，使得原本具有负关联的物种出现在同一样方中，会出现误判<sup>[24]</sup>。

## 参考文献

- [1] YANG Q Q, YANG Z Y, CHEN X H, et al. Interspecific associations of dominant plant populations in secondary forest of *Syzygium odoratum* in tropical coast [J]. *Sci Silv Sin*, 2017, 53(9): 105–113. doi: 10.11707/j.1001-7488.20170913.  
杨青青, 杨众养, 陈小华, 等. 热带海岸香蒲桃天然次生林群落优势种群种间关联性 [J]. *林业科学*, 2017, 53(9): 105–113. doi: 10.11707/j.1001-7488.20170913.
- [2] MLIGO C. Diversity and distribution pattern of riparian plant species in the Wami River System, Tanzania [J]. *J Plant Ecol*, 2017, 10(2): 259–270. doi: 10.1093/jpe/rtw021.
- [3] WU C P, YUAN W G, SHENG W X, et al. Spatial distribution patterns and associations of tree species in typical natural secondary forest communities in Zhejiang Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, 38(2): 1–13.  
吴初平, 袁位高, 盛卫星, 等. 浙江省典型天然次生林主要树种空间分布格局及其关联性 [J]. *生态学报*, 2018, 38(2): 1–13.
- [4] KONG Y Y, YU Y W, HOU F J. Interspecific associations in plant communities under yak dung depositions in an alpine meadow [J]. *Acta Pratacult Sin*, 2017, 26(3): 44–52. doi: 10.11686/cyxb2016145.  
孔杨云, 于应文, 侯扶江. 牦牛粪沉积下高寒草甸植物群落种间关联研究 [J]. *草业学报*, 2017, 26(3): 44–52. doi: 10.11686/cyxb2016145.
- [5] DAI X L, XIE J P, LU J F, et al. Interspecific associations of dominant species of wetland plant communities in Dunhuang Yangguan Reserve [J]. *Chin Agric Bull*, 2016, 32(13): 118–124. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15110106.  
代雪玲, 谢建平, 逮军峰, 等. 敦煌阳关保护区湿地植物群落优势种间关系分析 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32(13): 118–124. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15110106.
- [6] FENG W, ZHAO C Z, HAN L, et al. Spatial pattern and spatial asso-

- ciation of *Myricaria bracteata* and *Tamarix ramosissima* in Zhangye Wetland [J]. *Chin J Ecol*, 2016, 35(10): 2583–2591. doi: 10.13292/j.1000-4890.201610.022.
- 冯威, 赵成章, 韩玲, 等. 张掖湿地宽苞水柏枝和多枝怪柳种群的空间分布格局与关联性分析 [J]. *生态学杂志*, 2016, 35(10): 2583–2591. doi: 10.13292/j.1000-4890.201610.022.
- [7] WIENS J A. Spatial scaling in ecology [J]. *Funct Ecol*, 1989, 3(4): 385–397. doi: 10.2307/2389612.
- [8] ZHANG J T. Quantitative Ecology [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2011.
- 张金屯. 数量生态学 [M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [9] JIN Q, WU Q, ZHONG X Z, et al. Soil organic carbon and its components under different plant communities along a water table gradient in the Poyang Lake Wetland [J]. *Chin J Ecol*, 2017, 36(5): 1180–1187. doi: 10.13292/j.1000-4890.201705.020.
- 金奇, 吴琴, 钟欣孜, 等. 鄱阳湖湿地水位梯度下不同植物群落类型土壤有机碳组分特征 [J]. *生态学杂志*, 2017, 36(5): 1180–1187. doi: 10.13292/j.1000-4890.201705.020.
- [10] TAN Z Q, ZHANG Q, LI Y L, et al. Distribution of typical vegetation communities along elevation in Poyang Lake Wetlands [J]. *Wetland Sci*, 2016, 14(4): 506–515. doi: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2016.04.009.
- 谭志强, 张奇, 李云良, 等. 鄱阳湖湿地典型植物群落沿高程分布特征 [J]. *湿地科学*, 2016, 14(4): 506–515. doi: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2016.04.009.
- [11] XU J X, XU L G, JIANG J H, et al. Change of vegetation community structure and the relationship between it and soil nutrients in typical beaches in Poyang Lake area [J]. *Wetland Sci*, 2013, 11(2): 186–191. doi: 10.3969/j.issn.1672-5948.2013.02.006.
- 许加星, 徐力刚, 姜加虎, 等. 鄱阳湖典型洲滩植物群落结构变化及其与土壤养分的关系 [J]. *湿地科学*, 2013, 11(2): 186–191. doi: 10.3969/j.issn.1672-5948.2013.02.006.
- [12] DUAN H L, ZHAO A, YAO Z. Species relationship between the plant species in typical marshland in Poyang Lake Region [J]. *Wetland Sci*, 2017, 15(1): 107–113. doi: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2017.01.016.
- 段后浪, 赵安, 姚忠. 鄱阳湖区典型草洲植物种间关联性研究 [J]. *湿地科学*, 2017, 15(1): 107–113. doi: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2017.01.016.
- [13] ZHANG J. Investigation on the invasive plants in Nanjishan Nature Reserve of Poyang Lake [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2015, 23(4): 419–427. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.009.
- 张杰. 鄱阳湖南矶山湿地自然保护区的外来入侵植物调查与分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2015, 23(4): 419–427. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.009.
- [14] DUAN H L, ZHAO A, YAO Z. Analysis of wetland plant-soil relationships and population niches in Chayegang Marshland near Henghu Farm in the Poyang Lake Region during the dry season [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, 37(11): 3744–3754. doi: 10.5846/stxb201604050614.
- 段后浪, 赵安, 姚忠. 恒湖农场茶叶港草洲枯水期湿地植物与土壤关系及种群生态位分析 [J]. *生态学报*, 2017, 37(11): 3744–3754. doi: 10.5846/stxb201604050614.
- [15] JIAN Z J, LI T Z, GUO Q S, et al. Interspecific association of main plants in the water level fluctuation zone of canyon landform area of the three gorges reservoir [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2016, 36(10): 2086–2093. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2016.10.2086.
- 简尊吉, 李堂中, 郭泉水, 等. 三峡水库峡谷地貌区消落带主要植物种间关联性研究 [J]. *西北植物学报*, 2016, 36(10): 2086–2093. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2016.10.2086.
- [16] CHUN F, ZHAO M L, SAIXIYA L T, et al. Interspecific associations among dominant species in natural colonized plant communities on the Bayinhua Mining Area in Inner Mongolia [J]. *China J Grassland*, 2017, 39(5): 90–95. doi: 10.16742/j.zgdx.2017-05-13.
- 春风, 赵萌莉, 赛西亚拉图, 等. 内蒙古巴音华矿区自然定居植物群落优势种间关系研究 [J]. *中国草地学报*, 2017, 39(5): 90–95. doi: 10.16742/j.zgdx.2017-05-13.
- [17] XU J S, WANG M, CHAI Y F, et al. Interspecific association of medicinal herbs in Ziwuling Region [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2015, 35(11): 2307–2314. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2015.11.2307.
- 许金石, 王茂, 柴永福, 等. 子午岭地区草本药用植物种间联结性研究 [J]. *西北植物学报*, 2015, 35(11): 2307–2314. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2015.11.2307.
- [18] GETZIN S, WIEGAND T, WIEGAND K, et al. Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands [J]. *J Ecol*, 2008, 96(4): 807–820. doi: 10.1111/j.1365-2745.2008.01377.x.
- [19] KUŽELOVÁ I, CHYTRÝ M. Interspecific associations in phytosociological data sets: How do they change between local and regional scale? [J]. *Plant Ecol*. 2004, 173(2): 247–257. doi: 10.1023/B:VEGE.0000029330.38055.8e.
- [20] McNICKLE G G, LAMB E G, LAVENDER M, et al. Checkerboard score-area relationships reveal spatial scales of plant community structure [J/OL]. *Oikos*, 2017 [2017-10-26]. doi: 10.1111/oik.4620.
- [21] LIU Y Q, LIU J Z, CHEN Y J, et al. Environmental characteristics and interspecific associations in the lower reaches of the Kongque River [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, 37(8): 2706–2718. doi: 10.5846/stxb201511302400.
- 刘亚琦, 刘加珍, 陈永金, 等. 孔雀河下游断流河道的环境特征及

- 物种间关系 [J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2706–2718. doi: 10.5846/stxb201511302400.
- [22] SONG M, YU L, JIANG Y, et al. Nitrogen-controlled intra- and inter-specific competition between *Populus purdomii* and *Salix rehderiana* drive primary succession in the Gongga Mountain Glacier Retreat Area [J]. Tree Physiol, 2017, 37(6): 799–814. doi: 10.1093/treephys/tpx017.
- [23] ZHANG Y, GUO L P, YI X M, et al. Analysis of interspecific associations among major tree species in three forest communities on the north slope of Changbai Mountain [J]. Acta Ecol Sin, 2015, 35(1): 106–115. doi: 10.5846/stxb201403250548.
- 张悦, 郭利平, 易雪梅, 等. 长白山北坡 3 个森林群落主要树种种间联结性 [J]. 生态学报, 2015, 35(1): 106–115. doi: 10.5846/stxb201403250548.
- [24] LI G, ZHU Z H, WANG X A, et al. Interspecific association of trees species in *Quercus wutaiensis* communities in Ziwu Mountain related to quadrat size [J]. Chin J Ecol, 2008, 27(5): 689–696.
- 李刚, 朱志红, 王孝安, 等. 子午岭辽东栎群落乔木种间联结与取样面积 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(5): 689–696.
- [25] DEMALACH N, ZAADY E, WEINER J, et al. Size asymmetry of resource competition and the structure of plant communities [J]. J Ecol, 2016, 104(4): 899–910. doi: 10.1111/1365-2745.12557.
- [26] MADSEN J S, RØDER H L, RUSSEL J, et al. Coexistence facilitates interspecific biofilm formation in complex microbial communities [J]. Environ Microbiol, 2016, 18(8): 2565–2574. doi: 10.1111/1462-2920.13335.
- [27] WANG B S, PENG S L. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower-subtropical evergreen broad-leaved forests: I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association [J]. Chin J Plant Ecol, 1985, 9(4): 274–285.
- 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究: I. 种间联结测式的探讨与修正 [J]. 植物生态学报, 1985, 9(4): 274–279.