

浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群的物种多样性、环境解释及空间分布格局分析

朱 弘^{1a,1b}, 蔡厚才², 尤禄祥^{1a,1b}, 伊贤贵^{1a,1b}, 杨国栋^{1a,1b},
段一凡^{1a,1b}, 陈万东², 王贤荣^{1a,1b,①}

(1. 南京林业大学: a. 生物与环境学院, b. 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037;
2. 南麂列岛国家级海洋自然保护区管理局, 浙江 温州 325400)

摘要: 在野外调查基础上,对浙江南麂列岛大嵛山屿水仙(*Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem.)自然居群5个典型生境(乔木林地、林缘、弃耕地、荒坡和灌木林地)的物种组成和 α 多样性指数进行分析,并采用典范对应分析(CCA)、最小生成树(MST)分析和空间点格局分析(SPPA)分别研究水仙自然居群物种分布与主要环境因子的关系、水仙与其伴生种的种间关系及空间分布格局。结果表明:浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境共有植物28种,其中,乔木林地、林缘、弃耕地、荒坡和灌木林地分别有16、13、9、8和8种。5个生境中水仙的重要值均最高。弃耕地和乔木林地的Shannon-Wiener多样性指数较高,灌木林地和林缘其次,荒坡最低。5个生境的聚类分析结果显示:弃耕地和乔木林地聚为一组,其他3个生境聚为另一组。CCA排序结果显示:水仙的分布与坡度呈负相关,与土壤的电导率、含水量和温度以及坡向和海拔呈正相关,说明水仙适宜生长于坡度平缓以及土壤的含水量、电导率和温度适中的生境。MST分析结果显示:水仙与其伴生种羊蹄(*Rumex japonicus* Houtt.)、鬼针草(*Bidens pilosa* Linn.)、野艾蒿(*Artemisia lavandulifolia* DC.)的种间关系最近,这3个伴生种应作为水仙自然居群恢复生物治理的重点防控对象。SPPA分析结果显示:荒坡中水仙群丛分布数量相对较多,集中分布于东北角,西部和南部较少;在0.0~0.1 m尺度时,水仙群丛表现为随机分布;在大于0.1 m尺度时,表现为集中分布。研究结果显示:浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群主要集中分布在东南坡的弃耕地,海岛生境异质性与自身繁殖特性是影响南麂列岛水仙自然居群恢复的关键因素,建议对水仙群落动态进行长期监测和相关研究,并结合岛屿生态系统进行综合管理。

关键词: 南麂列岛; 水仙; α 多样性指数; 生境; 典范对应分析(CCA); 环境因子; 空间分布格局

中图分类号: Q948.3; S682.2⁺1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)03-0100-09
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.03.13

Analyses on species diversity, environmental interpretation and spatial distribution pattern of natural population of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province ZHU Hong^{1a,1b}, CAI Houcai², YOU Luxiang^{1a,1b}, YI Xiangui^{1a,1b}, YANG Guodong^{1a,1b}, DUAN Yifan^{1a,1b}, CHEN Wandong², WANG Xianrong^{1a,1b,①} (1. Nanjing Forestry University: a. College of Biology and the Environment, b. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing 210037, China; 2. Nanji Islands National Marine Nature Reserve Administration, Wenzhou 325400, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(3): 100–108

Abstract: Based on field survey, species composition and α diversity indexes of five typical habitats (arbor land, forest edge, abandoned land, waste hillside and shrub land) of natural population of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province were

收稿日期: 2017-03-13

基金项目: 南麂列岛国家级海洋自然保护区研究项目(NJKJ-2016-006)

作者简介: 朱 弘(1990—),男,浙江杭州人,博士研究生,主要从事亚热带植物地理学与海岛生物多样性方面的研究。

①通信作者 E-mail: wangxianrong66@njfu.edu.cn

analyzed, and the relationship between species distribution and main environmental factors, interspecific relationship between *N. tazetta* var. *chinensis* and its associated species, and spatial distribution pattern of natural population of *N. tazetta* var. *chinensis* were studied by using canonical correspondence analysis (CCA), minimum spanning tree (MST) analysis and spatial point pattern analysis (SPPA), respectively. The results show that there are 28 species in five habitats of natural population of *N. tazetta* var. *chinensis* on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province, in which, there are 16, 13, 9, 8 and 8 species in arbor land, forest edge, abandoned land, waste hillside and shrub land, respectively. Important value of *N. tazetta* var. *chinensis* in all five habitats is the highest. Shannon-Wiener diversity index of abandoned land and arbor land is higher, that of shrub land and forest edge is the second, while that of waste hillside is the lowest. Cluster analysis result of five habitats shows that abandoned land and arbor land are clustered into one group, and other three habitats are clustered into the other group. CCA ordination result shows that distribution of *N. tazetta* var. *chinensis* is negatively correlated with slope, and positively correlated with electrical conductivity, water content and temperature of soil, aspect, and altitude, indicating that habitat with gentle slope, and moderate water content, electrical conductivity and temperature of soil is suitable for the growth of *N. tazetta* var. *chinensis*. MST analysis result shows that *N. tazetta* var. *chinensis* has the closest interspecific relationship with its associated species *Rumex japonicus* Houtt., *Bidens pilosa* Linn. and *Artemisia lavandulifolia* DC., which should be considered as key prevention objects in biological treatment for restoration of natural population of *N. tazetta* var. *chinensis*. SPPA analysis result shows that number of *N. tazetta* var. *chinensis* association distributed in the waste hillside is relatively high, which distributes concentratedly in the northeast corner, but rarely in the west and south; *N. tazetta* var. *chinensis* association shows random distribution at the scale of 0.0–0.1 m; when the scale is greater than 0.1 m, it shows concentrated distribution. It is suggested that natural population of *N. tazetta* var. *chinensis* on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province mainly distributes concentratedly in abandoned land on the southeast slope, and heterogeneity of island habitat and self-reproduction characteristics are the key factors influencing restoration of natural population of *N. tazetta* var. *chinensis* on Nanji Islands. Long-term monitoring and related research are recommended for the community dynamics of *N. tazetta* var. *chinensis*, and integrated management combined with the ecosystem of the island is also suggested.

Key words: Nanji Islands; *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem.; α diversity index; habitat; canonical correspondence analysis (CCA); environmental factor; spatial distribution pattern

水仙(*Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem.)为石蒜科(Amaryllidaceae)具有地下鳞茎的多年生草本植物,仅1个变种零星逸生于中国东部沿海诸岛的温暖湿润区,进而成为归化种^[1],故又称为中国水仙。根据许荣义^[2]的报道,水仙的代表自然居群主要分布在福建的平潭岛、南日岛和大西洋岛,浙江的普陀岛、朱家尖岛和南麂列岛以及上海崇明岛等地。其中,南麂列岛分布的水仙自然居群是20世纪90年代初为建立自然保护区而进行自然资源综合考察时发现的,主要集中分布于大槠山屿,且由于长期的地理隔绝,南麂列岛分布的水仙产生了形态分化,其鳞茎密、植株小、花朵大的主要表型特点区别于临近地区(福建漳州和浙江普陀山等地)分布的归化水仙^[3-4]。南麂列岛分布的水仙花期长、香气浓,具有较高的观赏价值,也是珍贵的水仙种质资源之一。作为南麂列岛陆生特色植物的典型代表,水仙在岛屿生态系统中占据着极其特殊的地位。然而,岛屿的空间异质性及

植被退化造成南麂列岛水仙自然居群规模较小、分布范围有限,加上气候的影响与人为干扰的加剧,其生境十分脆弱,较陆地种群更具灭绝风险^[5]。目前,有关水仙的研究报道主要集中在形态分类、生物化学及遗传育种^[6-8]等方面。针对南麂列岛大槠山屿水仙的自然分布现状,进而定性和定量开展水仙的生存评价及水仙与生物和非生物因子关系的研究仍处于空白状态。

本研究以浙江南麂列岛国家级海洋自然保护区核心区之一大槠山屿分布的水仙自然居群为研究对象,研究水仙自然居群不同生境的物种组成、 α 多样性指数、与环境因子和伴生种的关系及空间分布格局,旨在了解大槠山屿水仙自然居群的生境现状和主要环境影响因子,揭示野生水仙对环境的响应机制,以为海岛水仙野生资源的种群恢复和生物多样性保护提供管理依据,同时丰富南麂列岛岛屿生态系统的研究资料。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

浙江南麂列岛地处中亚热带海洋性季风区,年均降水量 1 063.4 mm,年均气温 16.5 °C。地质地貌属于基岩质海岛,土壤以红壤、粗骨土和滨海盐土为主。其中,大槽山屿位于南麂列岛北侧,距南麂岛 1.95 km,岛屿岸线长度 4.02 km,陆域面积 0.394 5 km²,隶属南麂列岛国家级海洋自然保护区,其东北侧为核心区,西南侧为实验区,岛上居住有少量渔民。

南麂列岛植被类型属亚热带针阔混交林,乔木树种以人工栽培为主,包括台湾相思 (*Acacia confusa* Merr.)、黑松 (*Pinus thunbergii* Parl.)、马尾松 (*P. massoniana* Lamb.)、木麻黄 (*Casuarina equisetifolia* Linn.) 和笔管榕 (*Ficus subpisocarpa* Gagnep.) 等;灌木多

为野生,以野梧桐 [*Mallotus japonicus* (Linn. f.) Müller Arg.] 和滨柃 [*Eurya emarginata* (Thunb.) Makino] 为代表^[9-10]。水仙自然居群主要集中在核心区。

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置和调查方法 于 2017 年 1 月 7 日至 1 月 10 日,由保护区工作人员带领,对南麂列岛大槽山屿所有水仙自然居群进行全面调查,记录水仙的长势(株高、叶长和开花数量)、数量、分布,并对代表生境拍照记录。

在线路调查的基础上,采取典型取样法,在大槽山屿水仙自然居群的乔木林地、林缘、弃耕地、荒坡和灌木林地 5 个典型生境内各设置 1 个面积 10 m × 10 m 的固定样方,在每个固定样方的 4 个角及中心各选取 1 个面积 2 m × 2 m 的样方,使用 PVC 管进行四角定桩标记,调查并统计样方内灌木和草本的种类和数量。5 个样方的概况见表 1。

表 1 浙江南麂列岛大槽山屿水仙自然居群 5 个样方的概况

Table 1 Status of five quadrats of natural population of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province

样方 Quadrat	生境类型 ¹⁾ Habitat type ¹⁾	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	土壤相关指标 ($\bar{X} \pm SD$) ²⁾ Related indexes of soil ($\bar{X} \pm SD$) ²⁾		
							含水量/% Water content	电导率/mS · cm ⁻¹ Electrical conductivity	温度/°C Temperature
1	T1	E121°05'11"	N27°29'38"	48	17	西 West	24.01 ± 7.49a	1.15 ± 0.23a	16.68 ± 0.77d
2	T2	E121°05'11"	N27°29'40"	61	27	南 South	13.46 ± 2.20b	1.30 ± 0.18a	15.62 ± 0.19e
3	T3	E121°05'11"	N27°29'38"	55	10	西南 Southwest	14.02 ± 7.50b	1.30 ± 0.27a	19.18 ± 0.13a
4	T4	E121°05'10"	N27°29'38"	45	31	东南 Southeast	6.93 ± 1.61b	1.15 ± 0.14a	18.78 ± 0.78b
5	T5	E121°05'10"	N27°29'38"	49	25	西 West	11.59 ± 8.01b	1.13 ± 0.23a	17.92 ± 0.45c

¹⁾ T1: 乔木林地 Arbor land; T2: 林缘 Forest edge; T3: 弃耕地 Abandoned land; T4: 荒坡 Waste hillside; T5: 灌木林地 Shrub land.

²⁾ 同列中不同的小写字母表示不同生境间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different habitats ($P < 0.05$).

采用五点取样法,使用 TRIME-PCIO TDR 便携式土壤水分测量仪(北京澳作生态仪器有限公司)在野外直接获取土壤因子,包括土壤含水量、土壤电导率和土壤温度,所有指标均重复测量 5 次。使用 GPS 测量经度、纬度和海拔;使用水准仪测量坡度,使用罗盘测量坡向,并将坡向分为 8 个等级,北为 1,东北为 2,西北为 3,东为 4,西为 5,东南为 6,西南为 7,南为 8,数值越大,表示光照条件越好。

1.2.2 群落特征分析 参照文献[11]计算不同生境草本和灌木的重要值(IV),并计算物种 α 多样性指数,包括物种丰富度(S)、Shannon-Wiener 多样性指数(H_e')、Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 均匀度

指数(J_e)。

为消除不同单位、量纲对数据分析的影响,采用公式“ $Y = 1 - [0.9 \cdot (V_{\max} - V) / (V_{\max} - V_{\min})]$ ”^[12]对上述地形因子做归一化处理,得到 0~1 的区间值。式中,Y 为各地形因子归一化后的数值,V 为各地形因子的测量值, V_{\max} 和 V_{\min} 分别为各地形因子的最大值和最小值。

1.2.3 典范对应分析和最小生成树分析 以重要值为物种数据源,建立与环境因子的联合矩阵,进行生境-环境因子-物种的典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA),得到二维排序图,并进行水仙与其伴生种的最小生成树(minimum spanning

tree, MST) 分析。

1.2.4 空间点格局分析 采用 Ripley^[13] 的 $K(d)$ 函数的空间点格局分析法分析南麂列岛大槠山屿水仙自然居群的空间分布格局, 在荒坡样方内随机选取面积 5 m×5 m 的小样方进行空间点格局分析, 采用相邻格子法进一步将其划分成 16 个面积 1.25 m×1.25 m 的小样方, 将每个小样方的西南角作为原点, 东西向为 X 轴, 南北向为 Y 轴, 测量水仙群丛(以主鳞茎球为中心的若干水仙集合)到 X 轴和 Y 轴的距离, 并统一转化为样地坐标值。采用 Monte-Carlo 方法^[14] 在纵坐标绘制上、下 2 条包迹线(围成 95% 的置信区间)来分析水仙自然居群的空间分布格局。

1.3 数据处理

采用 EXCEL 2010 软件进行数据整理和多样性

指数计算; 采用 SPSS 16.0 统计分析软件进行土壤因子的单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)的多重比较($\alpha = 0.05$); 采用 PAST 3 (Version 3.16) 软件包(<http://folk.uio.no/ohammer/past/>)进行聚类分析、典范对应分析、最小生成树分析和空间点格局分析的图形绘制。

2 结果和分析

2.1 物种组成和重要值分析

浙江南麂列岛大槠山屿水仙自然居群 5 个生境的物种组成及重要值见表 2。由表 2 可以看出: 浙江南麂列岛大槠山屿水仙自然居群的 5 个典型生境共出现植物 28 种, 其中, 乔木林地和林缘中种类较多,

表 2 浙江南麂列岛大槠山屿水仙自然居群 5 个生境的物种组成及重要值

Table 2 Species composition and important value of five habitats of natural population of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province

编号 No.	种类 Species	重要值/% ¹⁾ Important value ¹⁾				
		乔木林地 Arbor land	林缘 Forest edge	弃耕地 Abandoned land	荒坡 Waste hillside	灌木林地 Shrub land
1	阿拉伯婆婆纳 <i>Veronica persica</i>	—	—	5.9	5.2	2.3
2	滨柃 <i>Eurya emarginata</i>	0.2	—	—	—	—
3	繁缕 <i>Stellaria media</i>	—	—	—	1.3	—
4	凤尾丝兰 <i>Yucca gloriosa</i>	—	4.8	—	—	0.5
5	葛 <i>Pueraria montana</i>	1.0	—	—	—	—
6	枸杞 <i>Lycium chinense</i>	—	5.1	0.5	—	—
7	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	1.8	—	—	6.3	23.2
8	红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>	4.9	4.1	—	—	—
9	火炭母 <i>Polygonum chinense</i>	—	2.9	—	1.8	2.2
10	金疮小草 <i>Ajuga decumbens</i>	2.0	—	—	—	—
11	龙葵 <i>Solanum nigrum</i>	—	—	0.9	—	—
12	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	—	5.1	1.9	0.9	6.0
13	木防己 <i>Cocculus orbiculatus</i>	—	—	—	0.2	—
14	木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	2.4	—	—	—	—
15	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	0.5	—	—	—	—
16	野梧桐 <i>Mallotus japonicus</i>	1.5	12.8	—	—	10.4
17	山姜 <i>Alpinia japonica</i>	1.2	—	—	—	—
18	水仙 <i>Narcissus tazetta</i> var. <i>chinensis</i>	36.1	44.8	49.5	53.6	19.2
19	小果菝葜 <i>Smilax davidiana</i>	—	2.6	—	—	—
20	花叶滇苦菜 <i>Sonchus asper</i>	—	—	0.4	—	—
21	鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	—	1.8	—	—	—
22	羊蹄 <i>Rumex japonicus</i>	1.5	—	4.6	—	—
23	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulifolia</i>	2.4	5.1	6.2	3.7	—
24	野胡萝卜 <i>Daucus carota</i>	—	1.0	—	—	—
25	野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i>	3.4	2.5	—	—	—
26	一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>	1.1	—	—	—	—
27	泽漆 <i>Euphorbia helioscopia</i>	1.6	—	—	—	0.5
28	猪殃殃 <i>Galium spurium</i>	6.3	6.0	2.8	—	—

¹⁾—: 无分布 No distribution.

分别有16和13种;弃耕地、荒坡和灌木林地中种类较少,分别有9、8和8种。

由表2还可以看出:5个生境中,水仙的重要值均最高,在居群中占主导优势,伴生种多为华东地区常见的一年生或二年生杂草或归化种,仅少数种类为滨海小乔木或灌木,如滨柃、凤尾丝兰(*Yucca gloriosa* Linn.)、野梧桐和木麻黄等。

2.2 α 多样性指数分析

浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境物种 α 多样性指数的比较结果见表3。由表3可以看出:浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境的物种丰富度(S)由高到低依次为乔木林地(16)、林缘(13)、弃耕地(9)、荒坡和灌木林地(均为8)。5个生境的Shannon-Wiener多样性指数(H_e')由高到低依次为弃耕地(1.930)、乔木林地(1.512)、灌木林地(1.287)、林缘(1.097)、荒坡(0.966)。乔木林地和灌木林地的Simpson多样性指数(D)较高,分别为0.859和0.845;弃耕地、林缘和荒坡的 D 值较低,分别为0.765、0.745和0.705。5个生境的Pielou均匀度指数(J_e)由高到低依次为弃耕地(0.752)、灌木林地(0.619)、乔木林地(0.545)、林缘(0.499)、荒坡(0.464)。

表3 浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境物种 α 多样性指数的比较¹⁾

Table 3 Comparison on α diversity indexes of species in five habitats of natural population of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province¹⁾

生境类型 ²⁾ Habitat type ²⁾	S	H_e'	D	J_e
T1	16	1.512	0.859	0.545
T2	13	1.097	0.745	0.499
T3	9	1.930	0.765	0.752
T4	8	0.966	0.705	0.464
T5	8	1.287	0.845	0.619

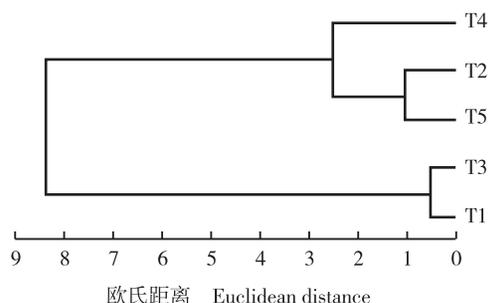
¹⁾ S : 物种丰富度 Species richness; H_e' : Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index; D : Simpson 多样性指数 Simpson diversity index; J_e : Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index.

²⁾ T1: 乔木林地 Arbor land; T2: 林缘 Forest edge; T3: 弃耕地 Abandoned land; T4: 荒坡 Waste hillside; T5: 灌木林地 Shrub land.

2.3 聚类分析

浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境的聚类分析结果见图1。由图1可以看出:浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境可划分为2组,弃耕地和乔木林地聚为一组;荒坡、林缘和灌木林地

聚为另一组,其中,林缘和灌木林地聚为1个亚组,荒坡单独为1个亚组。



T1: 乔木林地 Arbor land; T2: 林缘 Forest edge; T3: 弃耕地 Abandoned land; T4: 荒坡 Waste hillside; T5: 灌木林地 Shrub land.

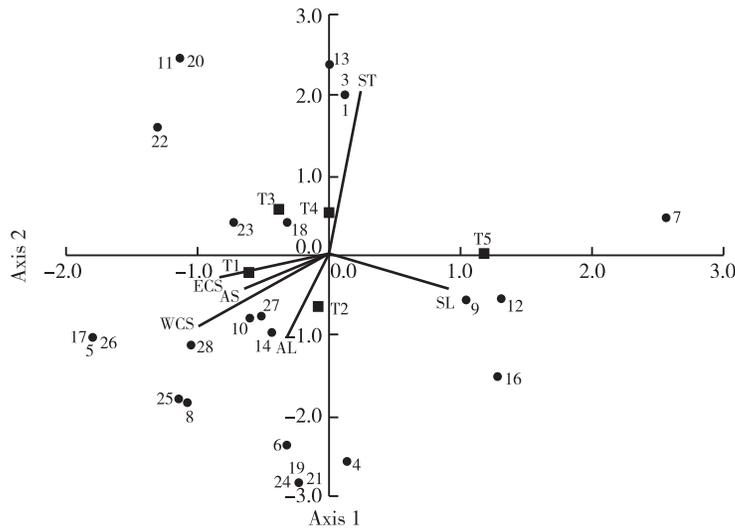
图1 浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境的聚类图
Fig. 1 Cluster diagram of five habitats of natural population of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province

2.4 典范对应分析

在典范对应分析的二维排序图中,直线代表环境因子,其所在象限表示环境因子与排序轴相关性的正负;直线的长短表示植物群落分布与环境因子相关性的强弱;直线在排序轴的斜率大小表示环境因子与排序轴相关性的强弱^[15]。浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群5个生境及其物种组成与环境因子的二维排序图见图2。由图2可以看出:第1排序轴主要反映坡度和土壤电导率的梯度变化,且二者呈负相关关系。水仙位于第2象限,其分布与坡度呈负相关;对与水仙分布呈正相关的环境因子的相关性进行排序,由大到小依次为土壤电导率、坡向、土壤含水量、海拔。第2排序轴主要反映土壤温度与海拔的梯度变化,其中,水仙分布与土壤温度呈正相关。5个生境中,弃耕地分布在第2象限,与水仙最近,反映出弃耕地与适宜水仙分布的生境接近。整体来看,水仙适宜生长于坡度较缓,土壤的电导率、含水量和温度适中的生境。

2.5 最小生成树分析

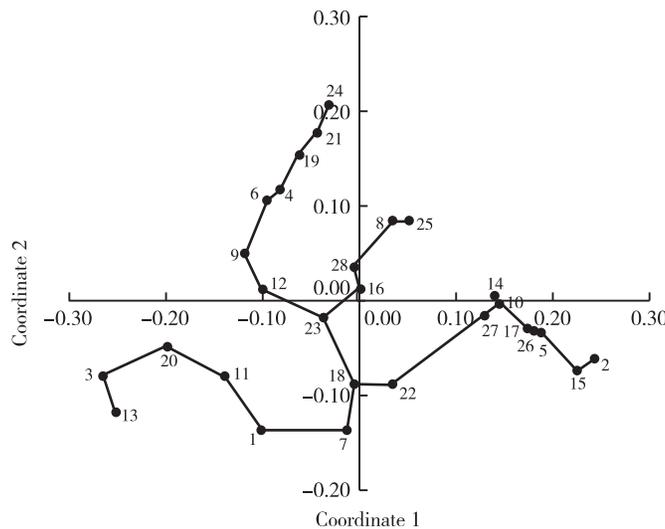
浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群中水仙及其伴生种的最小生成树分析结果见图3。由图3可以看出:浙江南麂列岛大嵛山屿水仙自然居群分布的28种植物中,水仙处于树状网络的中心,说明水仙在整个居群中处于最重要的地位,这与重要值的计算结果相一致;并且在3个方向上分别与其伴生种羊蹄



1: 阿拉伯婆婆纳 *Veronica persica*; 2: 滨柃 *Eurya emarginata*; 3: 繁缕 *Stellaria media*; 4: 凤尾丝兰 *Yucca gloriosa*; 5: 葛 *Pueraria montana*; 6: 枸杞 *Lycium chinense*; 7: 鬼针草 *Bidens pilosa*; 8: 红花酢浆草 *Oxalis corymbosa*; 9: 火炭母 *Polygonum chinense*; 10: 金疮小草 *Ajuga decumbens*; 11: 龙葵 *Solanum nigrum*; 12: 芒 *Miscanthus sinensis*; 13: 木防己 *Cocculus orbiculatus*; 14: 木麻黄 *Casuarina equisetifolia*; 15: 忍冬 *Lonicera japonica*; 16: 野梧桐 *Mallotus japonicus*; 17: 山姜 *Alpinia japonica*; 18: 水仙 *Narcissus tazetta* var. *chinensis*; 19: 小果菝葜 *Smilax davidiana*; 20: 花叶滇苦菜 *Sonchus asper*; 21: 鸭跖草 *Commelina communis*; 22: 羊蹄 *Rumex japonicus*; 23: 野艾蒿 *Artemisia lavandulifolia*; 24: 野胡萝卜 *Daucus carota*; 25: 野菊 *Chrysanthemum indicum*; 26: 一点红 *Emilia sonchifolia*; 27: 泽漆 *Euphorbia helioscopia*; 28: 猪殃殃 *Galium spurium*. T1: 乔木林地 Arbor land; T2: 林缘 Forest edge; T3: 弃耕地 Abandoned land; T4: 荒坡 Waste hillside; T5: 灌木林地 Shrub land. AL: 海拔 Altitude; SL: 坡度 Slope; AS: 坡向 Aspect; WCS: 土壤含水量 Water content in soil; ECS: 土壤电导率 Electrical conductivity of soil; ST: 土壤温度 Soil temperature.

图 2 浙江南麂列岛大福山屿水仙自然居群 5 个生境及其物种组成与环境因子的二维排序图

Fig. 2 Two-dimensional ordination diagram of five habitats and their species composition with environmental factors of natural population of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province



1: 阿拉伯婆婆纳 *Veronica persica*; 2: 滨柃 *Eurya emarginata*; 3: 繁缕 *Stellaria media*; 4: 凤尾丝兰 *Yucca gloriosa*; 5: 葛 *Pueraria montana*; 6: 枸杞 *Lycium chinense*; 7: 鬼针草 *Bidens pilosa*; 8: 红花酢浆草 *Oxalis corymbosa*; 9: 火炭母 *Polygonum chinense*; 10: 金疮小草 *Ajuga decumbens*; 11: 龙葵 *Solanum nigrum*; 12: 芒 *Miscanthus sinensis*; 13: 木防己 *Cocculus orbiculatus*; 14: 木麻黄 *Casuarina equisetifolia*; 15: 忍冬 *Lonicera japonica*; 16: 野梧桐 *Mallotus japonicus*; 17: 山姜 *Alpinia japonica*; 18: 水仙 *Narcissus tazetta* var. *chinensis*; 19: 小果菝葜 *Smilax davidiana*; 20: 花叶滇苦菜 *Sonchus asper*; 21: 鸭跖草 *Commelina communis*; 22: 羊蹄 *Rumex japonicus*; 23: 野艾蒿 *Artemisia lavandulifolia*; 24: 野胡萝卜 *Daucus carota*; 25: 野菊 *Chrysanthemum indicum*; 26: 一点红 *Emilia sonchifolia*; 27: 泽漆 *Euphorbia helioscopia*; 28: 猪殃殃 *Galium spurium*.

图 3 浙江南麂列岛大福山屿水仙自然居群中水仙及其伴生种的最小生成树

Fig. 3 Minimum spanning tree of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. and its associated species in natural population of *N. tazetta* var. *chinensis* on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province

(*Rumex japonicus* Houtt.)、鬼针草(*Bidens pilosa* Linn.)、野艾蒿(*Artemisia lavandulifolia* DC.)的距离最近。

2.6 空间点格局分析

为了排除其他物种的干扰,选取 α 多样性指数最低的荒坡样方分析浙江南麂列岛大糯山屿水仙自然居群的分布格局。空间点格局分析结果显示:水仙群

丛分布数量相对较多,西部和南部分布较少,集中分布于东北角(图4-A)。

在0.0~0.1 m尺度,水仙群丛分布于上、下包迹线(95%置信区间)之间,表现为随机分布;在大于0.1 m尺度,水仙群丛分布于上、下包迹线之外,表现为集中分布和较强的种间联结关系。总体表现为集中分布格局(图4-B)。

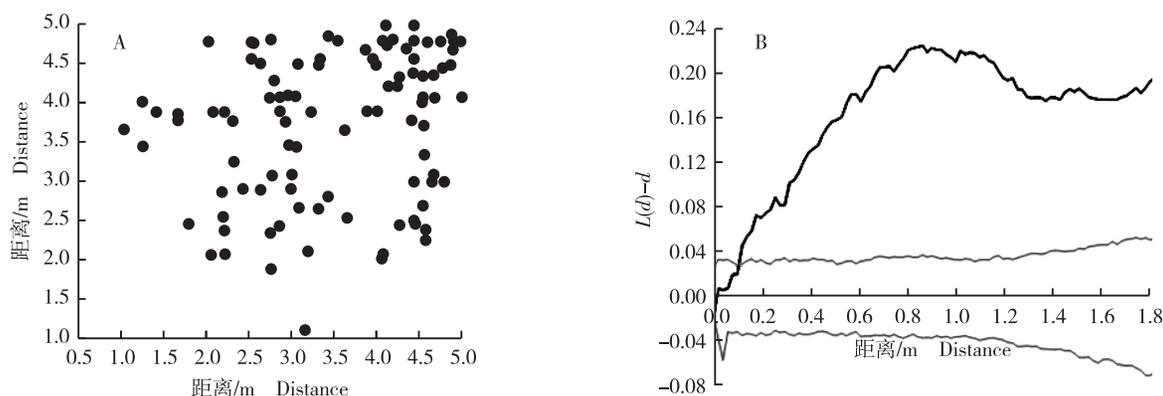


图4 浙江南麂列岛大糯山屿水仙自然居群荒坡中水仙群丛的空间点格局分析

Fig. 4 Spatial point pattern analysis on *Narcissus tazetta* var. *chinensis* M. Roem. association in waste hillside of natural population of *N. tazetta* var. *chinensis* on Daleishan Island of Nanji Islands in Zhejiang Province

3 讨论和结论

物种多样性是生态系统功能和结构的基础,可直接或者间接表征群落及生态系统结构的复杂性和生境差异^[15]。而同一区域内环境因子的变化规律亦可以反映群落类型的更替情况^[16],微生境下的水热条件和土壤养分等变化引起的物种选择、资源竞争和生境变化最终决定了植物居群的类型^[17]。本研究结果表明:浙江南麂列岛大糯山屿水仙自然居群不同生境的物种组成存在差异。 α 多样性指数和聚类分析结果显示:弃耕地和乔木林地的 Shannon-Wiener 多样性指数(H_e')、Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J_e)均较高,且聚为一组。具体环境特征表现为弃耕地坡度最平缓,且土壤的电导率、温度和含水量在5个生境中均较高,反映出经过人工改造的农田即使废弃多年,但土壤仍具有较好的理化性质,最有利于水仙的生长;乔木林地的土壤含水量最高,间接体现了上层乔木的遮阴及森林涵养水源的巨大作用;林缘和灌木林地的 H_e' 、 D 和 J_e 值居中,主要由于2个

生境的坡度居中,土壤的含水量和电导率差异不显著;荒坡的 H_e' 、 D 和 J_e 值最低,主要由于其坡度最大,土壤的含水量和电导率较低。

为了进一步定量揭示浙江南麂列岛大糯山屿水仙自然居群分布与其生态环境的内在联系,需要选择更有效的统计方法。典范对应分析(CCA)作为主流的数量排序法,广泛应用于植物生态学领域,在解释植被-环境关系方面优于除趋势对应分析(DCC)和除趋势典范对应分析(DCCA)排序^[16,18-19]。由 CCA 排序结果可知:水仙自然居群分布与坡度呈负相关,与土壤的电导率、含水量、温度以及海拔呈正相关,但与海拔的相关性较低。综合分析认为,水仙自然居群适合生长于坡度较缓,土壤盐分和水分适中,以及土壤温度适宜的生境,这与作者实际调查结果相符,即南麂列岛大糯山屿的水仙优势居群主要集中分布在东南坡的弃耕地。

在植物演替的过程中,伴生种的生长对其构成存在一定影响,比如生态位的重叠等。已有研究多采用种间关联^[20]和竞争指数^[21]等分析方法。本研究为了更加直观的显示水仙与其伴生种的种间关系,首次

采用了基于物种重要值的最小生成树分析,结果显示水仙与其伴生种羊蹄、鬼针草、野艾蒿的种间关系最近,说明这3个伴生种与水仙在同一生境下占据相似的生态位,另外,由于这3个伴生种强大的入侵扩张机制^[22]及化感作用^[23],可能对水仙自然居群恢复带来潜在风险,因此,在今后的日常管理中这3个伴生种应作为水仙种群恢复生物防治的重点控制对象。

研究生物种群的空间分布格局,是深入研究物种自身特性、种间相互作用以及物种与环境间关系的基础^[24]。空间点格局分析法在研究植物种群生态学进程方面具有很好的效果,尤其是克服了传统空间分布格局分析中尺度效应不足的弊端^[25],不仅可以应用于研究高大乔木,也可以应用于研究灌木和草本植物^[26]。本研究针对南麂列岛大柘山屿水仙自然居群5个生境中受干扰最小的荒坡生境,认为尺度为0.0~0.1 m时,不同水仙群丛间表现为随机分布;尺度大于0.1 m时,表现为集中分布,总体表现为集中分布格局,因此,认为小尺度上的空间分布格局由植物本身的生物学特征决定,即水仙为同源三倍体,只开花不结实,自然繁殖主要采取以母鳞茎为中心的侧球繁殖方式,呈聚集分布^[27],这种无性繁殖的方式限制了水仙种群的扩散和更新。

南麂列岛国家级海洋自然保护区是中国首批5个海洋类自然保护区之一^[28],具有重要的科学价值和生态价值。随着海岛开发热不断升温,海岛生态环境及生物多样性保护问题越来越突出,如何维持海岛生态系统的良好状况,修复受损生态系统,促进海岛经济、社会和环境的可持续发展已经成为一个全球性的热点问题^[29]。大柘山屿为南麂列岛水仙自然居群的主要分布地,由于该分布地的生境相对封闭(四周皆为海洋,远离大陆),因此,将其设为保护区内惟一一个以水仙自然居群为首要保护目标的核心区。本文综合运用了植物生态学的方法,首次报道了大柘山屿水仙自然居群的典型生境现状、初步阐述了水仙分布与各环境因子的相互关系,认为海岛生境异质性和水仙繁殖特性是影响南麂列岛水仙自然居群恢复的关键。由于影响水仙生长、分布的生态因子还有很多,本文仅选择了3个基本地形因子和3个土壤因子作为环境因子,今后应考虑加入新的因子(如光照条件和生理指标等)以全面反映各生境的差异。此外,由于空间格局与生境相互依赖,特定尺度下的空间格局可能存在特定的导因,本文仅以荒坡生境进

行了初步探讨,今后应继续开展大柘山屿水仙自然居群的动态监测及相关深入研究,并结合岛屿特殊的生态系统进行综合管理。

参考文献:

- [1] WU Z Y, RAVEN P H. Flora of China: Vol. 24 [M]. Beijing: Science Press, 2000: 264-273.
- [2] 许崇义. 中国水仙资源考察初报[J]. 福建农学院学报, 1987, 16(2): 160-164.
- [3] 俞永跃. 基于海岛管理的南麂列岛生物多样性保护实践与经验[M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 1-38.
- [4] 陈晓慧, 郑康, 陈珍慧, 等. 中国水仙野生居群形态变异及其南麂水仙分类地位的研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(33): 16041-16044.
- [5] 魏娜, 王中生, 冷欣, 等. 海洋岛屿生物多样性保育研究进展[J]. 生态学杂志, 2008, 27(3): 460-468.
- [6] 施世强, 叶如梦. 水仙属植物分类及中国水仙资源利用研究现状[J]. 福建农业科技, 2016, 47(4): 52-58.
- [7] FU K L, LI X, YE J, et al. Chemical constituents of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* and their antioxidant activities[J]. Fitoterapia, 2016, 113: 110-116.
- [8] 陈段芬, 高健, 彭镇华. 水仙属植物研究进展[J]. 林业科学, 2008, 44(3): 140-146.
- [9] 朱弘, 库伟鹏, 戎建涛, 等. 浙江南麂岛陆生维管束植物多样性及区系特征[J]. 植物分类与资源学报, 2015, 37(6): 713-720.
- [10] 戎建涛, 朱弘, 库伟鹏, 等. 浙江南麂岛主要森林植被群落学特征研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(2): 294-300.
- [11] 张志永, 时忠杰, 张晓, 等. 浑善达克沙地不同微地形的土壤物理性质和草本群落分布及其相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(1): 69-76.
- [12] 袁继池, 邱军, 蔡京勇, 等. 红椿天然群落 α 多样性与环境因子的关系[J]. 森林与环境学报, 2017, 37(1): 16-21.
- [13] RIPLEY B D. Modelling spatial patterns[J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series B, 1977, 39: 172-212.
- [14] HAASE P. Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K-function; introduction and methods of edge correction[J]. Journal of Vegetation Science, 1995, 6: 575-582.
- [15] 周欣, 左小安, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地植物群落分布与土壤特性的DCA、CCA及DCCA分析[J]. 生态学杂志, 2015, 34(4): 947-954.
- [16] 商天其, 郑超超, 高洪娣, 等. 嵊州市公益林群落数量分类、排序及环境解析[J]. 热带亚热带植物学报, 2015, 23(2): 334-342.
- [17] 卢慧, 丛静, 刘晓, 等. 三江源区高寒草甸植物多样性的海拔分布格局[J]. 草业学报, 2015, 24(7): 197-204.
- [18] 何云核, 强胜. 安徽沿江水稻田杂草种子库研究[J]. 武汉植物学研究, 2007, 35(4): 343-349.
- [19] 黄治昊, 周鑫, 张孝然, 等. 北京地区黄槿分布与环境因子

- 的关系[J]. 植物科学学报, 2017, 35(1): 56-63.
- [20] 郭忠玲, 马元丹, 郑金萍, 等. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2013-2018.
- [21] 李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 等. 滇西北金沙江流域云南红豆杉群落种内与种间竞争[J]. 生态学杂志, 2013, 32(1): 33-38.
- [22] 郝建华, 刘倩倩, 强 胜. 菊科入侵植物三叶鬼针草的繁殖特征及其与入侵性的关系[J]. 植物学报, 2009, 44(6): 656-665.
- [23] 张中信, 张小平, 刘慧君, 等. 野艾蒿化感作用初步研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2006, 29(6): 579-581.
- [24] LAN G, GETZIN S, WIEGAND T, et al. Spatial distribution and interspecific associations of tree species in a tropical seasonal rain forest of China[J]. PLoS One, 2012, 7: e46074.
- [25] 苏爱玲, 徐广平, 段吉闯, 等. 祁连山金露梅灌丛草甸群落结构及主要种群的点格局分析[J]. 西北植物学报, 2010, 30(6): 1231-1239.
- [26] 王鑫厅, 侯亚丽, 刘 芳, 等. 羊草+大针茅草原退化群落优势种群空间点格局分析[J]. 植物生态学报, 2011, 35(12): 1281-1289.
- [27] 栾爱业, 徐海峰, 曾黎辉. 中国水仙生物技术研究进展[J]. 生物技术, 2006, 16(6): 77-80.
- [28] 纪焕红, 叶属峰, 刘 星, 等. 南麂列岛海洋自然保护区浮游动物的物种组成及其多样性[J]. 生物多样性, 2006, 14(3): 206-215.
- [29] 彭 欣, 叶属峰, 杨建毅, 等. 基于海岛管理的南麂列岛生物多样性保护实践与经验[J]. 海洋开发与管理, 2012, 29(5): 93-100.

(责任编辑: 张明霞)

(上接第83页 Continued from page 83)

- [7] 徐德聪, 詹 婧, 陈 政, 等. 种植香根草对铜尾矿废弃地地质化学和生物学性质的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5683-5691.
- [8] 王丽艳, 韩有志, 张成梁, 等. 不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征[J]. 生态学报, 2011, 31(21): 6429-6441.
- [9] AERTS R, CHAPIN F S III. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns[M]//FITTER A H, RAFFAELLI D G. Advances in Ecological Research: Vol. 30. Burlington: Elsevier, 1999: 1-67.
- [10] VITOUSEK P M, HOWARTH R W. Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur? [J]. Biogeochemistry, 1991, 13: 87-115.
- [11] 武冬梅, 张建红, 吕珊兰. 山西矿区矸石山复垦种植施肥策略[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 333-336.
- [12] 明道绪. 田间试验与统计分析[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2013: 35.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 275-276.
- [14] 蔡庆生. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 57.
- [15] 周 强, 於丙军. 潜在木质纤维素能源植物香根草的初步研究[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(1): 98-103.
- [16] 沈章军. 铜尾矿自然生态恢复过程中优势植物白茅的营养生态学研究[D]. 合肥: 安徽大学资源与环境工程学院, 2013: 37-38.
- [17] 赵现伟, 彭桂香, 张志英, 等. 细菌聚类新方法: ddT 聚类技术分析香根草联合固氮菌多样性[J]. 科学通报, 2010, 55(7): 562-571.
- [18] 努扎艾提·艾比布, 刘云国, 宋华晓, 等. 重金属 Zn Cu 对香根草生理生化指标的影响及其积累特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1): 54-59.
- [19] 陈 超, 刘汉羽, 郝 俊, 等. 不同种植年限香根草对煤矸石山基质中重金属分布的影响[J]. 煤炭学报, 2016, 41(12): 3101-3107.
- [20] 李志安, 王伯荪, 张宏达. 关于植物营养生态学[J]. 生态科学, 1999, 18(4): 43-47.
- [21] 李红心. 叶片氮素含量对水曲柳幼苗光合作用的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学林学院, 2003: 38.

(责任编辑: 佟金凤)