

引用格式: 刘灿, 李帅, 李佳晟, 郭东罡, 张全喜. 山西省湿地植物 CSR 策略的空间分布格局及其与气候因子的关系[J]. 山地学报, 2023, 41(5): 634-647.

LIU Can, LI Shuai, LI Jiasheng, GUO Donggang, ZHANG Quanxi. Spatial pattern of CSR strategies of wetland plants in Shanxi province, China and their relationship with climate factors [J]. Mountain Research, 2023, 41(5): 634-647.

山西省湿地植物 CSR 策略的空间分布格局 及其与气候因子的关系

刘 灿¹, 李 帅², 李佳晟¹, 郭东罡¹, 张全喜^{1*}

(1. 山西大学 环境与资源学院, 太原 030031; 2. 山西农业大学 资源环境学院, 太原 030031)

摘 要: 山西省位于黄河中游, 黄土高原东部, 生态区位十分重要。山西省湿地植物对湿地生境的变化敏感, 但对湿地植物功能性状综合性, 对其生态策略、空间分布格局及与气候变化的耦合研究尚不充分。本研究运用植物的竞争-耐胁迫-自由(CSR)策略, 从湿地植物功能性状出发, 采用 PCA 分析和 Pearson 相关分析, 确定山西省湿地植物的主要 CSR 策略类型, 研究湿地不同对策类型的空间分布格局和其与气候因子的关系, 探究物种丰富度与植物 CSR 策略的关系。结果表明: (1) 山西省湿地植物的 CSR 策略主要为 C 策略植物、CS 策略植物和 SR 策略植物。(2) C 策略植物与海拔极显著非线性相关($P < 0.001$), 与经度极显著负相关($P < 0.001$), 与纬度极显著非线性相关($P < 0.001$); CS 策略植物与纬度负相关($P < 0.05$); SR 策略植物与海拔($P < 0.01$)和纬度($P < 0.05$)正相关。(3) C 策略植物与年均温($P < 0.001$)和降水季节变异($P < 0.001$)之间存在极显著非线性相关关系; CS 策略植物与年降水量正相关($P < 0.01$), 与气温季节变异负相关($P < 0.01$); SR 策略植物与年均温负相关($P < 0.01$), 与降水季节变异之间存在非线性相关关系($P < 0.01$)。(4) SR 策略植物与丰富度正相关($P < 0.01$)。综上, 海拔和纬度作为间接因子影响着湿地植物 CSR 策略, 年均温和降水季节变异则是影响植物 CSR 策略的直接因子, 两者对植物对策类型的共同作用导致现有山西省湿地群落的物种共存机制的形成。本研究可为山西省湿地的保护和修复提供理论基础。

关键词: 湿地植物; CSR 策略; 空间分布格局; 气候因子; 山西省

中图分类号: Q948

文献标志码: A

植物的竞争-耐胁迫-自由策略理论(Competitive-Stress tolerant-Ruderal, CSR)于 1974 年首次被提出并被生态学家关注^[1-2]。CSR 策略将植物主要分竞争型植物(Competitive)、耐胁迫型植物(Stress-tolerant)和杂草型植物(Ruderal), 并衍生了竞争型自由(CR)、耐压力竞争(CS)、耐压力自由(SR)等

16 种次级类型。CSR 策略揭示了植物在一定生境生产力和干扰水平下的适应性响应^[3], 它通过解释各种功能性状协同变异的主导维度来反映植物的生态对策^[4], 并凭借简明的假设和客观的多变量分析方法^[5-6], 广泛应用于物种适应性、群落过程和生态系统特性等方面的研究^[7]。CSR 策略的确定方法

收稿日期(Received date): 2022-12-08; **改回日期**(Accept date): 2023-09-26

基金项目(Foundation item): 山西省水利科学技术研究与推广项目(2023GM29); 山西省基础研究计划(202103021223129); 山西省博士研究生、博士后研究人员来晋工作奖励资金科研项目(SXBYKY2021067)。[Shanxi Water Conservancy Science and Technology Research and Promotion Project (2023GM29); Shanxi Basic Research Program (202103021223129); Shanxi Doctoral Graduates, Postdoctoral Researchers to Work Reward Fund Research Projects (SXBYKY2021067)]

作者简介(Biography): 刘灿(1998-), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要研究方向: 湿地植物。[LIU Can (1998-), female, Handan, Hebei province, M. Sc. candidate, research on wetland plants] E-mail: Liucansxu@126.com

* **通讯作者**(Corresponding author): 张全喜(1980-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 环境科学。[ZHANG Quanxi (1980-), male, Ph. D., professor, research on environmental science] E-mail: qxzhang@sxu.edu.cn

主要包括二叉式检索表^[8]、功能性状与 CSR 策略的相关性分析法^[9]。植物 CSR 策略的分析模型“StrateFy”工具^[4]可以对不同区域的植物进行分析,具有理论和实践的双重价值。

植物功能性状,特别是群落加权平均性状(Community Weighted Mean, CWM)将物种群落状态和生态系统功能联系起来^[10],是确定植物 CSR 策略的重要参考。植物功能性状的研究与生态学相结合,尤其是对植物功能性状和环境之间作用机制的研究,为生态系统服务功能提升和全球变化过程中带来的问题给出解决方案^[11-12]。国外,关于植物功能性状的研究内容涉及气候与植物的恢复重建、生态环境的监测等方面^[13],国内相关研究工作主要集中在高寒湿地、沼泽湿地^[14-15],对于旱区湿地的研究较少,对性状的研究也集中在单一的叶片性状^[16-17],或是单一环境因素对湿地植物功能性状的研究^[18-19],对其他性状(繁殖、根系)特别是综合性状和多种环境因子的研究尚不充分。

山西省位于黄河中游,黄土高原东部,是典型的生态脆弱区和重要的水土保持区,生态区位十分重要。当前对山西省湿地植物的研究主要从数量生态学和群落生态学的角度,研究了山西湿地植物的区系多样性^[20-23]、物种多样性^[24-25]及湿地植物的空间结构特征^[26]。植物功能性状与气候因子间关系的研究集中在森林和草地^[27-30],针对湿地植物的研究相对较少。因此,本文从植物的功能性状出发,运用 CSR 理论,研究山西省湿地植物 CSR 策略类型及其在空间上的分布格局,探究植物功能性状的变异与气候因子之间的关系,明晰山西湿地植物对环境条件的适应机制以及湿地生态系统的特性,为更好地保护和修复湿地环境提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省(110°24'E ~ 114°32'E, 34°60'N ~ 40°09'N),地形以山地、丘陵、高原、盆地为主,面积约为 15.2 万 hm^2 ,海拔为 156 ~ 2040 m。研究区属于温带大陆性季风气候,各地平均气温为 4 °C ~ 14 °C,年均日照时数为 2242.75 ~ 2947.85 h,无霜期为 80 ~ 205 d,年降水量为 358 ~ 621 mm。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查

2021 年 7—8 月期间,在山西省内选择面积 $\geq 8 \text{ hm}^2$ 的沼泽、湖泊和人工湿地以及长度 $\geq 5 \text{ km}$ 、宽度 $\geq 10 \text{ km}$ 的河流湿地作为样地,共 75 个。采用随机取样法,在样地内部随机设置 308 个草本样方(图 1)进行植物群落调查。记录每个样方中植物的种名、生长状况(盖度、高度、株数)和具体生境(是否积水),并收集植物的标本。调查结果显示,山西省湿地草本植物共 62 科 149 属 202 种。其中,蕨类植物 1 科 1 属 1 种,藻类植物 1 科 1 属 1 种,其他为被子植物;单子叶植物 23 科 53 属 66 种,双子叶植物 46 科 101 属 134 种(详见附录 1)。

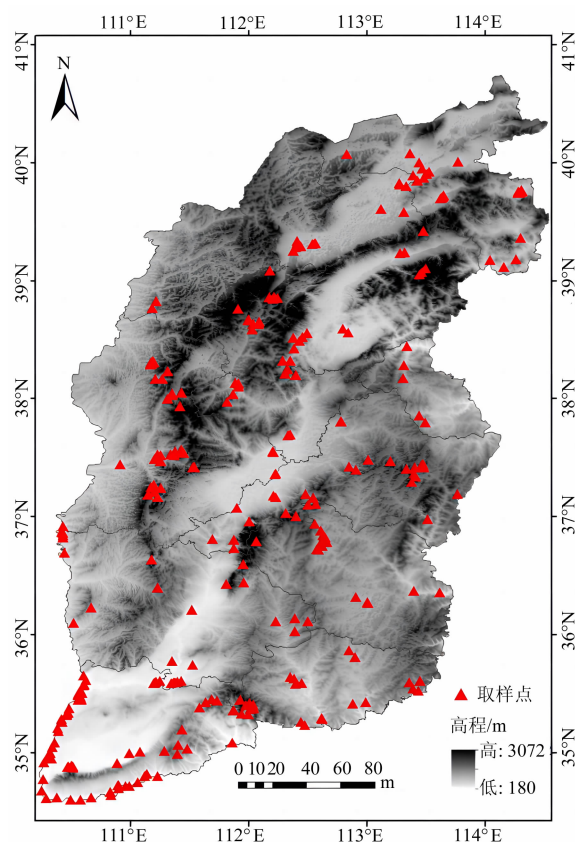


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Sampling point distribution map

(审图号:GS(2016)1569)

1.2.2 植物功能性状的测定

在野外调查中,每种植物采集 10 个叶片标本(所有叶片均为成熟叶片且未受到病虫害侵染),将其带回实验室后压平、拍照,并导入 Image J (Version 5.2) 软件中计算各植物叶面积、叶长、叶宽,并计算

平均值。植物的始花期、花期、始果期、果期、叶质地、生态型的相对多度和生活型通过野外调查的实际观测和植物智官网(<http://www.iplant.cn/>)检索得出。

对于有递进关系的等级性状采用数字从小至大进行排序(表 1)。以植物的生活型为例,可根据植物的生活时间对其进行赋值,例如:一年生植物赋值为 1,二年生植物赋值为 2……逐渐累加。

表 1 植物功能性状
Tab. 1 plant functional trait

| 功能性状 | 变量类型 | 性状描述 |
|----------|------|---|
| 生活史 | 等级性状 | 一年生草本(1)、二年生草本(2)…… <i>n</i> 年生草本(<i>n</i>) |
| 生态型的相对多度 | 分类性状 | 湿生植物、沼生植物、漂浮植物、挺水植物、沉水植物 |
| 高度 | 数值性状 | 平均株高 |
| 叶面积 | 数值性状 | 植物叶片平均面积 |
| 叶长 | 数值性状 | 植物叶片平均长度 |
| 叶宽 | 数值性状 | 植物叶片平均宽度 |
| 叶质地 | 等级性状 | 膜质(1)、草质(2)、纸质(3)、革质(4)、肉质(5) |
| 始花期 | 等级性状 | 花开始绽放的具体月份(1.2.3……12) |
| 花期 | 等级性状 | 开花的时期,从第一朵花盛开到最后一朵花凋谢(1~12 个月) |
| 始果期 | 等级性状 | 植物刚开始结果的具体月份(1.2.3……12) |
| 果期 | 等级性状 | 植物结果的时期(1~12 个月) |

注:性状描述中括号内数字表示赋值结果。

对于无明显递进关系的分类变量采用 0、1 数据

代替。以生态型的相对多度为例,需要计算该因子内部的 5 种类型多度,在计算湿生植物的相对多度时,将湿生植物的相对多度赋值为 1,其他均赋值为 0。沼生植物的相对多度、漂浮植物的相对多度、挺水植物的相对多度和沉水植物的相对多度计算方法同上。

如果有功能性状不符合正态分布则采用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行对数转换。

最后计算各样方植物功能性状的群落加权平均值代替原有的性状数据进行相关分析。各样方的功能性状数据的群落加权平均值(CWM)通过以下公式进行计算:

$$CWM = \sum_{i=1}^S W_i X_i \tag{1}$$

式中,*S* 是物种总数;*W_i* 是第 *i* 个物种的相对丰度(即群落内物种数目的多少);*X_i* 是第 *i* 个物种的性状值。

1.2.3 数据分析

(1)气候数据

本文使用的年平均温度、气温季节变异、年降水量和降水季节变异数据从 WorldClim 数据库 1.4 版中获取(<http://www.WorldClim.org>)。

(2)主要因子确定

将所有植物功能性状的 CWM 值进行相关分析,剔除相关性较强的因子。首先对生态型的相对多度内部的分类变量进行相关性分析(图 1a),剔除沼生植物的相对多度(-0.7)。然后对所有因子的相关性进行检验(图 2b),剔除始果期(0.75)、果期

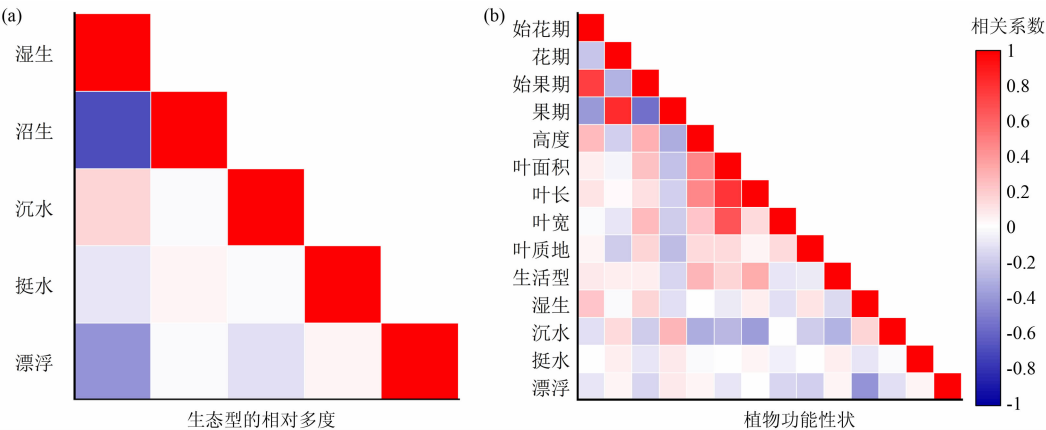


图 2 因子间相关分析:(a)5 种湿地生态类群的相对多度的相关分析;(b)选定功能性状的相关分析
Fig. 2 Inter-factor correlation analysis:(a) correlation analysis plots of relative abundance of five wetland ecological taxa; (b) correlation analysis plots of selected functional traits

(0.83)、叶长(0.8)、叶宽(0.68)。最终选定的功能性状为始花期、花期、高度、叶面积、叶质地、生活型和未被剔除的4种湿地生态型的相对多度。

(3) CSR 策略类型的确定

运用 Pierce 的分析方法^[4],对各样方 CWM 值进行主成分分析(Origin 2021 软件),将分析结果与 CSR 策略的遗传特征(表 2)进行比对,确定山西省湿地植物的 CSR 策略类型。

2 结果与分析

2.1 山西省湿地植物主要的 CSR 策略

2.1.1 主成分提取

将选定植物功能性状(始花期、花期、高度、叶面积、叶质地、生活型和未被剔除的4种湿地生态型的相对多度,共10个因子)进行主成分分析,提取出植物功能性状变异的3个主轴(图3),并用 CSR 理论对影响山西省湿地植物功能性状变异进行解释。由图3可知,3个主轴解释了湿地植物功能性状变异的48.9%,其中第1轴解释了21%的变量,第2轴解释了16.8%的变量,第3轴解释了11.1%的变量。并将分析结果作为量化的 CSR 策略数值与空间和气候因子进行相关分析。

2.1.2 湿地植物的 CSR 策略类型

不同的 CSR 策略有着不同的遗传属性,可以通过植物可测量的遗传特征确定其 CSR 策略类型。由 PCA 分析结果(表3)显示,第1轴的植物高度较高,叶面积较大,符合竞争型(C)植物的主要特征。第2轴湿生植物相对多度高,漂浮植物的相对多度

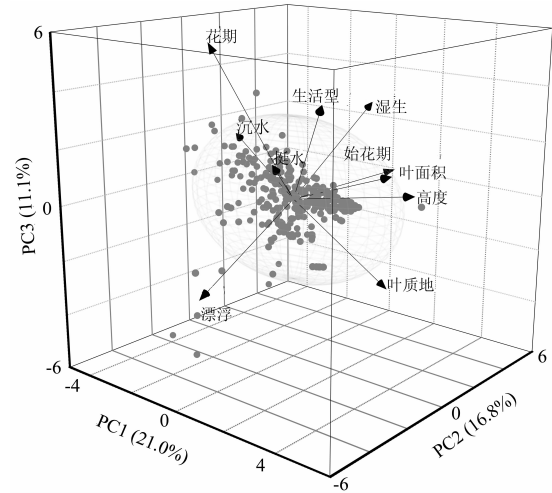


图3 植物功能性状 PCA 分析图
Fig. 3 Plant functional traits PCA analysis chart

较低,符合耐压力竞争型植物(C-S)的主要特征。第3轴的植物花期长,多为多年生植物,符合耐压力自由型植物(S-R)的主要特征。因此,山西省湿地植物的 CSR 策略分别为 C 策略植物、CS 策略植物和 SR 策略植物。

2.2 CSR 策略与海拔和经纬度之间的关系

经拟合分析发现,C 策略植物与海拔、经度、纬度之间显著相关。C 策略植物与海拔极显著非线性相关($R^2=0.16, P<0.001$)(图4a),随着海拔的升高逐渐减少;与经度极显著负相关($R^2=0.051, P<0.001$)(图4b),随着经度的增加逐渐减少;与纬度极显著非线性相关($R^2=0.083, P<0.001$)(图4c),随着纬度的升高呈现先下降后升高的趋势,分布的最低点出现在38°N。

CS 策略植物与海拔和经度之间没有明显的相

表 2 CSR 策略的遗传特征
Tab. 2 Genetic characterisation of CSR strategies

| CSR 策略类型 | 植物的功能性状 | | | | | | | | |
|-------------|-------------|------------|---------|------|-------------|-----|-----------|--------------|--------|
| | 枝/芽形态 | 叶形状 | 凋落物 | 生长率* | 生命形式 | 叶寿命 | 叶子生产物候 | 花 | 年种子生产比 |
| C 策略型植物 | 叶冠浓密/广泛横向扩展 | 体型大 | 聚集/持久 | 快 | 多年生草本/灌木/乔木 | 较短 | 最大潜在生产力时期 | 最大潜在生产力时期后 | 小 |
| S 策略型植物 | 广泛的生长形式 | 体型小、革质、有针形 | 稀疏/有时持久 | 慢 | 地衣/多年生草本 | 长 | 常绿植物 | 开花时间和季节无明显关系 | 小 |
| R 策略型植物 | 身材矮小/横向蔓延有限 | 形式多样 | 稀疏/不持久 | 快 | 一年生草本 | 短 | 短叶片生产期 | 临时有利期后/花期较长 | 大 |

注:生长率指最大潜在相对生长率。

表 3 主成分提取结果

Tab. 3 Principal component extraction results

| 指标 | PC1 | PC2 | PC3 | 差异百分比/% | 累计百分比/% |
|-----------|--------------|---------------|--------------|---------|---------|
| 始花期 | 0.276 | 0.282 | 0.116 | 21.019 | 21.019 |
| 花期 | -0.233 | -0.222 | 0.608 | 16.792 | 37.810 |
| 植株高度 | 0.541 | -0.003 | 0.113 | 11.130 | 48.941 |
| 叶面积 | 0.458 | -0.026 | 0.175 | 10.317 | 59.258 |
| 叶质地 | 0.248 | 0.289 | -0.387 | 9.980 | 69.237 |
| 生活型 | 0.322 | -0.263 | 0.449 | 8.204 | 77.442 |
| 湿生事物的相对多度 | -0.040 | 0.601 | 0.299 | 7.051 | 84.493 |
| 挺水植物的相对多度 | -0.447 | 0.188 | 0.167 | 6.078 | 90.571 |
| 沼生植物的相对多度 | 0.016 | -0.153 | 0.167 | 5.401 | 95.972 |
| 漂浮植物的相对多度 | -0.012 | -0.546 | -0.277 | 4.029 | 100 |

注:加粗为划分 CSR 策略时主要考虑的植物功能性状指标。

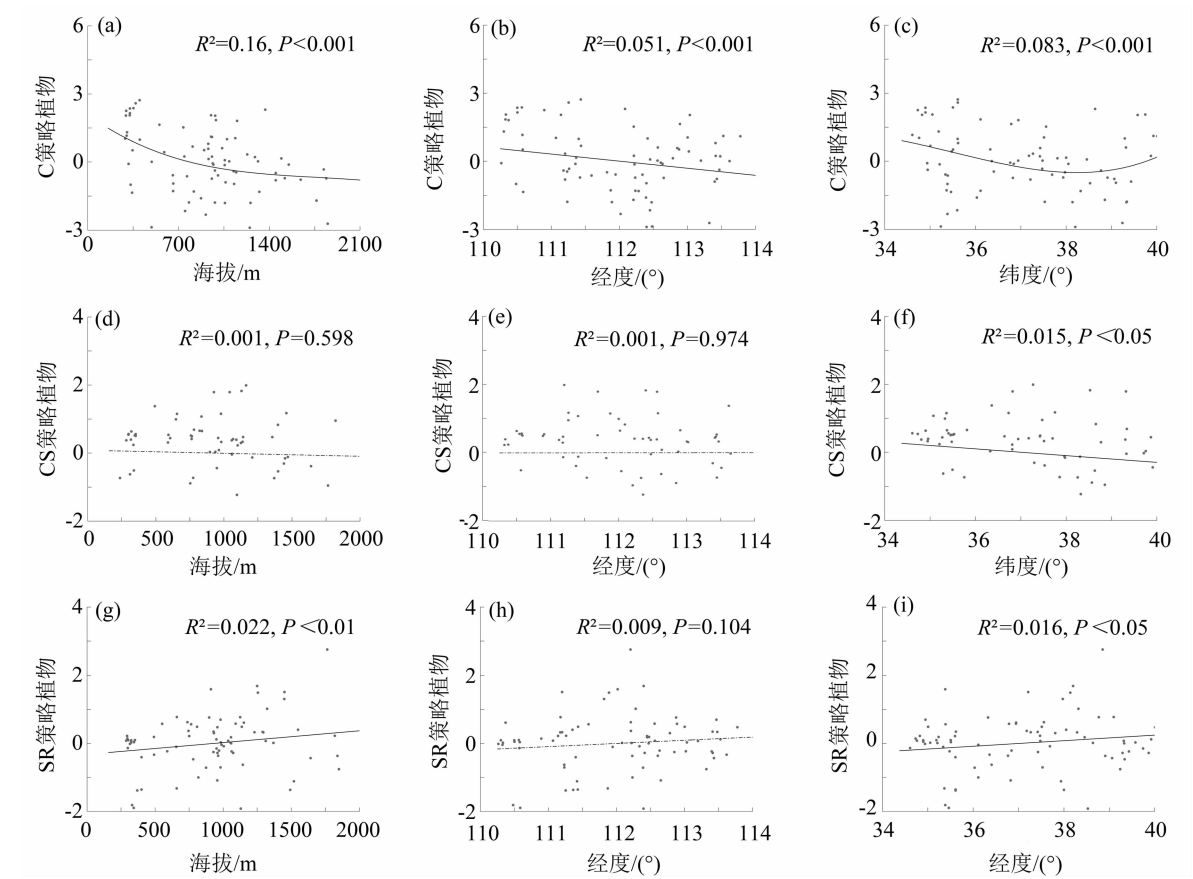


图 4 湿地植物 CSR 策略与空间因子的拟合分析图:

(a) C 策略植物与海拔; (b) C 策略植物与经度; (c) C 策略植物与纬度; (d) CS 策略植物与海拔; (e) CS 策略植物与经度; (f) CS 策略植物与纬度; (g) SR 策略植物与海拔; (h) SR 策略植物与经度; (i) SR 策略植物与纬度

Fig. 4 Plot of CSR strategy of wetland plants fitted with elevation, longitude and latitude analysis;

(a) C-strategy plants vs. elevation; (b) C-strategy plants vs. longitude; (c) C-strategy plants vs. latitude; (d) CS-strategy plants vs. elevation; (e) CS-strategy plants vs. longitude; (f) CS-strategy plants vs. latitude; (g) SR-strategy plants vs. elevation; (h) SR-strategy plants vs. longitude; (i) SR-strategy plants vs. latitude

关性;与纬度负相关($R^2 = 0.015, P < 0.05$) (图 4f), 随纬度的增加逐渐减少,最低值出现在 38.5°N 。

SR 策略植物与经度不相关;与海拔正相关($R^2 = 0.022, P < 0.01$) (图 4g),随着海拔的增加而增加;与纬度正相关($R^2 = 0.016, P < 0.05$) (图 4i),随着纬度的增加逐渐增加。

2.3 CSR 策略与气候因子的关系

C 策略植物与年降水量和气温季节变异之间不相关;与年均温极显著非线性相关($R^2 = 0.143, P < 0.001$) (图 5a),随着年均温的上升呈上升趋势,在 10°C 之后上升趋势加剧;与降水季节变异之间极显著非线性相关($R^2 = 0.114, P < 0.001$) (图 5d),随降水季节变异的增加呈现不断下降的趋势,在降水季节变异为 90 时,下降速度逐渐降低,趋于平缓。

CS 策略植物与年均温和降水季节变异不相关;与气温季节变异负相关($R^2 = 0.026, P < 0.01$) (图 5f),随着气温季节变异的增加逐渐减少;与年降水量正相关($R^2 = 0.025, P < 0.01$) (图 5g),随着年降水量的增加逐渐增多。

SR 策略植物与年降水量和气温季节变异不相关;与年均温负相关($R^2 = 0.023, P < 0.01$) (图 5i),随着年均温的上升逐渐减少;与降水季节变异之间显著非线性相关($R^2 = 0.034, P < 0.01$) (图 5l),随着降水季节变异的增加先减少后增加,降水季节变异在 $70 \sim 80$ 呈下降趋势, $80 \sim 120$ 呈上升趋势。

2.4 CSR 策略与物种丰富度的关系

物种丰富度 (Species Richness) 即群落中物种数目的多少。不同群落的物种数目有差别,一个群落

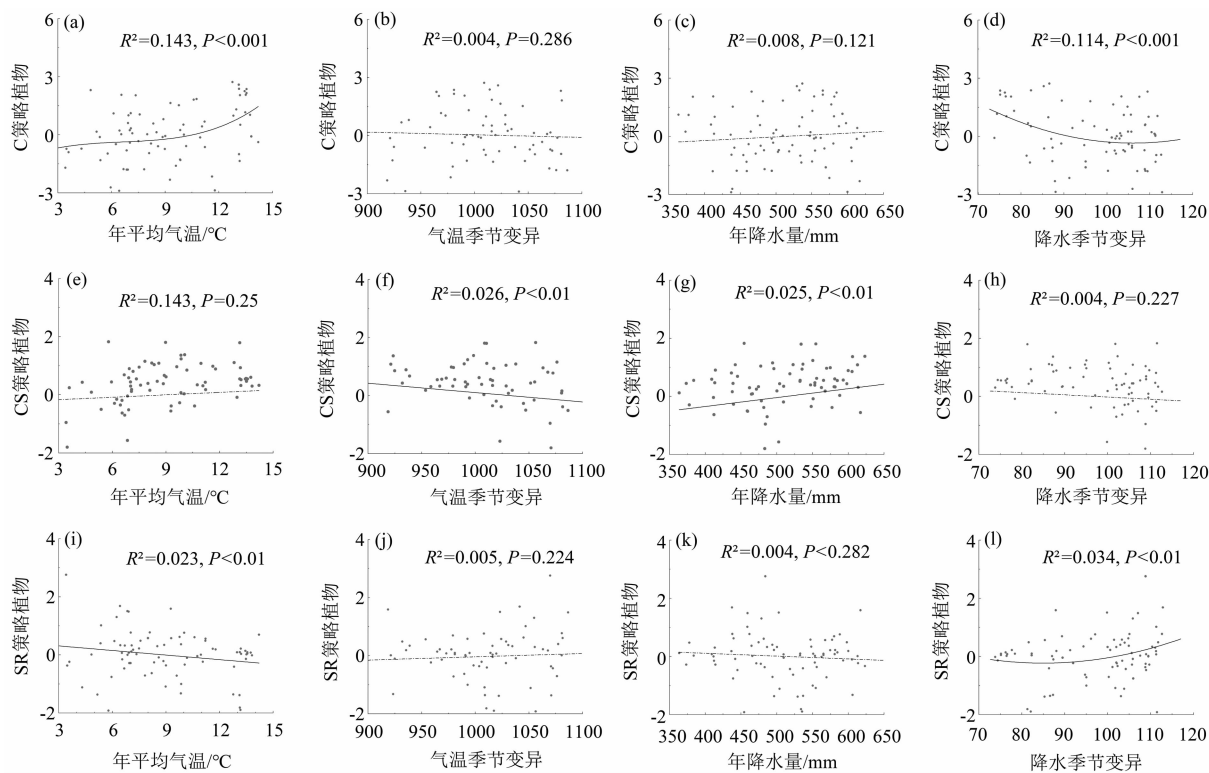


图 5 湿地植物 CSR 策略与气候因子的拟合分析图: (a) C 策略植物与年均温; (b) C 策略植物与气温季节变异; (c) C 策略植物与年降水; (d) C 策略植物与降水季节变异; (e) CS 策略植物与年均温; (f) CS 策略植物与气温季节变异; (g) CS 策略植物与年降水; (h) CS 策略植物与降水季节变异; (i) SR 策略植物与年均温; (j) SR 策略植物与气温季节变异; (k) SR 策略植物与年降水; (l) SR 策略植物与降水季节变异

Fig. 5 Plot of CSR strategies of wetland plants fitted to the analysis of climate factors; (a) C-strategy plants vs. mean annual temperature; (b) C-strategy plants vs. seasonal variability of air temperature; (c) C-strategy plants vs. annual precipitation; (d) C-strategy plants vs. seasonal variability of precipitation; (e) CS-strategy plants vs. mean annual temperature; (f) CS-strategy plants vs. seasonal variability of air temperature; (g) CS-strategy plants vs. annual precipitation; (h) CS strategy plants vs. precipitation seasonal variability; (i) SR strategy plants vs. annual mean temperature; (j) SR strategy plants vs. air temperature seasonal variability; (k) SR strategy plants vs. annual precipitation; (l) SR strategy plants vs. precipitation seasonal variability

或生境中的物种数目,反映了一定空间范围内物种的丰富程度^[31]。

将丰富度与 C 策略植物、CS 策略植物和 SR 策略植物拟合分析发现:丰富度与 C 策略植物和 CS 策略植物之间不相关,与 SR 策略植物之间正相关($R^2=0.022, P<0.01$)(图 6c)。随着 SR 策略植物所占比例的增加,群落内部的物种丰富度也不断增加。这表明 SR 策略植物占主导地位的生境,物种丰富度较高。

3 讨论

3.1 山西省湿地植物主要的 CSR 策略类型

山西省湿地植物的 CSR 策略分别为 C 策略植物、CS 策略植物和 SR 策略植物。其中,C 策略植物占据主导地位,这是由湿地内部较好的水热条件决定的,但这也意味着湿地植物需要应对水分过量和海拔过高的胁迫条件,呈现出耐压力的特征。

C 策略植物倾向于在生产力较高、相对不受干扰的条件下最大限度地促进营养生长^[3],外在的表现第 1 轴植物呈现的高大植株和较大的叶面积。茂密冠层和生物量积累的最大比例是 C 策略植物在促进营养生长的主要遗传表现^[32]。

CS 策略植物介于优势的 C 策略植物和耐压力的 S 策略植物之间。水分条件是植物生长的重要因子^[33],湿地内部的湿生植物相比其他类型的湿地植物生长环境的水分条件较为适宜,是 C 策略植物的典型生境。但与旱生或中生植物相比,水分条件又呈现出 S 策略植物的胁迫特征^[34-35]。

SR 策略植物生存环境兼有胁迫和干扰,具有较长的花期和生命周期。花期较长是 R 对策型植物应对干扰的主要手段,较长的生殖期保证其在受到

扰动的情況下快速繁殖^[3]。长的生命周期是 S 策略植物在面对荫蔽、高山和干旱 3 种胁迫生境时采取的适应性特化,避免了有限资源的浪费^[36]。

3.2 湿地植物的空间分布格局

不同的植物对策类型有着不同的空间分布规律^[37],而海拔的变化会直接改变植物的分布格局^[38]。一般情况下,海拔升高会伴随着年均温的下降、年降雨量增加、强烈的光照等胁迫环境^[39]。而 C 策略植物只有在肥沃的生境中才能成为优势种^[40]。有研究^[41]在评估欧洲河流恢复地区的植物生长形式和策略过程中,也发现 C 策略的比例大小与海拔呈负相关,这与本文的研究结果一致。与 C 策略植物不同的是,SR 策略植物随着海拔的升高逐渐增加。在湿地内部随着海拔的升高,主要的胁迫因素低温和霜冻这种影响生物成分的干扰机制使得 SR 策略植物逐渐占据优势。CS 策略植物与海拔之间并无明显的相关关系,可能是因为本研究选择的尺度较大的原因,有研究^[42]表明植物性状的空间变异在小尺度范围内更加明显。

经纬度通过影响地表的热量和水分状况影响植物分布。本文研究表明,C 策略植物与经度负相关,湿地内部原本的水分条件优于其他生境,随着经度的增加降水量也增加,使得原本适宜的水分条件变得过量,限制了 C 策略植物的生长。CS 策略植物和 SR 策略植物的分布和经度之间没有明显的关系,可能是由于山西省高原山地的地形因素对经度地带性的破坏。纬度与 3 种不同植物对策的植物均具有一定的相关关系,C 策略植物随着纬度的增加先下降后上升,这是由于低纬度地区分布着山西省最大的湿地——运城湿地,高纬度的桑干河流域也有大量的湿地分布,导致 C 策略植物在南北两端分布比例较大。在 C 策略植物分布的最低点(38°N),湿地分

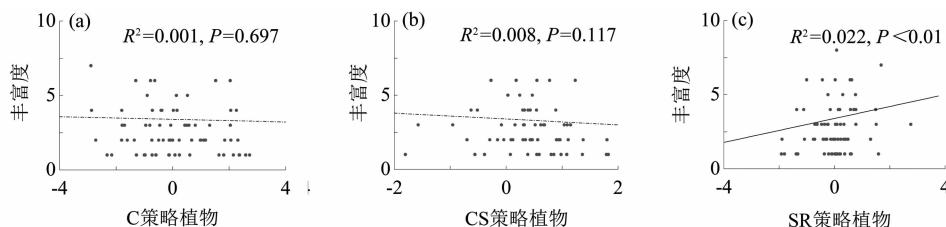


图 6 湿地植物 CSR 策略与丰富度的拟合分析图:

(a) C 策略植物与丰富度; (b) CS 策略植物与丰富度; (c) SR 策略植物与丰富度

Fig. 6 Plot of fitted analysis of CSR strategy and richness of wetland plants: (a) C-strategy plants vs. richness;

(b) CS-strategy plants vs. richness; (c) SR-strategy plants vs. richness

布较少,海拔较高,C策略植物的比例有所减少。CS策略植物随着纬度的增加而逐渐减少,SR策略植物随纬度的增加而逐渐增加。从低纬度至高纬度地区水分条件不断变差,是影响山西省湿地植物分布策略的主要原因。有研究表明^[43],在干燥地区,C策略植物胜过CS策略植物,而在潮湿地区,CS策略植物更为丰富,R策略植物和CR策略植物只在干燥地区出现。

3.3 与气候因子紧密相关的植物对策类型

环境条件,特别是与温度和降水有关的环境条件的变化,推动了物种的变化^[44-45]。本文对山西省湿地植物对策类型与气候因子的分析发现,C策略植物与SR策略植物都与年均温和降水季节变异之间存在相关性,但是二者的响应机制是完全相反的。C策略植物随年均温的上升逐渐上升,随着降水季节变异的增加逐渐下降;而SR策略植物则随着年均温的上升逐渐下降,随降水季节变异的增加而上升。有研究证明低温地区的植物更倾向于S策略,高温地区表现为C策略,但气温和降水并不能解释所有的CSR策略变化^[46],气温和降水变异可对此现象进行较好的补充解释。本文研究结果也表明C策略在气温较高,降水季节变异较小的地区占据主导地位,SR策略在气温较低,降水季节变异较大的地区占据主导地位。

与以上两种植物对策类型不同的是,CS策略植物与年均温和降水季节变异之间不存在相关关系,与年降水量和气温季节变异响应明显。CS策略植物随着年降水量增加而增加,这表明CS策略植物更适应潮湿的生境^[47]。CS策略植物随气温季节变异的增加而逐渐减少,CS策略植物虽然比C策略植物更能适应外部环境的胁迫,但无法适应气温在季节之间的大幅变化。

3.4 适度干扰对物种多样性的重要性

适度的干扰对一个地区物种多样性具有积极作用。本文研究表明,丰富度与C策略植物和CS策略植物没有相关性,与SR策略植物正相关。气候因子可以通过影响植物的CSR策略进而影响群落内部的物种多样性^[48-49],在山西省内SR策略植物占主导的生境海拔高、气温低和降水季节变异大,在此类生境物种丰富度最高。也有研究表明物种丰富度会随海拔升高而增加^[47],受到中等程度干扰的栖息地拥有特别多的物种^[50-52],证明了适度的干扰对

植物群落的重要性。这也表明在进行湿地群落恢复或重建时,可以通过适当的人工干扰来增加湿地群落的物种多样性。

3.5 展望

当前全球环境不断变化,研究植物功能性状和CSR策略有利于探究生态系统稳定性的维持机制。湿地植物功能性状变异作为湿地环境变化的指示器,对后续湿地植物对环境的适应和预测全球植物受环境变化的影响导致的生态策略的变化,为之后湿地的保护和修复提供理论和科学依据。尽管本论文基于CSR理论探究了山西省湿地植物的生态策略,但仍旧存在一些不足需要改进。

(1)在分析湿地植物的CSR策略时,只选取了气候因子,没有考虑到其他环境因子和生物(非生物)环境因素。未来需要进一步考虑到地形地貌、人为干扰和其他生物因素对植物生态策略的影响,更加深入探索湿地植物与环境之间的内在联系机制。

(2)在研究过程中,由于山西省湿地植物的物种数较多,设置的样点数和选择的功能性状都比较多,导致了主成分分析的解释变量的结果不是特别理想,这种结果在一定程度上反映了山西省湿地植物主要的CSR策略,以及植物性状变异的基本趋势。但在今后的研究过程中,还需不断完善分析模型和指标,以期得到更优的结果,为山西省湿地植物保护和修复提供理论基础。

4 结论

运用CSR理论,从湿地植物功能性状出发,对山西省湿地植物CSR策略的空间分布格局及其与气候因子之间的关系进行研究,表明了海拔和纬度是影响CSR策略的间接因子,年均温和降水季节变异是影响其的直接因子,两者共同作用导致现有山西省湿地群落的物种共存机制的形成。

(1)山西省湿地植物的CSR策略主要为在优势生境中占据主导地位的C策略植物、能够适应一定环境耐胁迫的CS策略植物和SR策略植物。

(2)C策略植物与经度负相关,随着纬度的增加先下降后上升;CS策略植物随着纬度的增加而逐渐减少;SR策略植物随着海拔和纬度的升高逐渐增加。

(3) C 策略植物与 SR 策略植物都与年均温和降水季节变异之间存在相关性,但是二者的响应机制完全相反;CS 策略植物与年降水量和气温季节变异响应明显。丰富度与 SR 型植物正相关,适度的干扰对群落内部的物种多样性至关重要。

参考文献 (References)

- [1] DIAZ S, KATTGE J, CORNELISSE J H C, et al. The global spectrum of plant form and function [J]. *Nature*, 2016, **529**: 167 – 171. DOI: 10.1038/nature16489
- [2] WESTOBY M, FALSTER D S, MOOLES A T, et al. Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2002, **33**: 125 – 159. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150452
- [3] GRIME J P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory [J]. *The American Naturalist*, 1977, **111**: 1169 – 1194. DOI: 10.1086/283244
- [4] PIERCE S, NEGREIROS D, CERABOLINI B E L, et al. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide [J]. *Functional Ecology*, 2017, **31**: 444 – 457. DOI: 10.1111/1365-2435.12722
- [5] LI Yuanzhi, SHIPLEY B. An experimental test of CSR theory using a globally calibrated ordination method [J]. *Plos One*, 2017, **12** (4): e0175404. DOI: 10.1371/journal.pone.0175404
- [6] BORNHOFEN S, BAROT S, LATTAU C. The evolution of CSR life-history strategies in a plant model with explicit physiology and architecture [J]. *Ecological Modelling*, 2011, **222** (1): 1 – 10. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2010.09.014
- [7] 姚忠, 吴永明, 游海林, 等. 竞争-耐胁迫-杂草型植物策略理论及其应用研究进展 [J]. *生态学报*, 2022, **42** (1): 24 – 36. [YAO Zhong, WU Yongming, YOU Hailin, et al. Research progress of plant competitor-stress tolerator-ruderal (CSR) theory and its application [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42** (1): 24 – 36] DOI: 10.5846/stxb202101060055
- [8] GRIME J P. Vegetation classification by reference to strategies [J]. *Nature*, 1974, **250**: 26 – 31. DOI: 10.1038/250026a0
- [9] HODGSON J G, WILSON P J, HUNT R, et al. Allocating C-S-R plant functional types: A soft approach to a hard problem [J]. *Oikos*, 1999, **85** (2): 282 – 294.
- [10] MOOR H, HYLANDER K, NORBERG J. Predicting climate change effects on wetland ecosystem services using species distribution modeling and plant functional traits [J]. *Ambio*, 2015, **44** (S1): S113 – S126. DOI: 10.1007/s13280-014-0593-9
- [11] BEAUMOUT S, BURNS K C. Vertical gradients in leaf trait diversity in a New Zealand forest [J]. *Trees*, 2009, **23**: 339 – 346. DOI: 10.1007/s00468-008-0282-z
- [12] WRIGHT I J, REICH P B, CORNELISSEN J H C, et al. Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2005, **14** (5): 411 – 421. DOI: 10.1111/j.1466-822x.2005.00172.x
- [13] 许佳宁. 湿地植物多样性及功能性状对土壤水分变化的响应 [D]. 北京: 北京林业大学, 2016: 6. [XU Jianing. The response of wetland plant diversity and functional trait to soil moisture [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016: 6]
- [14] 朱弘, 杨乐, 李东宾, 等. 浙江四明山沼泽湿地植物功能性状研究 [J]. *生态学报*, 2023, **43** (7): 2881 – 2890. [ZHU Hong, YANG Le, LI Dongbin, et al. Functional traits of twelve species of marsh plants in Siming Mountain, Zhejiang, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, **43** (7): 2881 – 2890] DOI: 10.5846/stxb202203300788
- [15] 张睿, 刘华民, 寇欣, 等. 内蒙古高原湖滨湿地优势植物功能性状特征及其适应性 [J]. *生态学报*, 2022, **42** (19): 7773 – 7784. [ZHANG Rui, LIU Huamin, KOU Xin, et al. Functional traits of dominant plants and their adaptations in lakeshore wetlands of the Inner Mongolia Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42** (19): 7773 – 7784] DOI: 10.5846/stxb202110092802
- [16] 刘贤炯, 李俊清. 北京野鸭湖湿地植物叶功能性状研究 [J]. *安徽农业科学*, 2008, **36** (20): 8406 – 8409 + 8428. [LIU Xianxian, LI Junqing. Study on the functional traits of plant leaf in Beijing Yeyahu wetland [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, **36** (20): 8406 – 8409 + 8428] DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2008.20.019
- [17] 黎莉, 冯树丹, 王建波, 等. 三江平原 12 种湿地植物光合特性与叶功能性状的关系研究 [J]. *湿地科学*, 2010, **8** (3): 225 – 232. [LI Li, FENG Shudan, WANG Jianbo, et al. Relationship between photosynthetic characteristics and leaf functional traits of 12 plants species of marshes in Sanjiang Plain [J]. *Wetland Science*, 2010, **8** (3): 225 – 232] DOI: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2010.03.001
- [18] 白江珊, 唐浩然, 姜彦景. 水深和氮添加对湿地植物功能性状的影响研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2021, **40** (9): 2987 – 2995. [BAI Jiangshan, TANG Haoran, LOU Yanjing. Effects of water depth and nitrogen addition on functional traits of wetland plants: A review [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, **40** (9): 2987 – 2995] DOI: 10.13292/j.1000-4890.202109.002
- [19] 褚青帅. 环境因素对青藏高原拉萨河流域湿地植物功能性状的影响 [D]. 拉萨: 西藏大学, 2021: 9. [CHU Qingshuai. Effects of environmental factors on the functional traits of wetland plants in the Lhasa River Basin on the Tibetan Plateau [D]. Lhasa: Tibet University, 2021: 9] DOI: 10.27735/d.cnki.gxzd
- [20] 上官铁梁, 张峰, 张龙胜, 等. 山西湿地维管植物区系多样性研究 [J]. *木本植物研究*, 2000, **20** (3): 275 – 281. [SHANGUAN Tieliang, ZHANG Feng, ZHANG Longsheng, et al. Study on diversity of vascular plant of wetland in Shanxi [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2000, **20** (3): 275 – 281] DOI: 10.3969/j.issn.1673-5102.2000.03.015
- [21] 张龙胜, 宋伯为, 王汝清, 等. 山西湿地野生植物资源研究

- [J]. 山西大学学报(自然科学版), 1998, **21**(3): 281–285. [ZHANG Longsheng, SONG Bowei, WANG Ruqing, et al. A study on the wild plant resources of wetlands in Shanxi [J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition), 1998, **21**(3): 281–285]
- [22] 王璐. 山西省自然保护区湿地植物多样性研究 [D]. 内蒙古: 内蒙古大学, 2014: 1–2. [WANG Lu. Research on diversity of wetland plants nature reserves of Shanxi province [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia University, 2014: 1–2] DOI: 10.7666/d.Y2571764
- [23] 王璠. 山西文峪河国家湿地公园种子植物区系和植物群落分类排序 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2018: 1–2. [WANG Fan. Ecological study of wetland plant community in Shanxi Wenyuhe Wetland National Park [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2018: 1–2]
- [24] 李帅. 黄河中游湿地植物多样性研究 [D]. 太原: 山西大学, 2016: 6. [LI Shuai. Study on plant diversity in the wetland of middle Yellow River [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2016: 6]
- [25] 贾惠君. 黄河中游(禹门口—汾河入黄口)水因子与湿地植物多样性的相关关系研究 [D]. 太原: 山西大学, 2017: 8. [JIA Huijun. Study on the relationship between water factors and plant diversity of wetland in the middle reaches of the Yellow River (Yumenkou – Fenhe into the Yellow River mouth) [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017: 8]
- [26] 李素清, 武冬梅, 王涛, 等. 山西长治湿地草本植物优势种群和群落的空间格局分析 [J]. 草业学报, 2011, **20**(3): 43–50. [LI Suqing, WU Dongmei, WANG Tao, et al. Spatial pattern analysis of herbaceous community for dominant species and communities in Changzhi wetland, Shanxi [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2011, **20**(3): 43–50] DOI: 10.11686/cyxb20110305
- [27] CHEN Yahan, HAN Wenxuan, TANG Luying, et al. Leaf nitrogen and phosphorus concentrations of woody plants differ in responses to climate, soil and plant growth form [J]. Ecography, 2013, **36**(2): 178–184. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2011.06833.x
- [28] 赵广帅, 刘琨, 石培礼, 等. 羌塘高原降水梯度植物叶片、根系性状变异和生态适应对策 [J]. 生态学报, 2020, **40**(1): 295–309. [ZHAO Guangshuai, LIU Min, SHI Peili, et al. Variation of leaf and root traits and ecological adaptative strategies along a precipitation gradient on Changtang Plateau [J]. Acta Ecologic Sinica, 2020, **40**(1): 295–309] DOI: 10.5846/stxb201811262562
- [29] 宋彦涛, 周道玮, 王平, 等. 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征 [J]. 生态学报, 2013, **33**(1): 79–88. [SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al. Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in northeast China [J]. Acta Ecologic Sinica, 2013, **33**(1): 79–88] DOI: 10.5846/stxb201111041666
- [30] 王晶苑, 王绍强, 李纫兰, 等. 中国四种森林类型主要优势植物的 C:N:P 化学计量学特征 [J]. 植物生态学报, 2011, **35**(6): 587–595. [WANG Jinyuan, WANG Shaoqiang, LI Renlan, et al. C:N:P stoichiometric characteristics of four forest types' dominant tree species in China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, **35**(6): 587–595] DOI: 10.3724/SP.J.1258.2011.00587
- [31] 第二届植物学名词审定委员会[M]. 植物学名词. 2 版. 北京: 科学出版社, 2019: 298. [The Second Botanical Terminology Committee. Botanical nouns [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2019: 298]
- [32] JENKINS D G, PIERCE S. General allometric scaling of net primary production agrees with plant adaptive strategy theory and has tipping points [J]. Journal of Ecology, 2017, **105**: 1094–1104. DOI: 10.1111/1365-2745.12726
- [33] 赵可夫. 植物对水涝胁迫的适应 [J]. 生物学通报, 2003, **38**(14): 11–14. [ZHAO Kefu. Adaptation of plants to waterlogging stress [J]. Bulletin of Biology, 2003, **38**(14): 11–14] DOI: 10.3969/j.issn.0006-3193.2003.12.004
- [34] 周智彬, 李培军. 我国旱生植物的形态解剖学研究 [J]. 干旱区研究, 2002, **19**(2): 35–40. [ZHOU Zhibin, LI Peijun. A review on the phytotomy research of Xerophytes in China [J]. Arid Zone Research, 2002, **19**(2): 35–40] DOI: 10.13866/j.azr.2002.02.008
- [35] 李正理. 旱生植物的形态和结构 [J]. 生物学通报, 1981(4): 9–12. [LI Zhengli. Morphology and structure of xerophytes [J]. Bulletin of Biology, 1981(4): 9–12]
- [36] BILLINGS W D, MOONEY H A. The ecology of arctic and alpine plants [J]. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 1968, **43**(4): 481–529. DOI: 10.1111/j.1469-185x.1968.tb00968.x
- [37] ROSENFEILD M F, MULLER S C, OVERBECK G E, et al. Short gradient, but distinct plant strategies: The CSR scheme applied to subtropical forests [J]. Journal of Vegetation Science, 2019, **30**(5): 984–993. DOI: 10.1111/jvs.12787
- [38] 柏祥, 陈开宁, 黄蔚, 等. 黄菖蒲和美人蕉对水深梯度的响应差异 [J]. 生态学报, 2011, **30**(3): 464–470. [BAI Xiang, CHEN Kaining, HUANG Wei, et al. Differential response of Iris pseudacorus and Canna indica to water depth gradient [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, **30**(3): 464–470] DOI: 10.13292/j.1000-4890.2011.0068
- [39] 潘红丽, 李迈和, 蔡小虎, 等. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性 [J]. 生态环境学报, 2019, **18**(2): 722–730. [PAN Hongli, LI Maihe, CAI Xiaohu, et al. Response of growth and ecophysiology of plants to altitude [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2019, **18**(2): 722–730] DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2009.02.036
- [40] DE PAULA L F A, NEGREIROS D, AZEVEDO L O, et al. Functional ecology as a missing link for conservation of a resource-limited flora in the Atlantic forest [J]. Biodiversity and Conservation, 2015, **24**: 2239–2253. DOI: 10.1007/s10531-015-0904-x

- [41] ECKE F, HELLSTEN S, KOHLER J, et al. The response of hydrophyte growth forms and plant strategies to river restoration [J]. *Hydrobiologia*, 2016, **769**: 41–54. DOI: 10.1007/s10750-015-2605-6
- [42] 方耀成. 桂林岩溶石山常绿落叶混交林植物功能性状的空间变异及其与环境的尺度关联性研究 [D]. 桂林: 广西师范大学, 2022: 41–42. [FANG Yaocheng. Spatial variation of plant functional traits and its correlation with environment at different spatial scales in Karst mixed evergreen and deciduous forests, Guilin, China [D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2022: 41–42] DOI: 10.27036/d.cnki.ggxsu.2022.000204
- [43] ZELNIK I, CARNI A. Distribution of plant communities, ecological strategy types and diversity along a moisture gradient [J]. *Community Ecology*, 2008, **9**(1): 1–9. DOI: 10.1163/156856101317048662
- [44] GASTON K J. Global patterns in biodiversity [J]. *Nature*, 2000, **405**: 220–227. DOI: 10.1038/35012228
- [45] OLIVEIRA-FILHO A T, BUDKE J C, JARENKO J A, et al. Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2015, **8**(3): 242–260. DOI: 10.1093/jpe/rtt058
- [46] ROSENFELD M F, MULLER S C, OVERBECK G E, et al. Short gradient, but distinct plant strategies: The CSR scheme applied to subtropical forests [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2019, **30**(5): 984–993. DOI: 10.1111/jvs.12787
- [47] GABERSCIK A, KREK J L, ZELNIK I. Habitat diversity along a hydrological gradient in a complex wetland results in high plant species diversity [J]. *Ecological Engineering*, 2018, **118**: 84–92. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2018.04.017
- [48] BRICCA A, MUSCIANO M D, FERRARA A, et al. Community assembly along climatic gradient: Contrasting pattern between- and within- species [J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2022, **56**: 125675. DOI: 10.1016/j.ppees.2022.125675
- [49] GUPPONI L. Intraspecific variation in functional strategy and leaf shape of *Campanula elatinoidea* reveals adaptation to climate [J]. *Flora*, 2020, **268**: 151605. DOI: 10.1016/j.flora.2020.151605
- [50] PFAFF M C, HIEBENTHAL C, MOLIS M, et al. Patterns of diversity along experimental gradients of disturbance and nutrient supply-the confounding assumptions of the Intermediate Disturbance Hypothesis [J]. *African Journal of Marine Science*, 2010, **32**(1): 127–135. DOI: 10.2989/18142321003714856
- [51] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. *Science*, 1978, **199**(4335): 1302–1310. DOI: 10.1126/science.199.4335.1302
- [52] GRIME J P. Competitive exclusion in herbaceous vegetation [J]. *Nature*, 1973, **242**: 344–347.

Spatial Pattern of CSR Strategies of Wetland Plants in Shanxi Province, China and Their Relationship with Climate Factors

LIU Can¹, LI Shuai², LI Jiasheng¹, GUO Donggang¹, ZHANG Quanxi^{1*}

(1. College of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030031, China;

2. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: Shanxi province is in the middle reaches of the Yellow River, the eastern part of the Loess Plateau of China. It holds a crucial ecological niche. Wetland plants in Shanxi province are sensitive to the changes in wetland habitats, but there was less knowledge of their comprehensive functional traits, ecological strategies, spatial distribution and coupling with climate change.

In this study, CSR strategies (Competitive-Stress tolerant-Ruderal) theory were applied to identify the main CSR strategy types of wetland plants in Shanxi province from the functional traits of wetland plants; it used PCA analysis and Pearson correlation analysis to study spatial layouts of wetlands with different CSR strategies and their relationship with climate factors, and explored the relationship between species abundance and plant CSR strategies.

It found (1) wetland plants in Shanxi province were mainly C-strategy plants, CS-strategy plants and SR-strategy plants. (2) There were highly significant non-linear correlations between C-strategy plants and elevation ($P < 0.001$), highly significant negative correlations with longitude ($P < 0.001$), and highly significant non-

linear correlations with latitude ($P < 0.001$); CS-strategy plants were negatively correlated with latitude ($P < 0.05$); and SR-strategy plants were positively correlated with elevation ($P < 0.01$) and latitude ($P < 0.05$). (3) There were highly significant non-linear correlations between C-strategy plants and mean annual temperature ($P < 0.001$) and seasonal variability of precipitation ($P < 0.001$); CS-strategy plants were positively correlated with annual precipitation ($P < 0.01$) and negatively correlated with seasonal variability of temperature ($P < 0.01$); SR strategy plants were negatively correlated with mean annual temperature ($P < 0.01$), and there was a nonlinear correlation between them and seasonal variability in precipitation ($P < 0.01$). (4) SR strategy plants were positively correlated with abundance ($P < 0.01$). In summary, elevation and latitude as indirect factors influenced wetland plant CSR strategies, while seasonal variability in mean annual temperature and precipitation was a direct factor influenced plant CSR strategies. The combined effect of the two on the types of plant contingencies leads to the formation of the existing species coexistence mechanism of wetland communities in Shanxi province.

This study can provide a theoretical basis for the conservation and restoration of wetlands in Shanxi province.

Key words: wetland plants; CSR strategy; spatial distribution pattern; climate factors; Shanxi province

附录1 湿地草本植物名录

1.1 被子植物门—单子叶植物纲

| | | | |
|-------|---------------------------------|-------|---------------------------------------|
| 白鳞莎草 | <i>Cyperus nipponicus</i> | 画眉草 | <i>Aconitum soongaricum</i> |
| 白茅 | <i>Imperata cylindrica</i> | 黄背草 | <i>Eragrostis pilosa</i> |
| 白羊草 | <i>Bothriochloa ischaemum</i> | 芨芨草 | <i>Agastache rugosa</i> |
| 稗 | <i>Echinochloa crusgalli</i> | 假苇拂子茅 | <i>Achnatherum splendens</i> |
| 扁杆蔗草 | <i>Scirpus planiculmis</i> | 菅草 | <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> |
| 蔗草 | <i>Scirpus triqueter</i> | 剪股颖 | <i>Agrostis matsumurae</i> |
| 糙隐子草 | <i>Cleistogenes squarrosa</i> | 碱茅 | <i>Puccinellia distans</i> |
| 穿叶眼子菜 | <i>Potamogeton perfoliatus</i> | 荻草 | <i>Arthraxon hispidus</i> |
| 大披针苔草 | <i>Carex lanceolata</i> | 荆三棱 | <i>Scirpus yagara</i> |
| 灯芯草 | <i>Juncus effusus</i> | 看麦娘 | <i>Alopecurus aequalis</i> |
| 荻 | <i>Triarrhena sacchariflora</i> | 赖草 | <i>Leymus secalinus</i> |
| 鹅观草 | <i>Roegneria kamoji</i> | 狼尾草 | <i>Pennisetum alopecuroides</i> |
| 拂子茅 | <i>Calamagrostis epigeios</i> | 龙须眼子菜 | <i>Potamogeton pectinatus</i> |
| 浮萍 | <i>Lemna minor</i> | 芦苇 | <i>Phragmites australis</i> |
| 狗尾草 | <i>Heteropappus hispidus</i> | 马唐 | <i>Digitaria sanguinalis</i> |
| 狗牙根 | <i>Setaria viridis</i> | 芒 | <i>Miscanthus sinensis</i> |
| 黑三棱 | <i>Adenocaulon himalaicum</i> | 披碱草 | <i>Elymus dahuricus</i> |
| 红鳞扁莎 | <i>Polygonum orientale</i> | 莎草 | <i>Cyperus rotundus</i> |
| 虎尾草 | <i>Lespedeza bicolor</i> | 石蒜 | <i>Lycoris radiata</i> |
| 花菖蒲 | <i>Chloris virgata</i> | 绶草 | <i>Spiranthes sinensis</i> |
| | | 水稗 | <i>Echinochloa phyllopogon</i> |

| | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|
| 水葱 | <i>Scirpus validus</i> | 车前 | <i>Plantago asiatica</i> |
| 水毛花 | <i>Scirpus triangulatus</i> | 怪柳 | <i>Tamarix chinensis</i> |
| 水莎草 | <i>Juncellus serotinus</i> | 齿果酸模 | <i>Rumex dentatus</i> |
| 嵩草 | <i>Kobresia myosuroides</i> | 刺儿菜 | <i>Cirsium setosum</i> |
| 苔草 | <i>Vittaria flexuosa</i> | 翠雀 | <i>Delphinium grandiflorum</i> |
| 头状穗莎草 | <i>Cyperus glomeratus</i> | 打碗花 | <i>Calystegia hederacea</i> |
| 蔺草 | <i>Beckmannia syzigachne</i> | 大车前 | <i>Plantago major</i> |
| 无苞香蒲 | <i>Typha laxmannii</i> | 大黄 | <i>Ligularia duciformis</i> |
| 纤毛鹅观草 | <i>Roegneria ciliaris</i> | 大籽蒿 | <i>Artemisia sieversiana</i> |
| 香蒲 | <i>Typha orientalis</i> | 地肤 | <i>Kochia scoparia</i> |
| 小茨藻 | <i>Najas minor</i> | 地椒 | <i>Thymus quinquecostatus</i> |
| 小香蒲 | <i>Typha minima</i> | 地榆 | <i>Sanguisorba officinalis</i> |
| 沿阶草 | <i>Ophiopogon bodinieri</i> | 独行菜 | <i>Lepidium apetalum</i> |
| 眼子菜 | <i>Potamogeton distinctus</i> | 鹅绒委陵菜 | <i>Potentilla anserina</i> |
| 燕麦 | <i>Avena sativa</i> | 二色补血草 | <i>Limonium bicolor</i> |
| 羊草 | <i>Leymus chinensis</i> | 翻白草 | <i>Potentilla discolor</i> |
| 野慈姑 | <i>Sagittaria trifolia</i> | 反枝苋 | <i>Amaranthus retroflexus</i> |
| 藨草 | <i>Phalaris arundinacea</i> | 费菜 | <i>Sedum aizoon</i> |
| 硬质早熟禾 | <i>Poa sphondylodes</i> | 风毛菊 | <i>Saussurea japonica</i> |
| 泽泻 | <i>Alisma plantago aquatica</i> | 浮叶眼子菜 | <i>Potamogeton natans</i> |
| 獐毛 | <i>Swertia bimaculata</i> | 甘菊 | <i>Dendranthema lavandulifolium</i> |
| 长苞香蒲 | <i>Halerpestes ruthenica</i> | 杠柳 | <i>Crataegus kansuensis</i> |
| 针蔺 | <i>Stipa capillata</i> | 狗娃花 | <i>Periploca sepium</i> |
| 针茅 | <i>Ixeridium chinense</i> | 拐芹 | <i>Cynodon dactylon</i> |
| 菹草 | <i>Oxalis corniculata</i> | 鬼针草 | <i>Angelica polymorpha</i> |
| 1.2 被子植物门—双子叶植物纲 | | 海乳草 | <i>Bidens pilosa</i> |
| 阿尔泰狗娃花 | <i>Heteropappus altaicus</i> | 旱麦瓶草 | <i>Glaux maritima</i> |
| 八宝景天 | <i>Hylotelephium erythrostictum</i> | 和尚菜 | <i>Silene jenssenensis</i> |
| 巴天酸模 | <i>Rumex patientia</i> | 红蓼 | <i>Sparganium stoloniferum</i> |
| 白花草木樨 | <i>Melilotus albus</i> | 狐尾藻 | <i>Pycnus sanguinolentus</i> |
| 白莲蒿 | <i>Artemisia sacrorum</i> | 胡枝子 | <i>Myriophyllum verticillatum</i> |
| 百里香 | <i>Thymus mongolicus</i> | 花苜蓿 | <i>Iris ensata var. hortensis</i> |
| 败酱 | <i>Patrinia scabiosaefolia</i> | 华北乌头 | <i>Medicago ruthenica</i> |
| 瓣蕊唐松草 | <i>Thalictrum petaloideum</i> | 黄花蒿 | <i>Themeda japonica</i> |
| 薄荷 | <i>Mentha haplocalyx</i> | 黄香草木樨 | <i>Artemisia annua</i> |
| 篇蓄 | <i>Polygonum aviculare</i> | 灰绿藜 | <i>Melilotus officinalis</i> |
| 博落回 | <i>Macleaya cordata</i> | 火绒草 | <i>Chenopodium glaucum</i> |
| 补血草 | <i>Limonium sinense</i> | 藿香 | <i>Leontopodium leontopodioides</i> |
| 苍耳 | <i>Xanthium sibiricum</i> | 碱蓬 | <i>Suaeda glauca</i> |
| 糙苏 | <i>Phlomis umbrosa</i> | 金鱼藻 | <i>Ceratophyllum demersum</i> |
| 草地风毛菊 | <i>Saussurea amara</i> | 荆条 | <i>Vitex negundo</i> |
| 茶藨子 | <i>Ribes nigrum</i> | 菊芋 | <i>Helianthus tuberosus</i> |

| | | | |
|-------|----------------------------------|----------|--|
| 苦苣菜 | <i>Sonchus oleraceus</i> | 酸枣 | <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> |
| 蓝花棘豆 | <i>Oxytropis caerulea</i> | 天蓝苜蓿 | <i>Medicago lupulina</i> |
| 狼把草 | <i>Bidens tripartita</i> | 田旋花 | <i>Convolvulus arvensis</i> |
| 藜 | <i>Chenopodium album</i> | 橐吾 | <i>Ligularia sibirica</i> |
| 鳢肠 | <i>Eclipta prostrata</i> | 蚊子草 | <i>Filipendula palmata</i> |
| 连翘 | <i>Forsythia suspensa</i> | 细叶蓼 | <i>Carex capillaris</i> |
| 莲 | <i>Nelumbo nucifera</i> | 细叶苔草 | <i>Polygonum taquetii</i> |
| 两型豆 | <i>Amphicarpaea edgeworthii</i> | 狭叶荨麻 | <i>Urtica angustifolia</i> |
| 菱 | <i>Trapa bispinosa</i> | 狭叶珍珠菜 | <i>Lysimachia pentapetala</i> |
| 柳兰 | <i>Epilobium angustifolium</i> | 香薷 | <i>Elsholtzia ciliata</i> |
| 柳叶菜 | <i>Epilobium hirsutum</i> | 小丛红景天 | <i>Rhodiola dumulosa</i> |
| 罗布麻 | <i>Apocynum venetum</i> | 小蓬草 | <i>Conyza canadensis</i> |
| 葎草 | <i>Humulus scandens</i> | 小窃衣 | <i>Torilis japonica</i> |
| 马齿苋 | <i>Portulaca oleracea</i> | 蝎子草 | <i>Girardinia suborbiculata</i> |
| 曼陀罗 | <i>Datura stramonium</i> | 兴安胡枝子 | <i>Lespedeza daurica</i> |
| 毛茛 | <i>Ranunculus japonicus</i> | 苔菜 | <i>Nymphoides peltatum</i> |
| 梅花草 | <i>Parnassia palustris</i> | 玄参 | <i>Scrophularia ningpoensis</i> |
| 美丽胡枝子 | <i>Lespedeza formosa</i> | 旋覆花 | <i>Inula japonica</i> |
| 蒙古蒿 | <i>Artemisia mongolica</i> | 盐地碱蓬 | <i>Suaeda salsa</i> |
| 密花香薷 | <i>Elsholtzia densa</i> | 野艾蒿 | <i>Artemisia lavandulaefolia</i> |
| 木藤蓼 | <i>Fallopia aubertii</i> | 野大豆 | <i>Glycine soja</i> |
| 木香薷 | <i>Elsholtzia stauntoni</i> | 野苜蓿 | <i>Medicago falcata</i> |
| 牛蒡 | <i>Arctium lappa</i> | 益母草 | <i>Leonurus artemisia</i> |
| 牛皮消 | <i>Cynanchum auriculatum</i> | 茵陈蒿 | <i>Artemisia capillaris</i> |
| 蒲公英 | <i>Taraxacum mongolicum</i> | 荫生鼠尾草 | <i>Salvia umbratica</i> |
| 千屈菜 | <i>Lythrum salicaria</i> | 早开堇菜 | <i>Viola prionantha</i> |
| 苘麻 | <i>Abutilon theophrasti</i> | 醉浆草 | <i>Aeluropus sinensis</i> |
| 砂珍棘豆 | <i>Oxytropis racemosa</i> | 獐牙菜 | <i>Typha angustata</i> |
| 山蒿 | <i>Artemisia brachyloba</i> | 长叶碱毛茛 | <i>Polygonum longisetum</i> |
| 蛇床 | <i>Cnidium monnieri</i> | 长鬃蓼 | <i>Rorippa islandica</i> |
| 蛇莓 | <i>Duchesnea indica</i> | 沼生蕻菜 | <i>Epilobium palustre</i> |
| 鼠掌老鹳草 | <i>Geranium sibiricum</i> | 沼生柳叶菜 | <i>Heleocharis pellucida</i> |
| 水棘针 | <i>Amethystea caerulea</i> | 中华小苦荬 | <i>Rumex crispus</i> |
| 水苦荬 | <i>Veronica undulata</i> | 皱叶酸模 | <i>Salsola collina</i> |
| 水蓼 | <i>Polygonum hydropiper</i> | 猪毛菜 | <i>Artemisia scoparia</i> |
| 水芹 | <i>Oenanthe javanica</i> | 猪毛蒿 | <i>Potamogeton crispus</i> |
| 睡莲 | <i>Nymphaea tetragona</i> | | |
| 松蒿 | <i>Phtheirospermum japonicum</i> | 1.3 蕨类植物 | |
| 酸模 | <i>Rumex acetosa</i> | 节节草 | <i>Commelina diffusa</i> |
| 酸模叶蓼 | <i>Polygonum lapathifolium</i> | 1.4 藻类植物 | |
| | | 水绵 | <i>Spirogyra communis</i> |