

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)5 - 615 - 09

# 纳帕海湿地草本植物群落演替与水文情势关系

罗怀秀<sup>1</sup>, 贾海锋<sup>1</sup>, 胡金明<sup>1\*</sup>, 李 杰<sup>2</sup>, 李宁云<sup>1</sup>

(1. 云南省国际河流与跨境生态安全重点实验室, 云南 昆明 650091; 2. 云南财经大学城市与环境学院, 云南 昆明 650021)

**摘 要:** 均匀布点开展纳帕海湿地植物群落调查, 应用 DCA 排序分析植物群落演替特征及其主控因子, 利用 Shannon - Wiener 等物种多样性指数分析群落演替过程中的物种多样性变化态势; 利用多期 Landsat TM/ETM + 影像解译获取多年平均的湿地淹水频率空间分异特征; 均匀布点采集并测定分层土样重量含水率, 生成植物调查同期湿地分层土壤含水量空间分异特征; 将样方 DCA 第一排序轴与样方物种多样性指数进行关联分析。结果表明: 本次调查记录到湿地植物物种 130 种, 隶属 36 科 88 属; 湿地区的湿 - 中生植物群落占绝大多数, 中生群落和严重破坏地次生群落分布较广, 典型水生植物群落分布生境狭窄, 可分为水生植物群落、湿 - 中生植物群落、中生植物群落和严重破坏地植物群落 4 个演替阶段; 水文情势分异及变化和强干扰是纳帕海湿地植被生态演替的主控因子; 现状演替态势下, 湿地区的湿 - 中生植物物种、与人为干扰或退化有关的伴生植物物种会趋向增加, 湿地进一步退化; 调控水文情势和减轻家畜翻拱的强干扰破坏是实现纳帕海湿地植被生态修复的重要途径。

**关键词:** 纳帕海湿地; 植物群落演替; DCA 排序; 物种多样性; 水文情势

**中图分类号:** Q948.1

**文献标志码:** A

湿地生态系统是一个动态的和多样化的景观<sup>[1]</sup>。湿地植被的结构、功能和生态特征能综合反映湿地生态环境的基本特点和功能特性<sup>[2]</sup>, 其分布面积、种类、数量及其优势种的变化是判定湿地生态系统稳定程度的重要指标<sup>[3]</sup>。受植物特性和环境异质性的影响, 不同的植物种通常表现出不同的分布格局<sup>[4]</sup>。湿地植被组合的时空变化受许多因素的影响, 包括干扰、水质以及土壤养分等<sup>[5]</sup>。由于环境变化的实时性, 植物群落物种组成往往反映的是环境条件长期或短期空间上的变化<sup>[6]</sup>。水文被认为是影响湿地生态系统的关键因子<sup>[7-10]</sup>, 其与植物群落的相互作用一直受到关注<sup>[11-13]</sup>。本研究以滇西北高原国际重要湿地纳帕海为对象, 揭示该湿地植物群落的演替特征及其水文情势的关系, 为正在实施的纳帕海湿地植被生态修复和湿地保护工程提供参考信息。

## 1 研究区概况

纳帕海湿地(99°37' ~ 99°43'E、27°49' ~ 27°55' N、海拔约 3 260 m)是我国低纬度高海拔地区较为独特的湿地类型<sup>[14]</sup>。该湿地于 1984 年被云南省设为省级自然保护区、于 2004 年被列入国际重要湿地名录<sup>[15]</sup>。尽管如此, 近 30 年来持续的人为活动显著改变了纳帕海湿地景观和水文情势, 导致湿地生态退化<sup>[16-19]</sup>, 部分优势或特有的湿地植物群落分布面积下降甚至消失, 2009 年严重退化区面积占湿地总面积的 15.74%<sup>[17]</sup>。纳帕海湿地生态保护和恢复被列入云南省湿地恢复工程(2007—2020 年)优先项目和全国湿地保护工程实施规划(2005—2010 年)的湿地植被恢复工程项目<sup>[17]</sup>。

近年来有关纳帕海湿地生态过程及其退化驱动

收稿日期(Received date): 2013 - 11 - 13; 修回日期(Accepted): 2014 - 03 - 12。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40961003); 国家科技基础性工作专项(2008FY110300)。[National Natural Science Foundation of China (40961003); National Special Basic Research Fund (2008FY110300).]

作者简介(Biography): 罗怀秀(1988 - ), 女, 云南绥江人, 硕士研究生, 从事湿地生态研究。[Luo Huaixiu(1988 - ), female, Master student, major in study of wetland ecology.] E-mail: lhxlhluohuaixiu@163.com, Tel: 0871 - 65034577

\* 通信作者(Corresponding author): 胡金明(1973 - ), 男, 安徽枞阳人, 博士, 教授, 从事湿地生态研究。[Hu Jinming(1973 - ), male, Dr. & Professor, major in study of wetland ecology.] E-mail: jhuyinu@163.com, Tel: 0871 - 65034577

机制等研究涉及湿地植被退化态势与驱动力<sup>[20-22]</sup>、湿地优势植物群落相关特性<sup>[23-24]</sup>、湿地植被景观及变化<sup>[19]</sup>、湿地植被与土壤关系<sup>[18]</sup>等。这些研究大多基于环境梯度分异设立若干生态样带或样地,从物种或群落尺度上探讨湿地区植被对环境因子的响应,或是比较自然湿地和被人为干扰后的湿地的物种、群落和景观特征等变化,以揭示湿地生态退化过程或人为活动的影响,而缺乏从湿地区整体层面探索植物群落退化演替的态势及其主控因子。

## 2 研究方法

### 2.1 植物群落调查

本研究于 2012-07-08 在纳帕海湿地区开展植物群落调查。在湿地区明水和农田之外的区域均匀布点,在景观较一致且植物群落类型较单一的区域适当减少布点,靠近明水水面且不易通行区域不布点(图 1),共计调查 251 个植物群落样方,记录种名、平均高度、盖度、多度、群集度、物候相、样方总盖度等,同时记录样方位置和基本生境特征等信息。

### 2.2 植物群落类型划分和排序

参照《中国湿地植被》<sup>[25]</sup>,根据植物群落的物种组成、生态学外貌、生态地理和动态特征等 4 个主要特征划分植物群丛,并以优势种来命名,分类结果

如表 1 所示。

样方排序采用 PCORD 软件标准程序中的 DCA。所调查样方中,37 个位于破坏地生境(表 1),这些样方基本都为新定殖的次生植物群落,其形成与家猪翻拱干扰直接相关。因此,在 DCA 排序中剔除这 37 个样方,实际用于排序的样方 214 个。

### 2.3 物种相关指数计算

物种多度(Abundance):采用分级数(1~6)代替野外调查时目测估计的各样方内的每种植物个体的多度,再将其转换为百分数,即:(多度值/6)×100%。物种重要值(Important Value—IV)=(相对盖度+相对多度+相对高度)/3。

物种多样性指数:选取常用的 Patrick 丰富度指数( $R$ )、Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Simpson 优势度指数( $D$ )、Pielou 均匀度指数( $E_1$ )<sup>[26]</sup>。

### 2.4 水文情势分析

纳帕海湿地无常规水文监测数据。本研究获取 1990—2011 年共 48 期(每月 4 期)Landsat TM/ETM+影像,应用修正的归一化差异水体指数<sup>[27]</sup>解译,获取各期湿地区明水(即淹水)和非明水斑块特征,明水和非明水影像单元分别赋值 1、0。将赋值的 48 期影像叠加成图,叠加图的影像单元值越高意味淹水频次就越高,反之则越低。计算该叠加图的每一影像单元的淹水频率(=淹水频次/48×100),便得到每一影像单元对应的湿地区地面单元(30 m×30 m)的淹水频率,生成基于 ArcGIS 的纳帕海湿地区“淹水频率图”,近似表征多年平均(长时间尺度)的纳帕海湿地水文情势空间分异。

在植物群落调查同期,利用网格均匀布点法在湿地区采集了 141 个点位的分层土样(0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm)。采用烘干法(105℃、6~8 h)测定并计算各土样的重量含水率(土壤的水分重量与相应固相物质重量的比值)。在 ArcGIS 中,应用 141 个点位的分层土壤重量含水率的数据和克里金插值法,生成纳帕海湿地区分层土壤重量含水率图,以此表征同期(短期尺度)的植物群落的土壤含水量空间分异。

将植物调查样方点叠加到纳帕海湿地区的淹水频率图、分层土壤重量含水率图上,提取各样方所在影像单元或克里金插值单元的淹水频率值、分层土壤重量含水率,分析纳帕海湿地区的植物群落演替特征和两类水文因子的对应关系。

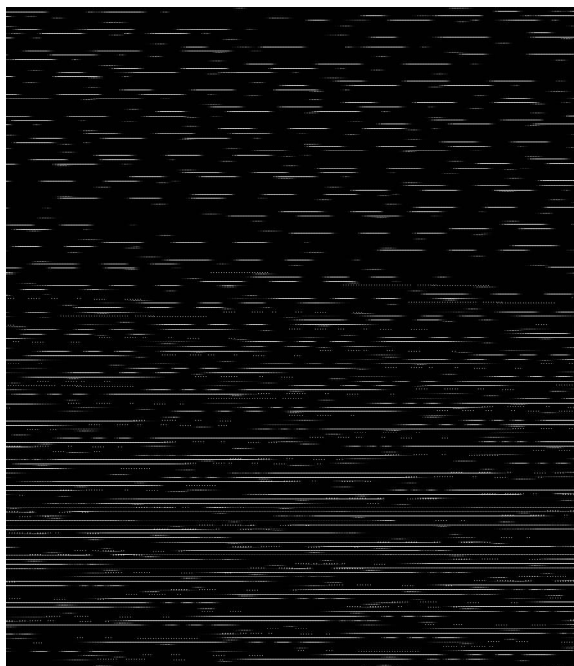


图 1 纳帕海湿地和样方调查点位置示意图

Fig. 1 Location and sampling sites of Napahai wetland

### 3 结果与讨论

#### 3.1 植物物种

本次调查共记录 130 种物种,隶属 36 科 88 属。蕨类植物 1 科 1 属 2 种;苔藓植物 1 科 1 属 1 种;种子植物 34 科 86 属 127 种。其中,菊科(*Compositae*) 9 属 14 种,禾本科(*Gramineae*) 12 属 14 种,蓼科(*Polygonaceae*) 1 属 10 种,莎草科(*Cyperaceae*) 7 属 11 种,毛茛科(*Ranunculaceae*) 5 属 9 种,玄参科(*Scrophulariaceae*) 5 属 8 种,蝶形花科(*Papilionaceae*) 6 属 7 种,十字花科(*Brassicaceae*) 4 属 7 种,龙胆科(*Gentianaceae*) 3 属 6 种,蔷薇科(*Rosaceae*) 2 属 5 种,其他科多为一属一种。

总体来看,湿地区植物物种以北温带分布型为主,科级分类单元上以菊科、禾本科、莎草科等为主,属级分类单元上以蓼属(*Polygonum*)、蒿属(*Artemisia*)、委陵菜属(*Potentilla*)等为主。部分属如报春花属(*Primula*)、龙胆属(*Gentiana*)、马先蒿属(*Pedicularis*)是适应高山、高原寒化和旱化条件高度分化和特化的结果<sup>[28]</sup>;高山豆属(*Tibetia*)是高山干冷环境形成的类群<sup>[29]</sup>。

水生植物中,杉叶藻和小黑三棱分别为同纬度低海拔湿地所不具有的北极-高山和北温带地理成分;水葱、菰、篦齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)等达到了高海拔分布的上限<sup>[20]</sup>。本次调查记录的沉水植物物种少,因 7~8 月湿地明水面快速扩张,部分淹水区的水生群落还未形成,部分淹水较深的区域也无法通行和调查。

#### 3.2 植物群落类型

如表 1 所示,25 个群落类型中:水生生境植物群落有 6 类,样方数占调查样方数的 14.7%;湿-中生、沼(湿)生生境植物群落类型的样方数占绝大多数,其中蕨麻-木里苔草群落、木里苔草群落样方数分别约占调查样方数的 17%~18%,蕨麻群落、华扁穗草群落、高原毛茛群落分别约占 7%~9%;以大狼毒等为优势种的中生群落样方有 11 个,约占 4.4%;家畜翻拱形成的严重破坏地生境调查了 37 个样方,约占 14.7%。

野外调查和群落类型划分表明,湿地区植被生态退化严重。首先是家畜翻拱形成大面积近似裸地的破坏地生境,其次生植物群落总盖度和物种丰富度都较低,先锋种有水蓼、看麦娘、沼生薹菜、鼠麴

草、荔枝草、西伯利亚蓼、尼泊尔酸模等。其次,狼毒群落广泛分布在湿地区东南部,并有向北部扩展态势。第三,在湿-中生生境中,以蕨麻为优势种的群落占该类生境调查群落样方的 67%,而且很多群落中多出现疏花车前、之形喙马先蒿、细叶小苦荬等伴生种,这些物种生态幅广,且多与人为干扰相关。典型水生/沼生植物群落分布生境不断萎缩,主要分布在湖滨带、河滨带和一些常年淹水的低洼地。可见,纳帕海湿地区目前存在向中生环境和中生植物群落演替的态势。

#### 3.3 植物群落 DCA 排序与演替阶段

DCA 排序前 3 个轴的特征值分别为 0.85、0.47、0.37,利用前两轴作 DCA 排序二维散点图(图 2),以反映湿地区植物群落演替阶段的生态关系。表 1 中对应的群落生境类型在 DCA 第一排序轴上的分布:水生生境植物群落分布在右端,而中生生境植物群落分布在左端,沼(湿)生生境和湿-中生生境的植物群落居间,但湿-中生植物群落在第一排序轴上的分布十分集中并偏向中生植物群落(图 2)。可见,DCA 第一排序轴很好地反映出了纳帕海湿地区植物群落的基本演替阶段,并揭示出湿地区植物群落演替的主控因子为水文,以及演替阶段和水文因子两者之间的关联。

将样方 DCA 第一排序轴与样方的淹水频率和分层土壤重量含水率作散点图并进行回归分析(图 3)。相关系数显著性检验表明,DCA 第一排序轴明确反映了水文因子对湿地植物群落空间分异和演替阶段为主的控制( $P < 0.01, n = 214$ )。结合表 1,沿 DCA 第一排序轴自右而左,可将本次调查的 214 个样方划分为水生生境、湿-中生生境和中生生境三类植物群落,也即 3 个演替阶段;未纳入 DCA 排序的破坏地生境次生植物群落单列为一类。表 1 中的沼(湿)生和湿-中生生境植物群落在 DCA 排序图中的区分不明显,可能是沼(湿)生和湿-中生生境植物群落中的诸多物种生态幅重叠所致。

水生植物群落:主要分布在湖/河滨带、低洼沼泽和部分低洼积水区,年内淹水时间相对较长,淹水深度约为 10~100 cm,底质一般为泥炭或沼泽土。该类群落的平均总盖度一般能达 50% 以上,优势种重要值变化于 0.22~0.32 间;群落在垂向结构上可分为挺水植物层、浮水植物层和沉水植物层,挺水植株高度约在 50~100 cm。

湿-中生植物群落:在湿地区分布广,生境往往

表 1 纳帕海湿地植被群落基本信息  
Table 1 The basic information of vegetation communities of Napahai

| 生境类型        | 群落类型       | <i>N</i> | <i>TC</i> | $\overline{IV}$ | $\overline{E_1}$ | $\overline{H'}$ | $\overline{D}$ | $\overline{R}$ | 主要伴生种       |
|-------------|------------|----------|-----------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|
| 水生<br>生境    | 水葱群落       | 9        | 0.46      | 0.22            | 0.79             | 1.74            | 0.89           | 7.67           | 小黑三棱、刘氏荸荠   |
|             | 杉叶藻群落      | 7        | 0.67      | 0.22            | 0.81             | 1.81            | 0.93           | 7.43           | 刘氏荸荠、小花灯心草  |
|             | 浮叶眼子菜群落    | 7        | 0.48      | 0.32            | 0.75             | 1.53            | 0.92           | 5.43           | 穗状狐尾藻、看麦娘   |
|             | 睡菜群落       | 6        | 0.57      | 0.27            | 0.76             | 1.54            | 0.97           | 5.17           | 小花灯心草       |
|             | 小花灯心草群落    | 4        | 0.64      | 0.28            | 0.76             | 1.64            | 0.92           | 6.5            | 杉叶藻、小黑三棱    |
|             | 刘氏荸荠群落     | 4        | 0.29      | 0.23            | 0.79             | 1.75            | 0.86           | 7.75           | 水葱、菰        |
| 沼(湿)生<br>生境 | 木里苔草群落     | 44       | 0.81      | 0.24            | 0.79             | 1.86            | 0.91           | 8.86           | 纤细碎米荠       |
|             | 华扁穗草群落     | 19       | 0.78      | 0.26            | 0.79             | 1.89            | 0.93           | 9.42           | 纤细碎米荠       |
| 湿-中生<br>生境  | 蕨麻-木里苔草群落  | 46       | 0.79      | 0.19            | 0.83             | 1.93            | 0.92           | 8.76           | 华扁穗草、疏花车前   |
|             | 高原毛茛群落     | 18       | 0.71      | 0.14            | 0.88             | 2.36            | 0.93           | 12.9           | 细叶小苦荬、木里苔草  |
|             | 草地早熟禾群落    | 5        | 0.79      | 0.16            | 0.84             | 2.03            | 0.92           | 9.6            | 云生毛茛、纤细碎米荠  |
|             | 云雾苔草群落     | 4        | 0.66      | 0.28            | 0.88             | 2.29            | 0.93           | 11.8           | 百脉根、疏花车前    |
|             | 密穗马先蒿群落    | 4        | 0.72      | 0.16            | 0.88             | 2.44            | 0.89           | 15.7           | 密穗马先蒿、百脉根   |
|             | 海仙报春群落     | 2        | 0.60      | 0.16            | 0.86             | 2.16            | 0.95           | 10             | 之形喙马先蒿      |
|             | 蕨麻群落       | 23       | 0.71      | 0.17            | 0.86             | 2.17            | 0.91           | 11.2           | 华扁穗草、疏花车前   |
| 中生<br>生境    | 狼毒群落       | 11       | 0.72      | 0.1             | 0.91             | 2.63            | 0.94           | 16.6           | 椭圆叶花锚、湿地银莲花 |
|             | 直茎蒿群落      | 1        | 0.84      | 0.18            | 0.87             | 2.3             | 0.87           | 14             | 棱喙毛茛、之形喙马先蒿 |
| 破坏地<br>生境   | 浮叶眼子菜-水蓼群落 | 11       | 0.47      | 0.28            | 0.77             | 1.64            | 0.91           | 6.36           | 看麦娘         |
|             | 水蓼群落       | 6        | 0.53      | 0.28            | 0.79             | 1.81            | 0.89           | 7.83           | 高蔊菜、看麦娘     |
|             | 看麦娘群落      | 6        | 0.07      | 0.28            | 0.77             | 1.58            | 0.95           | 5.5            | 松叶苔草        |
|             | 沼生蔊菜群落     | 4        | 0.26      | 0.3             | 0.59             | 1.32            | 0.68           | 6              | 尼泊尔酸模、看麦娘   |
|             | 鼠麴草群落      | 4        | 0.44      | 0.32            | 0.81             | 2.01            | 0.85           | 10.8           | 荔枝草、通泉草     |
|             | 荔枝草群落      | 3        | 0.57      | 0.16            | 0.86             | 2.09            | 0.94           | 9.67           | 鼠麴草、棱喙毛茛    |
|             | 西伯利亚蓼群落    | 2        | 0.53      | 0.36            | 0.76             | 1.56            | 0.92           | 5.5            | 蕨麻          |
|             | 尼泊尔酸模群落    | 1        | 0.02      | 0.43            | 0.75             | 1.68            | 0.81           | 8              | 看麦娘、沼生蔊菜    |

备注 1:  $N$ 、 $TC$ 、 $\overline{IV}$ 、 $\overline{E_1}$ 、 $\overline{H'}$ 、 $\overline{D}$ 、 $\overline{R}$  分别为各群落的调查样方数、平均总盖度 (Total Coverage)、平均优势种重要值、平均 Pielou 均匀度指数、平均 Shannon - Wiener 多样性指数、平均 Simpson 优势度指数、平均 Patrick 丰富度指数。

备注 2: 群落拉丁名: 水葱群落 (Com. *Schoenoplectus tabernaemontani*)、杉叶藻群落 (Com. *Hippuris vulgaris*)、浮叶眼子菜群落 (Com. *Potamogeton natans*)、睡菜群落 (Com. *Menyanthes trifoliata*)、小花灯心草群落 (Com. *Juncus articulatus*)、刘氏荸荠群落 (Com. *Eleocharis liouana*)、木里苔草群落 (Com. *Carex muliensis*)、华扁穗草群落 (Com. *Blysmus sinocompressus*)、蕨麻-木里苔草群落 (Com. *Potentilla anserina* - *C. muliensis*)、高原毛茛群落 (Com. *Ranunculus tanguticus*)、草地早熟禾群落 (Com. *Poa pratensis*)、云雾苔草群落 (Com. *Carex nubigena*)、密穗马先蒿群落 (Com. *Pedicularis densispica*)、海仙报春群落 (Com. *Primula poissonii*)、蕨麻群落 (Com. *P. anserina*)、狼毒群落 (Com. *Euphorbia jolkini* Boiss - *Stellera chamaejasme*)、直茎蒿群落 (Com. *Artemisia edgeworthii*)、浮叶眼子菜-水蓼群落 (Com. *P. natans* - *Polygonum hydropiper*)、水蓼群落 (Com. *Polygonum hydropiper*)、看麦娘群落 (Com. *Alopecurus aequalis*)、沼生蔊菜群落 (Com. *Rorippa islandica*)、鼠麴草群落 (Com. *Gnaphalium affine*)、荔枝草群落 (Com. *Salvia plebeia*)、西伯利亚蓼群落 (Com. *Polygonum sibiricum*)、尼泊尔酸模群落 (Com. *Rumex nepalensis* Spreng)。

备注 3: 物种拉丁名 (前文已出现的不再标注物种拉丁名, 下同): 小黑三棱 (*Sparganium simplex*)、穗状狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*)、疏花车前 (*Plantago asiatica*)、菰 (*Zizania latifolia*)、纤细碎米荠 (*Cardamine gracilis*)、细叶小苦荬 (*Ixeridium gracile*)、云生毛茛 (*Ranunculus longicaulis*)、百脉根 (*Lotus corniculatus*)、之形喙马先蒿 (*Pedicularis sigmoidea*)、椭圆叶花锚 (*Halenia elliptica*)、湿地银莲花 (*Anemone rupestris*)、棱喙毛茛 (*Ranunculus trigonus*)、高蔊菜 (*Rorippa elata*)、松叶苔草 (*Carex rara*)、荔枝草 (*Salvia plebeia*)、通泉草 (*Mazus japonicus*)。



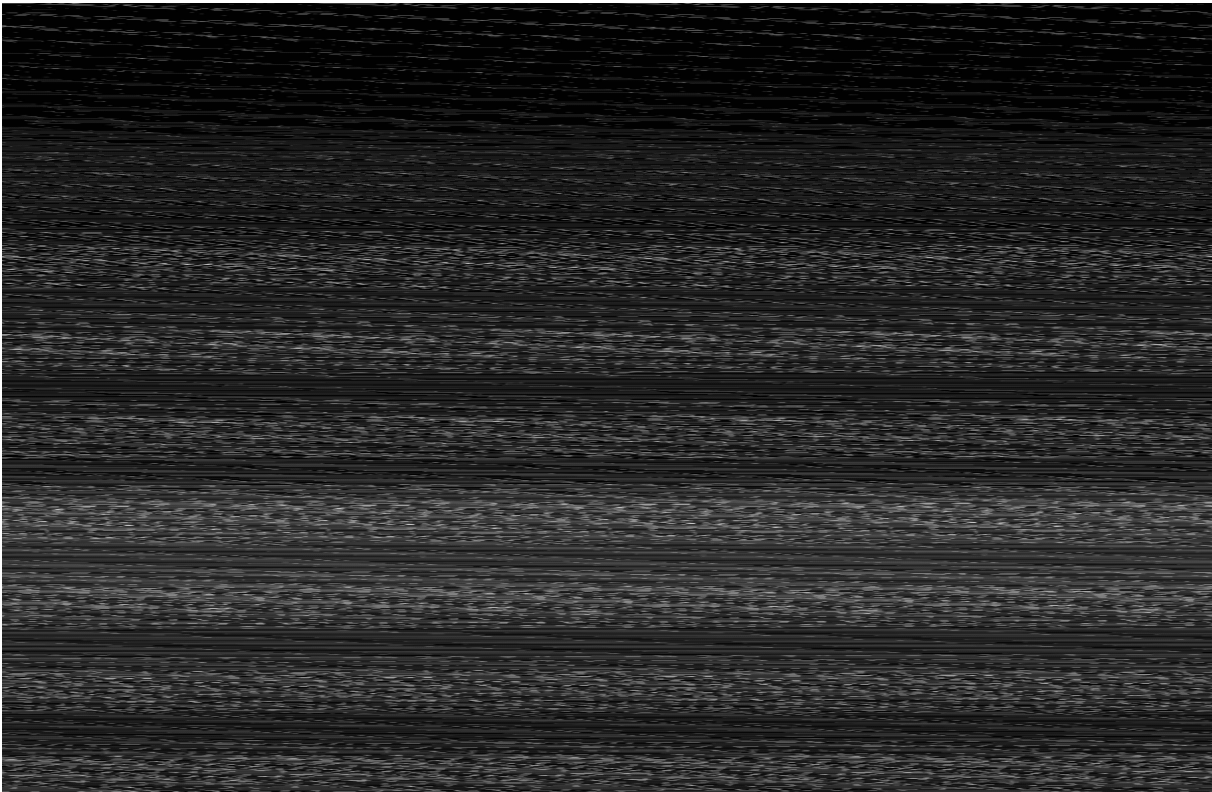


图 2 群落样方 DCA 排序图  
Fig. 2 DCA ordination diagram of sampling community

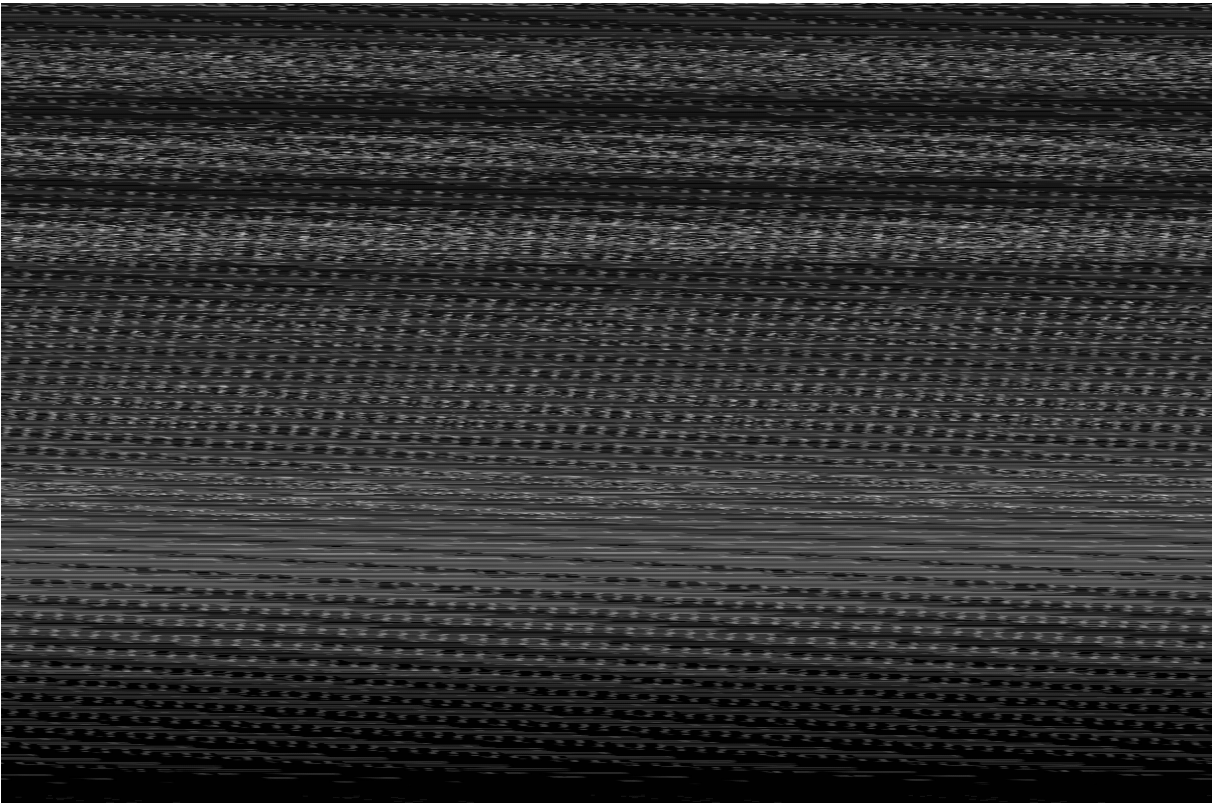


图 3 群落样方 DCA 第一排序轴与水文因子的关系  
Fig. 3 Correlation of DCA AX1 of sampling communities with hydrological factors

为季节性淹水。群落平均总盖度均达 60% 以上,优势种重要值变化于 0.14 ~ 0.28 间。其中,偏湿(沼)生的植物群落以华扁穗草和木里苔草为优势种,其伴生植物以杂类草为主,如纤细碎米荠、通泉草等;土壤多为沼泽土或沼泽化草甸土。偏中生的植物群落形成杂类草中生草甸,群落外貌鲜艳,其优势种有密穗马先蒿(*Pedicularis densispica*)、高原毛茛、海仙报春等;土壤基本为(湿)草甸土。

中生植物群落:主要分布在湿地区东南部和地形较高的区域,年内地表渍水时间相对较短,土壤以亚高山草甸土为主。大狼毒、瑞香狼毒(*Stellera chamaejasma*)等为优势种或建群种,其伴生物种丰富,如椭圆叶花锚、髯毛龙胆(*Gentiana cuneibarba*)、蕨麻等;群落盖度达到 70% 以上。

破坏地生境次生植物群落:主要分布在被放养家畜翻拱而形成的破坏地生境。这类群落的平均总盖度一般都较低,如看麦娘群落和尼泊尔酸模群落总盖度不到 10%,其先锋种大多为具有很广生态幅(广布种)的杂类草,如蓼科蓼属的水蓼和西伯利亚蓼、十字花科蔊菜属沼生蔊菜、菊科鼠麴草属的鼠麴草等。

### 3.4 群落演替与物种多样性

图 4 为样方 DCA 第一排序轴与样方物种多样性指数( $R$ 、 $H'$ 、 $D$ 、 $E_1$ )的关系。从图 4 来看,水生、湿(沼)生、湿-中生至中生生境,植物群落的  $R$ 、 $H'$  和  $D$  指数均表现为中、低、较高、高的态势,而  $E_1$  变化趋势性不明显。这表明,当纳帕海湿地区的水生和湿(沼)生环境向湿-中生、中生环境演替时,不仅会带来植物群落物种类型的改变,如水生和湿(沼)生物种减少、湿生和中生物种增加;而且会带来植物群落物种多样性的变化,如群落物种类型总数、Shannon - Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数都可能增加,群落中的物种则更加均匀,向着亚高山中生草甸生态系统演替。

水生植物群落(演替阶段)因处于常年淹水或年内大部分时间淹水的生境,而且受外界人为干扰相对较小,植物群落相对比较稳定,因此  $H'$ 、 $D$ 、 $E_1$  等多样性指数相对中生植物群落较低;而水生生境水文情势变幅通常较典型的湿生生境要小,长时间演替也使得水生植物群落的物种多样性指数较典型的湿生植物群落略高。

典型湿生植物群落(演替阶段)所处生境的年内

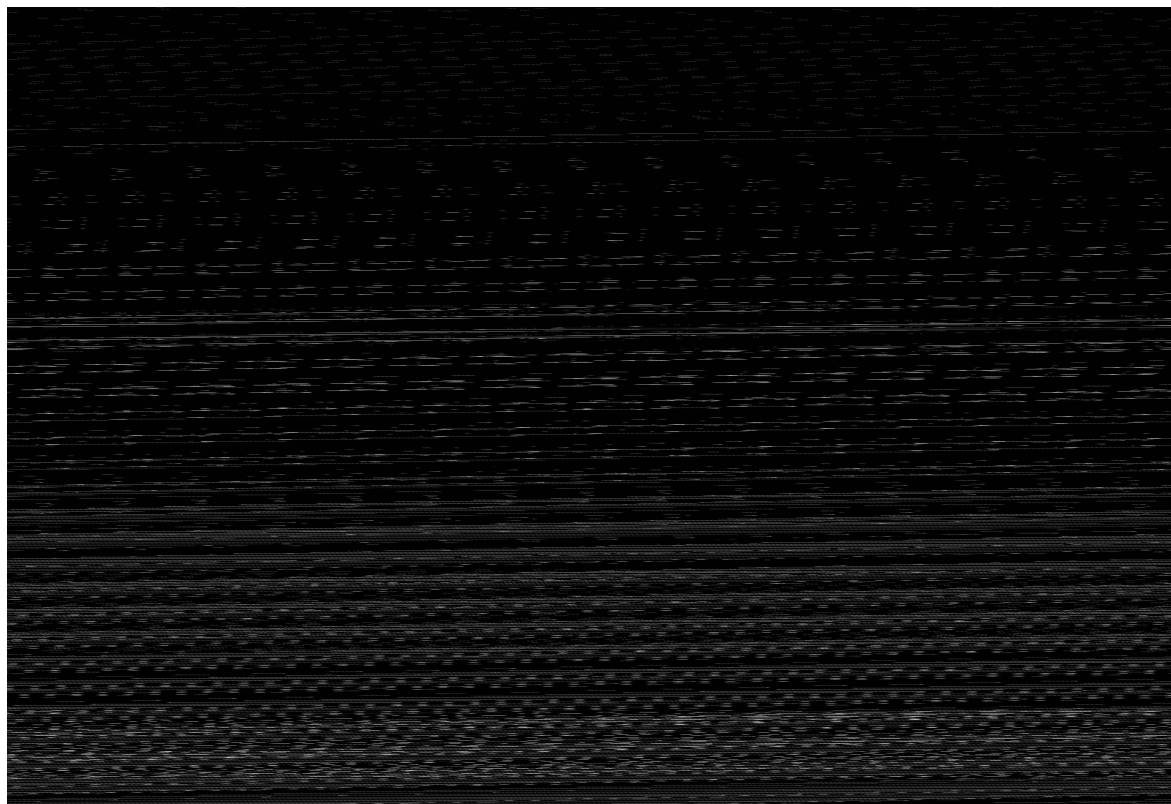


图 4 群落样方 DCA 第一排序轴与物种多样性指数的关系

Fig. 4 Correlation of DCA AX1 with species diversity index of sampling communities

季节性水位波动大,一定时间的季节性积水使得短命植物和中生植物逐渐消失<sup>[30]</sup>,而枯水季节非淹水情势使得一些水生植物的萌发也受到影响<sup>[31]</sup>,在这种特殊生境下新物种也难以定殖或发展成优势物种,从而形成以一种或少数几种植物物种为优势种的群落,物种多样性和丰富度低。

中生植物群落(演替阶段)所处生境为湿地和陆(高)地之间的过渡带,为湿地和陆地生态系统之间的生态交错带,边缘效应明显,其植物物种多样性明显增加。而且,纳帕海湿地区的中生生境也是人为活动干扰最为强烈的区域,形成亚高山中生杂类草草甸、以狼毒和瑞香狼毒为优势种的退化亚高山草甸。

湿地区调查也发现,由典型湿(沼)生生境向偏中生生境的演替,除物种类型和多样性的变化外,植物群落的高度和密度会发生一定程度的下降。

## 4 结论

### 4.1 湿地区植物群落的组成和类型

本次调查共记录湿地区 130 种物种,隶属 36 科 88 属,以北温带分布型为主,科级分类单元上以菊科、禾本科、莎草科等为主,属级分类单元上以蓼属、蒿属、委陵菜属等为主。湿地区的湿-中生、沼(湿)生植物群落类型占绝大多数,而以大狼毒等为优势种的中生群落、严重破坏地生境群落的分布较广,典型水生植物群落的分布生境越来越狭窄,纳帕海湿地区的植被生态呈现出严重的退化态势。

### 4.2 湿地区植被生态演替与主控因子

DCA 第一排序轴较好地反映出纳帕海湿地区当前的植被生态演替阶段和趋势,即水生植物群落、湿-中生植物群落、中生植物群落的演替过程。DCA 第一排序轴与水文因子的关联分析表明,水文情势分异及其变化是湿地区植被生态演替的主控因子。放养家畜翻拱是湿地区严重破坏地次生植物群落演替的直接驱动。

在 DCA 第一排序轴上,湿-中生植物群落分布集中并偏向中生植物群落,意味着“由湿向干”轻微的水文变化可能会带来湿-中生植物群落向中生植物群落演替,从而导致湿地区植被生态退化;反之,则易于湿地区植被生态恢复。因此,调控水文情势和减轻放养家畜(家猪)强干扰,是实现纳帕海湿地区植被生态修复的重要途径。

### 4.3 湿地区植被生态演替与物种多样性

水文情势分异控制下,纳帕海湿地植物群落演替趋势为水生植物群落、湿-中生植物群落、中生植物群落。在演替过程中:水生植物群落物种组成少而群落结构稳定;沼(湿)生植物群落物种组成简单,伴生种数量少;湿-中生植物群落的物种组成相对较多;中生植物群落的物种组成最丰富,伴生种最多,群落结构最复杂。家畜破坏地次生群落物种数最少、群落结构最简单。由水生、沼(湿)生、湿-中生向中生生境的演替,会带来植物物种多样性的增加;但水生和沼生植物物种减少、湿生和中生植物物种增加,以及大量与人为干扰或退化有关的伴生种的出现,意味着湿地退化。

## 参考文献(Reference)

- [1] Todd M J, Muneeppeerakul R, Pumo D, et al. Hydrological drivers of wetland vegetation community distribution within Everglades National Park, Florida[J]. *Advances in Water Resources*, 2010, 33(10): 1279-1289
- [2] Chen Yiyu. China wetlands research[M]. Changchun: Jilin Press, 1995. [陈宜瑜. 中国湿地研究[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995.]
- [3] Reed C F. History and distribution of Eurasian watermilfoil in United States and Canada [J]. *Phytologia*, 1977, 36(5): 417-436
- [4] Lacoul P, Freedman B. Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems [J]. *Environmental Reviews*, 2006, 14(2): 89-136
- [5] Watt S C L, García - Berthou E, Vilar L. The influence of water level and salinity on plant assemblages of a seasonally flooded Mediterranean wetland [J]. *Plant Ecology*, 2007, 189(1): 71-85
- [6] Tuittila E S, Välijärvi M, Laine J, et al. Quantifying patterns and controls of mire vegetation succession in a southern boreal bog in Finland using partial ordinations[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2007, 18(6): 891-902
- [7] David P G. Changes in plant communities relative to hydrologic conditions in the Florida Everglades [J]. *Wetlands*, 1996, 16(1): 15-23
- [8] Ma Xiaodong, Li Weihong, Zhu Chenggang, et al. Spatio-temporal variation in soil moisture and vegetation along the lower reaches of Tarim River, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4035-4045 [马晓东, 李卫红, 朱成刚, 等. 塔里木河下游土壤水分与植被时空变化特征[J]. *生态学报*, 2010, 30(15): 4035-4045]
- [9] Li F, Xie Y, Chen X, et al. Succession of aquatic macrophytes in the Modern Yellow River Delta after 150 years of alluviation [J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2013, 21(3): 219-228
- [10] Mitsch W J, Gosselink J G. *Wetlands* [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [11] Ross M S, Reed D L, Sah J P, et al. *Vegetation: environment re-*

- lationships and water management in Shark Slough, Everglades National Park[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2003, **11** (5): 291–303
- [12] Zweig C L, Kitchens W M. Multi-state succession in wetlands: a novel use of state and transition models[J]. *Ecology*, 2009, **90** (7): 1900–1909
- [13] Davis S M, Gunderson L H, Park W A, et al. Landscape dimension, composition, and function in a changing Everglades ecosystem[J]. *Everglades: the ecosystem and its restoration*, 1994: 419–444
- [14] Tian Kun, Mechanism and process of soil degradation in Napahai wetland on Yunnan Plateau[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2004: 23–97 [田昆. 云南纳帕海高原湿地土壤退化过程及驱动机制[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2004: 23–97]
- [15] Yang Xueguang. *Forestry Gazetteers of Shangri-la County* [M]. Kunming: Yunnan Nationalities Press, 2006 [杨学光. 香格里拉县林业志[M]. 昆明: 云南民族出版社, 2006]
- [16] Li Jie, Hu Jinming, Dong Yunxia, et al. Study on the landscape change from 1994 to 2006 of Napahai catchment and the wetlands, northwest Yunnan mountainous region[J]. *Mountain Research*, 2010, **28**(2): 247–256 [李杰, 胡金明, 董云霞, 等. 1994~2006年滇西北纳帕海流域及其湿地景观变化研究[J]. *山地学报*, 2010, **28**(2): 247–256]
- [17] Hu Jinming, Li Jie, Dong Yunxia, et al. Seasonal landscape pattern change and its driving forces of the Napahai Wetland [J]. *Geograph Research*, 2010, **29**(5): 899–908 [胡金明, 李杰, 袁寒, 等. 纳帕海湿地季节性景观格局动态变化及其驱动[J]. *地理研究*, 2010, **29**(5): 899–908]
- [18] Xiao Derong, Tian Kun, Zhang Liquan. Relationship between plant diversity and soil fertility in Napahai wetland of Northwestern Yunnan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **28**(7): 3116–3124 [肖德荣, 田昆, 张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系[J]. *生态学报*, 2008, **28**(7): 3116–3124]
- [19] Xiao Derong, Tian Kun, Yuan Hua, et al. Landscape diversity of Napahai wetland plant community in Northwest Yunnan of China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, **26**(8): 1171–1176 [肖德荣, 田昆, 袁华, 等. 滇西北高原典型退化湿地纳帕海植物群落景观多样性[J]. *生态学杂志*, 2007, **26**(8): 1171–1176]
- [20] Xiao Derong, Tian Kun, Yang Yuming, et al. Plant diversity pattern and its driving forces in Napahai, a degraded plateau wetland in northwestern Yunnan, China[J]. *Ecology and Environment*, 2007, **16**(2): 523–529 [肖德荣, 田昆, 杨宇明, 等. 高原退化湿地纳帕海植物多样性格局特征及其驱动力[J]. *生态环境*, 2007, **16**(2): 523–529]
- [21] Shang Wen, Yang Yongxing. Degradation characteristics, patterns, and processes of lakeside wetland in Napahai of northwest Yunnan Plateau, Southwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(12): 3257–3265 [尚文, 杨永兴. 滇西北高原纳帕海湖滨湿地退化特征, 规律与过程[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(12): 3257–3265]
- [22] Shang Wen, Yang Yongxing, Han Dayong. Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(15): 4776–4789 [尚文, 杨永兴, 韩大勇. 基于PCA的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价[J]. *生态学报*, 2013, **33**(15): 4776–4789]
- [23] Dong Yu, Tian Kun, Guo Xuhu, et al. Impacts of regional climate change on chlorophyll fluorescence characteristics of plateau wetland plants in Napahai, Yunnan China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, **22**(4): 588–594 [董瑜, 田昆, 郭绪虎, 等. 不同区域气候条件下纳帕海湿地植物叶绿素荧光特性[J]. *生态环境学报*, 2013, **22**(4): 588–594]
- [24] Guo Xuhu, Xiao Derong, Tian Kun, et al. Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(5): 1425–1432 [郭绪虎, 肖德荣, 田昆, 等. 滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解[J]. *生态学报*, 2013, **33**(5): 1425–1432]
- [25] Lang Huiqin, Zhao Kuiyi, Chen Kelin, et al. *Wetland Vegetation in China* [M]. Beijing: Science Press, 1999. [朗惠卿, 赵魁义, 陈克林, 等. *中国湿地植被* [M]. 北京: 科学出版社. 1999.]
- [26] Song Yongchang. *Ecology, Vegetation Ecology* [M]. East China Normal University Press, 2001: 47–51 [宋永昌. *生态学, 植被生态学* [M]. 华东师范大学出版社, 2001: 47–51]
- [27] Li Jie, Hu Jinming, Deng Wei, et al. Revealing storage-area relationship of open water in ungauged subalpine wetland—Naphai in northwest Yunnan, China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2013, **10**(4): 553–563
- [28] Li Xiwen, Li Jie. A preliminary floristic study on the seed plants from the region of HengDuan mountain [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1993, **15**(3): 217–231 [李锡文, 李捷. 横断山脉地区种子植物区系的初步研究[J]. *云南植物研究*, 1993, **15**(3): 217–231]
- [29] Li Xiwen. Two big biodiversity centres of Chinese endemic genera of seed plants and their characteristics in Yunnan Province [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1993, **16**(3): 221–227 [李锡文. 中国特有种子植物属在云南的两大生物多样性中心及其特征[J]. *云南植物研究*, 1994, **16**(3): 221–227]
- [30] Brock M A. *Aquatic vegetation of inland wetlands* [G]// *Australian vegetation (Second Edition)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1994: 437–466
- [31] Siobhan Fennessy M, Cronk J K, Mitsch W J. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions [J]. *Ecological Engineering*, 1994, **3**(4): 469–484

## Relationship between Herbaceous Communities Succession and Hydrological Regimes in Napahai Wetland

LUO Huaixiu<sup>1</sup>, JIA Haifeng<sup>1</sup>, HU Jinming<sup>1</sup>, LI Jie<sup>2</sup>, LI Ningyun<sup>1</sup>

(1. *Yunnan Key Lab of International Rivers and Transboundary Eco-security, Yunnan University, Kunming 650091, China;*

2. *School of Urban and Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650021, China*)

**Abstract:** Through dividing Napahai wetland of Yunnan, China into hundreds of equal-size grids, quadrat sampling was adopted to investigate herbaceous communities and species in each accessible grid. Detrended Correspondence Analysis (DCA) ordination was used to reveal the community succession phases and the major driving factor. Four species diversity indices were calculated for all community samples. Then we explored the impacts of the variation of the major driving factor indicated by DCA AX1 upon community species diversity. The study recorded 130 species, grouped into 88 genera and 36 families. Within the wetland, the mixed hygrophyte-mesophytes are the most widely distributed communities, then the mesophytes, the secondary communities on severely damaged habitats, and the hydrophytes, which are the four succession stages. DCA ordination showed the gradient variation of hydrological regime is the primary factor to determine the community succession stages of Napahai wetland; while, free-range pig directly caused the severe damage of wetland habitats and then the secondary community succession. Present hydrological regime of and free-range animal husbandry within the wetland will lead to the increase of hygrophyte and mesophyte species, as well as some companion species related to disturbances, which indicates higher potential risk of community degradation. Regulating hydrological regime to increase flooding area and frequency, and adopting enclosure breeding to weak livestock (especially the pigs) disturbance are the basic measures to promote community restoration of Napahai wetland.

**Key words:** Napahai wetland; community succession; DCA ordination; species diversity; hydrologic regime

### 封面照片:华蓥山石林景观

华蓥山国家地质公园位于川东侏罗山式褶皱西部第一复背斜——华蓥山大背斜西翼,川东平行岭谷西部第一山——华蓥山最高峰高登山西坡,石林景区为地质公园的核心景区。伴随着华蓥山的褶皱隆升和断裂构造的发育,出露的二叠系白云岩和白云质灰岩在长期的岩溶作用下,形成色彩亮白、高低错落、分布密集的石林景观。和我国很多著名的石林景观不同,这里的石林为我国中亚热带典型的喀斯特“林中林”景观,石林林中有石,石中有林,石上有树,树从石生,树为石首,石嵌树根,树石相衬,石树合一,千姿百态、仪态万千,石林于满目苍翠中若隐若现,给人清、幽之感;这里高大的石柱和小巧的石芽相间分布,石柱顶部生长繁茂的藤蔓植物,藤蔓或缠绕着石柱,或穿梭于石缝,于石柱顶端茂盛发育、尽情舒展,被誉为华蓥山“盆景式石林”,尽展秀、奇之美!

华蓥山“盆景式石林”是喀斯特地区良性生态环境的典型代表,不但具有较高的美学价值,更具有重要的科普科研意义。

罗 培