

## 云南剑湖自然保护区湿地维管植物多样性特征及其成因

王 粤<sup>1</sup>, 石 明<sup>1</sup>, 杜 凡<sup>1</sup>, 茶武婧<sup>1</sup>, 白雪昕<sup>2</sup>, 戴 蓉<sup>3\*</sup>

1. 西南林业大学林学院, 云南昆明 650233; 2. 云南省水利水电勘测设计研究院, 云南昆明 650032; 3. 生态环境部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042

**摘 要:** 基于 2003 年和 2019 年多次调查数据, 对云南剑湖省级自然保护区湿地维管植物的多样性进行研究, 湿地植物依据国家林业局颁布的标准和相关文献的划分确定。结果表明: 剑湖湿地区域分布湿地维管植物 34 科 83 属 129 种, 可划分为 12 个分布区类型和 12 个变型, 温带种比例最高, 计 97 种, 占保护区湿地维管植物总数的 75.19%; 中国特有种 13 种, 占保护区湿地维管植物总数的 10.08%, 其中云南特有种 4 种, 占保护区湿地维管植物总数的 3.10%。按生活型分类统计得到湿生植物 92 种、沉水植物 19 种、挺水植物 9 种、漂浮植物 5 种、浮叶植物 4 种。湿地植被分布有湿生植物型、挺水植物型、漂浮植物型、浮叶植物型和沉水植物型 5 个植被亚型及水蓼-水芹-藁草群系和水蓼-两栖蓼-平卧蓼群系等 17 个群系。根据野外调查中掌握的物种习性、形态特征、生境及来源, 确定剑湖湿地有次生维管植物 4 类 63 种, 区系次生度 48.84%。剑湖与滇西北区域内的拉市海共有湿地维管植物 39 种, 二者物种相似度为 22.29%, 与滇中区域内的程海共有湿地维管植物 18 种, 二者物种相似度为 10.00%, 与拉市海物种相似度更高。研究表明, 剑湖湿地维管植物表现出物种丰富度较高、温带成分显著、特有率极低、生活型齐全、群落类型多样、区系次生度高、滇西北成分明显的特点。剑湖湿地维管植物多样性特征的主要形成原因是剑湖海拔偏高、纬度偏北、人为影响严重, 并且与剑湖湖水较浅、湖水置换速度较快、污染小的水环境特点以及湖床倾斜度平缓、湖岸弯曲度大、湖底淤泥较厚的湖泊特征有直接关系。

**关键词:** 云南; 剑湖; 湿地; 维管植物; 植物多样性; 成因

中图分类号: Q949 文献标识码: A

## Characteristics and Causes of Wetland Vascular Plant Diversity in Jianhu Nature Reserve in Yunnan Province

WANG Yue<sup>1</sup>, SHI Ming<sup>1</sup>, DU Fan<sup>1</sup>, CHA Wujing<sup>1</sup>, BAI Xuexin<sup>2</sup>, DAI Rong<sup>3\*</sup>

1. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650233, China; 2. Yunnan Institute of Water & Hydro-power Engineering Investigation, Design and Research, Kunming, Yunnan 650032, China; 3. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing, Jiangsu 210042, China

**Abstract:** Based on the survey data in 2003 and 2019, the diversity of wetland vascular plants in Jianhu Provincial Nature Reserve in Yunnan was studied. The wetland plants were determined according to the standards issued by the State Forestry Administration and the division of relevant literatures. The results showed that there were 129 species of wetland vascular plants belonging to 83 genera and 34 families in Jianhu wetland, which could be divided into 12 distribution types and 12 forms. The temperate species accounted for 75.19% of the total number of wetland vascular plants in the reserve; There were 13 species endemic to China, accounting for 10.08% of the total number of wetland vascular plants in the reserve, including 4 species endemic to Yunnan, accounting for 3.10% of the total number of vascular plants in the wetland reserve. According to the classification and statistics of life forms, 92 species of hygrophytes, 19

收稿日期 2022-06-07; 修回日期 2022-08-05

基金项目 剑川剑湖湿地省级自然保护区植物植被调查项目 (No. JSFW2019029); 生态环境部生物多样性调查、观测和评估项目 (2019—2023 年)。

作者简介 王 粤 (1997—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 植物分类。\*通信作者 (Corresponding author): 戴 蓉 (DAI Rong), E-mail: dairong@nies.org。

species of submerged plants, 9 species of emergent plants, 5 species of floating plants and 4 species of floating leaf plants were obtained. The wetland vegetation consisted of 5 vegetation subtypes, hygrophite type, emergent plant type, floating plant type, floating leaf plant type and submerged plant type, and 17 formations, for example, *Polygonum hydropiper*, *Oenanthe javanica* and *Carex bolting* sp. formation and *Polygonum hydropiper*, *Polygonum amphibium* and *Polygonum strindbergii* formation. According to the species habits, morphological characteristics, habitats and sources in the field investigation, it is determined that there were 4 categories and 63 species of secondary vascular plants in Jianhu wetland, and the floristic secondary degree was 48.84%. There were 39 species of wetland vascular plants in Jianhu Lake and Lashihai in Northwest Yunnan, with a species similarity of 22.29%, and 18 species of wetland vascular plants in Chenghai in Central Yunnan Province, with a species similarity of 10.00%, with a higher similarity with Lashihai. The results show that the vascular plants in Jianhu wetland are characterized by high species richness, significant temperate components, extremely low endemic rate, complete life forms, diverse community types, high floristic secondary degree and obvious components in Northwest Yunnan. The main reasons for the diversity of wetland vascular plants in Jianhu Lake are the high altitude, north latitude and serious human impact on Jianhu Lake, which are directly related to the characteristics of Jianhu Lake, such as shallow water, fast water replacement, low pollution, gentle lake bed inclination, large bank curvature and thick sludge at the bottom.

**Keywords:** Yunnan; Jianhu Lake; wetland; vascular plant; plant diversity; causes

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.04.023

云南高原湿地特有的构造、地质历史、地理环境和气候条件,孕育了特有的湿地生物多样性。高原湿地植物作为高原湿地生态系统的重要组成部分,其多样性直接反映出高原湿地生态系统的质量<sup>[1]</sup>。剑湖湿地省级自然保护区位于云南省大理州剑川县城郊,2016年被云南省人民政府认定为第一批省级七个重要湿地之一。此前,关于剑湖植物多样性的研究只见于1980年李恒<sup>[2]</sup>对剑湖水生植被的研究,2011年肖宏现<sup>[3]</sup>对剑湖湿地植被的研究,2017年李宁云等<sup>[4]</sup>对剑湖海菜花群落的研究,以及2022年王粤等<sup>[5]</sup>对剑湖种子植物区系特征的研究。本研究基于2003年和2019年实地调查资料,对剑湖自然保护区湿地植物进行系统研究和分析,旨在提高对滇西高原湿地植物的认识,揭示高原湿地植物多样性现状及其成因。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

剑湖自然保护区位于剑川县城东南郊,由剑湖、玉华水库与二者周围面山流域汇水区组成,南北长为12.3 km,东西宽为6.2 km,总面积为4630.28 hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。保护区建立于1997年,2006年晋升为省级保护区。剑川县地处滇西北高原横断山区,县城年平均气温为12.2℃、降雨量为738.0 mm、蒸发量为1965.2 mm,旱雨季分明<sup>[7]</sup>。研究区域包括剑湖和玉华水库的湿地区域。剑湖是澜沧江一级支流黑惠江的源头湖泊,也是云南现存面积超过1 km<sup>2</sup>的31个湖泊之一<sup>[8]</sup>,具备典

型高原湖泊湿地生态系统湖盆-湖滨-湖岸-面山的生态空间结构<sup>[9]</sup>。剑湖地处99°54'46.51"~99°56'42.21"E,26°28'42.66"~26°30'16.83"N<sup>[10]</sup>,湖面海拔为2188 m,面积为623 hm<sup>2</sup>,平均水深为2.7 m,最大水深为6 m<sup>[11]</sup>。玉华水库位于回龙河支流上游,水库控制径流面积为31.1 km<sup>2</sup>,距县城17 km<sup>[12]</sup>。

### 1.2 调查方法

采用典型样方调查和典型样线调查相结合的方法,于2003年和2019年,每年分季度多次在剑湖自然保护区开展湿地植物植被调查。样方面积为2 m×2 m,对湖岸沼泽地上和湖滨浅水湿地上的植物进行物种、盖度、物候、生活力等调查;对于湖区的植物,沿预先设定的连续“Z”字形路线,乘坐剑湖管护局机动船分区域逐步调查,保证覆盖整个湖区。进入湖区以后用竹竿制作成工具进行3次打捞、采集,统计水草种类及其数量(重量),进一步分析其物种组成,确定群落类型。标本鉴定、科属种统计和物种分布主要依据《云南植物志》<sup>[13]</sup>(哈钦松系统),此外,还参考了《中国植物志》(中文版、英文版)<sup>[14-15]</sup>等。

### 1.3 湿地植物的确定

依据2013年国家林业局颁布的《湿地保护管理规定》(国家林业局令第32号)<sup>[16]</sup>确定剑湖自然保护区湿地区域为湖盆的湖面和湖滨浅水区、湖岸沼泽地。参照相关文献<sup>[17]</sup>和吴征镒等<sup>[18]</sup>的划分,确定湿地植物包括生长在水环境中的挺水植物、漂浮植物、浮叶植物、沉水植物和适宜

生长在湖滨带的湿生植物。

#### 1.4 多样性分析

参照《中国种子植物属的分布区类型》<sup>[19]</sup>划分分布区类型。参照《云南植被》<sup>[18]</sup>划分植被亚型和群系。选取同属于滇中到滇西北过渡区域,位置靠近且气候条件接近的拉市海、程海与剑湖进行对比,以说明剑湖的湿地维管植物多样性特点。其中拉市海保护区调查数据来自 2003 年国家林业局昆明勘察设计院调查结果,程海数据来自那邳焯等<sup>[20]</sup>2019 年对程海湖湖滨植物多样性调查。

#### 1.5 区系次生度分析

区系次生度<sup>[21]</sup>是从植物区系的概念出发,指该生态系统受到人为干扰导致生境改变(生境次生化)后进入的次生植物数量的百分比。次生植物虽然丰富了植物区系数量,却极大地影响着原生植物的生存,而原生植物是维持当地植物群落和生态系统稳定性的主要功能群,所以次生植物的存在和增加将影响当地植物群落的生物多样性质量以及群落的稳定性和功能。因此,区系次生度是衡量当地生物多样性质量的重要指标。本研究采用该指标分析剑湖湿地植物群落受到人为干扰后发生次生变化的程度。参考环保部 4 批外来

入侵物种名录及李嵘等<sup>[22]</sup>最新外来入侵物种名录,确定剑湖自然保护区外来入侵植物种。

#### 1.6 数据处理

区系次生度按照杜凡等<sup>[21]</sup>提出的模型计算:

$$F=a/(a+b) \times 100\%$$

式中, $F$ 为区系次生度; $a$ 为系统中外来种的种数; $b$ 为系统中现存的原生种的种数。

物种相似性<sup>[17]</sup>根据 Jaccard 于 1912 年提出的方法计算:

$$C_j=c/(a+b-c)$$

式中, $C_j$ 为 2 个群落的物种相似性; $a$ 、 $b$ 为 2 个群落的物种数; $c$ 为 2 个群落共有的物种数。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种多样性

2.1.1 科属种统计与分析 根据实地调查,确定剑湖自然保护区分布湿地维管植物 129 种,隶属于 34 科 83 属,包括蕨类植物 3 科 3 属 3 种,被子植物 31 科 80 属 126 种;被子植物中双子叶植物 21 科 44 属 65 种,单子叶植物 10 科 36 属 61 种(表 1)。

表 1 剑湖、拉市海、程海湿地维管植物科属种构成

Tab. 1 Composition of wetland vascular plants families, genera and species in Jianhu, Lashihai, Chenghai

湿地植物类型 Wetland plant type	科 Family			属 Genus			种 Species		
	剑湖	拉市海	程海	剑湖	拉市海	程海	剑湖	拉市海	程海
	Jianhu	Lashihai	Chenghai	Jianhu	Lashihai	Chenghai	Jianhu	Lashihai	Chenghai
蕨类植物	3	3	1	3	3	1	3	3	1
裸子植物	0	0	0	0	0	0	0	0	0
双子叶植物	21	15	19	44	30	39	65	40	41
单子叶植物	10	12	8	36	31	23	61	42	27
种子植物小计	31	27	27	80	61	62	126	82	58
维管植物合计	34	30	28	83	64	63	129	85	69

剑湖湿地维管植物与拉市海湿地维管植物(85 种)共有的植物种有水葱(*Scirpus tabernaemontani*)、芦苇(*Phragmites australis*)、两栖蓼(*Polygonum amphibium*)、苕菜(*Nymphoides peltatum*)、野菱(*Trapa incise*)、草玉梅(*Anemone rivularis*)、水毛茛(*Batrachium bungei*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、夏枯草(*Prunella vulgaris* var. *vulgaris*)、黑藻(*Hyalrilla verticillata*)、海菜花(*Ottelia acuminata* var. *acuminata*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、光头稗(*Echinochloa*

*colonom*)、菰(*Zizania caduciflora*)、田字苹(*Marsilea quadrifolia*)、满江红(*Azolla imbricata*)等 39 种,物种相似性为 22.29%。程海有湿地维管植物 69 种,与剑湖共有的植物种有草玉梅(*Anemone rivularis*)、狼把草(*Bidens tripartita*)、积雪草(*Centella asiatica*)、野苘蒿(*Crassocephalum crepidioides*)、狗牙根(*Cynodon dactylon* var. *dactylon*)、香附子(*Cyperus rotundus*)、光头稗(*Echinochloa colonom*)、柳叶菜(*Epilobium hirsutum*)、辣子草(*Galinsoga*

parviflora)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、芦苇(*Phragmites australis*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)、棒头草(*Polypogon fugax*)、菹草(*Potamogeton crispus*)、红线草(*Potamogeton pectinatus*)、水葱(*Schoenoplectus tabernaemontani*)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、苦草(*Vallisneria natans*)等 18 种, 物种相似性为 10.00%。

剑湖 34 科湿地维管植物中, 含 5 种及以上的科计 9 科 56 属 85 种(表 2), 占剑湖湿地维管植物总科数的 26.47%, 占总属数的 67.47%, 占总种数的 65.89%, 构成了剑湖湿地维管植物区系的主体。

表 2 剑湖湿地维管植物含 5 种以上的科  
Tab. 2 Wetland vascular plants in Jianhu contain more than five families

序号 No.	中文名 Chinese name	拉丁名 Scientific name	属数 No. genera	种数 No. species
1	禾本科	Poaceae	15	21
2	菊科	Asteraceae	11	14
3	莎草科	Cyperaceae	8	14
4	眼子菜科	Potamogetonaceae	5	9
5	毛茛科	Ranunculaceae	3	6
6	唇形科	Lamiaceae	5	6
7	蓼科	Polygonaceae	2	5
8	玄参科	Scrophulariaceae	2	5
9	水鳖科	Hydrocharitaceae	5	5

2.1.2 分布区类型分析 剑湖湿地维管植物 129 种可划分为 12 个分布区类型和 12 个变型。温带种比例最高, 计 97 种, 占保护区湿地维管植物总

数的 75.19%, 常见异叶眼子菜(*Potamogeton heterophyllus*)、水芹(*Oenanthe javanica*)、海菜花(*Ottelia acuminata*)、野菱(*Trapa natans*)、菰(*Zizania latifolia*)等。热带种计 17 种, 占保护区湿地维管植物总数的 13.18%, 常见野苘蒿(*Crassocephalum crepidioides*)、水葫芦(*Eichhornia crassipes*)、鱼眼菊(*Dichrocephala integrifolia*)、短叶水蜈蚣(*Kyllinga brevifolia*)、水筛(*Blyxa japonica*)等。热带种中泛热带及其变型的种计 10 种, 占保护区湿地维管植物总数的 7.75%, 如满江红(*Azolla imbricata*)、水葱(*Schoenoplectus tabernaemontani*)、升马唐(*Digitaria ciliaris*)。世界广布种计 15 种, 占保护区湿地植物的 11.63%, 如金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、浮萍(*Lemna minor*)、大茨藻(*Najas marina*)、白车轴草(*Trifolium repens*)、芦苇(*Phragmites australis*)。中国特有种 13 种, 占保护区湿地维管植物总数的 10.08%, 其中云南特有种 4 种, 占保护区湿地维管植物总数的 3.10%(表 3)。

2.1.3 湿地植物生活型分析 剑湖湿地维管植物 129 种按照生活型划分为湿生植物、挺水植物、漂浮植物、浮叶植物以及沉水植物 5 类(表 4)。湿生植物种类最多计 92 种, 占剑湖湿地维管植物的 71.32%, 分布在剑湖湖边浅水区、湖滨带以及湖边积水的水塘和洼地等潮湿生境中, 如水棉花(*Anemone hupehensis*)、婆婆纳(*Veronica polita*)等; 其次是沉水植物计 19 种, 占剑湖湿地维管植物的 14.73%, 分布在湖体水位较深处, 如金鱼藻

表 3 剑湖湿地特有维管植物  
Tab. 3 Unique vascular plants in Jianhu wetland

序号 No.	科名 Family name	中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name	特有性 Endemism
1	十字花科	纤细碎米荠	<i>Cardamine flexuosa</i> var. <i>debilis</i>	云南特有
2	凤仙花科	水凤仙花	<i>Impatiens aquatilis</i>	云南特有
4	灯心草科	球头灯心草	<i>Juncus sphaerocephalus</i>	云南特有
5	莎草科	刘氏荸荠	<i>Eleocharis liouana</i>	云南特有
6	毛茛科	水棉花	<i>Anemone hupehensis</i> var. <i>hupehensis</i>	中国特有
7	菊科	水朝阳旋覆花	<i>Inula helianthus-aquatilis</i>	中国特有
8	报春花科	海仙花	<i>Primula poissonii</i>	中国特有
9	报春花科	滇海水仙花	<i>Primula pseudodenticulata</i>	中国特有
10	紫草科	细柄附地菜	<i>Trigonotis gracilipes</i>	中国特有
11	唇形科	痢止蒿	<i>Ajuga forrestii</i>	中国特有
3	水鳖科	海菜花	<i>Ottelia acuminata</i> var. <i>acuminata</i>	中国特有
12	莎草科	云南莎草	<i>Cyperus duclouxii</i>	中国特有
13	禾本科	西南荩草	<i>Arthraxon xinanensis</i>	中国特有

表 4 剑湖湿地维管植物生活型构成

Tab. 4 Life form composition of wetland vascular plants in Jianhu

湿地植物生活型 Wetland vascular plant life form	种数 No. species	百分比 Percentage/%
湿生植物	92	71.32
沉水植物	19	14.73
挺水植物	9	6.98
漂浮植物	5	3.88
浮叶植物	4	3.10

(*Ceratophyllum demersum*)、光叶眼子菜(*Potamogeton lucens*)等;再次是挺水植物计 9 种,占剑湖湿地维管植物的 6.98%,分布在剑湖湖边大部分区域,如芦苇(*Phragmites australis*)、菰

(*Zizania latifolia*)等;漂浮植物 5 种,分布在剑湖湖边、入湖口、码头浅水区,占剑湖湿地维管植物的 3.88%,如水葫芦(*Eichhornia crassipes*)、浮萍(*Lemna minor*)等;浮叶植物 4 种,占剑湖湿地维管植物的 3.10%,同样分布在剑湖湖边、入湖口、码头浅水区,如野菱(*Trapa natans*)、荇菜(*Nymphoides peltata*)等。

## 2.2 群落多样性

剑湖自然保护区湿地植被,包括剑湖、玉华水库湖盆水体、湖盆周边的湖滨浅水区和常年积水或季节性积水区的沼泽地带植被以及剑湖周边的入水河流和出水河流区植被。剑湖湿地植被可划分为 5 个植被亚型、17 个群系(表 5)。

表 5 剑湖湿地植被

Tab. 5 Wetland vegetation of Jianhu

植被亚型 Vegetation subtype	群系 Formation	分布 Distribution range	多度 Abundance
湿生植物型	1 水蓼-水芹-薹草群系	湖岸带浅水区	常见
	2 水蓼-两栖蓼-平卧蓼群系	湖岸带较湿润的生境	常见
	3 马唐-节节草等群系	湖岸带较为湿润或偶有积水的沟边、水塘边	常见
	4 菱蒿群系	湖岸带较湿润的生境	常见
	5 狗牙根群系	湖岸带较湿润的生境	常见
挺水植物型	6 菰-金鱼藻-喜旱莲子草群系	湖滨带、出水口的海尾河至甸南一线的河中大量分布	优势
	7 芦苇群系	狮河入河口附近	优势
	8 水葱群系	湖岸边的水塘	常见
漂浮植物型	9 满江红-槐叶苹群系	湖滨带	常见
浮叶植物型	10 野菱-金鱼藻群系	入湖口附近	优势
	11 荇菜群系	湖滨和湖边鱼塘内水深 1~2 m 的浅水区	常见
沉水植物型	12 眼子菜-马来眼子菜群系	码头附近	优势
	13 金鱼藻-黑藻-眼子菜群系	湖盆区内	优势
	14 海菜花群系	湖盆区内	优势
	15 苦草-眼子菜群系	大片出现于剑湖出河口和海尾河口以下的深水区域	优势
	16 穗状狐尾藻群系	湖盆区内大范围分布,尤其是湖西	优势
	17 红线草-金鱼藻群系	湖滨带	优势

剑湖自然保护区的湿生植物群落分布在湖岸带浅水区、长期积水或偶有积水的沟边、水塘边等较湿润的生境,是保护区湿地植被中分布面积最广、类型最丰富、多样性程度最高的类型,主要是水蓼-水芹-薹草群系(Form. *Pogonum hydro Piper-Oenanthe javanica-Carex* sp.)和两栖蓼-水蓼-平卧蓼群系(Form. *Polygonum amphibium-P. hydro Piper-P. strindbergii*);其次沉水植物群落主要分布在湖内和湖边深水区域,是保护区湿地植被中盖度最大的湿地植被类型,其中金鱼藻-黑藻

-眼子菜群系(Form. *Ceratophyllum demersum-Hydrilla verticillate-Potamogeton* sp.)和海菜花群系(Form. *Ottelia acuminata*)在剑湖内大片出现;挺水植物群落大多分布在湖滨带、出水口、入河口附近以及和湖岸边的水塘,其中的菰-金鱼藻-喜旱莲子草群系(Form. *Zizania latifolia-Ceratophyllum demersum-Alternanthera philoxeroides*)为剑湖的优势群落,几乎形成湖滨环湖茭草绿篱带,构成了剑湖湖滨带的高大水生植被景观;浮叶植被群落主要分布在入湖口附近、

浅水区和湖边的鱼塘，其中野菱-金鱼藻群系 (Form. *Trapa natans*-*Ceratophyllum demersum*) 最为突出；漂浮植物群落分布在避风的湖湾浅水区，面积较小，满江红-槐叶苹群系 (Form. *Azolla pinnata* ssp. *asiatica*-*Salvinia natans*) 在剑湖常见。

### 2.3 区系次生度

根据野外调查中掌握的物种习性、形态特征、生境及来源，确定剑湖湿地有次生维管植物 4 类 63 种 (表 6)，占湿地维管植物 129 种的 48.84%：第 1 类是分布在牲畜圈舍及牲畜粪便堆放地周

表 6 剑湖湿地次生维管植物划分  
Tab. 6 Division of wetland secondary vascular plants in Jianhu

中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name	次生类型 Secondary type	中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name	次生类型 Secondary type
F1 毛茛科	Ranunculaceae		31 假马齿苋	<i>Bacopa monnieri</i>	2
1 石龙芮	<i>Ranunculus sceleratus</i>	1	F12 唇形科	Lamiaceae	
2 茴茴蒜	<i>Ranunculus chinensis</i>	4	32 夏枯草	<i>Prunella vulgaris</i>	1
F2 金鱼藻科	Ceratophyllaceae		33 宝盖草	<i>Lamium amplexicaule</i>	1
3 金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>	1	34 薄荷	<i>Mentha haplocalyx</i>	1
F3 蓼科	Polygonaceae		35 留兰香	<i>Mentha spicata</i>	1
4 两栖蓼	<i>Polygonum amphibium</i>	1	F13 水鳖科	Hydrocharitaceae	
5 水蓼	<i>Polygonum hydropiper</i>	1	36 水筛	<i>Blyxa japonica</i>	1
6 羊蹄	<i>Rumex japonicus</i>	2	37 苦草	<i>Vallisneria natans</i>	1
F4 苋科	Amaranthaceae		38 黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	1
7 喜旱莲子草	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	3	39 水鳖	<i>Hydrocharis dubia</i>	1
F5 柳叶菜科	Onagraceae		F14 眼子菜科	Potamogetonaceae	
8 柳叶菜	<i>Epilobium hirsutum</i>	1	40 菹草	<i>Potamogeton crispus</i>	1
9 广布柳叶菜	<i>Epilobium brevifolium</i> ssp. <i>trichoneurum</i>	1	41 异叶眼子菜	<i>Potamogeton heterophyllus</i>	1
F6 小二仙草科	Haloragaceae		42 扁茎眼子菜	<i>Potamogeton compressus</i>	1
10 穗状狐尾藻	<i>Myriophyllum spicatum</i>	1	43 光叶眼子菜	<i>Potamogeton lucens</i>	1
11 狐尾藻	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	1	44 红线草	<i>Potamogeton pectinatus</i>	1
F7 蝶形花科	Papilionaceae		45 马来眼子菜	<i>Potamogeton malainus</i>	1
12 白车轴草	<i>Trifolium repens</i>	2	46 微齿眼子菜	<i>Potamogeton maackianus</i>	1
F8 荨麻科	Urticaceae		F15 雨久花科	Pontederiaceae	
13 荨麻	<i>Urtica fissa</i>	1	47 水葫芦	<i>Eichhornia crassipes</i>	2
F9 菊科	Asteraceae		F16 灯心草科	Juncaceae	
14 苦苣菜	<i>Sonchus oleraceus</i>	2	48 灯心草	<i>Juncus effusus</i>	1
15 野苘蒿	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	2	F17 莎草科	Cyperaceae	
16 辣子草	<i>Galinsoga parviflora</i>	2	49 香附子	<i>Cyperus rotundus</i>	2
17 柳叶鬼针草	<i>Bidens cernua</i>	2	50 砖子苗	<i>Mariscus sumatrensis</i>	3
18 狼把草	<i>Bidens tripartita</i>	1	F18 禾本科	Poaceae	
19 鱼眼菊	<i>Dichrocephala integrifolia</i>	1	51 狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>	1
20 花叶滇苦菜	<i>Sonchus asper</i>	2	52 芦苇	<i>Phragmites australis</i>	1
21 泥胡菜	<i>Hemistepta lyrata</i>	1	53 芦竹	<i>Arundo donax</i>	1
22 烟管头草	<i>Carpesium cernuum</i>	1	54 菰	<i>Zizania latifolia</i>	1
23 天名精	<i>Carpesium abrotanoides</i>	1	55 光头稗	<i>Echinochloa colonum</i>	3
24 菱蒿	<i>Artemisia selengensis</i>	1	56 早熟禾	<i>Poa annua</i>	3
25 水朝阳旋覆花	<i>Inula helianthus-aquaticus</i>	1	57 小叶荩草	<i>Arthraxon lancifolius</i>	3
26 圆舌粘冠草	<i>Myriactis nepalensis</i>	4	58 田稗	<i>Echinochloa oryzicola</i>	3
27 粘冠草	<i>Myriactis wallichii</i>	4	59 雀麦	<i>Bromus japonicus</i>	3
F10 紫草科	Boraginaceae		60 荩草	<i>Arthraxon hispidus</i>	3
28 湿地勿忘草	<i>Myosotis caespitosa</i>	1	61 黑麦草	<i>Lolium perenne</i>	2
F11 玄参科	Scrophulariaceae		62 长芒稗	<i>Echinochloa caudata</i>	3
29 阿拉伯婆婆纳	<i>Veronica persica</i>	2	63 西南荩草	<i>Arthraxon xinanensis</i>	3
30 婆婆纳	<i>Veronica polita</i>	2			

围, 在含氮丰富 ( $\text{NO}_3 > 0.01\%$ ) 的土壤上生长最好的喜氮植物, 计 37 种, 占湿地维管植物总数的 28.68%, 如荨麻 (*Urtica fissa*) 等; 第 2 类是外来植物 (包括外来入侵植物), 共计 13 种, 占湿地维管植物总数的 10.08%, 如辣子草 (*Galinsoga parviflora*)、水葫芦 (*Eichhornia crassipes*) 等; 第 3 类是种子与农作物种子形态相似而难以区分, 具有与栽培作物同时成熟和同时传播特点的植物, 计 10 种, 占湿地维管植物总数的 7.75%, 如田栖稗 (*Echinochloa oryzicola*) 等; 第 4 类是借助于人和家畜的衣物、皮毛传播的植物, 种子和果实有攀附结构, 计 3 种, 占湿地维管植物总数的 2.33%, 如圆舌粘冠草 (*Myriactis nepalensis*) 等。

63 种次生植物种隶属于 18 个科, 含 5 种及以上的科有菊科 (Compositae)、禾本科 (Poaceae) 和眼子菜科 (Potamogetonaceae) 3 个科, 包含 34 种, 占次生湿地维管植物的 53.97%, 均为草本植物, 且大部分是温带成分 (43 种), 也有很多世界广布成分 (13 种)。

### 3 讨论

#### 3.1 剑湖湿地维管植物多样性特征

剑湖自然保护区分布湿地维管植物 34 科 83 属 129 种, 与拉市海湿地维管植物 30 科 64 属 85 种和程海湿地维管植物 28 科 63 属 69 种相比较, 剑湖湿地维管植物物种丰富度较高。剑湖湿地维管植物中温带成分高达 75.19%, 温带成分显著。整个剑湖保护区陆地、湿地种子植物特有率 32.91%, 湿地维管植物特有率仅 10.08%, 特有率极低。剑湖湿地植物包括湿生植物、挺水植物、漂浮植物、浮叶植物以及沉水植物 5 类, 涵盖了所有湿地植物类型, 生活型齐全。剑湖湿地植被包括 5 个植被亚型和 17 个群系, 群落类型多样。剑湖湿地维管植物区系次生度 48.84%, 与香格里拉高原湿地区系次生度 26.45%<sup>[23]</sup>对比, 区系次生度高, 体现出人为影响较为严重。剑湖湿地维管植物与靠近滇西北区域的拉市海湿地维管植物物种相似性为 22.29%, 与靠近滇中区域的程海湿地维管植物物种相似性达 10.00%, 与拉市海的植物物种相似性更高, 可以看出剑湖滇西北区域特征更加明显。

#### 3.2 剑湖湿地维管植物多样性成因

3.2.1 地理位置 剑湖湿地维管植物温带种比例达 75.19%, 原因是剑湖地处滇西北高原横断山

区, 位于滇中和滇西北过渡区域, 纬度偏北, 造成该区温带成分显著的植物区系特征, 以及与拉市海植物物种更加相似的滇西北植物区域特征。拉市海位于丽江市玉龙县中部, 地理位置界于  $100^{\circ}06' \sim 100^{\circ}09'E$ ,  $26^{\circ}52' \sim 26^{\circ}54'N$ <sup>[24]</sup>, 海拔为 2440 m<sup>[24]</sup>, 为断陷盆地中的高原湖泊, 地处横断山系高山峡谷区, 其地貌形态较为复杂<sup>[25]</sup>。程海地处丽江市永胜县, 青藏高原与云贵高原的衔接部位, 位于  $100^{\circ}33' \sim 100^{\circ}45'E$ ,  $26^{\circ}25' \sim 26^{\circ}40'N$ , 湖面海拔高程为 1501 m, 属金沙江水系<sup>[26]</sup>。

3.2.2 气候条件 剑湖位于剑川县城东南郊, 气候条件与县城基本一致。剑川县城属北亚热带湿润气候, 多年平均温度为 12.2 °C, 雨日为 128.4 d, 降水量为 738.0 mm, 旱季降水量为 64.9 mm, 蒸发量为 1965.2 mm<sup>[7]</sup>, 湿润系数为 0.38; 拉市海高原湿地是季节性强的高原湖泊, 年平均气温为 8.8 °C, 霜期为 200 d, 年降水量为 900~1200 mm, 陆面蒸发量为 500~600 mm<sup>[27]</sup>, 湿润系数为 1.91。程海湖区位于金沙江干热河谷地区, 年平均气温为 19.1 °C<sup>[26]</sup>, 所处的永胜县城多年平均雨日为 127.0 d, 降水量为 914.6 mm, 旱季降水量为 53.1 mm, 蒸发量为 2240.1 mm<sup>[7]</sup>, 湿润系数为 0.41。拉市海气候湿润, 植物物种多样性较程海丰富。

3.2.3 人为影响 剑湖位于剑川县城东南郊区, 紧接县城, 保护区建立前, 大量自然湖滨带变为农田。严重的人为干扰使剑湖原生植被消失, 很多温带广布、世界广布和热带广布的次生成分逐渐进入到当地的植物区系中。最终造成植物种类增加、温带成分显著、生活型齐全、群落类型多样, 但植物区系次生度也随之增加。而拉市海距离丽江古城约 8 km<sup>[28]</sup>, 因开发为旅游景区, 生态环境持续被破坏。程海沿山傍湖有一系列村庄, 人口较稠密, 植被砍伐破坏严重<sup>[20]</sup>。

3.2.4 水环境特点 剑湖平均水深 2.7 m, 局部达 6 m, 库容小, 来水量大, 因此湖水置换快, 污染小。拉市海平均水深 4.55 m, 最大水深约 7.50 m<sup>[28]</sup>, 常年水域面积为 933.4 hm<sup>2</sup><sup>[29]</sup>。程海最大水深为 35.1 m, 平均水深为 25.7 m, 湖面积约为 7580.0 hm<sup>2</sup>。拉市海海拔高于剑湖, 湖水较剑湖深, 是植物物种丰富度低于剑湖的原因; 程海虽然湖泊面积远远大于剑湖和拉市海, 但水深也远远大于二者, 因此湖区水生植物尤其是沉水植物很少。湿地环境开阔, 便于容纳各类植物, 同样也会进

来很多次生的种类, 降低了特有率, 且水生植物大多数为广泛分布, 因此剑湖湿地维管植物特有率极低。

3.2.5 湖泊形态 剑湖湖床倾斜度平缓, 湖岸弯曲度大, 湖底淤泥较厚, 能提供植物生长所需的阳光。程海湖床倾斜度较大, 湖岸线较平直, 湖床有机质薄, 缓坡处有少量沙石, 陡坡深水处常见石壁、石块或石山、石梁, 湖中水生植物种类贫乏, 大都限于在沿岸浅水带生长, 绝大部分的水域为广阔的芜原区<sup>[2]</sup>。

剑湖水生植物繁茂, 绝大部分水域都被水生植被所覆盖, 且突出表现为湖区沉水植物盖度和生物量非常大。因此, 表现出植物物种丰富的一系列特征。

## 参考文献

- [1] 云南省林业调查规划院. 云南自然保护区[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.  
Yunan Forestry Investigation and Planning Institute. Yunnan nature reserve[M]. Beijing: China Forestry Press, 1989. (in Chinese)
- [2] 李恒. 云南高原湖泊水生植被的研究[J]. 云南植物研究, 1980, 2(2): 113-139, 141.  
LI H. A study on the lake vegetation of Yunnan Plateau[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1980, 2(2): 113-139, 141. (in Chinese)
- [3] 肖宏现. 剑湖湿地湖滨带功能效益研究[J]. 现代农业科技, 2011(13): 256-259.  
XIAO H X. Research on the functions and benefits of lake-side zone in Jianhu wetland[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(13): 256-259. (in Chinese)
- [4] 李宁云, 陈玉惠, 胡金明, 刘朝蓬, 李靖, 敖新宇, 雷然. 滇西北剑湖湿地海藻花(*Ottelia acuminata*)群落物种组成及种群分布格局[J]. 湖泊科学, 2017, 29(3): 687-695.  
LI N Y, CHEN Y H, HU J M, LIU C P, LI J, AO X Y, LEI R. Species composition and population distribution pattern of *Ottelia acuminata* in Jianhu wetland in Northwest Yunnan[J]. Journal of Lake Science, 2017, 29(3): 687-695. (in Chinese)
- [5] 王粤, 石明, 杜凡, 茶武婧, 高军. 剑湖自然保护区种子植物区系特征及其评价[J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2022, 42(1): 46-52.  
WANG Y, SHI M, DU F, CHA W J, GAO J. Floristic characteristics and evaluation of seed plants in Jianhu Nature Reserve[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Science), 2022, 42(1): 46-52. (in Chinese)
- [6] 曹桂芬. 浅析剑湖湿地自然保护区实施保护与恢复项目的必要性[J]. 科技风, 2012(23): 196.  
CAO G F. Analysis on the necessity of implementing protection and restoration projects in Jianhu Wetland Nature Reserve[J]. Technology Wind, 2012(23): 196. (in Chinese)
- [7] 云南省气象局. 云南气候图册[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1982: 31-56.  
Yunnan Meteorological Bureau. Yunnan climate atlas[M]. Kunming: The Peoples Press of Yunnan, 1982: 31-56. (in Chinese)
- [8] 杨桂山. 中国湖泊调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 2019.  
YANG G S. Investigation report on lakes in China[M]. Beijing: Science Press, 2019. (in Chinese)
- [9] 王钧霞, 喻庆国, 李波, 李银烽, 罗旭, 尹杰, 欧阳敏. 剑湖沉积物、间隙水、鱼体砷汞分布及风险评价[J]. 环境科学学报, 2020, 40(8): 3040-3052.  
WANG J X, YU Q G, LI B, LI Y F, LUO X, YIN J, OUYANG M. Distribution and risk assessment of arsenic and mercury in sediments, interstitial water and fish in Jianhu Lake[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(8): 3040-3052. (in Chinese)
- [10] 赵蔺林, 喻庆国, 李波, 危锋, 王钧霞. 滇西北剑湖沉积物钙镁空间分布特征和释放风险[J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2021, 41(2): 118-124.  
ZHAO L L, YU Q G, LI B, WEI F, WANG J X. Spatial distribution characteristics and release risk of calcium and magnesium in Jianhu Lake Sediments in Northwest Yunnan[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Science), 2021, 41(2): 118-124. (in Chinese)
- [11] 张宝元. 对保护高原湖泊剑湖的思考[J]. 环境科学导刊, 2011, 30(3): 49-52.  
ZHANG B Y. Consideration on Jianhu Lake conservation in plateau area[J]. Environmental Science Survey, 2011, 30(3): 49-52. (in Chinese)
- [12] 谢庆明. 云南玉华水库大坝除险加固扩建设计与安全评价[J]. 水利水电技术, 2007, 38(12): 59-61.  
XIE Q M. Design and safety evaluation of dam reinforcement and expansion of Yuhua Reservoir in Yunnan[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2007, 38(12): 59-61. (in Chinese)
- [13] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志(第1-16卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1977-2006.  
Kunming Institute of Botany. Flora of Yunnan (Vol. 1-16)[M]. Beijing: Science Press, 1977-2006. (in Chinese)
- [14] 中国植物志[EB/OL]. [2022-05-20]. <http://www.iplant.cn/frps>.  
Flora reipublicae popularis sinicae[EB/OL]. [2022-05-20]. <http://www.iplant.cn/frps>
- [15] 中国植物志[EB/OL]. [2022-05-20]. <http://www.iplant.cn/frps2019/>.

- Flora reipublicae popularis sinicae[EB/OL]. [2022-05-20]. <http://www.iplant.cn/fips2019/>
- [16] 李铭. 我国湿地保护立法研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.  
LI M. Research on wetland protection legislation in China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020. (in Chinese)
- [17] 曲仲湘, 吴玉树, 王焕校. 植物生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983: 79-85.  
QU Z X, WU Y S, WANG H X. Plant ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1983: 79-85. (in Chinese)
- [18] 吴征镒, 朱彦丞. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987.  
WU Z Y, ZHU Y C. Yunnan vegetation[M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)
- [19] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991(S4): 1-139.  
WU Z Y. Areal types of spermatophyte genera in China [J]. Acta Botanica Yunnanica, 1991(S4): 1-139. (in Chinese)
- [20] 那郅焯, 杨地, 明桂花. 程海湖湖滨植物多样性调查及污染防治对策[J]. 区域治理, 2019(50): 75-85.  
NA Z Y, YANG D, MING G H. Investigation on plant diversity and pollution control measures in the lakeside of Chenghai Lake[J]. Regional Governance, 2019(50): 75-85. (in Chinese)
- [21] 杜凡, 杨宇明, 王娟, 李俊清, 孙鸿雁, 孙玺雯. 区系次生度和生态次生度在生物多样性评价中的应用研究[J]. 西部林业科学, 2012, 41(1): 41-45.  
DU F, YANG Y M, WANG J, LI J Q, SUN H Y, SUN X W. Conception and application of floristic secondary index and ecological secondary index in biodiversity evaluation[J]. Journal of West China Forestry Science, 2012, 41(1): 41-45. (in Chinese)
- [22] 李嵘, 邓涛. 云南外来入侵植物现状和防控策略[J]. 西部林业科学, 2021, 50(5): 23-35.  
LI R, DENG T. Current situation and control strategies of alien invasive plants in Yunnan[J]. Journal of West China Forestry Science, 2021, 50(5): 23-35. (in Chinese)
- [23] 杜凡, 余奇, 杨宇明, 王娟. 云南香格里拉县高原湿地种子植物区系分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2013, 33(6): 19-24.  
DU F, YU Q, YANG Y M, WANG J. Floristic analysis of seed plants in Plateau Wetland of Shangri-la County[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Science), 2013, 33(6): 19-24.
- [24] 刘小葛, 刘婧, 张文, 刘宁. 拉市海灰鹤越冬后期的日活动行为时间分配及食性分析[J]. 西部林业科学, 2009, 38(3): 76-80.  
LIU X G, LIU J, ZHANG W, LIU N. Analysis of daily activity time distribution and feeding habits of grey crane in Lashihai in late winter[J]. Journal of West China Forestry Science, 2009, 38(3): 76-80. (in Chinese)
- [25] 胡晓燕, 李智宏, 李露云, 李海萍, 吴健. 2013—2016年云南拉市海湿地冬季水鸟变化及影响因素分析[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(5): 419-425.  
HU X Y, LI Z H, LI L Y, LI H P, WU J. Dynamics and influencing factors of waterfowl in winter in Lashihai wetland of Yunnan during 2013–2016[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(5): 419-425. (in Chinese)
- [26] 董云仙, 谭志卫, 王俊松. 程海水生植被现状及其演变趋势[J]. 植物分类与资源学报, 2011, 33(4): 451-457.  
DONG Y X, TAN Z W, WANG J S. Current status and evolution trend of aquatic vegetation in Chenghai Lake[J]. Plant Diversity and Resources, 2011, 33(4): 451-457. (in Chinese)
- [27] 赵玉堂. 拉市海高原湿地生态系统及其保护措施[J]. 林业调查规划, 2003, 28(2): 65-69.  
ZHAO Y T. Wetland ecosystem of Lashihai plateau and its protection measures[J]. Forest Inventory and Planning, 2003, 28(2): 65-69. (in Chinese)
- [28] 和淑春, 谢志荣, 赵志平. 拉市海湿地保护区鸟类多样性及其保护管理对策[J]. 林业调查规划, 2006, 31(S1): 82-86.  
HE S C, XIE Z R, ZHAO Z P. Bird diversity in Lashihai Wetland Reserve and its protection and management countermeasures[J]. Forest Inventory and Planning, 2006, 31(S1): 82-86. (in Chinese)
- [29] 李玥, 苏琴, 马国强, 吕雪蕾. 拉市海高原湿地省级自然保护区生态评价[J]. 林业建设, 2012(1): 67-69.  
LI Y, SU Q, MA G Q, LYU X L. Ecological evaluation of Lashihai plateau wetland Provincial Nature Reserve[J]. Forestry Construction, 2012(1): 67-69. (in Chinese)