

三江源区沼泽湿地退化过程中植被变化特征及评价指标体系

石明明^{1,2}, 周秉荣^{1,2*}, 多杰卓么^{1,3}, 苏淑兰^{1,2}, 张帅旗^{1,2}, 马盼盼⁴

(1 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001; 2 青海省气象科学研究所, 西宁 810001; 3 青海省黄南州气象局, 青海同仁 811301; 4 青海大学 农牧学院, 西宁 810016)

摘 要: 湿地退化评价指标体系研究是湿地退化研究的重要科学问题, 该研究以隆宝高寒沼泽湿地为例, 分析了不同退化程度湿地植被的变化特征, 并利用主成分分析法以多个植被指标构建了湿地退化的植被评价指数。结果表明: (1) 随着湿地退化程度加剧, 沼生植物重要值减小, 湿中生植物重要值增大, 植物群落由小苔草 (*Carex parva*) 群落向藏嵩草 (*Kobresia tibetica*) 群落演替。(2) 随着湿地退化程度加剧, 物种多样性指数、均匀度指数和丰富度均逐渐增大, 其中, 重度退化阶段与未退化阶段间差异显著 ($P < 0.05$)。(3) 地上生物量随着湿地退化显著降低 ($P < 0.05$), 而地下生物量则呈先增加后降低的变化趋势, 其中, 在 10~20 cm 和 20~30 cm 土层, 重度退化阶段与轻度退化阶段间均差异显著 ($P < 0.05$)。(4) 主成分分析显示, 9 个植物群落指标简化为第 1 和第 2 主成分, 累计解释量达 91.7%。第一主成分上盖度、地上生物量、沼生植物重要值和中生植物重要值具有较高载荷, 达 0.9 以上, 对于湿地退化的指示性较好。(5) 不同退化阶段的湿地植被评价指数 (SVEI) 分别为, 未退化阶段 $-3.23 \sim -1.98$, 轻度退化阶段 $-0.54 \sim 0.51$, 重度退化阶段 $2.15 \sim 3.26$ 。研究认为, 利用多个植被指标构建的湿地退化植被评价指数可以很好地指示隆宝湿地的退化程度, 且湿地植被评价指数值越大, 湿地退化越严重; 不同退化程度湿地的植被评价指数阈值为: 未退化阶段 $SVEI < -1$, 轻度退化阶段 $-1 \leq SVEI \leq 1$, 重度退化阶段 $SVEI > 1$ 。

关键词: 湿地退化; 植被特征; 植被评价指标; 高寒沼泽湿地

中图分类号: Q945.15⁺4

文献标志码: A

Characteristics of Vegetation and Its Evaluation Index System in the Swamp Degradation Process over Three-river Resource Region

SHI Mingming^{1,2}, ZHOU Bingrong^{1,2*}, DUOJIE Zhuome^{1,3},
SU Shulan^{1,2}, ZHANG Shuaiqi^{1,2}, MA Panpan⁴

(1 Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation of Qinghai Province, Xining 810001, China; 2 Institute of Meteorological Science of Qinghai Province, Xining 810001, China; 3 Meteorological Bureau of Huangnan Tibetan Autonomous Prefecture, Tongren, Qinghai 811301, China; 4 College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: The evaluation index system of swamp degradation is an important scientific issue in swamp degradation research. We used Longbao swamp areas to investigate the changes of vegetation during degradation and use principal component analysis method with multiple vegetation indexes to construct the vegeta-

收稿日期: 2020-07-16; 修改稿收到日期: 2020-09-18

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0501903)

作者简介: 石明明 (1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事草地植被与水文生态方面研究。E-mail: shim2016@163.com

* 通信作者: 周秉荣, 正研级高工, 硕士, 主要从事草地生态学。E-mail: zbr0515@foxmail.com

tion evaluation index of swamp degradation. The results showed that: (1) the importance value of the helophyte decreased at the degradation process of swamp, but importance values of the hygrophyte and mesophyte had an increase. *Carex parva*, the dominant plant in the non-degradation and light degradation was succeeded by *Kobresia tibetica* in the heavy degradation. (2) The diversity index, evenness index and species richness of plant community increased with the degradation of the swamp, and the difference was significant between the non-degradation and heavy degradation ($P < 0.05$). (3) The aboveground biomass decreased significantly with swamp degradation ($P < 0.05$). The belowground biomass in the 0–30 cm soil layer showed a change trend of first increasing and then decreasing with the degradation of the swamp, in which the heavy degradation in 10–20 cm and 20–30 cm soil layers were significantly less than the light degradation ($P < 0.05$). (4) Principal component analysis showed that the nine plant community indices were simplified into the first and second principal components, with the cumulative percentage of variation explained reaching 91.7%. The coverage, aboveground biomass and importance values of the helophyte and the mesophyte had a higher load of more than 0.9 in the first principal component, which were well indicators of swamp degradation. (5) The swamp vegetation evaluation indexes (SVEI) are $-3.23 \sim -1.98$ in the non-degradation, $-0.54 \sim 0.51$ in the light degradation and $2.15 \sim 3.26$ in the heavy degradation, respectively. The present results suggest that the swamp vegetation evaluation index established by using multiple vegetation indexes could well indicate the degradation degree of Longbao swamp. The higher the SVEI value showed the more severe degradation of swamp. $SVEI < -1$ represented the non-degradation, $-1 \leq SVEI \leq 1$ represented the light degradation, $SVEI > 1$ represented the heavy degradation.

Key words: swamp degradation; vegetation characteristics; vegetation evaluation index; alpine swamp

湿地是植被、水和土壤等要素在空间结构上的有机耦合系统,被称为“地球之肾”^[1]。湿地植被作为长期进化过程中形成的适应湿生环境的独特物种,是保持湿地结构与功能的重要屏障^[2]。在湿地退化过程中,植被变化是主要的特征之一,主要表现为植物群落结构特征、功能群组成、物种多样性等的变化,这些植被指标是反映湿地生态系统时间和空间演替规律的重要指标^[3]。因此,研究湿地退化过程中植被变化的特征、过程与规律,并建立湿地植被评价指标体系,不仅可以很好地认识湿地退化过程,还对了解湿地的健康状况具有重要意义^[4-5]。湿地退化是自然和人类活动共同影响下的多因素、多层次的生态变化过程^[6],选取最敏感、最具代表性的生态和环境要素指标,以构建湿地退化评价指标体系,是当前湿地评价研究的主要方法和发展趋势^[7]。

三江源位于青藏高原腹地,分布有大面积的高寒湿地^[8]。近年来,由于自然和人类活动的干扰,尤其是气候变化的影响^[9],三江源高寒湿地萎缩退化严重,退化湿地的植物群落结构和功能已经发生了明显的改变,弱化了湿地的生态功能。目前,已有研究主要报道了高寒湿地退化过程中植被特征的变化及可能的原因^[4,10-11],以及湿地退化的机制和保护措施^[12],而高寒湿地评价研究多采用宏观性指标对湿地进行功能和服务价值评价^[13-14],或是利用单个指标阈值评价湿地退化程度^[15],这种宏观性指标不

能定量地评价湿地的健康状况,植物群落的某一单一指标对整个湿地环境及其功能的指示作用不够全面^[16],在综合评价指标选取方面还需要深入的探讨^[17]。随着近年来高寒湿地面积的持续减少,保护高寒湿地资源刻不容缓,而建立高寒湿地退化评价指标体系是湿地保护和恢复工程实践的重大需求问题^[18]。为此,本研究以三江源区隆宝高寒沼泽湿地为研究区,详细分析了湿地退化过程中植物群落组成、物种多样性和生物量的变化特征,并对湿地退化的敏感性植被指标和湿地退化植被评价指标体系进行了研究,以期高寒沼泽湿地退化评价体系的建立提供科学依据,也为高寒沼泽湿地的保护与恢复提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于隆宝国家级自然保护区($33^{\circ}08' \sim 33^{\circ}14'N, 96^{\circ}25' \sim 96^{\circ}37'E$),海拔 4 050~4 200 m,隶属青海省玉树州玉树市。区内湿地面积约 45 km²,属于典型的高寒沼泽湿地,湿地中分布有多个小湖泊,是长江支流隆宝河的发源地^[19]。湿地四周环山,是东南向西北走向狭长的低洼地带,东南地势高,西北地势低。气候属于典型的高原大陆性气候,年平均气温 0.58℃,年降水量 489 mm,主要集中在 6~9 月。主要植物种有小苔草(*Carex parva*)、

藏嵩草 (*Kobresia tibetica*)、水麦冬 (*Triglochin palustre*)、钝叶银莲花 (*Anemone obtusiloba*) 和鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*) 等。土壤类型以沼泽土、泥炭土和草甸土为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 采用以空间序列代替湿地退化的时间序列的方法,参照相关湿地分级指标的研究^[20-21],选择湿地东南边的小湖为中心向地势缓慢升高的东边延伸方向,主要依据植被组成、植被总覆盖度、地表裸露和积水情况等变化特征,设置湿地退化研究样地,将湿地划分为未退化、轻度退化和重度退化 3 种退化类型,每个退化阶段设立 3 个 10 m×10 m 的研究样地用以植被调查,未退化样地编号为 1~3,轻度退化样地编号为 4~6,重度退化样地编号为 7~9,样地基本情况见表 1。

1.2.2 群落调查 2019 年 8 月,于地上活体生物量最大时,在每个样地随机选取 1 个 50 cm×50 cm 的样方,记录样方中的物种名称,测量各物种的高度(随机测 5 株)和盖度。将样方内植物分种齐地面剪下,带回实验室,65 ℃烘干至恒重,称其干重。地下生物量采用根钻进行取样,样品装入布袋中,带回室内进行冲洗、分离,然后装入纸袋中,65 ℃烘干至恒重,称其干重。

1.3 数据计算和统计分析

物种重要值的计算方法为^[22]:
 $IV = (\text{相对高度} + \text{相对盖度} + \text{相对生物量}) / 3$
用 Shannon 多样性指数 (H)、Pielou 均匀度指数 (P) 和丰富度 (S) 来度量植物群落内的物种多样性。其计算公式分别为^[22]:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$
$$P = \frac{H}{\ln S}$$

式中: P_i 为第 i 个物种的重要值, S 为样方中的物种数目。

不同植被指标可以从不同的方面指示湿地退化的特征,反映退化湿地的生态响应。选择可以反映植物群落物种组成(沼生、湿生和中生植物重要值、Shannon 多样性指数、Pielou 均匀度指数、物种丰富度)、群落结构(盖度和草层高度)和群落生产力(地上生物量)3 个方面的 9 个植物群落指标,建立湿地植被评价指数(swamp vegetation evaluation index, SVEI),用于评价湿地退化状况。其中,沼生、湿生和中生植物的分类主要参考了以往高寒地区关于植被方面的研究^[4,21,23]。利用主成分分析,求得每个样方第 1 和第 2 主成分的因子分值 FA_1 和 FA_2 ,依据 2 个主成分的解释量,建立 SVEI 线性回归方程,求得湿地植被评价指数(SVEI)值,其值越大,表示湿地退化越严重^[23-24]。

采用 SPSS 16.0 中的 One-Way ANOVA 检验分析不同退化阶段间多样性、地上和地下生物量的差异性,显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。通过 Origin-Pro 9.1 作图。

2 结果与分析

2.1 湿地退化过程中物种重要值及多样性变化

统计分析发现,调查的 9 个样地共有植物种 24 种,隶属 13 科 21 属(表 2)。在湿地退化过程中,未退化阶段植物群落以小苔草为最大优势种,重要值为 0.51,主要伴生种为湿生植物藏嵩草以及沼生植物黑褐苔草和水麦冬等。在轻度退化阶段植物群落虽仍以小苔草为最大优势种,但重要值相对未退化阶段有所降低,重要值为 0.40,藏嵩草的重要值相对未退化阶段变化不大,群落中出现了小米草、钝叶银莲花和凤毛菊等中生植物。在重度退化阶段植物

表 1 样地基本情况
Table 1 General information of sampling sites

退化阶段 Degradation stage	盖度 Coverage/%	高度 Height/cm	基本情况 Basic condition
未退化 Non-degradation	>90	10.61	小苔草为优势种,有季节性积水,积水面积约占样地面积的 50% The sampling site was dominated by <i>Carex parva</i> and characterized by seasonal ponded water and its area accounted for about 50% of the sample plot area
轻度退化 Light degradation	75~90	9.98	小苔草为优势种,有较少的季节性积水,有少量干化斑块出现,干化斑块上具有明显的鼠洞 The sampling site was dominated by <i>C. parva</i> and characterized by less seasonal ponded water, a small amount of dried plaques with burrow of plateau pika
重度退化 Heavy degradation	60~75	3.60	藏嵩草为优势种,无积水,出现大量干化斑块,鼠洞很多,有明显的地表裸露 The sampling site was dominated by <i>Kobresia tibetica</i> and characterized by without seasonal ponded water, a lot of dried plaques with more burrow of plateau pika and bare area obviously

表 2 9 个样地 24 种物种的重要值

Table 2 Importance values of 24 species within 9 plots

物种 Species	功能群 Function group	未退化 Non-degradation			轻度退化 Light degradation			重度退化 Heavy degradation		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
小苔草 <i>Carex parva</i>	HE	0.44	0.52	0.57	0.39	0.43	0.39	0.24	0.23	0.22
黑褐苔草 <i>Carex atrofusca</i>	HE	0.13	0.09	0	0	0.09	0	0	0	0
水麦冬 <i>Triglochin palustre</i>	HE	0.08	0	0	0	0.05	0	0	0	0
藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>	HY	0.23	0.29	0.26	0.27	0.22	0.31	0.39	0.44	0.35
花葶驴蹄草 <i>Caltha scaposa</i>	HY	0.02	0.04	0.06	0	0	0	0.02	0.03	0.02
报春花 <i>Primula malacoides</i>	ME	0.02	0.02	0.04	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
紫菀 <i>Aster tataricus</i>	ME	0.02	0.03	0	0	0.01	0.02	0	0	0.01
碱毛茛 <i>Halerpestes sarmentosa</i>	HY	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	ME	0.04	0	0.04	0.03	0.02	0	0.04	0.05	0
漆姑草 <i>Sagina japonica</i>	ME	0	0.02	0.03	0	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02
斑唇马先蒿 <i>Pedicularis longiflora</i>	HE	0	0	0	0.02	0.04	0.04	0	0	0.02
小米草 <i>Euphrasia pectinata</i>	ME	0	0	0	0.03	0.02	0.03	0	0	0
钝叶银莲花 <i>Anemone obtusiloba</i>	ME	0	0	0	0.10	0.07	0.14	0.06	0.09	0.07
早熟禾 <i>Poa annua</i>	ME	0	0	0	0.07	0	0	0	0	0.11
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	ME	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0
华丽龙胆 <i>Gentiana sino-ornata</i>	ME	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0
凤毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	ME	0	0	0	0	0.03	0.03	0.04	0	0.02
草玉梅 <i>Anemone rivularis</i>	ME	0	0	0	0	0	0	0.03	0.04	0.04
圆穗蓼 <i>Polygonum macrophyllum</i>	ME	0	0	0	0	0	0	0.02	0.03	0
火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	ME	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0.02
兰石草 <i>Lancea tibetica</i>	ME	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0.01
莓叶委陵菜 <i>Potentilla fragarioides</i>	ME	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.03
老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	ME	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	ME	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02

注:HE. 沼生植物;HY. 湿生植物;ME. 中生植物

Notes: HE. Helophyte; HY. Hygrophyte; ME. Mesophyte

表 3 不同退化阶段植物群落多样性指数(*H*)、均匀度指数(*P*)和物种丰富度(*S*)的变化

Table 3 Changes of diversity index, evenness index and species richness of plant community in different degeneration stages

退化阶段 Degradation stage	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
未退化 Non-degradation	1.34±0.21b	0.68±0.04b	7±2b
轻度退化 Light degradation	1.67±0.01ab	0.73±0.03ab	10±2ab
重度退化 Heavy degradation	1.90±0.18a	0.76±0.02a	13±3a

注:表中数据为平均值±标准差,同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Notes: Data in the table are means ± SD, different lowercase letters within same column represent significant differences at 0.05 level

群落以藏嵩草为最大优势种,重要值为 0.39,黑褐苔草和水麦冬等沼生植物消失,出现了草玉梅、圆穗蓼和火绒草等多种中生植物。

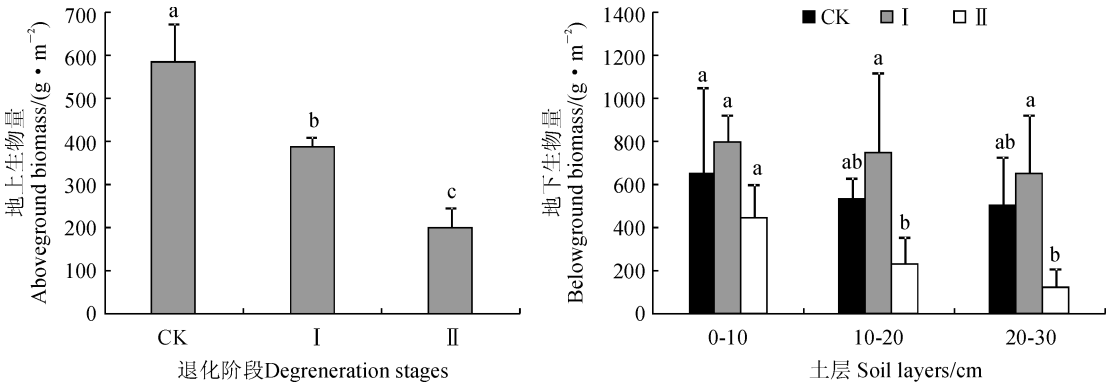
随着湿地植物群落的逆向演替,物种多样性指

数、均匀度指数和丰富度均呈逐渐增大趋势(表 3)。这 3 个指数重度退化阶段均显著高于未退化阶段($P<0.05$)。在轻度退化阶段,沼生植物小苔草虽然仍为最大优势种,但群落中物种增多,出现了多种

表 4 植被指标主成分特征值及其解释量

Table 4 Eigenvalues of vegetation indices principal components and percentage of variation explained

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	解释量 Percentage of variation explained/%	累计解释量 Cumulative percentage of variation explained/%
1	7.23	80.3	80.3
2	1.03	11.4	91.7



CK. 未退化; I. 轻度退化; II. 重度退化;不同小写字母表示退化阶段间在 0.05 水平差异显著($P<0.05$)

图 1 不同退化阶段地上和 0~30 cm 地下生物量变化

CK. Non-degradation; I. Light degradation; II. Heavy degradation; Different lowercase letters represent significant differences between degeneration stages at 0.05 level

Fig. 1 Changes of aboveground and belowground biomass at 0—30 cm soil layers in different degeneration stages

中生植物。在重度退化阶段,中生植物进一步增多,一些沼生植物消失,同时,小苔草重要值显著减小,藏嵩草成为最大优势种。

2.2 湿地退化过程中地上和地下生物量变化

湿地退化显著影响地上生物量和地下生物量的变化(图 1)。地上生物量表现为轻度退化阶段显著低于未退化阶段($P<0.05$),降低了 33.93%;重度退化阶段显著低于轻度退化阶段($P<0.05$),降低了 48.84%。3 个土层地下生物量随着湿地退化均呈先增加后降低的变化趋势,其中,0~10 cm 土层各退化阶段间无显著差异,10~20 cm 和 20~30 cm 土层重度退化阶段均显著低于轻度退化阶段($P<0.05$)。这说明湿地退化对地上生物量的影响较地下生物量明显;在轻度退化阶段,地下生物量具有增加的特征;湿地退化越严重,对地下生物量的影响越显著。

2.3 湿地植被评价指标

通过主成分分析,9 个植物群落指标简化为第 1 和第 2 主成分,累计解释量达 91.7%,涵盖了指标的大部分信息,可以代表 9 个植物群落指标信息(表 4)。第一主成分上盖度、地上生物量、沼生植物重要值和中生植物重要值具有较高载荷,达 0.9 以上,对于湿地退化的指示性较好(表 5)。以 2 个主成分的解釋量占累计解释量的比值确定因子分值 FA_1 和

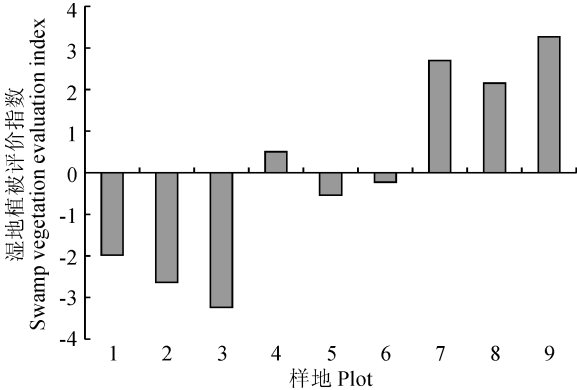


图 2 9 个样地的湿地植被评价指数

Fig. 2 Swamp vegetation evaluation index in 9 plots

FA_2 的权重,建立了 SVEI 线性回归方程:

$$SVEI_j = 0.876 \times FA_{1j} + 0.124 \times FA_{2j}$$
 式中:
 j 为样方编号。

湿地退化的 SVEI 变化规律如图 2 所示,未退化阶段的 3 个样地 SVEI 的范围为 $-3.23 \sim -1.98$,轻度退化阶段的 3 个样地 SVEI 的范围为 $-0.54 \sim 0.51$,重度退化阶段的 3 个样地 SVEI 的范围为 $2.15 \sim 3.26$ 。根据 9 个样地的 SVEI 值综合分析,不同退化阶段湿地植被评价指数的范围可划分为:未退化阶段 $SVEI<-1$,轻度退化阶段 $-1 \leq SVEI \leq 1$,重度退化阶段 $SVEI>1$ 。

表 5 植被指标与主成分间的相关系数

植被指标 Vegetation index	第 1 主成分 First principal component	第 2 主成分 Second principal component
盖度 Coverage	−0.986	0.031
高度 Height	−0.841	0.432
地上生物量 Aboveground biomass	−0.973	−0.196
沼生植物重要值 Importance value of the helophyte	−0.945	0.278
湿生植物重要值 Importance value of the hygrophyte	0.765	−0.574
中生植物重要值 Importance value of the mesophyte	0.936	−0.029
<i>H</i>	0.889	0.439
<i>P</i>	0.849	0.304
<i>S</i>	0.859	0.330

3 讨 论

3.1 湿地退化对植物群落特征的影响

湿地生态系统退化是当前的一个普遍现象,近年来青藏高原高寒湿地持续退化,其面积已经锐减了 10%^[12]。在高寒湿地退化过程中,群落内物种发生更替,不仅影响群落结构和多样性特征,而且影响群落生产力的变化^[25]。本研究表明,随着湿地退化,植物优势种发生明显变化,未退化阶段到重度退化阶段,优势种由小苔草逐渐转变为藏嵩草。同时,与未退化阶段相比,退化阶段部分沼生植物种因不适应环境而消失,出现多种中生植物,植物群落中中生植物种的比例有很大的增加,尤其是重度退化阶段。物种多样性指数、均匀度指数和丰富度均随着湿地退化而增大,这与尕斯库勒湖湿地和黄河首区湿地退化过程中植物群落多样性的变化趋势相同^[4,11],主要是因为适应高寒环境的沼生植物种类较中生植物种类少,湿地退化土壤水分降低,生境干旱化,为中生植物的生长创造了有利条件,致使退化湿地中出现较多的中生植物,导致其物种多样性和丰富度增加^[11]。

植物生物量是评估生态系统生产力、结构和功能的重要参数,近年来受气候变暖和过度放牧的影响,隆宝湿地出现一定程度的退化,湿地植物地上生物量下降显著^[19]。本研究显示,随着湿地退化,植被地上生物量显著降低($P<0.05$),这主要是因为,一方面随着湿地退化,沼生植物种重要值减小,而中生植物种重要值增大,由于中生植物具有较高蒸腾失水的特点^[26],在同样的降水条件下,降低了土壤水分的有效性,增加了物种间对水资源的竞争,导致群落生物量降低,另一方面过度放牧导致湿地植被

生物量降低,而这一现象在水资源短缺、土壤退化的退化湿地尤为明显^[27]。在隆宝湿地,地下生物量未退化阶段低于轻度退化阶段,未退化阶段和轻度退化阶段明显高于重度退化阶段,在 10~30 cm 土层轻度退化与重度退化间差异显著($P<0.05$)。前者主要是因为随着湿地退化,土壤水分降低,而在轻度退化阶段沼生植物仍为优势种,由于土壤水分降低的影响,沼生植物种会分配更多的生物量给地下以维持水分的吸收^[28],导致群落地下生物量增大。后者主要是因为随着湿地退化加剧,地上生物量减少严重,致使植物光合面积减少,其光合产物不能满足自身生长发育,需要根系提供营养物质,这限制了植物根系的生长发育^[29],加之根系发达的小苔草重要值减小,导致群落地下生物量减少,同时随着深度的增加,重度退化阶段地下生物量减少明显,垂直分布呈“T”形分布,这与草原地下生物量在土壤剖面上的分布特征相似^[30]。

3.2 湿地退化植被评价指标体系

植被退化是湿地退化最主要的表现之一^[24],植被的生态特征可以作为环境指标,对湿地退化特征、过程与规律进行定量描述,选择湿地退化最敏感、最具代表性的植被指标,建立湿地植被评价指标体系,可以定量地、准确地评价湿地退化的状态^[31]。本研究利用植物群落指标、物种的个体数量指标、物种的综合数量指标评价高寒沼泽湿地的退化,发现构建的植被评价指数可以很好地指示湿地退化的程度,评价效果较好。研究结果表明,不同退化阶段湿地植物群落的沼生、湿生和中生植物重要值、Shannon 多样性指数、Pielou 均匀度指数和物种丰富度都存在较大差异,其中,沼生和中生植物重要值对湿地群落类型演替的反应最为敏感。植物群落盖度、高度

和地上生物量可以反映群落对环境资源的利用能力,随着退化加剧,变化也较明显。因此,本研究选用了上述植被指标建立了高寒沼泽湿地植被评价指数,这些指标均是湿地植被生态观测的常规指标,这种方法具有成本低、效率高、实用性强、可综合定量评价等特点。不同退化阶段湿地的 SVEI 值表明,未退化阶段的 SVEI 的范围为 $-3.23 \sim -1.98$,轻度退化阶段的 SVEI 的范围为 $-0.54 \sim 0.51$,重度退化阶段的 SVEI 的范围为 $2.15 \sim 3.26$ 。表明 SVEI 值可以很好地区分湿地退化的程度,可以作为定量评价湿地退化程度的综合指标。

4 结 论

对隆宝高寒沼泽湿地不同退化阶段植物群落组成、多样性、地上和地下生物量的分析表明,随着湿

地退化,沼生植物重要值减小,湿中生植物重要值增大,物种多样性指数、均匀度指数和丰富度均逐渐增大,植物群落由沼生植物群落向湿中生植物群落演替。地上生物量随着湿地退化显著降低($P < 0.05$),地下生物量轻度退化阶段较未退化阶段有所增加,重度退化阶段明显低于未退化和轻度退化阶段,其中,在 $10 \sim 30$ cm 土层重度退化阶段与轻度退化阶段间差异显著($P < 0.05$)。

利用植物群落指标、物种的个体数量指标、物种的综合数量指标构建的植被评价指数可以很好地指示隆宝湿地退化的程度,其中,沼生和中生植物重要值对湿地群落类型演替的反应最为敏感。不同退化程度湿地的 SVEI 阈值为:未退化阶段 $SVEI < -1$,轻度退化阶段 $-1 \leq SVEI \leq 1$,重度退化阶段 $SVEI > 1$ 。

参考文献:

- [1] 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): 3 257-3 265.
SHANG W, YANG Y X. Degradation characteristics, patterns, and processes of lakeside wetland in Napahai of north-west Yunnan Plateau, Southwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(12): 3 257-3 265.
- [2] 严承高,张明祥. 中国湿地植被及其保护对策[J]. 湿地科学, 2005, **3**(3): 210-215.
YAN C G, ZHANG M X. Wetland vegetation in China and its conservation advices[J]. *Wetland Science*, 2005, **3**(3): 210-215.
- [3] 肖德荣,田昆,袁华,等. 高原湿地纳帕海水生植物群落分布格局及变化[J]. 生态学报, 2006, **26**(11): 3 624-3 630.
XIAO D R, TIAN K, YUAN H, *et al.* The distribution patterns and changes of aquatic plant communities in Napahai Wetland in northwestern Yunnan Plateau, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, **26**(11): 3 624-3 630.
- [4] 马维伟,李广,石万里,等. 甘肃尕斯湖湿地退化过程中植物生物量及物种多样性变化动态[J]. 草地学报, 2016, **24**(5): 960-966.
MA W W, LI G, SHI W L, *et al.* Changes of plant biomass and species diversity in degradation process of Gahai wetland in Gansu Province[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, **24**(5): 960-966.
- [5] BURNSIDE N G, JOYCE C B, PUURMANN E, *et al.* Use of vegetation classification and plant indicators to assess grazing abandonment in Estonian coastal wetlands[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2007, **18**(5): 645-654.
- [6] SEILHEIMER T S, MAHONEY T P, CHOW-FRASER P. Comparative study of ecological indices for assessing human-induced disturbance in coastal wetlands of the Laurentian Great Lakes[J]. *Ecological Indicators*, 2009, **9**(1): 81-91.
- [7] NIEMI G J, KELLY J R, DANZ N P. Environmental indicators for the coastal region of the north American great lakes: Introduction and prospectus[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2007, **33**: 1-12.
- [8] 刘敏超,李迪强,温琰茂. 三江源区湿地生态系统功能分析及保育[J]. 生态科学, 2006, **25**(1): 64-68.
LIU M C, LI D Q, WEN Y M. Study on function and conservation of wetlands ecosystem in Sanjiangyuan region[J]. *Ecologic Science*, 2006, **25**(1): 64-68.
- [9] PAN X B, ZHANG J Y, LUO Z K, *et al.* Natural wetland in China[J]. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2011, **5**: 45-55.
- [10] 韦翠珍,张佳宝,周凌云. 沿黄河下游湖泊湿地植物群落演替及其多样性研究[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(1): 30-36.
WEI C Z, ZHANG J B, ZHOU L Y. Plant community succession and species diversity of lakeshore wetlands along the lower Yellow River[J]. *Ecology and Environment*, 2011, **20**(1): 30-36.
- [11] 后源,郭正刚,龙瑞军. 黄河首曲湿地退化过程中植物群落组分及物种多样性的变化[J]. 应用生态学报, 2009, **20**(1): 27-32.
HOU Y, GUO Z G, LONG R J. Changes of plant community structure and species diversity in degradation process of Shouqu wetland of Yellow River[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, **20**(1): 27-32.
- [12] 王根绪,李元寿,王一博,等. 近 40 年来青藏高原典型高寒湿地系统的动态变化[J]. 地理学报, 2007, **62**(5): 481-491.
WANG G X, LI Y S, WANG Y B, *et al.* Typical alpine wetland system changes on the Qinghai-Tibet plateau in recent 40 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, **62**(5): 481-491.

481-491.

[13] 张晓云, 吕宪国, 沈松平, 等. 若尔盖高原湿地地区主要生态系统服务价值评价[J]. 湿地科学, 2008, **6**(4): 466-472.

ZHANG X Y, LÜ X G, SHEN S P, *et al.* Service value evaluation of main ecosystems of ruoergai plateau marshes [J]. *Wetland Science*, 2008, **6**(4): 466-472.

[14] XI W J, WANG J L, CHEN H F, *et al.* Functional assessment of typical wetlands in Shangri-La[J]. *Journal of Landscape Research*, 2010, **2**: 74-78.

[15] 李宁云, 田 昆, 杨宇明, 等. 滇西北纳帕海湿地景观变化及其评价研究[J]. 西部林业科学, 2012, **41**(2): 27-32.

LI N Y, TIAN K, YANG Y M, *et al.* Landscape change and assessment of Napahai wetland in northwestern Yunnan[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2012, **41**(2): 27-32.

[16] LEBAUER D S, TRESEDER K K. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed[J]. *Ecology*, 2008, **89**(2): 371-379.

[17] 杨 波. 我国湿地评价研究综述[J]. 生态学杂志, 2004, **23**(4): 146-149.

YANG B. A review on the study of wetland assessment in China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, **23**(4): 146-149.

[18] 韩大勇, 杨永兴, 杨 杨, 等. 湿地退化研究进展[J]. 生态学报, 2012, **32**(4): 1 293-1 307.

HAN D Y, YANG Y X, YANG Y, *et al.* Recent advances in wetland degradation research[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**(4): 1 293-1 307.

[19] 马宗泰, 李凤霞, 李 甫, 等. 青海玉树隆宝地区生态环境动态变化研究[J]. 草业科学, 2009, **26**(7): 6-11.

MA Z T, LI F X, LI F, *et al.* The dynamic change research of ecological environment in Longbao region of Yushu state in Qinghai[J]. *Pratacultural Science*, 2009, **26**(7): 6-11.

[20] 张晓龙, 李培英. 湿地退化标准的探讨[J]. 湿地科学, 2004, **2**(1): 36-41.

ZHANG X L, LI P Y. Discussion on standard of wetland degradation[J]. *Wetland Science*, 2004, **2**(1): 36-41.

[21] 刘育红, 李希来, 李长慧, 等. 三江源区高寒草甸湿地植被退化与土壤有机碳损失[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(12): 2 559-2 567.

LIU Y H, LI X L, LI C H, *et al.* Vegetation decline and reduction of soil organic carbon stock in high-altitude meadow grasslands in the source area of three major rivers of China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, **28**(12): 2 559-2 567.

[22] 庞晓攀, 贾婷婷, 李倩倩, 等. 高原鼠兔有效洞穴密度对高山嵩草群落及其主要种群空间分布特征的影响[J]. 生态学报, 2015, **35**(3): 873-884.

PANG X P, JIA T T, LI Q Q, *et al.* Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on characteristics and distribution pattern of *Kobresia pygmaea* community[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(3): 873-884.

[23] 杨永兴, 李 珂, 杨 杨. 排水疏干胁迫下若尔盖高原沼泽退化评价指标体系[J]. 应用生态学报, 2013, **24**(7): 1 826-1 836.

YANG Y X, LI K, YANG Y. Evaluation index system of swamp degradation in Zoige Plateau of Sichuan, Southwest China under drainage stress[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, **24**(7): 1 826-1 836.

[24] 王 钦. 川西北高原放牧草地植物群落数量特征及退化分类评价指标体系研究[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2005.

[25] WANG C T, LONG R J, WANG Q L, *et al.* Fertilization and litter effects on the functional group biomass, species diversity of plants, microbial biomass, and enzyme activity of two alpine meadow communities[J]. *Plant and Soil*, 2010, **331**(1-2): 377-389.

[26] 李宏林, 徐当会, 杜国祯. 青藏高原高寒沼泽湿地在退化梯度上植物群落组成的改变对湿地水分状况的影响[J]. 植物生态学报, 2012, **36**(5): 403-410.

LI H L, XU D H, DU G Z. Effect of change of plant community composition along degradation gradients on water conditions in an alpine swamp wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau of China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, **36**(5): 403-410.

[27] 高雪峰, 韩国栋, 张 功, 等. 放牧对荒漠草原土壤微生物的影响及其季节动态研究[J]. 土壤通报, 2007, **38**(1): 145-148.

GAO X F, HAN G D, ZHANG G, *et al.* Effects of grazing on soil microorganisms and their seasonal changes in desert steppe[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, **38**(1): 145-148.

[28] 王 敏, 苏永中, 杨 荣, 等. 黑河中游荒漠草地上和地下生物量的分配格局[J]. 植物生态学报, 2013, **37**(3): 209-219.

WANG M, SU Y Z, YANG R, *et al.* Allocation patterns of above-and belowground biomass in desert grassland in the middle reaches of Heihe River, Gansu Province, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, **37**(3): 209-219.

[29] 马维伟, 王 辉, 李 广, 等. 甘南尕斯海湿地退化过程中植被生物量变化及其季节动态[J]. 生态学报, 2017, **37**(15): 5 091-5 101.

MA W W, WANG H, LI G, *et al.* Changes in plant biomass and its seasonal dynamics during degradation succession in the Gahai wetland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(15): 5 091-5 101.

[30] 李凯辉, 王万林, 胡玉昆, 等. 不同海拔梯度高寒草地地下生物量与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(11): 2 364-2 368.

LI K H, WANG W L, HU Y K, *et al.* Relationships between belowground biomass of alpine grassland and environmental factors a-long an altitude gradient[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, **19**(11): 2 364-2 368.

[31] TOOGOOD S E, JOYCE C B. Effects of raised water levels on wet grassland plant communities[J]. *Applied Vegetation Science*, 2009, **12**(3): 283-294.