

呼伦贝尔典型草原群落退化对其物种多样性及生物量的影响

王百竹, 朱媛君, 山 丹, 刘艳书, 杨晓晖^①

(中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要: 采用样带和样地相结合的方法, 在呼伦贝尔典型草原划定 65 个样地, 根据群落调查结果, 基于群落各层优势种对各样地的群丛进行划分, 并首次采用草原群落退化指数 (SCDI) 对草原群落退化程度进行分级; 在此基础上, 分析了草原退化程度对物种多样性及生物量的影响。结果显示: 依据 SCDI 值可将呼伦贝尔典型草原群落分为 4 个等级, 即未退化草原 (I 级, $0.00 < \text{SCDI} \leq 0.40$)、轻度退化草原 (II 级, $0.40 < \text{SCDI} \leq 0.65$)、中度退化草原 (III 级, $0.65 < \text{SCDI} < 1.00$) 和重度退化草原 (IV 级, $\text{SCDI} \geq 1.00$); 各等级样地的优势种存在一定差异, 分别对应 5、15、12 和 12 个群丛。随草原退化程度 (SCDI 值) 的增大, 草原群落的物种丰富度 (S)、Shannon-Wiener 指数 (H')、Simpson 指数 (P)、地上生物量和枯落物生物量均逐渐降低, 且在不同等级退化草原群落间存在显著差异, 但 Pielou 指数 (J) 和地下生物量无显著变化。相关性分析和曲线拟合结果显示: 除 J 值外, SCDI 值与物种多样性的其他指标和生物量指标均呈极显著或显著负相关, 且这些指标与 SCDI 值的拟合曲线均为一元二次方程。I 级退化草原群落的 S 值、 H' 值和生物量指标以及 II 级退化草原群落的 P 值整体均较高, IV 级退化草原群落的 S 值、 H' 值、 P 值、地上生物量和枯落物生物量以及 III 级退化草原群落的地下生物量整体均较低。综合分析结果表明: 呼伦贝尔草原退化主要对草原群落的物种多样性、地上生物量和枯落物生物量有较大影响, 但对群落物种均匀度和地下生物量无明显影响; 气候变化和过度放牧是导致呼伦贝尔草原退化的主要原因。此外, 本研究采用 SCDI 值衡量草原群落退化程度, 其定义为群落的相对盖度、相对高度和相对总生物量加权平均值的倒数, 该指标消除了因单一指标计算造成的数据误差, 是一个衡量草原退化程度的可量化综合指数。

关键词: 呼伦贝尔草原; 草原群落退化; 草原群落退化指数 (SCDI); 物种多样性; 生物量; 相关性分析

中图分类号: Q948.1; X173 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)04-0068-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.04.08

Effects of community degradation of Hulun Buir typical steppe on its species diversity and biomass

WANG Baizhu, ZHU Yuanjun, SHAN Dan, LIU Yanshu, YANG Xiaohui^① (Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(4): 68-76

Abstract: 65 sample plots were designated in Hulun Buir typical steppe by a combination method of transect and sample plot, and the association of each sample plot was divided based on dominant species in each layer of community according to community investigation result, and steppe community degradation index (SCDI) was used to grade the steppe community degradation degree for the first time; on the basis, effects of steppe degradation degree on species diversity and biomass were analyzed. The results show that the community of Hulun Buir typical steppe can be divided into 4 grades according to SCDI value, that is, undegraded steppe (grade I, $0.00 < \text{SCDI} \leq 0.40$), lightly degraded steppe (grade II, $0.40 < \text{SCDI} \leq 0.65$), moderately degraded steppe (grade III, $0.65 < \text{SCDI} < 1.00$), and seriously degraded steppe (grade IV, $\text{SCDI} \geq 1.00$); there are some differences in dominant species of each grade

收稿日期: 2018-12-20

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0500908); 国家自然科学基金资助项目 (31670715)

作者简介: 王百竹 (1996—), 女, 山东济南人, 硕士研究生, 主要从事荒漠生态学和遥感地理信息系统等方面的研究工作。

^①通信作者 E-mail: yangxh@caf.ac.cn

of sample plots, corresponding to 5, 15, 12, and 12 associations, respectively. With the increase of steppe degradation degree (SCDI value), species richness (S), Shannon-Wiener index (H'), Simpson index (P), above-ground biomass, and litter biomass of steppe community all gradually decrease, and there are significant differences among degradation steppe communities with different grades, but Pielou index (J) and under-ground biomass have no significant variation. The correlation analysis and curve fitting results show that except for J value, SCDI value shows extremely significant or significant negative correlation with other indexes of species diversity and biomass indexes, and the fitting curves of these indexes with SCDI value are all univariate quadratic equations. S and H' values and biomass indexes of grade I degraded steppe community, and P value of grade II degraded steppe community are relatively high in general, and S , H' and P values, above-ground biomass and litter biomass of grade IV degraded steppe community, and under-ground biomass of grade III degraded steppe community are relatively low in general. The comprehensive analysis result shows that the degradation of Hulun Buir steppe has a great effect on species diversity, above-ground biomass and litter biomass of steppe community, but has no significant effect on community species evenness and under-ground biomass; climatic variation and overgrazing are the main reasons causing degradation of Hulun Buir steppe. In addition, SCDI value is used to evaluate the steppe community degradation degree in this study, and its definition is reciprocal of weighted average of relative coverage, relative height and relative total biomass of community, this index eliminates the data error caused by calculating with single index, and is a measurable comprehensive index for evaluating the degradation degree of steppe.

Key words: Hulun Buir steppe; steppe community degradation; steppe community degradation index (SCDI); species diversity; biomass; correlation analysis

草原是世界上分布最广的植被类型,同时也是陆地生态系统中重要的生态系统类型之一,草原不仅是畜牧业生产的重要基地,也是防止土地风蚀沙化、保持涵养水源的重要生态屏障,在区域气候、生物多样性、生态保护和社会经济发展等方面发挥着重要作用,是生态环境保护的主要目标^[1]。大量研究结果^[2-6]表明:自20世纪80年代以来,由于放牧及气候变化的影响,中国的绝大部分天然草原出现了不同程度的退化,进而带来了一系列的生态问题。

在不同时间和空间尺度上,关于草原退化评价标准仍存在很大争议^[7]。王新云等^[8]认为,草原退化通常指干旱、半干旱和干燥半湿润地区草原的生物和经济生产力的减少或暂时丧失,采用的评价指标多为草原生物量和植被覆盖率的下降率;李博^[9]提出了一个草原退化指标体系及草原退化等级划分标准,从能量、质量、环境、草原生态系统的结构和食物链以及草原自我恢复功能5个方面将草原退化程度划分为轻度退化、中度退化、重度退化和极度退化;刘钟龄等^[2]则从4个方面对内蒙古草原退化程度进行评定,即草原生物生产量的衰减、优势植物种群的更替、退化演替指标植物的出现率及植物组成的饲用可食性。这些评价方法都有一定的可操作性,但多采用草原群落实地调查数据中的某个指标(如样地总盖度^[10-11]、物种重要值^[12]或样地地上生物量^[13])对草原的退化

状况进行评价,并没有形成一个可量化的综合指数用以衡量草原退化程度。

草原生物多样性和植物群落生产力是草原保护的2个关键问题^[14],草原生物多样性降低和植物群落生产力减少是草原退化最直接的生态反映。物种多样性作为生物多样性在物种水平上的表现形式,可衡量群落结构和功能复杂性^[15],且作为生态学指标能准确反映生态系统的恢复程度,许多复杂的生态学信息都包含在物种多样性的有关指数中^[16-17],物种多样性能体现出生物间及其与环境间的关系以及生物资源的丰富性^[18]。生物量研究也是生态学研究的一个重要方向^[19],是生态系统的数量指标,对生态系统结构及功能研究极为重要,同时也反映了生态系统利用物质和能量的能力^[20]。草原生物量可以衡量草地的生产潜力和生长状况,与全球碳循环紧密相关,随全球气候变暖,准确估算草原生物量及其动态变化在全球碳循环方面更加具有研究意义^[21]。

呼伦贝尔草原是中国重要的畜牧业产业基地之一,也是欧亚草原的重要组成部分,其植被类型复杂多样,草原植物有1000余种^[22]。近十几年来,由于过度放牧和气候干旱,呼伦贝尔草原大面积退化和沙化,草原生态环境更加脆弱,严重损害了当地的经济发展和民众生活,因此,亟需采取措施进行预防和整治。目前有关呼伦贝尔草原生态系统退化对草原物

种多样性及生物量的影响尚不明确,不利于草原植被的恢复以及草原退化预防措施的实施。

鉴于此,作者采用群落物种多样性的研究方法,结合群落调查数据,采用草原群落退化指数(steppe community degradation index, SCDI)定量分析草原退化程度,根据SCDI值对呼伦贝尔典型草原退化等级进行划分,进而分析草原退化程度对物种多样性及生物量的影响,以期对呼伦贝尔草原退化防治奠定理论基础,并为其他草原退化评价提供有效方法。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区呼伦贝尔市海拉尔河以北的典型草原带(北纬 $49^{\circ}45'43''\sim 50^{\circ}00'25''$ 、东经 $118^{\circ}34'47''\sim 120^{\circ}30'46''$),海拔519~797 m。该区域属于温带半干旱大陆性气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,天气晴朗少云、降水较少^[23];多年平均气温 $-3^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$,年降水量240~400 mm,全年降水量变化较大并由西向东呈递增趋势^[24-25]。^[26]²²⁻²³。该区域土壤资源较为丰富,土壤地带由东向西呈“灰色森林土—黑钙土—栗钙土”的过渡带^[26]²³。

草原植被建群种包括大针茅(*Stipa grandis* P. A. Smirn.)和羊草[*Leymus chinensis* (Trin. ex Bunge) Tzvel.]等种类,还有其他杂类草群落[禾本科(Poaceae)以外的草本植物群落]和锦鸡儿[*Caragana sinica* (Buc'hoz) Rehd.]灌丛化的大针茅草原等;在较湿润的草甸草原中有中生禾草和杂类草等,河谷低湿地则是芨芨草[*Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski]和马蔺[*Iris lacteal* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz.]等盐化草甸^[27-28]。

1.2 样地设置与样品采集

从位于陈巴尔虎旗境内大兴安岭西麓的草甸草原开始,沿乌尔逊河及海拉尔河以北的草原带向西设置1条长195 km的样带,在样带上每隔3 km设置1个面积10 m×10 m的样地,共设置65个样地;在每个样地内划定3个面积1 m×1 m的草本样方,样方间距大于10 m。分别调查每个样方内出现的植物种类及数量,记录样方总盖度以及每个种类的盖度、高度(营养高和生殖高)和密度;同时记录样地的基本信息,包括经度、纬度、海拔和群落类型等。

采用收割法齐地面采集每个样方内的全部草本

植物,按种类分别装袋,于80℃烘干至恒质量并称量,据此计算地上生物量;在地上部收割后,收集各样方的地表枯落物并装袋,于80℃烘干至恒质量并称量,据此计算枯落物生物量。在每个样方内沿对角线设置3个采样点,用直径10 cm的根钻采集土表下0~20 cm深度的根系,清洗后将根系于80℃烘干至恒质量并称量,据此计算地下生物量。地上生物量、地下生物量和枯落物生物量之和即为总生物量。

1.3 数据处理和分析

依据《中国植被》^[29]和《植被生态学》^[30]的群落类型划分方法以及《内蒙古维管植物检索表》^[31]对群丛进行划分,以各层优势种(群落中密度、盖度和生物量最大的物种)对群丛进行命名。

采用草原群落退化指数(steppe community degradation index, SCDI)定量草原群落退化程度,其定义为群落的相对盖度(RC)、相对高度(RH)和相对总生物量(RTB)加权平均值的倒数,计算公式为 $SCDI = 3 / (RC + RH + RTB)$,式中,RTB为某样地总生物量与所有样地总生物量的比值。

参照文献[32]的方法分别计算物种丰富度(S)、Shannon-Wiener指数(H')、Simpson指数(P)和Pielou指数(J)。

使用SPSS 21.0软件进行单因素方差分析和Pearson相关性分析,使用EXCEL 2010软件制图。

2 结果和分析

2.1 草原退化程度的分级结果

根据草原群落退化指数(SCDI)可将呼伦贝尔典型草原群落的退化程度分为4个等级。

I级为未退化草原, $0.00 < SCDI \leq 0.40$,包含8个样地;优势种主要有脚躑草(*Carex pediformis* C. A. Mey.)、亚洲蓍(*Achillea asiatica* Serg.)、草地早熟禾(*Poa pratensis* Linn.)、灯心草蚤缀(*Arenaria juncea* M. Bieb.)、羊草和羽茅[*Achnatherum sibiricum* (Linn.) Keng]。这些优势种组成了5个群丛,分别为脚躑草+亚洲蓍群丛(Ass. *Carex pediformis*+*Achillea asiatica*)、脚躑草+草地早熟禾群丛(Ass. *Carex pediformis*+*Poa pratensis*)、脚躑草+灯心草蚤缀群丛(Ass. *Carex pediformis*+*Arenaria juncea*)、脚躑草+羊草群丛(Ass. *Carex pediformis*+*Leymus chinensis*)和脚躑草+羽茅群丛(Ass. *Carex pediformis*+*Achnatherum*

sibiricum)。

Ⅱ级为轻度退化草原, $0.40 < \text{SCDI} \leq 0.65$, 包含18个样地; 优势种主要有脚臺草、大针茅、红柴胡 (*Bupleurum scorzonerifolium* Willd.)、拂子茅 [*Calamagrostis epigeios* (Linn.) Roth]、草地早熟禾、披针叶黄华 (*Thermopsis lanceolata* R. Br.)、白婆婆纳 (*Veronica incana* Linn.)、裂叶蒿 (*Artemisia tanacetifolia* Linn.)、龙须菜 (*Asparagus schoberioides* Kunth)、冰草 [*Agropyron cristatum* (Linn.) Gaertn.]、糙隐子草 [*Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng]、星毛委陵菜 (*Potentilla acaulis* Linn.) 和寸草臺 (*Carex duriuscula* C. A. Mey.)。这些优势种组成了15个群丛, 分别为拂子茅+寸草臺群丛 (Ass. *Calamagrostis epigeios*+*Carex duriuscula*)、草地早熟禾+披针叶黄华群丛 (Ass. *Poa pratensis*+*Thermopsis lanceolata*)、脚臺草+寸草臺群丛 (Ass. *Carex pediformis*+*Carex duriuscula*)、脚臺草+白婆婆纳群丛 (Ass. *Carex pediformis*+*Veronica incana*)、羊草+裂叶蒿群丛 (Ass. *Leymus chinensis*+*Artemisia tanacetifolia*)、羊草+草地早熟禾群丛 (Ass. *Leymus chinensis*+*Poa pratensis*)、羊草+寸草臺群丛 (Ass. *Leymus chinensis*+*Carex duriuscula*)、冰草+大针茅群丛 (Ass. *Agropyron cristatum*+*Stipa grandis*)、糙隐子草+羊草群丛 (Ass. *Cleistogenes squarrosa*+*Leymus chinensis*)、星毛委陵菜+冰草群丛 (Ass. *Potentilla acaulis*+*Agropyron cristatum*)、大针茅+羊草群丛 (Ass. *Stipa grandis*+*Leymus chinensis*)、大针茅+糙隐子草群丛 (Ass. *Stipa grandis*+*Cleistogenes squarrosa*)、红柴胡+糙隐子草群丛 (Ass. *Bupleurum scorzonerifolium*+*Cleistogenes squarrosa*)、红柴胡+龙须菜群丛 (Ass. *Bupleurum scorzonerifolium*+*Asparagus schoberioides*) 和寸草臺+脚臺草群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Carex pediformis*)。

Ⅲ级为中度退化草原, $0.65 < \text{SCDI} < 1.00$, 包含17个样地; 优势种主要包括寸草臺、朝天委陵菜 (*Potentilla supina* Linn.)、羽茅、羊草、脚臺草、冷蒿 (*Artemisia frigida* Willd.)、大针茅、糙隐子草、草地早熟禾、星毛委陵菜和黄蒿 (*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)。这些优势种组成了12个群丛, 分别为大针茅+寸草臺群丛 (Ass. *Stipa grandis*+*Carex duriuscula*)、大针茅+糙隐子草+羊草群丛 (Ass. *Stipa grandis*+*Cleistogenes squarrosa*+*Leymus chinensis*)、寸草臺+羊草群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Leymus*

chinensis)、寸草臺+草地早熟禾群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Poa pratensis*)、寸草臺+星毛委陵菜群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Potentilla acaulis*)、寸草臺+朝天委陵菜群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Potentilla supina*)、寸草臺+大针茅群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Stipa grandis*)、朝天委陵菜+寸草臺群丛 (Ass. *Potentilla supina*+*Carex duriuscula*)、羽茅+寸草臺群丛 (Ass. *Achnatherum sibiricum*+*Carex duriuscula*)、羊草+寸草臺+糙隐子草群丛 (Ass. *Leymus chinensis*+*Carex duriuscula*+*Cleistogenes squarrosa*)、脚臺草+黄蒿群丛 (Ass. *Carex pediformis*+*Artemisia scoparia*) 和冷蒿+大针茅群丛 (Ass. *Artemisia frigida*+*Stipa grandis*)。

Ⅳ级为重度退化草原, $\text{SCDI} \geq 1.00$, 包含22个样地; 优势种主要包括寸草臺、羊草、脚臺草、星毛委陵菜、冰草、亚洲蓍、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.)、糙隐子草、尖头叶藜 (*Chenopodium acuminatum* Willd.)、葶苈 (*Draba nemorosa* Linn.)、大针茅、羽茅、披针叶黄华和黄蒿。这些优势种组成了12个群丛, 分别为寸草臺+羊草+亚洲蓍群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Leymus chinensis*+*Achillea asiatica*)、寸草臺+蒲公英群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Taraxacum mongolicum*)、寸草臺+冰草群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Agropyron cristatum*)、寸草臺+星毛委陵菜+大针茅群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Potentilla acaulis*+*Stipa grandis*)、寸草臺+糙隐子草群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Cleistogenes squarrosa*)、寸草臺+尖头叶藜群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Chenopodium acuminatum*)、寸草臺+大针茅+羽茅群丛 (Ass. *Carex duriuscula*+*Stipa grandis*+*Achnatherum sibiricum*)、脚臺草+寸草臺+葶苈群丛 (Ass. *Carex pediformis*+*Carex duriuscula*+*Draba nemorosa*)、星毛委陵菜+寸草臺群丛 (Ass. *Potentilla acaulis*+*Carex duriuscula*)、羊草+寸草臺+披针叶黄华群丛 (Ass. *Leymus chinensis*+*Carex duriuscula*+*Thermopsis lanceolata*)、羊草+黄蒿群丛 (Ass. *Leymus chinensis*+*Artemisia scoparia*) 和冰草+寸草臺群丛 (Ass. *Agropyron cristatum*+*Carex duriuscula*)。

2.2 不同等级退化草原群落间物种多样性的比较

呼伦贝尔典型草原不同等级退化草原群落的物种多样性差异见表1。结果显示: 不同等级退化草原群落间的物种丰富度 (S)、Shannon-Wiener 指数 (H')

和 Simpson 指数 (P) 存在显著差异,但 Pielou 指数 (J) 无显著差异。其中, I 级和 II 级退化草原群落的 S 、 H' 和 P 值均显著高于 III 级和 IV 级退化草原群落,但 I 级与 II 级退化草原群落间、III 级与 IV 级退化草原群落间的 S 、 H' 和 P 值总体无显著差异。

随退化程度的增大, S 、 H' 和 P 值均呈逐渐降低的趋势。I 级退化草原群落的 S 值为 29.50, 显著高

于其他等级的退化草原群落; IV 级退化草原群落的 S 值最低, 仅为 14.14。I 级退化草原群落的 H' 值最高, 为 2.41; IV 级退化草原群落的 H' 值最低, 仅为 1.76。I 级退化草原群落的 P 值最高, 为 0.87; IV 级退化草原群落的 P 值最低, 仅为 0.77。I 级和 III 级退化草原群落的 J 值最高, 均为 0.82; 而 IV 级退化草原群落的 J 值最低, 仅为 0.79。

表 1 呼伦贝尔典型草原不同等级退化草原群落间物种多样性的比较 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Comparison on species diversity of degradation steppe community with different grades of Hulun Buir typical steppe ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

退化等级 Degradation grade	退化程度 Degradation degree	物种丰富度 Species richness	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 指数 Pielou index
I	未退化 Undegraded	29.50±2.50a	2.41±0.12a	0.87±0.01a	0.82±0.07a
II	轻度退化 Lightly degraded	23.56±1.75b	2.19±0.09a	0.84±0.02a	0.81±0.07a
III	中度退化 Moderately degraded	14.53±1.04c	1.83±0.07b	0.79±0.01b	0.82±0.07a
IV	重度退化 Seriously degraded	14.14±0.78c	1.76±0.07b	0.77±0.01b	0.79±0.02a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P < 0.05$) difference.

2.3 不同等级退化草原群落间生物量的比较

呼伦贝尔典型草原不同等级退化草原群落的生物量差异见表 2。结果显示: 不同等级退化草原群落间的地上生物量和枯落物生物量存在显著差异, 但地下生物量无显著差异。其中, I 级和 II 级退化草原群落的地上生物量和枯落物生物量均显著高于 III 级和 IV 级退化草原群落, 且 I 级与 II 级退化草原群落间存在显著差异, 而 III 级与 IV 级退化草原群落间则无显著差异。

随退化程度的增大, 地上生物量和枯落物生物量

呈逐渐降低的趋势。IV 级退化草原群落的地上生物量、地下生物量和枯落物生物量均最低, 分别仅为 18.02、2189.58 和 12.98 $g \cdot m^{-2}$ 。I 级退化草原群落的地上生物量为 204.45 $g \cdot m^{-2}$, 显著高于其他等级的退化草原群落; II 级退化草原群落的地下生物量最高, 达到 3375.73 $g \cdot m^{-2}$; I 级退化草原群落的枯落物生物量高, 达到 202.86 $g \cdot m^{-2}$ 。

总体上看, 在不同等级退化草原群落中, 地下生物量最高, 大幅度高于地上生物量和枯落物生物量; 而地上生物量仅小幅高于枯落物生物量。

表 2 呼伦贝尔典型草原不同等级退化草原群落间生物量的比较 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 2 Comparison on biomass of degradation steppe community with different grades of Hulun Buir typical steppe ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

退化等级 Degradation grade	退化程度 Degradation degree	地上生物量/ $(g \cdot m^{-2})$ Above-ground biomass	地下生物量/ $(g \cdot m^{-2})$ Under-ground biomass	枯落物生物量/ $(g \cdot m^{-2})$ Litter biomass
I	未退化 Undegraded	204.45±17.77a	2951.75±501.47a	202.86±46.80a
II	轻度退化 Lightly degraded	137.06±10.69b	3375.73±649.02a	81.52±9.65b
III	中度退化 Moderately degraded	41.29±5.74c	2677.08±328.88a	28.70±4.55c
IV	重度退化 Seriously degraded	18.02±1.74c	2189.58±101.63a	12.98±2.25c

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant difference ($P < 0.05$).

2.4 草原群落退化指数 (SCDI) 与物种多样性及生物量的相关性

对呼伦贝尔典型草原的 SCDI 值与 65 个样地的物种多样性和生物量指标进行 Pearson 相关性分析, 并将与 SCDI 值显著相关的物种多样性和生物量指标进行曲线拟合, 结果分别见表 3 和图 1。

由表 3 可见: 呼伦贝尔典型草原的 SCDI 值与物种丰富度 (S)、Shannon-Wiener 指数 (H')、Simpson 指数 (P)、地上生物量和枯落物生物量存在极显著负相关, 与地下生物量存在显著负相关, 但与 Pielou 指数 (J) 无显著相关性; 且 SCDI 值与 S 、 H' 和 P 值以及地上生物量、枯落物生物量和地下生物量的拟合方程均

为一元二次方程, 相关性均达到极显著或显著水平。

由图 1 可见, 呼伦贝尔典型草原群落的 S 、 H' 和 P 值均随 SCDI 值的增大呈先逐渐降低后趋于平缓的趋势。未退化草原群落 ($0.20 < \text{SCDI} \leq 0.40$) 的 S 值整体较高, 最大值为 38.00; 重度退化草原群落 ($\text{SCDI} \geq 1.00$) 的 S 值整体较低, 最小值仅为 9.00。未退化草原群落的 H' 值整体较高, 最大值为 2.72; 重度退化草原群落的 H' 值整体较低, 最小值仅为 0.79。轻度退化草原群落 ($0.40 < \text{SCDI} \leq 0.65$) 的 P 值整体较高, 最大值为 0.91; 重度退化草原群落的 P 值整体较低, 最小值仅为 0.58。

由图 1 还可见, 呼伦贝尔典型草原群落的地上生物量、地下生物量和枯落物生物量均随 SCDI 值的增大呈逐渐降低的趋势。未退化草原群落的地上生物

表 3 呼伦贝尔典型草原的草原群落退化指数 (SCDI) 与物种多样性及生物量的相关系数和拟合方程¹⁾

Table 3 Correlation coefficient and fitting equation of steppe community degradation index (SCDI) with species diversity and biomass of Hulun Buir typical steppe¹⁾

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	拟合方程 Fitting equation	R^2
S	-0.636**	$y = 20.29x^2 - 48.55x + 42.43$	0.457**
H'	-0.511**	$y = 0.74x^2 - 1.85x + 2.90$	0.288**
P	-0.429**	$y = 0.14x^2 - 0.32x + 0.95$	0.218**
J	-0.126	—	—
AGB	-0.878**	$y = 236.27x^2 - 588.87x + 374.31$	0.852**
UGB	-0.275*	$y = 1659.51x^2 - 4186.17x + 4845.52$	0.082*
LB	-0.692**	$y = 345.71x^2 - 726.04x + 384.05$	0.633**

¹⁾ S : 物种丰富度 Species richness; H' : Shannon - Wiener 指数 Shannon-Wiener index; P : Simpson 指数 Simpson index; J : Pielou 指数 Pielou index; AGB: 地上生物量 Above-ground biomass; UGB: 地下生物量 Under-ground biomass; LB: 枯落物生物量 Litter biomass. **: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$. —: 无方程 No equation.

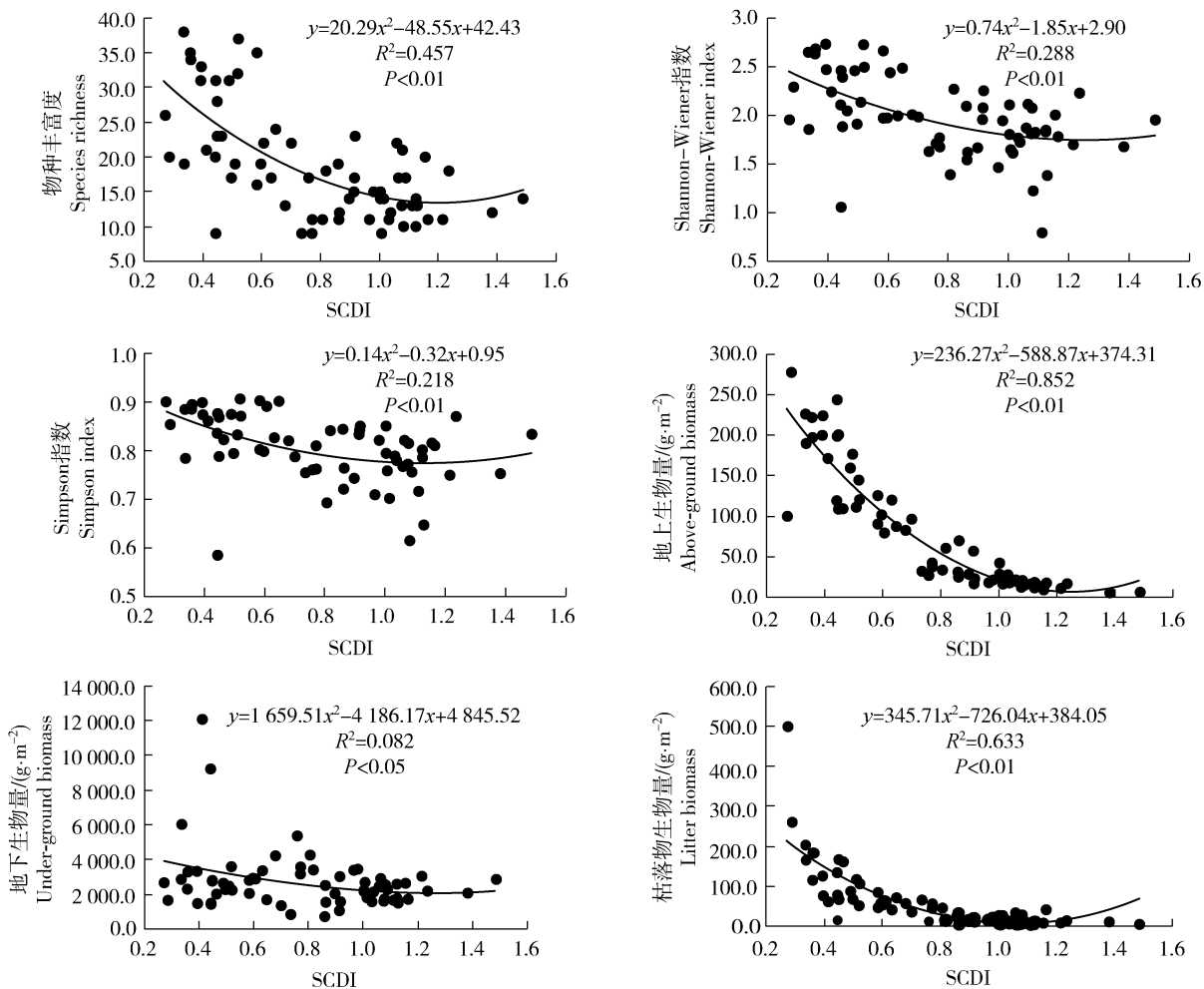


图 1 呼伦贝尔典型草原的草原群落退化指数 (SCDI) 与物种多样性及生物量的拟合曲线

Fig. 1 Fitted curves on steppe community degradation index (SCDI) with species diversity and biomass of Hulun Buir typical steppe

量、地下生物量和枯落物生物量整体均较高,最大值分别达到 277.44、12 073.04 和 498.87 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。重度退化草原群落的地上生物量和枯落物生物量整体均较低,最小值分别为 6.28 和 1.82 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$;中度退化草原群落 ($0.65 < \text{SCDI} < 1.00$) 的地下生物量整体较低,最小值为 721.02 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3 讨论和结论

上述研究结果显示:在呼伦贝尔草原 4 个等级退化草原群落中,重度退化草原群落的样地数量最多;且随退化程度的增大,草原群落的地上生物量和枯落物生物量均呈降低的趋势且存在显著差异,这与草原退化程度密切相关。相关研究结果^[33-35]表明:随着草原退化程度的增大,草原群落结构与群落中的优势种发生明显变化;气候变化和人为干扰是导致草原退化的主要原因,其中,过度放牧是导致草原退化的最主要原因。20 世纪 60 年代至 90 年代,因大面积草原被开垦为耕地,导致呼伦贝尔草原严重退化和沙化,尽管这种耕作方式已被禁止,但严重退化的草原短期内难以恢复。1987 年至 2002 年,呼伦贝尔草原沙化面积的年扩张速率高达 6.1%,为中国近年来沙化发展较快的区域之一^[36];20 世纪 50 年代至 80 年代,呼伦贝尔地区平均气温上升 1.1 $^{\circ}\text{C}$,同期平均降水量则减少 54 mm,说明随降水减少和蒸发损失增加,草原退化和沙化加速^[37]。因此,呼伦贝尔草原退化是气候变化和草原不合理利用共同作用的结果^[38-39]。随着呼伦贝尔草原畜牧强度的变化,草原植物群落的各种类数量及其功能地位也发生了明显改变^[33]。由于家畜的选择性采食,草原中优良牧草的比例和生物量大幅下降,最终劣质牧草在群落中占优势;过度放牧导致群落优势种被代替,最终演变成杂类草群落^[40],进而使草原植被质量下降。此外,家畜的采食造成植物合成和吸收营养物质的器官被破坏,影响植物光合效率,进而影响植物生长,导致植物群落的高度、盖度和生物量下降^[35]。这就是导致呼伦贝尔草原的群落结构、物种多样性和生物量随退化程度的增大而显著降低的主要原因。

Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数能分别反映群落中植物种类的总数、植物种类所占比例及各种类个体数量分配比例的均匀程度^[35]。本研究中,随草原退化程度的增大,物种丰富度、

Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数均逐渐降低,但 Pielou 指数无显著差异,说明呼伦贝尔草原退化主要影响草原群落的物种丰富度,但对物种均匀度无显著影响。刘钟龄等^[2]认为,在内蒙古草原退化与恢复演替过程中,退化群落的物种均匀度(Pielou 指数)较高,且随恢复演替进程而降低,在成熟群落中趋于匀质化;王合云等^[35]的研究结果表明:随草原退化程度的增大,群落的 Pielou 指数呈逐渐增大的趋势,在重度退化草原中 Pielou 指数最大,可能原因是重度放牧使群落物种的分布更为匀质化,表现出较高的均匀度。本研究中,随草原退化程度的增大,Pielou 指数虽然无显著变化,但仍有小幅降低。在未退化原生草原群落中,物种丰富度较高,盖度较高,物种分布较为均匀;在重度退化草原群落中,过度放牧是导致草原退化的主要原因,动物选择喜好的植物啃食,这些植物种类通常是草原群落的优势种,因此其分布的均匀度降低,但未被啃食的植物在短期内并不会因为优势种的改变使其生态位幅度增加而快速扩散,因此,与未退化原生草原群落相比,重度退化草原群落的物种均匀度不会明显降低。

本文结果表明:随草原退化程度的增大,呼伦贝尔草原地上生物量和枯落物生物量呈逐渐降低的趋势,但地下生物量无显著变化。马维伟等^[41]认为,随着草原退化程度的增大,草原群落整体生物量呈明显降低的趋势,草原退化不仅使草原群落生物量减少,也导致其个体生物量减少。未退化的草原生态系统十分稳定^[42],土壤水分条件及理化性质处于最佳状态,植物生长发育快速,群落物种丰富,优势种密度高^[10]。而在重度退化草原群落中,过度放牧仅使群落地上生物量改变但并未直接导致地下根系的重新分布和生长,因而,放牧对植物地下根系的影响效应有一定滞后性。李剑杨等^[43]对呼伦贝尔草原根系分布特征及其与草原退化的关系进行了研究,发现不同草原植物的根系垂直分布构型不同,不同垂直分布构型植物的地下生物量对草原退化程度的响应敏感度也存在差异。由于本研究包含多种不同群落类型,其根系垂直分布构型复杂,因此,随草原退化程度的增大,地下生物量并未发生显著变化。

目前,对草原植被退化状况的研究多采用草原群落实地调查数据中的某个指标,如马梅等^[10]和曹旭娟等^[11]采用样地总盖度,杨娇等^[12]采用物种重要值,吴璇等^[13]采用样地的地上生物量对草原退化状

况进行评价。相比其他退化指数,作者根据群落调查数据提出了草原群落退化指数(SCDI),其定义为群落的相对盖度、相对高度和相对总生物量的加权平均值的倒数。从群落生态学方面看,这一指标量化解析了草原退化程度与草原群落间的关系;从统计分析方面看,该指标消除了单一指标计算造成的数据误差,是一个衡量草原退化程度的可量化综合指数。但有关SCDI值对草原群落退化程度评价的准确性和科学性及其应用范围还有待更多的研究实例加以验证。

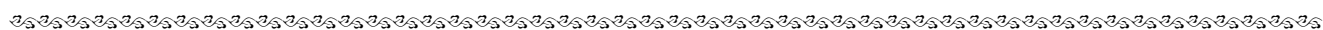
综合分析结果表明:根据SCDI值可将呼伦贝尔典型草原的退化程度分成4个等级,即未退化草原(I级)、轻度退化草原(II级)、中度退化草原(III级)和重度退化草原(IV级)。随退化程度的增大,草原群落的物种丰富度、Shannon-Wiener指数和Simpson指数均逐渐降低,Pielou指数则无显著变化,说明呼伦贝尔草原退化主要对其物种丰富度和多样性有较大影响。随退化程度的增大,草原群落的地上生物量和枯落物生物量逐渐降低,但地下生物量无显著变化,说明呼伦贝尔草原退化主要对其地上生物量和枯落物生物量有较大影响。草原群落的SCDI值与其物种丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数、地上生物量和枯落物生物量呈极显著负相关,与地下生物量呈显著负相关,说明呼伦贝尔草原退化对其生物多样性及生产力均产生负作用。

参考文献:

- [1] ZHAO H, LIU S, DONG S, et al. Analysis of vegetation change associated with human disturbance using MODIS data on the rangelands of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *The Rangeland Journal*, 2015, 37: 77-87.
- [2] 刘钟龄,王 炜,郝敦元,等. 内蒙古草原退化与恢复演替机理的探讨[J]. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(1): 84-91.
- [3] WANG P, LASSOIE J P, MORREALE S J, et al. A critical review of socioeconomic and natural factors in ecological degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau, China [J]. *The Rangeland Journal*, 2015, 37: 1-9.
- [4] 李宏永. 内蒙古典型草原地带退化草原的恢复动态[J]. *生物多样性*, 1995, 3(3): 125-130.
- [5] 王永利,云文丽,梁存柱,等. 内蒙古典型草原区植被格局变化及退化成因探讨[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(10): 144-149.
- [6] 漫 静,邓 波,张佳良,等. 覆盖枯草对内蒙古典型草原植被特征和土壤特性的影响[J]. *中国草地学报*, 2016, 38(2): 59-64.
- [7] DONG S, LASSOIE J P, WEN L, et al. Degradation of rangeland ecosystems in the developing world: tragedy of breaking coupled human-natural systems [J]. *International Journal of Sustainable Society*, 2012, 4(4): 357-371.
- [8] 王新云,郭艺歌,何 杰. 基于多源遥感数据的草地生物量估算方法[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 159-166.
- [9] 李 博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. *中国农业科学*, 1997, 30(6): 1-9.
- [10] 马 梅,张圣微,魏宝成. 锡林郭勒草原近30年草地退化的变化特征及其驱动因素分析[J]. *中国草地学报*, 2017, 39(4): 86-93.
- [11] 曹旭娟,干珠扎布,梁 艳,等. 基于NDVI的藏北地区草地退化时空分布特征分析[J]. *草业学报*, 2016, 25(3): 1-8.
- [12] 杨 娇,安沙舟,董乙强,等. 退化程度对紫花针茅花期种群构件生长及生物量分配的影响[J]. *中国草地学报*, 2018, 40(4): 75-81.
- [13] 吴 璇,王立新,刘华民,等. 内蒙古高原典型草原生态系统健康评价和退化分级研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(5): 47-51.
- [14] 王 奇,王金枝,姜丽丽,等. 氮和磷添加对草原群落特征及有关生态过程的影响[J]. *草地学报*, 2017, 25(5): 914-920.
- [15] 卜耀军,张 雄,艾海舰,等. 榆林风沙草滩区物种多样性研究[J]. *水土保持通报*, 2008, 28(4): 80-85.
- [16] 王震洪. 基于植物多样性的生态系统恢复动力学原理[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 1965-1971.
- [17] 张继义,赵哈林. 短期极端干旱事件干扰下退化沙质草地群落抵抗力稳定性的测度与比较[J]. *生态学报*, 2010, 30(20): 5456-5465.
- [18] 董世魁,汤 琳,张相锋,等. 高寒草地植物物种多样性与功能多样性的关系[J]. *生态学报*, 2017, 37(5): 1472-1483.
- [19] 郑晓翔,赵家明,张玉刚,等. 呼伦贝尔草原生物量变化及其与环境因子的关系[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(4): 533-538.
- [20] 孙 菁,彭 敏,陈桂琛,等. 青海湖区针茅草原生物量的动态变化[J]. *草业科学*, 2004, 21(7): 1-5.
- [21] 陈晓鹏,尚占环. 中国草地生态系统碳循环研究进展[J]. *中国草地学报*, 2011, 33(4): 99-110.
- [22] BAI Y, WU J, XING Q, et al. Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia Plateau [J]. *Ecology*, 2008, 89(8): 2140-2153.
- [23] 闫 炜,呼格吉勒图,那仁满都拉. 呼伦贝尔草原气候变化特征简析——以陈巴尔虎旗为例[J]. *内蒙古科技与经济*, 2016(16): 58-60.
- [24] 陈巴尔虎旗志编纂委员会. 陈巴尔虎旗志[M]. 呼伦贝尔: 内蒙古文化出版社, 1998: 1-792.
- [25] 李 健,张 静,张传霞,等. 试谈陈巴尔虎旗草原沙化成因及治理措施[J]. *呼伦贝尔学院学报*, 2008, 16(4): 37-39.
- [26] 刘东霞. 呼伦贝尔草原生态环境脆弱性分析及生态承载力评价——以陈巴尔虎旗为例[D]. 北京: 北京林业大学林学院, 2007.
- [27] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 467-641.

- [28] 罗刚, 白力生, 张颖, 等. 陈巴尔虎旗沙地治理工程对沙地草原生态环境的影响[J]. 内蒙古林业调查设计, 2015, 38(6): 42-45.
- [29] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 143-149.
- [30] 宋永昌. 植被生态学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2016: 396-397.
- [31] 赵一之, 赵利清. 内蒙古维管植物检索表[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 1-426.
- [32] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容和规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
- [33] 张爱宁, 安沙舟, 荀其蕾, 等. 大尤尔都斯高寒草原退化演替序列的划分[J]. 草业科学, 2016, 33(10): 2093-2103.
- [34] 杨秀海, 卓嘎, 边多. 藏西北高寒牧区气候特征及草地退化原因分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(2): 113-118.
- [35] 王合云, 郭建英, 李红丽, 等. 短花针茅荒漠草原不同退化程度的植被特征[J]. 中国草地学报, 2015, 37(3): 74-79.
- [36] 聂浩刚, 岳乐平, 杨文, 等. 呼伦贝尔草原沙漠化现状、发展态势与成因分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 635-639.
- [37] 吕世海, 卢欣石, 金维林. 呼伦贝尔草地风蚀沙漠化演变及其逆转研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 59-63.
- [38] 王炜, 刘钟龄, 郝敦元, 等. 内蒙古退化草原植被对禁牧的动态响应[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(3): 236-240.
- [39] 王明玖, 李青丰, 青秀玲. 贝加尔针茅草原围栏封育和自由放牧条件下植物结实数量的研究[J]. 中国草地, 2001, 23(6): 21-26.
- [40] 王静, 杨持, 王铁娟. 放牧退化群落中冷蒿种群生物量资源分配的变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2316-2320.
- [41] 马维伟, 王辉, 李广, 等. 甘南尕斯湖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): 5091-5101.
- [42] 刘丽, 李政海, 鲍雅静, 等. 典型草原植物群落根系垂直分布与草原退化阶段的对应变化关系[J]. 中国草地学报, 2018, 40(1): 93-98.
- [43] 李剑杨, 刘丽, 李政海, 等. 呼伦贝尔草原根系分布特征及其与植物功能类群及草原退化的关系[J]. 中国草地学报, 2016, 38(4): 55-62.

(责任编辑: 郭严冬)



《生物质化学工程》2020年征订启事

《生物质化学工程》是由国家林业和草原局主管、中国林业科学研究院林产化学工业研究所主办的, 面向国内外公开发行的全国生物质化工行业的技术类刊物。本刊被美国《化学文摘》(CA)和《乌利希国际期刊指南》收录, 为北大中文核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊(A)、中国农业核心期刊、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、万方数据——数字化期刊群、CEPS中文电子期刊服务的全文收录期刊, 并为中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊和《CAJ-CD规范》执行优秀期刊。

报道范围: 可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用, 包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等。主要报道内容为松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、

木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。主要栏目: 研究报告、综述评论、行业热点、国内外信息等。读者对象: 适于从事生物质化学工业、林产化学工业、林业、农业、森工、能源、轻工、化工、环保、医药、食品、土产、商检、外贸等行业从事科研、教学、生产、经营、设计工作等相关人士阅读。

本刊为双月刊, 单月月底出版, A4开本, 每期66页; 国内统一连续出版物号CN 32-1768/S, 国际标准连续出版物号ISSN 1673-5854。全国各地邮局发行, 邮发代号28-205, 每册定价10元, 全年订价60元; 国外发行代号BM 2743, 全年定价60美元。地址: 江苏省南京市锁金五村16号林化所内(邮编: 210042); 电话: 025-85482492, 025-85482492(传真); 网址: <http://www.bce.ac.cn>; E-mail: bce@vip.163.com。

欢迎积极投稿、踊跃订阅或来电来函联系广告业务!