

干扰程度对典型草原植物群落数量特征及物种多样性的影响

王敏,张鲜花*,袁小强,袁惠

(新疆农业大学草业学院,新疆草地资源与生态重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:【目的】为明晰不同程度的干扰对典型草原植物群落数量特征及物种多样性的影响。【方法】通过野外调查和遥感影像解译数据,在放牧和未放牧交互区选取未干扰、轻度干扰、中度干扰和重度干扰4种干扰等级的草地。分别从群落数量特征和物种多样性两个方面,探讨干扰影响下草地群落的变化。【结果】随着干扰程度的加剧:(1)群落优势种数量减少,重要值下降1.21倍。杂类草数量增加,重要值增加59.70%。(2)群落的高度、盖度和密度呈显著下降的趋势($P<0.05$)。其中,群落高度下降79.74%,群落盖度下降70.99%,群落密度下降59.39%。(3)群落地上生物量呈现先降低后增加的趋势,在各干扰程度间差异显著($P<0.05$);群落地下生物量和各土层的地下生物量均表现为降低后趋于稳定的趋势,且地下根系主要集中在0~10 cm土层中。(4)物种多样性未呈现一致的变化规律。其中,物种丰富度指数和Simpson指数在重度干扰草地时最高,Shannon-Wiener指数和Pielou指数在轻度干扰草地时最高。【结论】研究结果可为山地草原退化治理提供基础数据。

关键词:典型草原;不同干扰程度;群落数量特征;物种多样性

中图分类号:S812.6⁺8 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)04-0122-08

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.04.016



天山北坡地处准噶尔盆地南部,南起天山分水岭,北至天山北坡山地冲积扇缘。自然地理条件差异极大,草地类型丰富多样^[1],是北疆重要的天然屏障。其中,山地草原是其主要草地类型之一,呈带状分布,以针茅(*Stipa capillata*)、羊茅(*Festuca ovina*)型草地最具有代表性,主要分布于天山北坡中低海拔山区的山地,是重要的放牧草地之一,对发展草食畜牧业、维护草地生态系统安全具有重要作用^[2]。近年来,由于气候因素及超载放牧等原因,草地退化状况愈加明显,主要表现为草地植被覆盖度下降,草地综合生产力降低,优良牧草数量减少,生态环境恶化,草地退化

状况已严重威胁到草地的可持续发展和当地牧民的经济。

由于全国不同区域草地退化的表现形式多样,为探究不同干扰程度下典型草原的退化表现现状,本研究以天山北坡中段及东段山地草原的代表性群落为研究对象,以群落特征变化为第一直接监测对象,分析草地退化对群落物种组成、群落数量特征、群落物种多样性等方面的影响,以期制定新疆山地草原草地退化评价体系提供基础数据,为草地退化程度提出定性评价。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于天山北坡中段及东段山地草原草地带,地理位置N 43°00'~45°00',E 86°00'~90°30',海拔1 200~1 800 m,地处天山北麓,准噶尔盆地东南缘,南高北低,属于中温带区,为典型的大陆性干旱气

收稿日期:2022-04-18;修回日期:2022-06-13

基金项目:“2021年中央林业草原生态保护修复资金-草地生态修复治理补助”

作者简介:王敏(1996-),河南省三门峡市人,硕士研究生。

E-mail:wmin240100@163.com

*通信作者。E-mail:xjauzjh@126.com

候,年均气温6.8℃,年均降水量190 mm,年无霜期达到160~190 d。

调查群落优势种主要以针茅(*Stipa capillata*)、羊茅(*Festuca ovina*)、短柱苔草(*Carex turkestanica*)为主。伴生种常以多年生杂类草、蒿类半灌木组成,如冷蒿(*Artemisia frigida*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、山野火绒草(*Leontopodium campestre*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)等。土壤类型为栗钙土,生成于黄土状母质或坡积物上,呈微碱性至碱性反应。该区域主要为春秋季节放牧草场,放牧干扰较为

严重。

1.2 野外调查与取样

样地设置:2021年7—8月,以20世纪80年代草地类型图为依据,沿天山北坡中段至东段,选取针茅、羊茅型山地草原为代表草地类型,参考文献[3]设置调查样地。按照草地受干扰的程度,结合遥感影像解译数据,将调查样地划分为未干扰、轻度干扰、中度干扰、重度干扰4个不同的干扰等级(表1)。在取样地段每隔10 km设置1个调查样点,每个调查样点设置1个调查样地,面积10 m×10 m。为确保数据的可靠性,每个样地设置3个1 m×1 m的样方。

表1 不同干扰程度样地信息

Table 1 Information of sample plots with different disturbance levels

干扰程度	群落类型	植被特征	土壤类型	利用方式
未干扰	针茅+羊茅—短柱苔草	优势植物以针茅、羊茅、短柱苔草为主,伴生种有冷蒿、二裂委陵菜、黄芪等,高度(16.09±2.45)cm,盖度(20.89±3.08)%,地上生物量(22.94±4.30)g/m ²	栗钙土	未放牧
轻度干扰	针茅+羊茅—短柱苔草	优势植物以针茅、羊茅、短柱苔草为主,伴生种有冷蒿、二裂委陵菜、冰草等,高度(10.79±1.22)cm,盖度(11.27±1.06)%,地上生物量(14.60±2.77)g/m ²	栗钙土	放牧
中度干扰	针茅+羊茅—短柱苔草	优势植物以针茅、羊茅、短柱苔草为主,伴生种有冷蒿、糙隐子草、黄芪、黄花苜蓿等,高度(4.06±0.64)cm,盖度(7.25±1.15)%,地上生物量(5.40±0.82)g/m ²	栗钙土	放牧
重度干扰	针茅+羊茅—千叶蓍	优势植物以针茅、羊茅、千叶蓍为主,伴生种有火绒草、二裂委陵菜、黄芪、珠芽蓼等,高度(3.26±0.26)cm,盖度(6.06±0.53)%,地上生物量(10.19±1.38)g/m ²	栗钙土	放牧

测定内容:调查记录样方内的物种数,测定群落高度、群落盖度、群落密度、地上生物量及地下生物量。为进一步研究,将植物物种分为禾本科类、莎草科类、豆科类和多年生杂类草4个功能群,测定指标相同。

测定方法:群落高度采用卷尺测量植被的自然生长高度;群落盖度采用针刺法测定;群落密度采用计数法记录单位面积内各物种的株数;地上生物量采用齐地面刈割法对植株地上部分重量进行测定;在采集完地上植被后的样方内,按照三角取样法选取3个样方,采用切块法分别获取0~10、10~20、20~30 cm共3个土层的地下根系并置于纱网袋中,带回实验室清洗风干后在65℃下烘干至恒重,称其重量。

1.3 数据分析与处理

1.3.1 数据分析 (1)重要值测定^[4]公式如下:

重要值=(相对高度+相对盖度+相对密度+相对生物量)/4

(2)物种多样性测度

采用 α 多样性常用测度指数^[5-6],包括物种多样性指数 Shannon—Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)和物种均匀度指数 Pielou 指数(P)和物种丰富度(R)。计算公式如下:

$$P_i = N_i/N$$

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

$$P = H/\ln S$$

$$R = S$$

式中: S 为群落中的总物种数; P_i 为第*i*个物种的

重要值。

1.3.2 数据处理 采用SPSS 20.0软件进行数据的处理分析,用单因素方差分析不同干扰程度下草地群落的高度、盖度、密度、地上生物量和地下生物量的差异,同时对功能群间的差异性进行检验。采用Origin 2020进行绘图。

2 结果与分析

2.1 干扰程度对群落物种组成及功能群数量的影响

随着干扰程度的加大,优势种针茅、羊茅在群落中的数量逐渐降低(表2)。重要值从0.73下降到0.33,共下降了1.21倍;杂类草在群落中的数量增加,

表2 不同干扰程度下群落的物种组成及重要值

Tab. 2 Species composition and importance values of communities under different disturbance levels

干扰程度	植物名称	科	属	重要值
未干扰	针茅(<i>Stipa capillata</i>)	禾本科	针茅属	0.28
	羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	禾本科	羊茅属	0.45
	冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	禾本科	冰草属	0.01
	短柱苔草(<i>Carex turkestanica</i>)	莎草科	苔草属	0.19
	黄芪(<i>Astragalus membranaceus</i>)	豆科	黄芪属	0.03
	二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)	蔷薇科	委陵菜属	0.02
	冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)	菊科	蒿属	0.01
	茜草(<i>Rubia cordifolia</i>)	茜草科	茜草属	0.01
轻度干扰	针茅(<i>Stipa capillata</i>)	禾本科	针茅属	0.23
	羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	禾本科	羊茅属	0.27
	镰芒针茅(<i>Stipa caucasica</i>)	禾本科	针茅属	0.08
	冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	禾本科	冰草属	0.03
	短柱苔草(<i>Carex turkestanica</i>)	莎草科	苔草属	0.29
	黄芪(<i>Astragalus membranaceus</i>)	豆科	黄芪属	0.01
	阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i>)	菊科	狗娃花属	0.01
	火绒草(<i>Leontopodium campestre</i>)	菊科	火绒草属	0.01
	二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)	蔷薇科	委陵菜属	0.04
冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)	菊科	蒿属	0.03	
中度干扰	针茅(<i>Stipa capillata</i>)	禾本科	针茅属	0.22
	羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	禾本科	羊茅属	0.26
	糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)	禾本科	隐子草属	0.04
	短柱苔草(<i>Carex turkestanica</i>)	莎草科	苔草属	0.41
	黄芪(<i>Astragalus membranaceus</i>)	豆科	黄芪属	0.01
	白花三叶草(<i>Trifolium repens</i>)	豆科	车轴草属	0.01
	黄花苜蓿(<i>Medicago falcata</i>)	豆科	苜蓿属	0.01
	冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)	菊科	蒿属	0.02
	阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i>)	菊科	狗娃花属	0.01
	篇蓄(<i>Polygonum aviculare</i>)	蓼科	蓼属	0.01
火绒草(<i>Leontopodium leontopodioides</i>)	菊科	火绒草属	0.01	
重度干扰	针茅(<i>Stipa capillata</i>)	禾本科	针茅属	0.14
	羊茅(<i>Festuca ovina</i>)	禾本科	羊茅属	0.19
	短柱苔草(<i>Carex turkestanica</i>)	莎草科	苔草属	0.08
	黄芪(<i>Astragalus membranaceus</i>)	豆科	黄芪属	0.02
	千叶蓍(<i>Achillea millefolium</i>)	菊科	蓍草属	0.34
	火绒草(<i>Leontopodium campestre</i>)	菊科	火绒草属	0.14
	糙苏(<i>Phlomis umbrosa</i>)	唇形科	糙苏属	0.01
	二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)	蔷薇科	委陵菜属	0.06
	珠芽蓼(<i>Polygonum viviparum</i>)	蓼科	蓼属	0.02

从未干扰草地到重度干扰草地,重要值从 0.27 上升到 0.67,上升了 59.70%。

功能群组成均以禾本科和多年生杂类草为主,占比介于 22.20%~55.56%,豆科和莎草科植物占比仅占 0.09%~27.27%。其中禾本科植物和豆科植物都呈现出先增加后降低的趋势,莎草科植物没有变化,多年生杂类草的比重呈现逐渐增加的趋势。未干扰草地中的禾本科植物有 3 种、莎草科植物 1 种、豆科植

物 1 种、多年生杂类草 3 种,杂类草占比 37.5%;轻度干扰的草地中,禾本科植物 4 种、莎草科植物 1 种、豆科植物 1 种、多年生杂类草 4 种,杂类草占比 40%;中度干扰草地中,禾本科植物 3 种、莎草科植物 1 种、豆科植物 3 种、多年生杂类草 4 种,杂类草占比 36.4%;重度干扰的草地中,禾本科植物 2 种、莎草科植物 1 种、豆科植物 1 种、多年生杂类草 5 种,杂类草占比 55.6%(表 3)。

表 3 不同干扰程度下各功能群的植物种类组成

Table 3 Plant species composition of functional groups at different levels of disturbance

干扰程度	禾本科		莎草科		豆科		多年生杂类草		合计 种数
	种数	百分比/%	种数	百分比/%	种数	百分比/%	种数	百分比/%	
未干扰	3	37.50	1	12.50	1	12.50	3	37.50	8
轻度干扰	4	40.00	1	10.00	1	10.00	4	40.00	10
中度干扰	3	27.27	1	0.09	3	27.27	4	36.36	11
重度干扰	2	22.20	1	11.11	1	11.11	5	55.56	9

2.2 干扰程度对群落高度、盖度和密度的影响

2.2.1 群落植被的高度、盖度和密度变化 草地群落的高度、盖度和密度随着干扰程度的加大均呈现逐渐降低的趋势(表 4)。其中,群落高度在未干扰、轻度干扰和重度干扰之间表现出差异显著($P<0.05$);群落盖度在未干扰、轻度干扰和重度干扰之间表现出差异显著($P<0.05$);群落密度在未干扰和轻度干扰之间表现出差异显著($P<0.05$)。高度方面,群落高度从 16.09 cm 下降到 3.26 cm,下降了 79.74%;盖度方面,群落盖度从 20.89% 下降到 6.06%,下降了 70.99%;密度方面,从未干扰草地到重度干扰草地,群落密度从 73.03 株丛下降到 29.66 株丛,下降了 59.39%。

2.2.2 群落功能群的高度、盖度和密度变化 各功

表 4 不同干扰程度下群落的高度、盖度、密度

Table 4 The height, coverage and density of the community under different interference levels

干扰程度	高度/cm	盖度/%	密度(株丛)
未干扰	16.09±2.45 ^a	20.89±3.08 ^a	73.03±10.20 ^a
轻度干扰	10.79±1.22 ^b	11.27±1.06 ^b	44.06±4.02 ^b
中度干扰	4.06±0.64 ^c	7.25±1.15 ^{bc}	31.58±6.58 ^b
重度干扰	3.26±0.26 ^c	6.06±0.53 ^c	29.66±5.21 ^b

注:不同小写字母表示不同干扰程度间差异显著($P<0.05$)。下同

能群的高度、盖度、密度也随干扰程度的加大表现出一定的变化(图 1)。高度方面,从未干扰草地到重度干扰草地,群落中各功能群呈现逐渐降低的趋势。其中,禾本科植物在未干扰、轻度干扰和重度干扰草地之间表现出显著性差异($P<0.05$);豆科植物在轻度干扰和重度干扰草地间呈现显著性差异($P<0.05$);多年生杂类草在未干扰和轻度干扰草地间表现出显著性差异($P<0.05$);莎草科在各干扰程度间未呈现显著差异,呈基本稳定的状态。盖度方面,从未干扰草地到重度干扰草地,群落中各功能群表现出降低后趋于稳定的趋势。其中,禾本科植物、豆科植物和多年生杂类草均在未干扰和轻度干扰草地间表现出差异显著($P<0.05$);莎草科植物在不同干扰程度下差异不显著。密度方面,从未干扰草地到重度干扰草地,群落中各功能群未表现出一致的趋势。其中,禾本科植物随干扰程度的加大表现出逐渐降低的趋势,在未干扰和轻度干扰草地间具有显著差异($P<0.05$);莎草科植物随干扰程度的加大表现出先增加后降低的趋势,在中度干扰和重度干扰草地间具有显著差异($P<0.05$);豆科植物和多年生杂类草随干扰程度的加大表现出先降低后增加的趋势,豆科植物在未干扰和轻度干扰草地间具有显著差异($P<0.05$),多年生杂类草在中度干扰和重度干扰草地间具有显著性差异($P<0.05$)。

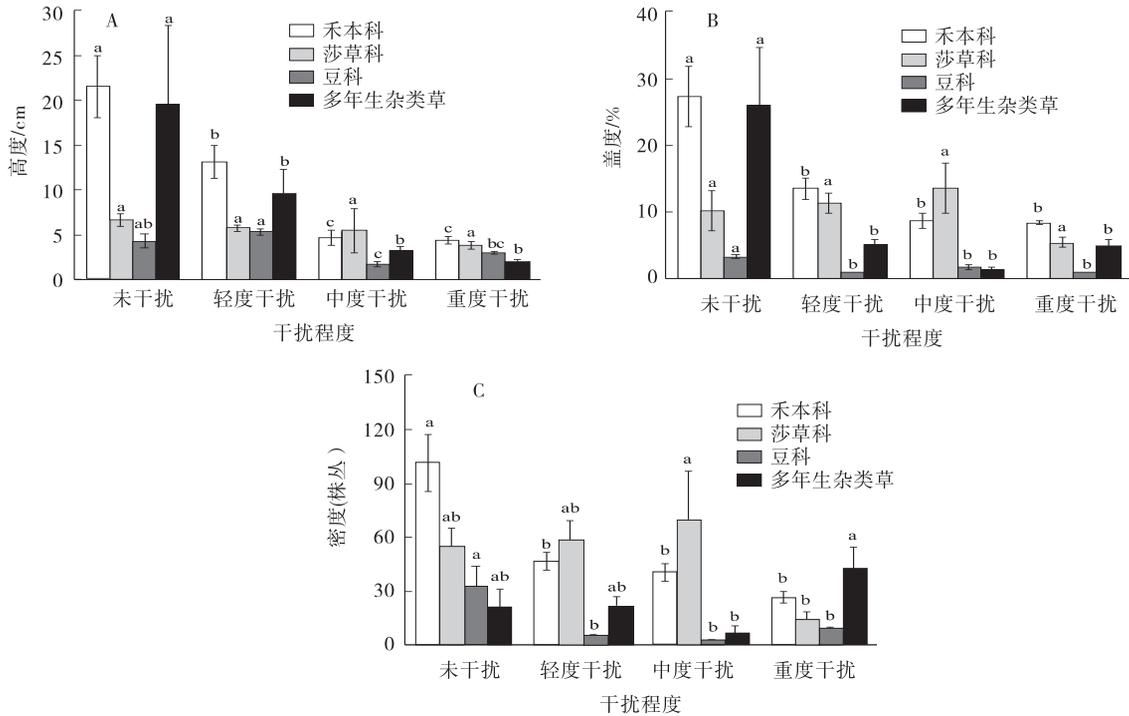


图1 甘落后不同干扰程度下群落各功能群的高度、盖度、密度变化

Fig. 1 Changes in height, cover and density of functional groups of the community under different levels of disturbance

2.3 干扰程度对群落地上生物量和地下生物量分配格局的影响

2.3.1 群落生物量的变化 群落地上生物量随干扰程度的加大呈现先降低后增加的趋势,在未干扰、轻度干扰和重度干扰草地间表现出显著性差异 ($P < 0.05$) (图1)。从未干扰草地到中度干扰草地,地上生物量从 22.94 g/m^2 下降到 5.40 g/m^2 。地下生物量随干扰程度的加大均呈现出降低后趋于稳定的趋势,各干扰程度间未表现出显著差异 ($P < 0.05$)。从未干扰草地到重度干扰草地,地下生物量从 62.35 g/m^2 下降到 44.23 g/m^2 。

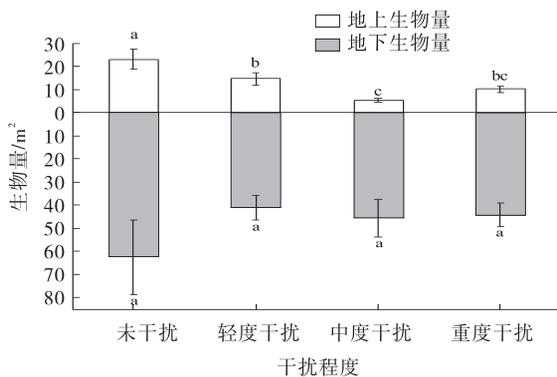


图2 不同干扰程度下群落的生物量变化

Fig. 2 Changes in the biomass of the community under different levels of disturbance

2.3.2 各功能群的地上生物量和不同土层中的地下生物量 随着干扰程度的加大,禾本科植物和多年生杂类草的地上生物量呈现降低后趋于稳定的变化趋势,且均在未干扰与轻度干扰草地间表现出差异显著 ($P < 0.05$);莎草科植物的地上生物量呈现先升高后降低的趋势,在各退化程度间差异不显著;豆科植物的地上生物量呈现出降低后趋于稳定的趋势,在未干扰与轻度干扰草地间表现出差异显著 ($P < 0.05$) (图3)。各土层的地下生物量随干扰程度的加大均呈现出降低后趋于稳定的趋势,各干扰程度间未呈现显著差异 (图4)。且地下生物量主要集中在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 的土层,均表现出 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层高于 $10 \sim 20$ 、 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 土

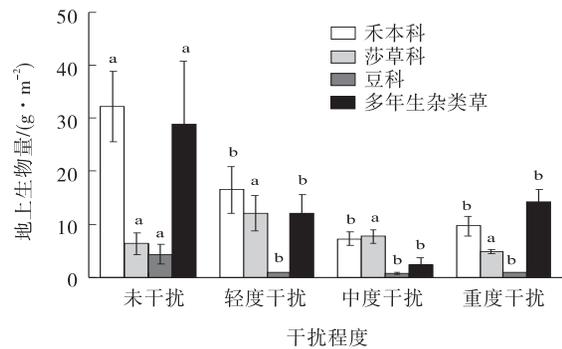


图3 不同干扰程度下群落各功能群的地上生物量变化

Fig. 3 Changes in above-ground biomass of each functional group of the community under different levels of disturbance

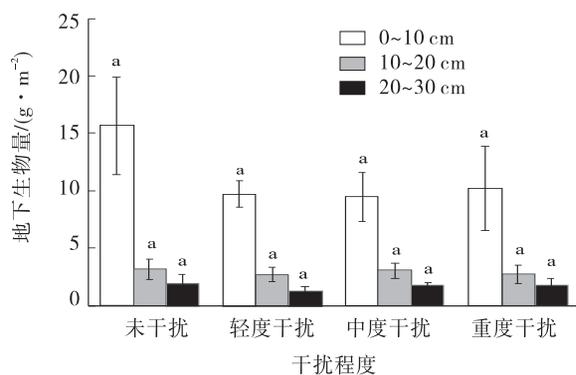


图 4 不同干扰程度下不同土层的地下生物量变化

Fig. 4 Changes in belowground biomass in different soil layers under different levels of disturbance

表 5 不同干扰程度下的植物物种多样性变化

Tab. 5 Changes in plant species diversity under different levels of disturbance

干扰程度	Simpson 指数	Shannon—Wiener 指数	Pielou 指数	物种丰富度
未干扰	0.67±0.01 ^b	1.20±0.07 ^a	0.85±0.09 ^{ab}	3.55±1.85 ^a
轻度干扰	0.74±0.03 ^{ab}	1.44±0.11 ^a	0.88±0.03 ^a	5.40±0.68 ^a
中度干扰	0.66±0.04 ^b	1.25±0.06 ^a	0.75±0.08 ^{ab}	5.67±1.20 ^a
重度干扰	0.83±0.13 ^a	1.21±0.29 ^a	0.65±0.08 ^b	6.50±1.50 ^a

3 讨论

3.1 干扰程度对群落数量特征的影响

草地植被是草地生态系统中随人为活动变化影响最敏感和最明显的成分。研究表明,随着放牧家畜的择优采食,优质牧草在群落中的比重和生物量会急剧下降,劣质牧草占比大幅上升,继而将造成优势种被定向代替的结果,草地群落最终被杂草群落代替^[7]。有研究表明,群落的高度、盖度和密度随退化程度的加大显著下降^[8]。本研究结果与之相似,在本研究中随着干扰程度的加大,草地优势种的重要值下降,杂类草的重要值增加;群落的高度和盖度逐渐降低,群落密度呈现出降低后趋于稳定的趋势;各功能群中禾本科牧草的高度、盖度和密度表现出下降的趋势。多年生杂类草的高度和盖度逐渐降低,密度逐渐降低后在重度干扰时增加。这是由于随着干扰程度的加大,种群株丛越来越破碎化和小型化^[9-10],优势种的生长被抑制,使得其他物种进入。同时,植被在干扰过程中存在补偿效应,这种补偿效应对群落稳定性起到了重要的作用^[11]。由于本研究中禾本科植物的

层的地下生物量。

2.4 干扰程度对群落植物物种多样性的影响

不同干扰程度下群落的多样性指数呈现出差异性变化。从未干扰草地到重度干扰草地,Simpson 指数呈现先增加后降低再增加的趋势,在中度干扰和重度干扰草地间差异显著($P<0.05$)。在重度干扰时达到最大,为 0.83;Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数均呈现先增加后降低的趋势。Shannon-Wiener 指数在各退化程度间差异不显著。Pielou 指数在轻度退化和重度退化草地间差异显著($P<0.05$),在轻度退化草地时达到最大,为 0.88;物种丰富度呈现逐渐增加的趋势,整体差异不显著。

密度逐渐降低,多年生杂类草的密度先降低后增加,所以群落密度在轻度干扰之后的草地中呈现出趋于稳定趋势。

3.2 干扰程度对群落地上生物量和地下生物量分配格局的影响

作为生态系统数量上的指标,生物量也是生态研究的重要方向^[12]。它体现了物质与能量在生态系统中的利用能力,是研究生态系统结构及功能的重要指标^[13]。研究发现随退化程度的加剧,地上生物量会表现出降低的趋势^[14]。本研究中,草地群落的地上生物量呈现出先降低后增加的趋势。在重度干扰时出现增加的原因可能是由于随着干扰程度的加大,群落表层建群种和优势种所占比重和高度的下降使得群落基层的杂类草的光照条件变好^[15],为处于竞争劣势的杂类草植物的入侵提供了机会^[16]。多年生杂类草在群落中所占比重越来越大,而杂类草具有较高的地上生物量^[17],所以在重度干扰时地上生物量才会出现增加的趋势。草地地下根系的生物量分布格局也一直是国内外研究的热点。与大多数结果一致^[18-19],本研究中从未干扰草地到重度干扰草地,群落地下生物量

和不同土层的生物量变化均表现出降低后趋于稳定状态,且地下根系主要集中在0~10 cm土层中。这是由于在未干扰草地中禾本科植物占据着地上生产力的主要地位,而其发达的根系使未干扰草地的地下生物量最高^[20]。随着干扰程度的加大,禾本科植物在群落中的占比逐渐降低,导致地下生物量也会逐渐降低。同时,以往的研究证明,0~10 cm土层具有较好的保水保肥能力,植物为了获取生长所需的营养成分,便将根系集中分布在表层土壤中^[21]。此外,植物光合作用的产物也主要集中在土壤表层^[22],所以0~10 cm土层的生物量显著高于其他两个土层。

3.3 干扰程度对群落物种多样性的影响

群落的结构和功能复杂性可以用物种多样性进行衡量^[23]。其中,群落中植物种类的总数通过Shannon-Wiener指数体现,植物种类所占比重通过Simpson指数体现,各种类个体数量分配比例的平衡程度通过Pielou指数体现^[24]。罗亚勇等^[25-28]的研究表明草地物种多样性会随退化强度的加大呈现先增加后降低的趋势,杨元武^[29]的研究表明草地物种多样性会随退化强度的加深而下降;杨殿林等^[30-32]的研究表明中度放牧使得群落物种丰富度和多样性增加,不放牧和过度放牧反而导致多样性和丰富度下降。本研究中,随着干扰程度的增大,物种多样性未呈现一致性的变化规律。其中,Simpson指数和物种丰富度均在重度干扰时最高,与杨殿林等^[9]、王建安等^[33]、王合云^[34]的研究结果一致。出现这一变化的原因可能是由于随着干扰程度的增加,优势物种在减少,为其他物种的入侵提供了可能,导致杂类草的数量增加,进而提高了植物的物种丰富度和Simpson指数的大小。Shannon-Wiener指数和Pielou指数均呈现先增加后降低的趋势,在轻度干扰时最高,这可能是由于适当的干扰使群落的数量特征更为均匀,群落个体组成间和种类组成的均匀程度增加,从而提高了群落水平上的多样性^[35]。这也进一步证明了,不同自然条件和植被组成下,不同强度的干扰对群落物种丰富度和多样性的影响各不相同^[34]。

4 结论

根据对天山北坡典型草原在不同干扰程度下的群落数量特征和物种多样性分析可以得出以下结论:

(1) 随着干扰程度的加剧,群落优势物种的重要值逐渐降低,杂类草的重要值增加。功能群物种组成发生改变,优势种逐渐被替代,杂类草比例增加。

(2) 随着干扰程度的加剧,草地群落以及功能群中禾本科植物的高度、盖度和密度均呈现逐渐下降的趋势,多年生杂类草的高度和盖度逐渐下降,密度呈现先降低后增高的趋势。

(3) 随着干扰程度的加剧,草地群落的地上生物量呈现出先降低后增加的趋势。功能群中禾本科植物、豆科植物和多年生杂类草均呈现出下降后趋于稳定的趋势;草地群落和各土层的地下生物量均表现为降低后趋于稳定的趋势,且地下根系主要集中在0~10 cm的土层中。

(4) 随着干扰程度的加剧,物种多样性未呈现一致性的变化规律。物种丰富度指数和Simpson指数在重度干扰草地时最高。Shannon-Wiener指数和Pielou指数在轻度干扰草地时最高。

参考文献:

- [1] 冯纛,张元明,潘伯荣. 天山北坡中段草地类型的生态梯度组合格局与环境分析研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 237-242.
- [2] 苏大学. 中国草地资源调查与地图编制[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.
- [3] 新疆维吾尔自治区市场监督管理局. 草地退化状况评价技术规范: 第2部分 温性草原类: DB 65/T 4348.2-2021[S]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区市场监督管理局, 2021.
- [4] 王玉, 安沙舟, 董乙强, 等. 坡向对新疆天山北坡山地草原植被多样性的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(1): 156-163.
- [5] 杜军剑, 张仕明, 李刚. 巴音布鲁克草原植被生长气象条件指数变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象(新疆气象), 2014, 8(1): 45-50.
- [6] 马克平. 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [7] 干友民, 李志丹, 王钦, 等. 川西北亚高山草甸放牧退化演替研究[J]. 草地学报, 2005, 13: 48-52.
- [8] 杨晶晶, 吐尔逊娜依·热依木, 张青青, 等. 放牧强度对天山北坡中段山地草甸植被群落特征的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(8): 1953-1961.
- [9] 杨殿林, 韩国栋, 胡跃高, 等. 放牧对贝加尔针茅草原群落

- 植物多样性和生产力的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1470—1475.
- [10] 赵登亮. 放牧对克氏针茅草原群落的生态效应[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2010.
- [11] 白永飞, 陈佐忠. 锡林河流域羊草草原植物种群和功能群的长期变异性及其对群落稳定性的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 641—647.
- [12] 郑晓翹, 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.
- [13] 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.
- [14] 王百竹, 朱媛君, 山丹, 等. 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[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(4): 68—76.
- [15] Quinn J F, Robinson G R. The effects of experimental subdivision on flowering plant diversity in a California annual grassland [J]. *Journal of Ecology*, 1987, 75(3): 837—855.
- [16] 肖玉, 陈米贵, 周杰, 等. 青藏高原腹地青藏苔草草原不同退化程度的植物群落特征[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(4): 639—645.
- [17] Li C Y, Peng F, Xue X, You Q G, *et al.* Productivity and quality of alpine grassland vary with soil water availability under experimental warming [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 1790.
- [18] Kauffman J B, Thorpe A S, Brooks Hire E N J. Livestock exclusion and belowground ecosystem responses in riparian meadows of eastern oregon [J]. *Ecological Applications*. 2004, 14(6): 1671—1679.
- [19] Zhao H L, Zhao X Y, Zhou R L, *et al.* Desertification processes due to heavy grazing in sandy rangeland Inner Mongolia [J]. *Journal of Arid Environments*, 2005, 62(2): 309—319.
- [20] Li M, Qin C, Welti R, *et al.* Double knockouts of phospholipases *Dzeta1* and *Dzeta2* in *Arabidopsis* affect root elongation during phosphate — limited growth but do not affect root hair patterning [J]. *Plant Physiology*, 2006, 140(2): 761—770.
- [21] 白永飞, 徐志信, 李德新. 羊草草原群落生物量季节动态研究[J]. 中国草地, 1994(3): 1—5, 9—9.
- [22] 戴黎聪, 柯浔, 曹莹芳, 等. 青藏高原矮嵩草草甸地下和地上生物量分配格局及其与气象因子的关系[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 486—493.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 罗亚勇, 孟庆涛, 张静辉, 等. 青藏高原东缘高寒草甸退化过程中植物群落物种多样性、生产力与土壤特性的关系[J]. 冰川冻土, 2014, 36(5): 1298—1305.
- [26] 欧阳经政, 李以康, 林丽, 等. 不同牧压梯度下高寒草甸演替及植物物种多样性分异特征[J]. 草地学报, 2015, 23(3): 944—950.
- [27] 李永宏. 放牧影响下羊草草原和大短花针茅草原植物多样性的变化[J]. 植物学报, 1993, 35(11): 877—884.
- [28] 赵成章, 樊胜岳, 殷翠琴, 等. 毒杂草型退化草地植被群落特征的研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 507—512.
- [29] 杨元武, 李希来, 周旭辉, 等. 高寒草甸植物群落退化与土壤环境特征的关系研究[J]. 草地学报, 2016, 24(6): 1211—1217.
- [30] Taddese G, Saleem M A M, Abyie A, *et al.* Impact of grazing on plant species richness, plant biomass, plant attribute and soil physical and hydrological properties of Vertisol in East African Highlands [J]. *Environmental Management*, 2002, 29(2): 279—289.
- [31] Bouchard V, Tessier M, Digaie F, *et al.* Sheep grazing as management tool in Western European saltmarshes [J]. *Comptes Rendus Biologies*, 2003, 326: 148—157.
- [32] 杨利民, 韩梅, 李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化植物[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 110—114.
- [33] 王建安. 载畜率对短花针茅草原植物群落特征的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [34] 王合云, 郭建英, 董智, 等. 退化程度对大针茅草原植物群落结构特征及物种多样性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(3): 106—111.
- [35] 李永宏. 放牧对草原生物多样性及其环境的影响研究[M]//中国科学院内蒙古草原生态系统定位站. 草原生态系统研究(第五集), 北京: 科学技术出版社, 1997, 1—11.

that of the control (25 °C). POD activity peaked at 35 °C at 8h and was significantly different from other treatments. CAT activity reached the maximum value at 37 °C at 4 h, and was significantly different from other treatments. SOD, POD and CAT can protect the *E. formosa* within 8h at 35 °C and 4 h at 37 °C. 【Conclusion】 The temperature higher than 35 °C had a significant effect on the population of *E. formosa*.

Key words: *Encarsia formosa*; high temperature stress; superoxide dismutase; peroxidase; catalase

(上接 129 页)

Effects of disturbance degree on quantitative characteristics and species diversity in typical steppe plant communities

WANG Min, ZHANG Xian-hua*, YUAN Xiao-qiang, YUAN Hui

(College of Grassland Industry, Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology of Xinjiang, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: As a typical type of grassland in Xinjiang, mountain grassland is an important pasture in Xinjiang grassland. In order to understand the effect of different degrees of disturbance on the quantitative characteristics and species diversity in typical steppe plant communities, grassland with four disturbance levels including non—disturbance, mild disturbance, moderate disturbance and severe disturbance were selected in grazing and non—grazing interaction areas through field investigation and remote sensing image interpretation data. The changes of grassland community under disturbance were analyzed from two aspects of community quantity characteristics and species diversity. The results showed that with the intensification of disturbance, (1) the number of dominant species decreased, and the importance value decreased by 1.21 times. The number of miscellaneous grass increased, and the importance value increased 59.70%. (2) The community height, coverage and density were significantly decreased by 79.74%, 70.99% and 59.39%, respectively ($P < 0.05$). (3) The aboveground biomass of the community first decreased and then increased, and there were significant differences among disturbance degrees ($P < 0.05$). The underground biomass of communities and soil layers tended to be stable after decreasing, and the underground roots mainly concentrated in 0—10 cm soil layer. (4) Species diversity did not show a consistent change. Species richness index and Simpson index were the highest in severely disturbed grassland. The shannon—Wiener index and Pielou index were the highest in lightly disturbed grassland. The results provided basic data for the degradation control of mountain steppe.

Key words: typical steppe; different interference levels; quantitative characteristics of community; species diversity