

贝加尔针茅草原植物多样性及土壤养分对放牧干扰的响应

张静妮, 赖 欣, 李 刚, 赵建宁, 张永生, 杨殿林*
(农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要: 以贝加尔针茅(*Stipa baicalensis* Roshev.) 草甸草原为研究对象, 研究不同强度放牧干扰对贝加尔针茅草原群落植物多样性、土壤理化性状及养分特征的影响。结果表明: 随着放牧强度的增加, 群落物种数、植物多样性和植被盖度均显著降低; 放牧干扰对土壤理化性状的影响主要表现在, 随着放牧强度的增加, 土壤容重升高, 土壤含水量减小, 重度放牧草地土壤容重增加到 1.35 g/cm^3 , 含水量仅为 12.37%; 放牧导致土壤有机碳格局发生改变, 轻度放牧下层(0–10 cm)土壤有机碳含量逐渐降低, 但有机碳向深层土壤的转移量增加, 深层土壤(10–20 cm、20–30 cm)有机碳含量均显著高于其它样地, 且整个剖面土壤有机碳含量较对照样地提高了 7.19%。土壤全氮含量(0–10 cm、10–20 cm)在轻度放牧时有所增加, 中度放牧全氮含量显著高于其它样地, 全磷含量除了在重度放牧时显著降低, 在其它样地间均无显著差异。研究表明植物多样性、地上地下生物量的增加及土壤有机碳格局的改变是贝加尔针茅草原对轻度放牧干扰的一种响应, 而重度放牧, 草地植物多样性减少、植被盖度降低、土壤物理性状发生改变、养分资源趋于匮乏, 草地出现退化的迹象。

关键词: 放牧干扰; 植物多样性; 草地生产力; 土壤养分

中图分类号: Q948.1; S158.3; S812.8 文献标识码: A 文章编号: 1007-0435(2010)02-0177-06

Response of Plant Diversity and Soil Nutrient Condition to Grazing Disturbance in *Stipa Baicalensis* Roshev. Grassland

ZHANG Jing-ni, LAI Xin, LI Gang, ZHAO Jian-ning, ZHANG Yong-sheng, YANG Dianlin*
(Agror-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China)

Abstract: The effect of grazing disturbance on plant diversity, soil physical and chemical properties, and soil nutrients characteristics of *Stipa baicalensis* Roshev. grassland was studied. The results show that the number of species, plant diversity and vegetation coverage were significantly decreased along with the increasing of grazing intensity. The effects of grazing disturbance on soil physical and chemical properties were primarily manifested in increased soil bulk density, decreased soil water content. Under heavy grazing, soil bulk density increased to 1.36 g/cm^3 , soil water content decreased to 12.37%, vegetation coverage reduced, and the ground biomass was also significantly lower. Grazing disturbance led to the change of soil organic carbon pattern, soil organic carbon content in 0–10 cm decreased gradually with light grazing, but the organic carbon transferring to deep soil was accelerated, organic carbon levels in 10–20 cm and 20–30 cm were significantly higher than those in other plots, and soil organic carbon content of the profile increased 7.19% than non-grazing grassland. Total soil nitrogen content (0–10 cm, 10–20 cm) increased under light grazing; under medium grazing, it was significantly higher than that in other plots. Soil total phosphorus content was not significantly different among plots, except that it was decreased significantly under heavy grazing. The increase of plant diversity, aboveground biomass, and underground biomass was a response to light grazing disturbance, while under heavy grazing, plant diversity and vegetation coverage reduced, soil physical and chemical properties changed, soil nutrient resource became scarce, and grassland appeared a trend of degradation.

Key words: Grazing disturbance; Plant diversity; Grassland productivity; Soil nutrient

收稿日期: 2009-09-18; 修回日期: 2009-12-23
基金项目: 国家自然科学基金项目(30770367)、中国农业科学院院长基金、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助
作者简介: 张静妮(1979), 助理研究员, 博士, 主要从事农业生态学研究, E-mail: zjn09@126.com; * 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: dianlinyang@yahoo.com.

放牧是草地最简单而又有效的利用方式,放牧的实质是一种生态干扰^[1]。根据“中度干扰假说”,放牧干扰可以通过改变土壤理化性质,增加生境的异质性,从而造成草地群落植物组分、结构和多样性格局发生变化,进而对整个生态系统的结构和功能产生影响^[2]。有研究表明,长期不合理的放牧将会导致草地退化、盐碱化和生态环境恶化^[3]。因此,探讨放牧压力梯度上草地群落物种多样性变化规律,对明确草地退化阶段、揭示草地退化机理具有重要意义。

放牧主要影响草地群落结构及其土壤生境的变化^[4],目前,国内外关于放牧对草地生物多样性影响的研究较多,这些研究都表明,中等程度的环境干扰或逆境是群落增加生物多样性的前提^[5],而过度放牧的极端退化草地的结构多样性都降低^[6]。关于放牧对草地土壤理化性状影响的研究,一般认为随着放牧强度的增加土壤容重增加^[7],土壤含水量、有机质含量减少^[8],也有随着放牧强度的增加土壤有机质含量增加的报道^[9]。

贝加尔针茅(*Stipa baicalensis* Roshev.)草原是草甸草原的代表类型之一,在我国畜牧业生产中占有重要的地位。国内已有放牧对贝加尔针茅草植物多样性影响的报道^[10],但有关放牧对土壤养分及其与植物多样性变化及其相互关系的研究较少。本文以草甸草原典型植被类型贝加尔针茅草原为研究对象,研究放牧干扰对草原群落植物多样性变化及土壤理化性质的影响,阐明不同干扰强度下草地植物多样性及生产力的变化规律,明确放牧干扰对草地土壤理化性质及养分特征的影响,从而探讨放牧干扰下土壤环境变化对植物多样性及草地生产力的影响,对于深入理解放牧干扰对草甸草原生态系统的影响具有重要的理论意义。

1 研究样地及方法

1.1 研究区概况

研究地区位于呼伦贝尔市的鄂温克旗境内。地理位置:北纬 $48^{\circ}27' - 48^{\circ}35'$,东经 $119^{\circ}35' - 119^{\circ}41'$,海拔高度 760–770 m,年均气温 -1.6°C ,年降水量 328.7 mm,年蒸发量 1478.8 mm, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温 2567.5°C ,年均风速 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,无霜期 113 d,属温带大陆性季风气候。调查区位于丘陵高平原中部,地势较平坦,土壤类型为暗栗钙土,植被类型为贝加尔针茅草原、羊草(*Leymus chinensis* (Trin.)

Tzvel.) 草甸草原。常见的植物种有羽茅(*Achnatherum sibiricum* (L.) Keng)、日荫菅(*Carex pediformis* C. A. Mey.)、变蒿(*Artemisia commutata* Bess.)、扁蓿豆(*Pocockia ruthenica* (L.) P. Y. Fu et Y. A. Chen)、草地麻花头(*Serratula centauroides* L.)、多茎野豌豆(*Vicia multicaulis* Ledeb.)、肾叶唐松草(*Thalictrum petaloideum* L.)等^[10]。

1.2 样地设置

草原群落随放牧强度的变化,最明显地表现在居民点或家畜饮水点周围相继分布的近环带状变化上,即以居民点或家畜饮水点由此向外辐射,沿半径方向构成草原群落的放牧梯度^[11]。实验点设在贝加尔针茅草原典型地带,选择 3 个以饮水点为中心、植被典型、地势开阔平缓的放牧场作为放牧退化系列,于 2008 年 8 月进行野外调查工作,以饮水点为中心,在四个方向上各设一条样线,直到植被接近正常时为止,然后以李博^[12]的方法按植被盖度、植物种类、产量的差异等划分放牧梯度等级,在样线上共设 3 个放牧强度,即重牧区(距离饮水点 1.5 km,面积 706.5 hm^2)、中牧区(距离饮水点 2.5 km,面积 1256 hm^2)、轻牧区(距离饮水点 4.0 km,面积 3061.5 hm^2),对照样地选择该区域自 2000 年以来围封的围栏草地,该样地在围栏以前属轻度放牧利用草地。

1.3 试验设计与方法

于 2008 年,在植物的生长旺季(8 月)进行野外观测及采样。每个放牧梯度内沿半径方向的四条样线上各设置 10 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 观测样方,相邻样方间隔不少于 100 m,调查每个样方内出现的物种,详细记录群落总盖度,每个物种的高度、盖度和多度,再齐地面分种收集地上植物,带回实验室称鲜重,在 60°C 下烘干 48 h 后称其干重。其中,群落物种数以每个样地内共出现的物种数计算。

地下生物量采用挖剖面法,在调查过植被样方的同一地段设置面积为 $30\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 的样方,分 4 层(0–10 cm、10–20 cm、20–30 cm、30–40 cm)取 0–40 cm 土样,每条样线 10 次重复,样品放入孔径大小 50 目的尼龙网袋内,至于水中浸泡并冲洗干净后得到根系样品,在 85°C 下烘至恒重,称干重。

在测定过地下生物量的地段,设置 $25\text{ cm}\times 25\text{ cm}$ 大小的样方,分 0–10 cm、10–20 cm、20–30 cm、

30– 40 cm 取土样, 每条样线 10 次重复, 将各采样点的土壤样品分层混合, 室内风干后, 用于测定土壤有机碳、全氮及全磷含量。另外, 在取过土样的样方外用环刀取 0– 30 cm 土样, 每条样线上 10 次重复, 用于测定土壤容重、pH 值和湿度。其中, 土壤有机碳含量测定采用总有机碳/总氮分析仪(德国耶拿 UULTIN/C3100)测定、土壤全氮含量采用半微量凯氏法测定、全磷含量测定采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定、土壤 pH 测定采用酸度计法(1: 5)土水比。

1.4 数据处理

Shannoir Wiener 多样性指数 $H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$

Margelef 丰富度 $Ma = (S - 1) / \ln N$

Pielou 均匀度 $E = H' / \ln S$

式中, P_i 为第 i 个物种的生物量占群落总生物量的百分比; S 为群落中物种数目, N 为群落中所有植株个体总数。

采用 SPSS16.0 软件对数据进行方差分析、Duncan 多重比较及 Pearson 相关分析。

2 结果与分析

2.1 放牧干扰下草地植被特征的变化

随着放牧强度的增加, 贝加尔针茅草原群落植物多样性测度发生了明显的改变(表 1、表 2)。草地盖度、地上生物量随着放牧强度的增加逐渐降低, 群落物种数、多样性指数、丰富度等多样性测度均在轻牧条件下最高, 重牧时则显著降低。而地下生物量则随着放牧强度的增加出现先升高后下降的趋势, 中度放牧地段, 0– 40 cm 土层中根系生物量最高, 达到 $1928.22 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 轻度放牧地下生物量较对照样地升高了 3.89%, 而重度放牧地段, 地下生物量显著降低, 较对照样地下降了 11.34%, 但其表层土壤(0– 10 cm)中根系含量占整个剖面土壤根系总量的比例明显增加, 达到 82.60%, 表明放牧导致了草地根系的浅层化分布。

表 1 放牧干扰下贝加尔针茅草原植物多样性变化
Table 1 Plant diversity of *S. baicalensis* grassland under different disturbances

群落 Community	放牧强度 Grazing intensity			
	CK	LG	MG	HG
群落物种数 Species number of community	58±1.38 ^a	61±1.07 ^a	52±1.13 ^b	42±1.33 ^c
群落盖度 Coverage of community, %	73±2.78 ^a	69±2.56 ^a	49±2.01 ^b	37±3.22 ^c
Shannoir wiener 指数 Shannoir wiener index	2.56±0.13 ^a	2.67±0.08 ^{ab}	2.47±0.11 ^b	2.17±0.13 ^c
Margelef 丰富度 Margelef index	4.77±0.79 ^a	5.05±0.82 ^a	3.09±0.39 ^b	2.97±0.55 ^b
Pielou 均匀度 Pielou index	0.79±0.06 ^b	0.78±0.03 ^b	0.87±0.07 ^a	0.75±0.07 ^b
地上现存量 Aboveground biomass, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	144.69±14.54 ^a	134.48±11.81 ^a	102.75±15.45 ^b	75.68±10.05 ^c

注: 表中 LG-轻牧, MG-中牧, HG-重牧, 同行不同英文小写字母代表不同退化梯度间的差异显著, 显著水平 $P < 0.05$; 下同
Note: LG-light grazing, MG-Medium grazing, HG-Heavy Grazing; means with different small letters at the same row are significantly different among different degraded gradients at the 0.05 level; same as below

表 2 放牧干扰下贝加尔针茅草原群落植物地下生物量变化
Table 2 Change of underground biomass under different disturbances

土壤深度 Soil depth, cm	地下生物量 Underground biomass ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)			
	CK	LG	MG	HG
0– 10	1114.89±11.36 ^c	1096.89±17.21 ^d	1437.78±16.51 ^a	1173.44±17.26 ^b
10– 20	250.11±11.77 ^b	303.00±15.31 ^a	302.89±20.12 ^a	142.00±10.36 ^c
20– 30	159.33±8.48 ^b	172.78±9.56 ^a	118.33±10.47 ^c	71.44±8.46 ^d
30– 40	78.11±5.69 ^b	92.22±5.51 ^a	69.22±9.23 ^c	33.78±5.66 ^d
总量 Total biomass	1602.44±11.38 ^c	1664.89±13.02 ^b	1928.22±16.52 ^a	1420.67±14.36 ^d

2.2 放牧干扰下贝加尔针茅草原土壤理化性状变化

放牧干扰下, 贝加尔针茅草原土壤的理化性状均发生了不同程度的变化(表 3)。土壤容重随着放牧强度的增加而增加, 中度及重度放牧时, 土壤容重显著高于未放牧样地及轻度放牧样地。土壤 pH 值

随着放牧强度的增加而升高, 土壤含水量随着放牧强度的增加显著下降, 重牧样地土壤含水量仅为 12.38%, 较对照样地下降了 40.71%。但土壤含水量在轻牧样地与对照样地间无显著差异, 这可能与放牧对不同土层含水量影响不同而至^[13]。

表 3 放牧干扰下草地土壤物理性状
Table 3 Soil physical properties under different disturbances

土壤性状 Soil properties	土壤深度 Soil depth, cm	放牧强度 Grazing intensity			
		对照 CK	轻牧 LG	中牧 MG	重牧 HG
容重 Soil bulk density, g • cm ³	0– 30	1.26 ± 0.01 ^c	1.28 ± 0.02 ^c	1.31 ± 0.02 ^b	1.35 ± 0.02 ^a
pH 值 pH value	0– 30	5.80 ± 0.03 ^c	5.84 ± 0.04 ^c	5.94 ± 0.05 ^b	6.02 ± 0.04 ^a
含水量 Soil water content, %	0– 30	21.07 ± 1.22 ^a	20.11 ± 1.25 ^a	15.54 ± 1.08 ^b	12.38 ± 1.12 ^c

土壤养分含量随放牧干扰的加剧表现出不同的变化趋势(表 4), 不同放牧压力下, 土壤有机碳含量发生显著变化, 研究区土壤有机碳含量均随土层深度的增加而减少, 不同放牧强度下, 表层(0– 10 cm)土壤有机碳含量分别为对照样地 30.65 g/kg、轻牧样地 29.78 g/kg、中牧样地 20.41 g/kg、重牧样地 12.49 g/kg, 分别占整个剖面土壤的 64.21%、

58.21%、60.33%、57.69%。轻牧样地与中牧及重牧样地间表层土壤有机碳含量差异显著。10– 20 cm、20– 30 cm 土层土壤有机碳含量在轻度放牧干扰下均显著高于其它样地, 有机碳含量在整个剖面土壤中的比例较对照样地分别提高了 24.35%、6.70%。表明轻度放牧促进了表层土壤有机碳向下层土壤的转移, 改变了土壤有机碳格局。

表 4 放牧干扰下草地土壤养分变化
Table 4 Dynamics of soil nutrients under different disturbances

土壤养分 Soil nutrient	土壤深度 Soil depth, cm	放牧强度 Grazing intensity			
		对照 CK	轻牧 LG	中牧 MG	重牧 HG
有机碳 Organic carbon g • kg ⁻¹	0– 10	30.65 ± 2.01 ^a	29.78 ± 2.23 ^a	20.41 ± 2.10 ^b	12.49 ± 1.88 ^c
	10– 20	11.17 ± 1.22 ^b	14.89 ± 1.37 ^a	8.51 ± 1.21 ^b	4.86 ± 1.02 ^c
	20– 30	3.68 ± 0.11 ^c	4.21 ± 0.18 ^a	2.79 ± 0.13 ^b	2.22 ± 0.09 ^d
	30– 40	2.23 ± 0.07 ^a	2.28 ± 0.18 ^a	2.12 ± 0.13 ^a	2.08 ± 0.08 ^a
全氮量 Total nitrogen content g • kg ⁻¹	0– 10	2.02 ± 0.12 ^b	2.28 ± 0.11 ^a	2.40 ± 0.16 ^a	1.47 ± 0.03 ^c
	10– 20	0.92 ± 0.08 ^c	1.26 ± 0.06 ^b	1.38 ± 0.10 ^a	0.86 ± 0.06 ^c
	20– 30	0.69 ± 0.08 ^b	0.87 ± 0.07 ^b	1.20 ± 0.05 ^a	0.59 ± 0.02 ^c
	30– 40	0.66 ± 0.07 ^a	0.70 ± 0.02 ^a	0.74 ± 0.08 ^a	0.63 ± 0.05 ^a
全磷量 Total phosphor content g • kg ⁻¹	0– 10	0.28 ± 0.02 ^a	0.30 ± 0.03 ^a	0.28 ± 0.02 ^a	0.21 ± 0.02 ^b
	10– 20	0.24 ± 0.03 ^a	0.24 ± 0.06 ^a	0.23 ± 0.05 ^a	0.19 ± 0.05 ^b
	20– 30	0.23 ± 0.02 ^a	0.22 ± 0.04 ^a	0.23 ± 0.03 ^a	0.15 ± 0.01 ^b
	30– 40	0.19 ± 0.02 ^a	0.20 ± 0.03 ^a	0.20 ± 0.03 ^a	0.15 ± 0.02 ^a

研究区不同放牧处理间, 土壤全氮含量均随土层深度的增加而降低(表 4), 轻牧和中牧地段, 土壤全氮含量增加, 且中度放牧时上层土壤(0– 10 cm、10– 20 cm)全氮含量显著高于对照和重度放牧样地, 而放牧对深层土壤(30– 40 cm)全氮含量无显著影响。土壤全磷含量随着放牧压力的增加变化不显著, 仅在重度放牧时全磷含量显著降低, 各土层全磷含量较对照样地降低 20.8%– 34.7%, 而其它放牧压力间土壤全磷含量均无显著差异。

2.3 放牧干扰下贝加尔针茅草原植物多样性及生物量与土壤理化性状的关系

不同强度放牧干扰下贝加尔针茅草原植物多样性及草地生产力随着土壤养分条件的变化而表现出不同的差异。从表 5 中可以看出, 0– 10 cm 土层中有机碳含量与群落物种数呈显著正相关($r=0.974$, $P<0.05$), 与群落盖度($r=0.998$, $P<0.01$)、地上生物量($r=0.996$, $P<0.01$)均呈极显著正相关。0– 10 cm 土壤全氮含量及全磷含量与物种数、盖度、

表 5 放牧干扰下土壤理化性状与植物多样性及生物量的相关性

Table 5 Relativity between soil properties and plant diversity or biomass under different disturbances

相关系数 Coefficient	物种数 Species number	盖度 Coverage	地上生物量 Aboveground Biomass	地下生物量 Underground Biomass
有机碳 Organic carbon (0– 10cm)	0. 974*	0. 998**	0. 996**	0. 263
全氮 Total nitrogen (0– 10cm)	0. 870	0. 744	0. 568	0. 903
全磷 Total phosphor(0– 10 cm)	0. 890	0. 580	0. 840	0. 665

注: 表中“*”表示显著水平, $P < 0. 05$, “**”表示极显著水平, $P < 0. 01$
Note: * indicates significance at the 0. 05 level; * * indicates extreme significance at the 0. 01 level

生物量等无显著的相关关系。

3 讨论

植物群落的生物多样性在很大程度上维持着草地生态系统可持续性和草地生产力^[14]。本试验表明轻度放牧草地物种丰富度增加, 植物多样性较高, 中度放牧下植物多样性有所下降, 植被盖度降低, 而重度放牧条件下则导致草地物种数、群落盖度、多样性指数及生产力显著下降, 这与大多数研究结论相似, 即重度放牧将会导致草地物种多样性降低, 群落结构简单化, 生产力下降^[15]。随着随放牧强度的增加, 家畜对草地土壤践踏作用的加剧, 导致土壤紧实度增加, 容重上升, 含水量降低, 这与多数研究结论相一致^[16, 17]。原因可能在于放牧家畜对草地践踏作用的增加, 使草地土壤表面硬度增大, 土壤孔隙度减小, 土壤的渗透阻力加大, 从而导致土壤保水和持水能力下降, 最终降低土壤含水量^[18]。

根系是植被与土壤环境之间进行物质和能量交换的主要桥梁, 根系的周转对于改善和提高土壤的物理化学性质具有重要意义^[19]。本实验表明, 适度的放牧干扰能够使草地地下生物量增加, 这与高永恒等的研究结论一致^[20], 且地下生物量与土壤全氮含量呈显著正相关。原因可能是由于, 放牧条件下, 家畜排泄的粪尿量增加, 而氮素是家畜粪尿的主要养分形式, 从而提高草地土壤氮素的积累, 根系得以从土壤中摄取充足的氮素促进其进一步生长, 进而提高了地下生物量的积累^[21]。也有研究表明, 在不同干扰胁迫下, 植物通过调节光合产物在地上、地下部分的分配, 体现出不同适应性, 植物将更多的光合产物分配到地下部分有助于增强植物对外界干扰的抵抗力^[22], 这是植物对放牧干扰的一种响应与适应。本实验还表明, 放牧强度的加剧导致植物根系浅层化分布, 这可能是由于放牧导致地上生物量降低、高大优势植物种群逐渐减少、一些矮小的浅根型植物不断增加, 因此植物的根系主要分布在浅层土壤中。

土壤有机碳主要来源于植物地上部分的凋落物及地下的根系, 本实验表明表层土壤(0– 10 cm)有机碳含量随着放牧强度的增加而降低, 且有机碳含量与地上生物量呈显著正相关。可能是由于放牧导致地上生物量减少, 从而降低了凋落物的积累和输入, 归还给土壤中的有机质数量则不断减少, 而地上部植物对土壤养分的持续利用, 进一步加速了土壤养分资源供给能力的下降, 这与多数研究结果一致。本实验还发现, 轻度放牧下表层土壤有机碳向下层土壤的转移量增加, 从而使整个土壤剖面土壤总的有机碳含量显著增加, 这可能是由于家畜的践踏促进枯落物的物理破碎, 能够加速凋落物的分解和碳素周转^[23], 因此, 在畜蹄的反复践踏下促进了有机碳向下层土壤的运转, 改变了土壤有机碳的分布格局。

4 结论

不同强度的放牧干扰对贝加尔针茅草原植物多样性及土壤养分状况的影响具有显著的差异。轻度放牧, 草地植物多样性升高、地上生物量增加、土壤物理性状得到改善且养分资源的持续供给能力提高并得以维持, 草地生态系统处于健康稳定状态。而中度及重度放牧, 植物多样性降低、植被盖度减小、土壤容重增加, 含水量降低、土壤有机碳含量显著下降, 草地出现退化的迹象。因此, 适度的干扰不仅有利于提高草地利用率, 保护草地的植物多样性, 而且是维持草地群落稳定、防止草地退化、促进草地生态系统可持续发展的重要措施。目前, 贝加尔针茅草原出现不同程度的退化现象, 因此对自由放牧区的草场进行健康状况分级, 从而对放牧方式进行相应的干预措施, 实行轻度放牧或者划区轮牧或休闲放牧, 改善草地土壤状况, 保持和恢复草地生物多样性。

参考文献

[1] McIntyre S, Lavorel S, Landsber J. Disturbance response in vegetation towards a global perspective on functional reait [J].

- Vegetation Science, 1999, 10: 621-630
- [2] 江小蕾, 张卫国, 杨振宇, 等. 不同干扰类型对高寒草甸群落结构和植物多样性的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1479-1485
 - [3] 董全民, 马玉寿, 李青云, 等. 牦牛放牧率对小蒿草高寒草甸植物群落的影响[J]. 中国草地, 2004, 26(3): 24-32
 - [4] 王仁忠, 李建东. 放牧对松嫩平原羊草草地影响的研究[J]. 草业科学, 1992, 9(2): 11-14
 - [5] Baker J P. Nature management by grazing and cutting (Geobotany 14) [M]. Kluwer Academic Publisher, 1989. 11-17
 - [6] 李镇清. 中国东北样带(NECT)植物群落复杂性与多样性研究[J]. 植物学报, 2002, 42(9): 971-978
 - [7] 贾树海, 王春枝, 孙振涛, 等. 放牧强度和放牧时期对内蒙古草原上土壤压实效应的研究[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 217-221
 - [8] 郑云玲, 李雪松, 张瑞, 等. 放牧强度对草原土壤与植被的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29(1): 262-266
 - [9] Reeder J D, Schuman G E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semiarid mixed grass and short grass rangelands [J]. Environmental Pollution, 2002, 116: 457-463
 - [10] 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, 生态学杂志[J]. 2006, 25(12): 1470-1475
 - [11] 李春莉, 赵萌莉, 韩国栋, 等. 不同放牧压力下荒漠草原土壤有机碳特征及其与植被之间关系的研究. 干旱区资源与环境[J]. 2008, 22(5): 134-138
 - [12] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. 中国农业科学, 1997(6): 1-8
 - [13] 佟乌云, 陈有君, 李绍良. 放牧破坏地表植被对典型草原地区土壤湿度的影响[J]. 干旱区资源与环境. 2000. 14(4): 55-61
 - [14] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. Nature, 1996, 379: 718-720
 - [15] 王玉辉, 何兴元, 周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 45-49
 - [16] 王启兰, 王长庭, 杜若功, 等. 放牧对高寒嵩草草甸土壤微生物量碳的影响及其与土壤环境的关系[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 39-46
 - [17] 张蕴薇, 韩建国, 李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 74-78
 - [18] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 等. 江河源区披碱草和星星草混播草地土壤物理形状对牦牛放牧强度的响应[J]. 草业科学, 2005, 22(6): 65-70
 - [19] 李鹏, 李占斌. 黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 849-853
 - [20] 高永恒, 陈槐, 罗鹏, 等. 放牧强度对川西北高寒草甸植物生物量及其分配的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(3): 26-32
 - [21] 白可喻, 韩建国, 王培, 等. 放牧强度对新麦草人工草地植物地下部分生物量及其氮素含量动态的影响[J]. 中国草地, 2000, (2): 15-20
 - [22] Wang R Z, Gao Q, Chen Q S. Effects of Climate Change on Biomass and Biomass Allocation in *Leymus chinensis* (Poaceae) along the northeast China transect (NECT). Journal of Arid Environments, 2003, 54(4): 653-665
 - [23] Shariff A R, Biondini M E, Grygiel C E. Grazing intensity, effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization [J]. Journal of Range Management, 1994, 47: 444-447

(责任编辑 米 佳)

(上接第 176 页)

- 自然资源学报, 2001, 16(5): 427-432
- [2] Wang, X. L., Sun, G. J., Jia, Y., Li, F. M. and Xu, J. Z. Crop yield and soil water restoration on 9-year old alfalfa pasture in the semiarid Loess Plateau of China[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(3): 190-198
 - [3] Chen, H. S., Shao, M. A., Li, Y. Y., 2008. Soil desiccation in the Loess Plateau of China[J]. Geoderma, 143: 91-100
 - [4] Shanguan, Z. P. Soil desiccation occurrence and its impact on forest vegetation in the Loess Plateau of China[J]. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2007, 14: 299-306
 - [5] Wang, L., Wang Q. J., Wei S. P., Shao, M. A., Li, Y. Soil desiccation for Loess soils on natural and regrown areas [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 2467-2477
 - [6] 王志强, 刘宝元, 路炳军. 黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1944-1950
 - [7] 樊军, 邵明安, 王全九. 陕北水蚀风蚀交错区苜蓿地土壤水分过耗与恢复[J]. 草地学报, 2006, 14(3): 261-264
 - [8] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 404-411
 - [9] 卜玉山, 邵海林, 王建程. 不同覆盖材料对玉米幼苗生长和土壤养分含量及分布的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 40-42
 - [10] 李裕元, 邵明安, 上官周平, 樊军, 等. 黄土高原北部紫花苜蓿人工草地退化过程与植被演替研究[J]. 草业学报, 2006, 15(2): 85-92
 - [11] Li, Y. S., Huang, M. B. Pasture yield and soil water depletion of continuous growing alfalfa in the Loess Plateau of China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 124: 24-32
 - [12] 沈裕琥, 黄相国, 王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 45-50
 - [13] 苏衍涛, 王凯荣, 等. 稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和水分的调控效应[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 670-676
 - [14] Olasantan F O. Effect of time of mulching on soil temperature and moisture regime and emergence, growth and yield of white yam in western Nigeria[J]. Soil and Tillage Research, 1999, 50: 215-221
 - [15] 黄道友, 王克林, 黄敏, 等. 我国中亚热带典型红壤丘陵区季节性干旱[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2516-2523
 - [16] 王凯荣, 谢小立, 周卫军, 等. 红壤丘岗坡地农业开发利用的问题与对策[J]. 农业环境保护, 2000, 19(5): 278-281
 - [17] 杜新艳, 杨路华, 脱云飞, 等. 秸秆覆盖对夏玉米农田水分状况、土壤温度及生长发育的影响[A]. 中国农业工程学会 2005 年学术年会. 广州: 华南农业大学出版社, 2005, 213-215
 - [18] 于舜章, 陈雨海, 周勋波, 等. 冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 175-178
 - [19] 刘冬青, 辛淑荣, 张世贵. 不同覆盖方式对旱地棉田土壤环境及棉花产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(2): 18-21
 - [20] 杨启国, 张旭东, 杨兴国. 甘肃中部半干旱区紫花苜蓿耗水规律及土壤水分变化特征研究[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 37-40

(责任编辑 米 佳)