放牧对贝加尔针茅草原植被根系分布和土壤理化特征的影响*

范国艳[1] 张静妮[2] 张永生[2] 李 刚[2] 王 琦[1] 杨殿林[2**]
([1]甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; [2]农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘 要 以内蒙古贝加尔针茅草原为研究对象,分析了放牧对植被根系分布特征的影响及其与土壤理化性状的相互关系。结果表明:放牧导致植被根系分布发生显著变化;0~10 cm 土层根系生物量占 0~40 cm 根系总生物量的 65.9%~82.6%,直径≥2 mm 根系和直径<1 mm 的根系对放牧影响较为敏感;植被根系分布与土壤容重、含水量、全氮、全磷、有机碳含量以及阳离子交换量有一定程度的相关性,放牧主要通过改变土壤理化特征影响不同径级根系生物量的分布,同时各径级根系分布特征对土壤理化性状有一定的反馈作用。

关键词 放牧梯度; 根系生物量; 根系分布; 植物多样性; 土壤理化性状
中图分类号 Q948.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)9-1715-07

Effects of grazing on plant root distribution and soil physicochemical properties in *Stipa baicalensis* grassland. FAN Guo-yan[1], ZHANG Jing-ni[2], ZHANG Yong-sheng[2], LI Gang[2], WANG Qi[1], YANG Dian-lin[2] ([1]*Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*; [2]*Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin* 300191, *China*). *Chinese Journal of Ecology*,2010,**29**(9):1715-1721.

Abstract: A field experiment was conducted on the *Stipa baicalensis* grassland in Inner Mongolia to study the effects of grazing on plant root distribution, and analyzed the correlations of the root distribution with soil physicochemical properties. Grazing induced a significant change in root distribution. The root biomass in 0-10 cm soil layer accounted for 65.9%-82.6% of the total biomass in 0-40 cm soil layer. The roots with diameter ≥2 mm and <1 mm were more sensitive to grazing. The root distribution had definite correlations with soil bulk density, moisture content, contents of total nitrogen, phosphorus, and organic carbon, and cation exchange capacity. Grazing affected the distribution of plant roots with different diameters mainly through affecting soil physicochemical properties, and the characteristics of the root distribution had certain feedback on the soil physicochemical properties.

Key words: grazing gradient; root biomass; root system distribution; plant diversity; soil physicochemical properties.

贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)草原是亚洲中部草原区主要草原类型之一,在中国畜牧业生产中占有重要地位。近 30 年来由于放牧、刈割等不合理的利用制度,草地生产力下降,草畜矛盾日益尖锐,草原生态系统结构和功能遭到破坏,生物多样性和稳定性下降,生态环境质量恶化,严重威胁着草原生态系统和草地畜牧业的可持续发展。

放牧作为草地最普遍、简便、经济的利用方式,对植物生长既有抑制作用,又有促进作用(李永宏和汪诗平,1999),从而改变草地的生产力和生物多样性,对草地群落演替产生影响,因此只有把握一定的原则和规律,才能使草地得到合理的利用。放牧通过采食和践踏直接作用于草地植物地上部分和土壤(王仁忠和李建东,1992),从而对地下根系产生影响,而根系在吸收水分和养分的过程中反过来作用于植物和土壤(Peters,2002),一般来说,根系生

*国家自然科学基金项目(30770367)、中国农业科学院院长基金和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资助(农业部研究保护科研监测所)项目。
**通讯作者 E-mail: dianlinyang@yahoo.com.cn
收稿日期: 2010-04-27 接受日期: 2010-06-21

长和分布主要受到土壤水分、温度、养分以及植物自身特性等因素影响(王法宏等,1997),对土壤环境的改变有协调适应性(冯广龙等,1996),同种植物根系在不同的环境可表现出不同的生态分布特征(巴吐宁和麦来·斯拉木,1995;王立群和陈世鐄,2003)。但也有研究表明,根系分布并不完全随土壤养分的变化而变化(Hanson *et al.*,2000)。

根系作为植物与土壤间的联系纽带,决定着植被与土壤环境之间的作用界面(李鹏等,2002),国内外关于放牧对植被根系分布特征的影响已有相关报道,Greenwood等(1999)、梁燕等(2008)的研究表明,放牧可以减少根系生物量,也可以增加根系的分布,不同牧压对根系分布的影响不同。王长庭等(2008)研究表明,放牧条件下,草原植被根系主要分布在0~40 cm土层中,以0~10 cm土层居多,其中细根生物量最多,其分布主要由土壤氮控制,且与土壤含水量有一定相关性,放牧对根系总生物量的影响,主要通过改变草地土壤理化性质而实现。本文分析了放牧对贝加尔针茅草原植被根系分布特征及土壤理化特性的影响,阐明放牧压力下植被根系垂直分布与土壤理化特征的相互关系,使放牧对根系的作用机制更加清晰,有利于深入探索放牧对草地生态系统的作用机理。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

试验地设在内蒙古呼伦贝尔市鄂温克旗境内贝加尔针茅典型草原区(48°27′N—48°35′N,119°35′E—119°41′E),于2008年8月进行野外观测及取样。研究区海拔高度760~770 m,年均气温-1.6 ℃,年降水量328.7 mm,年蒸发量1478.8 mm,≥0 ℃年积温2567.5 ℃,年均风速4 m·s^{-1},无霜期113 d,属温带大陆性季风气候(杨殿林等,2006),其土壤类型为暗栗钙土,植被类型为贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)草原、羊草(*Leymus chinensis*)草原。主要植物种有羽茅(*Achnatherum sibiricum*)、日荫菅(*Carex pediformis*)、线叶菊(*Filifolium sibicum*)、红柴胡(*Bupleurum scorzoneraefolium*)、扁蓿豆(*Pocockia ruthenica*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、刺藜(*Chenopodium aristatum*)等。

1.2 样地设置及其植被特征

根据草原植物群落在放牧梯度下变化表现在随居民点或家畜饮水点距离逐级增大的近环状带上(李春莉等,2008),在植被典型、地势开阔平缓的贝加尔针茅放牧草场,以饮水点为中心,在4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(1997)的草地退化指标体系及草地退化等级的划分标准,按照植被盖度、植物种类、产量差异等划分放牧梯度等级,在样线上设置放牧梯度。放牧家畜为当地肉用呼伦贝尔羊,根据地上生物量、家畜理论采食量和草场面积及放牧时间确定放牧强度,即轻度放牧,2.2只羊·hm^{-2}(距离饮水点4.0 km,面积3061.5 hm^2),中度放牧,4.5只羊·hm^{-2}(距离饮水点2.5 km,面积1256 hm^2),重度放牧,7.6只羊·hm^{-2}(距离饮水点1.5 km,面积706.5 hm^2)。

在放牧梯度样地内,贝加尔针茅草原植物群落组成变化为:轻牧样地,以优良禾草、豆科牧草等为优势种,如贝加尔针茅、扁蓿豆、线叶菊等;中牧样地优势种包括羊草、日荫菅、寸草苔等较耐牧牧草,优良禾草、豆科牧草等有减少的趋势,而糙隐子草等耐牧植物有增多的趋势;重牧样地内,糙隐子草等耐牧植物济身为优势种,同时冷蒿、星毛委陵菜、刺藜、灰绿藜等植物大量繁殖,标志着草地的退化。

1.3 试验设计

1.3.1 根系生物量测定 每个放牧梯度内沿半径方向的4条样线上各设置10个1 m×1 m观测样方,用土柱法(30 cm×30 cm)分层切取0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm的土壤样品,每条样线5次重复,样品放入孔径大小50目的尼龙网袋内,置于水中浸泡并冲洗干净,挑拣出所有杂物后得到根系样品,在85 ℃下烘干至恒量,称其干质量。然后,以游标卡尺作为测量基准,将植被根系分为三级即直径<1 mm、1 mm≤直径<2 mm、直径≥2 mm,并分别称量。

1.3.2 土样采集 采用环刀法,于各样方内分层(0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm)取土样,称其鲜质量后带回,在105 ℃烘箱中烘干至恒量,称量其干质量,测定容重和含水量;另用9 cm土钻,取0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm土样,每条样线10次重复,将每个样地内同层土壤样品均匀混合后带回实验室保存,用于土壤理化性质的测定。

1.4 测定项目及方法

土壤容重和含水量采用环刀法测定;有机碳含量采用总有机碳/总氮分析仪(德国耶拿MUULTIN/

C3100)测定;全氮含量采用半微量凯氏法(GB 7113-87);全磷含量采用浓硫酸-双氧水消煮-钼锑抗比色法;阳离子交换量(CEC)采用醋酸铵法(鲍士旦,2000)。

1.5 根系径级的划分标准

参考 Pregitzer 等(2002)、李鹏等(2005)和胡建忠等(2005)对林地、草地根系的分类标准,结合贝加尔针茅草原植被根系特征,本研究中将植被根系划分为 3 级,即直径<1 mm、1 mm≤直径<2 mm、直径≥2 mm。

1.6 数据分析

通过 SPSS 11.5 软件用单因素方差分析(ANOVA)检验各项特征指标在不同放牧样地间的差异,用 Duncan 新复极差法分析其差异显著性($\alpha=0.05$),用 Pearson 相关分析检验各项特征指标的相关性。

2 结果与分析

2.1 放牧对土壤理化性状的影响

放牧条件下,贝加尔针茅草原土壤理化特征在不同土层间变化差异显著,土壤容重随土层深度增加而增加,阳离子交换量随土层深度的增加而减少,但土壤含水量沿土层变化差异不显著(表 1),其中,0~10 cm 土层中土壤容重显著低于 10~20 cm 土层仅出现在中牧和重牧条件下,且分别降低 5.3% 和 5.0%,而轻牧下无显著变化;0~10 cm 土层中阳离子交换量显著高于 10~20 cm 土层仅出现在轻牧和重牧条件下,且分别高出 18.7% 和 52.3%,而中牧下无显著差异。随着放牧强度的增加,0~40 cm 各土层土壤含水量均显著降低,0~20 cm 各土层土壤容重均显著增加,0~10 cm 土层阳离子交换量显著减少。

放牧条件下,土壤有机碳、全氮及全磷含量均随土层深度的增加而减少,土壤有机碳、全氮含量主要分布在 0~10 cm 土层中,分别占 0~40 cm 总土层的57.7%~60.3%、41.4%~44.6%,且随放牧强度增加其变化各不相同,但仅于 0~30 cm 各土层中变化显著(图 1):土壤有机碳均显著减少,全氮含量表现先增加后减少的趋势,全磷含量只在重牧下显著降低,其中 0~10 cm 土层土壤有机碳在中牧和重牧下分别较轻牧时下降 31.5% 和 58.1%,全氮、全磷含量在轻牧、中牧样地变化差异不显著,在重牧下较轻牧时分别下降 35.5% 和 30.0%。表明土壤理化性状在不同程度放牧压力下变化差异显著,且随着土层深度增加,差异减小。

2.2 植被根系分布特征

放牧条件下,贝加尔针茅草原植被根系主要分布于 0~40 cm 土层中(梁燕等,2008),以表层土壤(0~10 cm)中根系的生物量分布最多,占总生物量(0~40 cm)的 65.9%~82.6%,其中 0~10 cm 土层中直径≥2 mm、1 mm≤直径<2 mm 和直径<1 mm 根系的生物量分布分别占整个土壤剖面(0~40 cm)的 57.0%~89.9%、64.9%~86.4% 和 62.8%~83.6%,且各土层(0~40 cm)中的直径<1 mm 根系的生物量分布逐层显著递减(表 2)。

不同放牧强度对植被各径级根系在 0~40 cm 土层的生物量分布影响显著,随着放牧强度的增加,直径≥2 mm 和 1 mm≤直径<2 mm 根系在 0~40 cm的总生物量分布均显著降低,而直径<1 mm根

表 1 不同放牧强度下贝加尔针茅草原土壤特征

Tab.1 Soil properties of Stipa baicalensis grassland under different grazing intensities

放牧强度	土层(cm)	土壤含水量(%)	土壤容重($g\cdot cm^{-3}$)	阳离子交换量($cmol\cdot kg^{-1}$)
轻牧	0~10	20.86±0.19 b	1.22±0.02 f	18.46±2.06 a
	10~20	21.10±1.14 ab	1.26±0.05 ef	15.55±1.41 b
	20~30	22.81±1.55 a	1.41±0.07 c	11.44±0.85 de
	30~40	21.92±1.03 ab	1.58±0.04 a	11.78±1.53 de
中牧	0~10	16.91±1.45 cd	1.26±0.01 e	15.42±1.09 b
	10~20	15.29±1.65 d	1.33±0.01 d	13.75±0.51 bc
	20~30	17.13±0.06 c	1.30±0.001 d	13.81±0.43 bc
	30~40	18.33±0.46 c	1.37±0.04 d	12.70±0.10 cd
重牧	0~10	12.93±0.50 e	1.33±0.01 d	10.28±1.12 e
	10~20	12.77±0.06 e	1.40±0.02 c	6.75±0.63 f
	20~30	12.30±0.43 e	1.48±0.03 bc	6.45±0.64 f
	30~40	12.44±0.56 e	1.51±0.03 ab	6.62±0.35 f

放牧梯度样地内 0~40 cm 各土层同一特征间不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

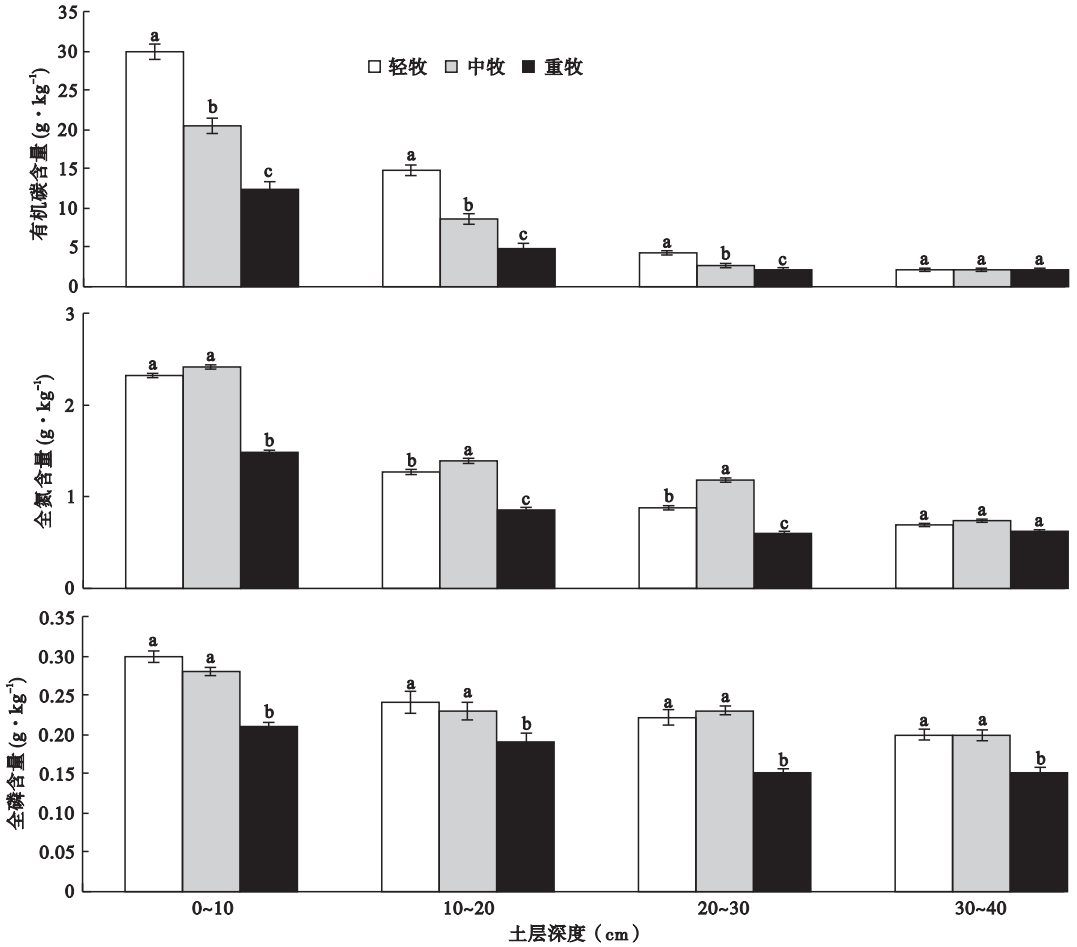


图1 放牧梯度下贝加尔针茅草原土壤有机碳、全氮和全磷含量

Fig. 1 Soil total organic carbon, total nitrogen and total phosphorus content of *Stipa baicalensis* grassland under grazing gradients

放牧梯度样地内同一土层间不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

系在0~40 cm的总生物量分布表现为先增加后减少的趋势,与其在0~10 cm土层内的生物量分布变化不一致。0~10 cm土层中各径级根系的生物量分布变化随放牧梯度变化显著,其中直径≥2 mm和直径<1 mm根生物量对不同放牧压力响应强烈(表2),直径≥2 mm根系生物量分布占总根系比例在轻、中、重牧下分别为10.6%~14.1%、5.6%~8.3%和2.1%~3.3%;直径<1 mm根系生物量分布占总根系比例在轻、中、重牧下分别为80.6%~85.8%、89.1%~91.8%、94.3%~95.2%。

2.3 植被不同径级根系垂直分布与土壤理化特性的相关关系

将直径≥2 mm、1 mm≤直径<2 mm和直径<1 mm根系生物量的垂直分布与土壤特征进行双变量相关Bivariate Correlation分析(表3)得:放牧梯度下,贝加尔针茅草原植被各径级根系生物量垂直分布与土壤全氮、全磷、有机碳均极显著相关,而与土壤容重、含水量、阳离子交换量的相关性不相同:其中,轻牧条件下,直径≥2 mm根和1 mm≤直径<2 mm根生物量垂直分布与土壤容重显著相关,直径<1 mm根生物量与土壤容重极显著相关,各径级根系都与土壤阳离子交换量极显著相关;中牧条件下,直径≥2 mm根与土壤阳离子交换量显著相关,1 mm≤直径<2 mm根和直径<1 mm根与土壤阳离子交换量极显著相关,各径级根系都与土壤容重极显著相关;重牧条件下,各径级根系生物量垂直分布与土壤含水量显著相关,与土壤容重和阳离子交换量均有极显著相关性。

表 2 放牧梯度下不同径级植被根系生物量分布

Tab. 2 Biomass distribution of vegetation root system with different diameters following grazing gradients

放牧强度	土层(cm)	根系径级(cm)		
		直径≥2 mm	1 mm≤直径<2 mm	直径<1 mm
轻牧	0~10	135.50±20.93 a	42.94±10.37 a	918.46±29.94 c
	10~20	10.07±0.54 d	11.29±1.52 c	281.63±19.24 d
	20~30	5.82±0.31 d	5.66±0.66 c	161.29±6.85 e
	30~40	3.59±0.67 d	3.42±0.41 c	85.21±5.85 g
中牧	0~10	93.42±21.39 b	41.36±7.31 a	1302.99±33.46 a
	10~20	9.05±0.94 d	9.78±0.99 c	284.06±6.78 d
	20~30	2.93±0.59 d	3.04±0.36 c	112.37±6.12 f
	30~40	1.50±0.32 d	2.15±0.59 c	65.58±3.71 h
重牧	0~10	33.07±6.37 c	26.78±8.57 b	1113.59±38.91 b
	10~20	10.16±2.34 d	2.67±0.35 c	129.17±11.46 ef
	20~30	5.38±0.90 d	2.02±0.20 c	64.03±9.38 hi
	30~40	1.76±0.66 d	1.74±0.60 c	30.28±7.07 i

放牧梯度样地内 0~40 cm 各土层同一特征间不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同放牧强度下植被各径级根系生物量($g \cdot m^{-2}$)与土壤理化性状的相关性

Tab. 3 Coefficient between soil properties and the biomass of the vegetation roots of different levels with diameter under different grazing intensities

土壤理化指标	直径≥2 mm			1 mm≤直径<2 mm			直径<1 mm		
	轻牧	中牧	重牧	轻牧	中牧	重牧	轻牧	中牧	重牧
全氮($g \cdot kg^{-1}$)	0.89**	0.91**	0.84**	0.86**	0.92**	0.78**	0.97**	0.94**	0.85**
全磷($g \cdot kg^{-1}$)	0.76**	0.70**	0.83**	0.75**	0.71**	0.80**	0.82**	0.68**	0.88**
土壤有机碳($g \cdot kg^{-1}$)	0.93**	0.94**	0.95**	0.90**	0.96**	0.77**	0.98**	0.98**	0.96**
土壤含水量(%)	−0.4	−0.09	0.61*	−0.4	−0.03	0.56*	−0.45	−0.12	0.56*
土壤容重($g \cdot cm^{-3}$)	−0.58*	−0.91**	−0.92**	−0.59*	−0.94**	−0.77**	−0.68**	−0.94**	−0.92**
阳离子交换量($cmol \cdot kg^{-1}$)	0.74**	0.65*	0.70**	0.68**	0.79**	0.90**	0.83**	0.78**	0.91**

*, $P<0.05$; **, $P<0.01$。

3 讨 论

贝加尔针茅草原植被各径级根系生物量分布(0~40 cm)在不同程度的放牧干扰下差异显著。0~10 cm 土层中,直径≥2 mm 和直径<1 mm 根系对放牧梯度响应强烈;直径≥2 mm 根系的生物量随放牧强度增加而显著降低,直径<1 mm 根系的生物量随放牧梯度的变化趋势为中牧>重牧>轻牧。但 0~40 cm总土层中,随牧压梯度增加,直径≥2 mm 和1 mm≤直径<2 mm 根系的总生物量分布均显著降低,而直径<1 mm 根系的总生物量分布表现为先增加后减少的趋势。这可能与不同的植物在牧压梯度上表现出不同的生态适应对策(Niu *et al.*,2008)有关。有研究表明,放牧对植被根系分布有很大影响(巴音等,2008;梁燕等,2008;王长庭等,2008),在水热条件一定的情况下,牧压是影响草原植被生物量和物种多样性以及群落组成结构等的主导因子(李永宏,1988;郑晓翾等,2007)。随着放牧强度的增加,贝加尔针茅草原群落植物物种数、植被盖度、地上部现存量和多样性指数均显著降低,主要植物贝加尔针茅、线叶菊、扁蓿豆地上生物量均显著减少,羊草、日荫营地上生物量呈现先增加后减少的趋势,冷蒿、灰绿藜和刺藜等低劣植物地上生物量则显著增加,导致不同径级根系分布特征对放牧梯度响应不同。

植物根系不仅与地上植被有关,与地下生境更是息息相关(周华坤等,2002;高英志等,2004)。植物根系决定地上植被对地下营养资源空间的拥有,影响其对土壤水分和养分的吸收和利用(李鹏等,2002;李勇等,2005),同时土壤理化性状、植物根际分泌物和土壤中动物以及微生物等土壤环境因子共同作用于根系,影响植物根系生长分布(韦兰英和

上官周平,2006;王长庭等,2008)。本研究表明,贝加尔针茅草原直径<1 mm的植被根系生物量的垂直分布与土壤容重和全氮、全磷、有机碳以及阳离子交换量在放牧梯度下均极显著相关,直径≥2 mm和1 mm≤直径<2 mm根系生物量的垂直分布与土壤容重和全氮、全磷、有机质以及阳离子交换量呈显著或极显著相关。随着放牧强度的增加,草原表层0~10 cm土壤容重显著增加,含水量降低,重牧下,土壤有机碳和全氮、全磷养分含量以及土壤阳离子交换量均显著降低,同时0~10 cm土层分布的直径≥2 mm和直径<1 mm植被根系生物量也显著减少,而10~40 cm土层中,随着放牧压力的增加,土壤渐趋紧实、旱化、养分贫瘠化,但仅直径<1 mm的植被根系生物量分布显著减少,直径≥2 mm和1 mm≤直径<2 mm根系无显著变化。表明放牧梯度下,贝加尔针茅草原植被根系尤其是直径<1 mm根系的分布特征对土壤环境变化敏感,能反映土壤水分、养分空间分配格局,这与Schenk(2005)的研究结果一致,即细根分布特征能反映土壤水分、养分空间分布及土壤环境变化。

放牧条件下,贝加尔针茅草原植被不同径级根系分布特征主要受植物地上部分和土壤理化特征影响,同时土壤温度、土壤酶通过作用于土壤呼吸、有机质分解过程等对土壤根系分布也有影响。根系在适应土壤环境变化的过程中,其分布特征又反过来影响植物地上部分和土壤环境,不同植物、不同直径根系对生态系统的C过程、水分平衡以及矿质循环以及全球CO_2产生等的影响不同(贺金生等,2004;李勇等,2005;韦兰英和上官周平,2006)。深入研究放牧压力下贝加尔针茅草原根系垂直分布与土壤理化环境因子的响应,为揭示放牧对草地生态系统的作用机理,制定合理的放牧管理对策提供理论依据。另外,草地植被根系分布特征还受土壤微生物、土壤动物和植物根际分泌物等诸多其他土壤环境因子的影响,有待于进一步研究。

参考文献

巴 音, 王立群, 陈世鐄. 2008. 不同退化程度克氏针茅群落的地下结构与产量. 内蒙古草业, **20**(1): 22-28.

鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社.

高英志, 韩兴国, 汪诗平. 2004. 放牧对草原土壤的影响. 生态学报, **24**(4): 790-797.

冯广龙, 刘昌明, 王 立. 1996. 土壤水分对作物根系生长及分布的调控作用. 中国生态农业学报, **4**(3): 5-9.

贺金生, 王政权, 方精云. 2004. 全球变化下的地下生态学: 问题与展望. 科学通报, **49**(13): 1226-1233.

胡建忠, 郑佳丽, 沈晶玉. 2005. 退耕地人工植物群落根系生态位及其分布特征, 生态学报, **25**(3): 481-490.

I. O. 巴吐宁, 麦来·斯拉木. 1995. 植物根系的生态可塑性. 干旱区研究, **12**(1): 24-26.

李 博. 1997. 中国北方草地退化及其防治对策. 中国农业科学, **30**(6): 1-9.

李春莉, 赵萌莉, 韩国栋, 等. 2008. 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, **22**(5): 134-138.

李 鹏, 李占斌, 澹台湛. 2005. 黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征. 应用生态学报, **24**(6): 849-953.

李 鹏, 赵 忠, 李占斌, 等. 2002. 植被根系与生态环境相互作用机制研究进展. 西北林学院学报, **17**(2): 26-32.

梁 燕, 韩国栋, 周 禾. 2008. 羊草草原不同退化程度植物群落内地上部分变化对群落根系的影响. 草业科学, **25**(4): 110-115.

李 勇, 张晴雯, 李 璐, 等. 2005. 黄土区植物根系对营养元素在土壤刨面中迁移强度的影响. 植物营养与肥料学报, **11**(4): 427-434.

李永宏. 1988. 内蒙古锡林河流域羊草草原和大针茅草原在放牧影响下的分异和趋同. 植物生态学与地植物学学报, (12): 189-196.

李永宏, 汪诗平. 1999. 放牧对草原植物的影响. 中国草地, (3): 11-19.

王长庭, 王启兰, 景增春, 等. 2008. 不同放牧梯度下高寒小嵩草草甸植被根系和土壤理化特征的变化. 草业学报, **17**(5): 9-15.

王法宏, 王旭清, 刘素英, 等. 1997. 根系分布与作物产量的关系研究进展, 山东农业科学, (4): 48-51.

王立群, 陈世鐄. 2003. 草地植物根系类型划分原则的探讨. 内蒙古农业大学学报, **24**(3): 11-13.

王仁忠, 李建东. 1992. 放牧对松嫩平原羊草草地影响的研究. 草业科学, **9**(2): 11-14.

韦兰英, 上官周平. 2006. 黄土区不同演替阶段草地植被细根垂直分布特征与土壤环境的关系. 生态学报, **26**(11): 3740-3748.

杨殿林, 韩国栋, 胡跃高, 等. 2006. 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, **25**(12): 1470-1475.

郑晓翾, 赵家明, 张玉刚, 等. 2007. 呼伦贝尔草原生物量变化及其与环境因子的关系. 生态学杂志, **26**(4): 533-538.

周华坤, 周 立, 赵新全. 2002. 金露梅灌丛地下生物量形

成规律的研究. 草业学报, **11**(2): 59-65.

Greenwood KL, Hutchinson KJ. 1999. Root characteristics of temperate pasture in New South Wales after grazing at three stocking rates for 30 years. *Grass and Forage Science*, **53**: 120-128.

Hanson PJ, Edwards NT, Garten CT, *et al*. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry*, **48**: 115-146.

Niu KC, Luo YJ, Choler P, *et al*. 2008. The role of biomass allocation strategy in diversity loss due to fertilization. *Basic and Applied Ecology*, **9**: 485-493.

Schenk H. 2005. Vertical vegetation structure below: Scaling from root to globe. *Progress in Botany*, **66**: 341-373.

Peters DPC. 2002. Plant species dominance at a grassland-shrubland ecotone: An individual-based gap dynamics model of herbaceous and woody species. *Ecological Modelling*, **152**: 5-32.

Pregitzer S, DeForest L, Burton J, *et al*. 2002. Fine root architecture of nine North American trees. *Ecological Monographs*, **72**: 293-309.

作者简介 范国艳,1983 年生,女,硕士研究生。主要从事草业生态方面研究。E-mail: fgy807@163.com

责任编辑 王 伟

欢迎订阅 2011 年《生态学杂志》

《**生态学杂志**》(月刊)是中国科学技术协会主管、中国生态学学会主办、中国科学院沈阳应用生态研究所承办的综合性学术期刊,创刊于 1982 年,由科学出版社出版。主要刊登生态学领域有创造性,立论科学、正确、充分,有较高学术价值的论文,反映中国生态学的学术水平和发展方向,报道生态学的科研成果与科研进展,跟踪学科发展前沿,促进国内外学术交流与合作。内容主要包括:生态系统生态学、种群生态学、群落生态学、景观生态学、生物地球化学、生理生态学、化学生态学、行为生态学、进化生态学等。

本刊读者对象主要是从事生态学、生物学、地学、林农牧渔业、海洋学、气象学、环境保护、经济管理、卫生和城建部门的科技工作者,有关决策部门的科技管理人员及高等院校师生。

《**生态学杂志**》现被国内外 10 多家权威检索系统和数据库收录,包括:《中国科学引文数据库》(核心期刊)、《中国期刊方阵》(双效期刊)、《中文核心期刊》、《中国科技核心期刊》、《万方数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊全文数据库》、《中文科技期刊文摘数据库》,以及美国《生物学文摘》(BA)、《化学文摘》(CA)、英国《生态学文摘》(EA)、日本《科学技术文献速报》(CBST)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)等。曾荣获中国科协优秀学术期刊二等奖、全国优秀科技期刊三等奖、中国科学院优秀期刊三等奖、辽宁省一级期刊等。

热忱欢迎广大作者登录本刊网站在线投稿,网址: http://www.cje.net.cn。

《生态学杂志》为 A4 开本,月刊,**192** 页,每册定价 **50** 元,全年 **600** 元。国内外公开发行。国内邮发代号: **8-161**,全国各地邮局均可订阅。如未能在当地邮局订到,可与编辑部直接联系订阅。

地 址: 沈阳市文化路 72 号 中国科学院沈阳应用生态研究所《生态学杂志》编辑部, 邮 编:110016

电 话: 024-83970394 **传 真**: 024-83970394

E-mail: cje@iae.ac.cn **网 址**:http://www.cje.net.cn