

黄土区不同封育时期天然草地的 根系生物量分布

白 于¹, 苏纪帅¹, 程积民^{1,2}

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:利用根钻法分析了宁夏云雾山的 5 种不同封育年限天然草地 0—80 cm 土层的根系生物量, 并对根系生物量与土壤含水量、土壤容重的相关关系进行了研究。结果表明, 1) 不同封育年限草地根系生物量均随土层加深而减少, 且集中分布在 0—30 cm 土层; 2) 随着封育年限的延长, 根系生物量逐渐增加并在封育 30 年达到最大值; 3) 随着封育的进行, 土壤含水量呈“S”型曲线增加的趋势; 4) 表层土壤的容重降低, 土壤结构得到改善; 5) 5 种封育年限草地的根系生物量与土壤含水量均无显著相关性。

关键词:根系生物量; 围栏封育; 土壤含水量; 土壤容重

中图分类号: S812

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2013)11-1824-07

* 1

草地是世界上分布最广的植被类型之一, 占陆地总面积的 1/5 左右, 是陆地生态系统的重要组成部分^[1]。受人类活动和气候变化等因素的影响, 草地植被出现了不同程度的退化, 草地生态系统的稳定性遭到破坏。据统计, 在过去的 10 年间, 我国退化草地的面积已从占全部面积的 55% 上升到 90% 以上^[2], 而西北干旱区约 70% 的草地出现中、强度退化^[3]。退化草地主要表现为植被群落覆盖度的降低, 物种多样性的降低以及土壤结构的恶化^[4]。草地退化问题严重地影响着牧民的生活, 从根本上制约了牧区生态环境和社会经济的可持续发展。因此, 如何有效遏制草地生态环境恶化, 对退化草地进行植被修复与重建成为草原生态学的重要研究内容。

根系作为连接植物与土壤环境的桥梁, 在植物生长和发育过程中发挥着巨大的作用。一方面, 粗根对植物的地上部分起到支撑和固定作用; 另一方面, 细根为植物提供养分和水分, 并通过呼吸作用对同化物进行再分配^[5-7]。内蒙古羊草 (*Leymus chinensis*) 草原和大针茅 (*Stipa grandis*) 草原的地下生物量分别占植物全部生物量的 81.3% 和 73.4%^[8], 在高寒草甸地区, 牧草地下生物量也占总

生物量的 80% 以上^[9], 由此不难看出, 草地植被的主要生物量都分配于地下, 其地下生物量是草地生态系统物质循环和能量流动必不可少的环节^[10-13]。但是长期以来, 由于根系生物量测定的方法较原始, 并且需要耗费大量的人力和时间^[14], 所以, 人们对根系生物量研究的认识不够, 特别是对长期封育条件下草地的根系生物量研究较少, 因此, 很有必要展开这方面的研究。

随着干旱区草地非平衡生态学理论的提出和发展, 封育逐渐成为恢复与重建退化草地生态系统简便而有效的措施。研究^[15-16]表明, 封育措施可以显著提高退化草地的生产力, 改良土壤结构, 从而促进退化草原正向演替发展, 但由于草原类型的多样以及围封时间、退化程度等方面存在的差异, 研究结果也不尽相同。在这一恢复过程中, 草原的结构和功能将如何变化? 退化草地恢复状况的好坏是否与封育时间的长短呈正比? 基于以上疑问以及根系对草地生态系统的重要性, 本研究对不同封育年限天然草地的根系生物量进行研究, 探讨在不同封育时期根系生物量的分布规律, 旨在为黄土高原退化草地的恢复与利用提供理论依据。

收稿日期: 2013-07-10 接受日期: 2013-09-20

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项——应对气候变化的碳收支认证及相关问题(XDA05050202); 国家自然科学基金重点项目(41230852); 国家林业局公益性行业科研专项(200904056); 草地农业生态系统国家重点实验室

作者简介: 白于(1988-), 男(蒙古族), 内蒙古扎鲁特旗人, 在读硕士生, 研究方向为旱区草地生态。E-mail: wln129@nwsuaf.edu.cn

通信作者: 程积民(1955-), 男, 陕西蒲城人, 教授, 本科, 研究方向为旱区草地生态。E-mail: gyzejm@ms.iswc.ac.cn

1 材料与方法

1.1 研究区概况 云雾山自然保护区位于宁夏回族自治区固原市东北部 45 km 处,106°24′-106°28′ E,36°13′-36°19′ N,海拔 1 800~2 100 m。云雾山保护区处于中温带半干旱气候区,具有干燥,降水量少而集中,冬季寒长,夏季热短,温差大,日照长,无霜期较短等气候特点。年平均气温 5℃,年平均降水量 440.5 mm。经 2012 年全面考察,保护区内共有植物 313 种,其中栽培植物 16 种,野生植物 297 种,主要优势植物有大针茅、本氏针茅(*S. bungeana*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)和星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 本试验选择云雾山封育 5 年、9 年、13 年、22 年以及 30 年的天然草地作为研究对象,按坡位(上、中、下)进行根系生物量和土壤特性的测定。样地基本信息见表 1。

表 1 样地基本信息				
Table 1 General situation of the experimental plots				
封育年限 Enclosing year/a	坡度 Slope/°	坡向 Aspect	海拔 Altitude/ m	盖度 Coverage/ %
5	20	阳坡 Sunny slope	1 942	64
9	22	阳坡 Sunny slope	1 901	82
13	27	阳坡 Sunny slope	1 892	78
22	21	阳坡 Sunny slope	1 882	82
30	26	阳坡 Sunny slope	2 098	98

1.2.2 根系生物量的测定 根样于 2012 年 8 月中旬采集。在选好的采样点用根钻(Φ=9 cm)从 0—80 cm 分层(每层 10 cm)取样,每个坡位重复 5 次,土芯编号后带回实验室。用流水漂洗土样,过孔径 0.4 mm 的网筛,得到各层的根系样品。将洗净的根系编号,75℃下烘干至质量恒定,称取干质量。

1.2.3 土壤含水量、土壤容重的测定 土样于 2012 年 8 月中旬采集。在选好的采样点,采用土钻法

(Φ=4 cm),用小铝盒采集 0—80 cm 土层土样(0—40 cm 每 10 cm 一层取样,40—80 cm 每 20 cm 一层取样),每个坡位重复 3 次,土壤含水量采用烘干法测定。同时在每个坡位内设置 1 个 1 m 长、1 m 宽和 1 m 深的土壤剖面,进行土壤容重的测定。采用环刀法,自上而下,从 0—80 m 分层(0—40 cm 每 10 cm 一层取样,40—80 cm 每 20 cm 一层取样)取出完整的容重土样,把环刀中的样品转移至土盒中,立即加盖,烘干后称重。

1.2.4 数据处理 根系生物量的计算公式为:
$$\text{根系生物量}(\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}) = m \times 100 / [\pi(\Phi/2)^2],$$
式中, m 为平均每根土芯根系干质量(g), Φ 为土钻内径(9 cm)。

$$\text{土壤含水量}(\%) = [(\text{铝盒鲜质量} + \text{土样鲜质量}) - (\text{铝盒干质量} + \text{土样干质量})] / \text{土样干质量} \times 100\%;$$
$$\text{土壤容重}(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) = [(\text{土盒干质量} + \text{土样干质量}) - \text{土盒干质量}] / \text{环刀体积}。$$

所有数据利用 SPSS 18.0 软件进行分析。分别对同一封育年限草地根系生物量的土层深度、坡位因素,同一封育年限草地土壤含水量、土壤容重的土层深度因素,不同封育年限根系生物量的封育年限因素进行单因素方差分析(One-way ANOVA),然后利用最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异,用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相关关系。显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同封育年限草地根系生物量的分布规律

2.1.1 根系生物量的垂直分布 在垂直分布上,不同封育年限草地根系生物量集中分布在 0—30 cm 土层(表 2),同一封育年限草地 0—10 cm 土层的根系生物量均显著高于下层的根系生物量($P<0.05$)。封育 9 年草地 10—20 cm 土层的根系生物量显著高于 20 cm 以下各土层的根系生物量;其它封育草地 10—20 cm 土层的根系生物量与 20—30 cm 土层的根系生物量无显著差异($P>0.05$),且显著高于 30 cm 以下各土层的根系生物量。封育 22 年草地 20—30 cm 土层的根系生物量与 30—40 cm 土层的根系生物量无显著差异且显著高于 40 cm 以下各土层的根系生物量;其它封育草地 20—30 cm 土层的根系生物量均显著高于 30 cm 下各层土壤的

根系生物量。在 30—80 cm 土层范围内,封育 5 年、13 年草地 30 cm 以下各土层的根系生物量无显著差异,封育 22 年草地 30—40 cm 的根系生物量显著高于其下各层的。封育 30 年草地根系生物量呈现出不同的特点:30—40 cm 土层的根系生物量与 40—50、50—60 cm 土层的根系生物量无显著差异并且显著高于最下两层土壤的根系生物量,40 cm 以下各土层的根系生物量无显著差异。

表 2 不同封育年限草地根系生物量的垂直分布
Table 2 Vertical distribution of root biomass in different enclosing years grasslands t · hm⁻²

封育年限 Enclosing year	土层深度 Soil depth			
	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm
5 a	1.16±0.16aB	0.44±0.06bC	0.38±0.07bC	0.17±0.03cC
9 a	1.07±0.09aB	0.62±0.04bC	0.50±0.04cC	0.29±0.02dC
13 a	0.95±0.14aB	0.68±0.05bBC	0.60±0.08bBC	0.26±0.04cC
22 a	1.42±0.16aB	0.92±0.10bB	0.78±0.07bcB	0.58±0.05cB
30 a	2.52±0.33aA	1.58±0.14bA	1.20±0.16bA	0.77±0.10cA

封育年限 Enclosing year	土层深度 Soil depth			
	40—50 cm	50—60 cm	60—70 cm	70—80 cm
5 a	0.11±0.08cC	0.10±0.02cC	0.05±0.01cD	0.05±0.01cC
9 a	0.18±0.02deC	0.11±0.01eC	0.10±0.01eCD	0.10±0.02eBC
13 a	0.25±0.05cBC	0.15±0.03cBC	0.12±0.02cC	0.09±0.01cBC
22 a	0.37±0.04dB	0.22±0.02deB	0.19±0.02deB	0.14±0.02eB
30 a	0.56±0.10cdA	0.37±0.06cdA	0.29±0.04dA	0.23±0.04dA

注:同行不同小写字母表示同一封育年限不同土层深度间差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一土层深度不同封育年限间差异显著($P<0.05$)。
Note:Different lower case letters within the same row mean significant difference among eight soil depths at 0.05 level, and different capital letter within the same column mean significant difference among five enclosing years at 0.05 level.

2.1.2 不同封育年限草地根系生物量的变化规律
随着封育年限的延长,根系生物量总体上呈现出逐渐增加并在封育 30 年达到最大值的趋势。不同草地同一土层根系生物量存在差异,封育 30 年草地 0—10 cm 土层根系生物量是所有封育草地之中最高的,为 2.517 8 t · ha⁻¹(表 2)。对不同封育年限草地同一土层根系生物量的方差分析表明,封育 30 年草地的各土层根系生物量均显著高于其它 4 种年限封育草地($P<0.05$);0—10 cm 土层范围内,其它 4 种年限封育草地的根系生物量无显著差异($P>0.05$)。不同封育年限 0—30 cm 土层根系生物量占 0—80 cm 土层总根系生物量的比例按大小依次为封育 22 年<封育 30 年<封育 13 年<封育 9 年<封育 5 年,由此可以看出,随着封育年限的增加,根系生物量在表层土壤中所占的比例逐渐降低,呈现出向深层分布的趋势。

2.1.3 不同坡位草地根系生物量的分布特征 不同坡位的草地根系生物量变化较大,其中,封育 30 年草地的上坡生物量为最大,封育 5 年草地的下坡生物量为最小(表 3)。对不同坡位的草地根系生物量进行方差分析表明,封育 9 年、22 年草地各坡位的根系生物量间无显著差异($P>0.05$)。封育 5 年的上坡生物量、封育 13 年的中坡生物量均显著高于同一年限其它两个坡位的生物量($P<0.05$),封育 30 年草地的中坡根系生物量与其上坡、下坡的根系生物量间无显著差异,但上坡根系生物量显著高于下坡。除封育 13 年的草地外,其它封育草地的上坡根系生物量处于或接近最大生物量。
2.2 不同封育年限草地土壤含水量和土壤容重的变化规律
2.2.1 土壤含水量的分布特征 土壤水分是制约植物根系生长、发育的主要环境因素之一。不同年限

封育草地土壤含水量在垂直方向的分布趋势基本相同,即随着土层深度的增加而减少(表 4)。封育 30 年草地的土壤含水量在 0—80 cm 土层范围内始终保持较高的水平,可能是由于土壤结构的改善使得土壤保水性能增强。各样地在 0—60 cm 土层范围内的含水量变化不大,且除了 30 年样地,均在 60—80 cm 土层范围内有一个明显的下降。土壤含水量表现出随着封育年限的延长,呈“S”型曲线增加的趋势。

2.2.2 土壤容重的分布特征 土壤容重是反映土壤性质与根系生长关系的最重要土壤因子之一,其值越小,说明土壤孔隙度越高,对根系穿透的机械阻力越小,越有利于根系的生长。随着土层深度的增加,5 种封育年限草地的土壤容重基本呈现逐渐增大的

趋势(表 5)。在 0—20 cm 土层范围内,封育 5 年、9 年、13 年草地的土壤容重变化较小,而封育 22 年、30 年草地 0—10 cm 的土壤容重显著小于 10—20 cm 土层的,这说明随着封育的进行,表层土壤结构得到改善,对植被的生长起到促进作用。由于草地植被的根系分布较浅,对深层土壤的改善能力有限,因而各封育草地 20 cm 以下土层的土壤容重有较大的增幅。

2.3 根系生物量与土壤含水量、土壤容重的相关关系 5 种封育年限草地的根系生物量与土壤含水量均无显著相关性;而根系生物量与土壤容重均呈负相关关系,其中,封育 22 年草地的根系生物量与土壤容重呈极显著负相关关系($P<0.01$) (表 6)。

表 3 不同坡位 0—80 cm 草地根系生物量的分布特征
Table 3 Distribution characteristic of root biomass within 0—80 cm depth of different position on slope $t \cdot \text{hm}^{-2}$

封育年限 Enclosing year	坡位 Position of slope		
	上坡 Upslope	中坡 Midslope	下坡 Downslope
5 a	3.10±0.36aC	1.80±0.40bC	1.75±0.35bB
9 a	3.23±0.32aC	2.83±0.36aBC	2.90±0.17aB
13 a	2.55±0.56bC	4.26±0.44aB	2.73±0.32bB
22 a	4.83±0.43aB	4.20±0.46aB	4.85±0.78aA
30 a	9.33±0.72aA	7.33±0.86abA	5.87±0.66bA

注:同行不同小写字母表示同一封育年限不同坡位间差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一坡位不同封育年限间差异显著($P<0.05$)。
Note:Different lower case letters within the same row mean significant difference among three slope positions at 0.05 level, and different capital letter within the same column mean significant difference among five enclosing years at 0.05 level.

表 4 土壤含水量的分布特征
Table 4 Distribution characteristic of soil water content %

封育年限 Enclosing year	土层深度 Soil depth					
	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	40—60 cm	60—80 cm
5 a	14.08±0.35abD	14.34±0.40abB	14.84±0.87aB	13.59±0.78abC	12.63±0.62bAB	8.35±0.86cBC
9 a	16.27±0.67aBC	15.52±0.69aB	15.52±0.77aB	14.64±0.95abBC	13.14±0.80bAB	8.88±0.54cBC
13 a	15.00±0.43aCD	14.82±0.39aB	15.34±0.62aB	14.36±0.60aC	11.04±0.92bB	6.38±0.77cC
22 a	18.39±0.47aA	18.31±0.40abA	17.81±0.43abA	16.48±0.67bAB	14.17±1.02cA	9.54±0.67dB
30 a	17.51±0.66aAB	17.64±0.60aA	17.51±0.50aA	16.97±0.56abA	15.57±1.53abA	14.33±1.59bA

注:同行不同小写字母表示同一封育年限不同土层深度间差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一土层深度不同封育年限间差异显著($P<0.05$)。
Note:Different lower case letters within the same row mean significant difference among eight soil depths at 0.05 level, and different capital letter within the same column mean significant difference among five enclosing years at 0.05 level.

表 5 土壤容重的分布特征

Table 5 Distribution characteristic of soil bulk density

%

封育年限 Enclosing year	土层深度 Soil depth					
	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	40—60 cm	60—80 cm
5 a	1.25±0.03abA	1.24±0.02bAB	1.27±0.04abA	1.34±0.03aA	1.34±0.03aA	1.34±0.03aBC
9 a	1.23±0.03bA	1.26±0.03bAB	1.30±0.04abA	1.34±0.05abA	1.37±0.04aA	1.39±0.03aAB
13 a	1.29±0.01bA	1.29±0.03bA	1.31±0.03bA	1.34±0.03abA	1.42±0.06aA	1.34±0.05abBC
22 a	1.07±0.07cB	1.25±0.03bAB	1.32±0.04abA	1.36±0.05abA	1.41±0.04aA	1.44±0.01aA
30 a	1.05±0.04cB	1.19±0.04bB	1.22±0.03abA	1.25±0.03abA	1.33±0.04aA	1.28±0.04abC

注:同行不同小写字母表示同一封育年限不同土层深度间差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一土层深度不同封育年限间差异显著($P<0.05$)。

Note:Different lower case letters within the same row mean significant difference among eight soil depths at 0.05 level, and different capital letter within the same column mean significant difference among five enclosing years at 0.05 level.

表 6 根系生物量与土壤含水量、土壤容重的相关性

Table 6 Correlation coefficients of root biomass with
soil water content and soil bulk density

封育年限 Enclosing year/a	相关系数 Correlation coefficient	
	土壤含水量 Soil water content	土壤容重 Soil bulk density
5	0.287	-0.487
9	0.377	-0.508
13	-0.134	-0.075
22	0.530	-0.814 * *
30	-0.298	-0.243

注: * * 表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: * * indicate significant difference at 0.01 level.

3 讨论与结论

生物量是生态系统最基本的数量特征,同时也是衡量生态系统获取能量能力的重要指标^[17]。根系生物量可以反映该植物在某一土层深度的生长能力,积累的生物量越多,说明在该土层中利用养分、水分的能力越强^[17-20]。本研究发现,在垂直分布上,不同封育年限草地的根系生物量均随土层加深而减少,且集中在土壤表层,这与很多研究结果^[21-23]相一致;同一封育年限草地 0—10 cm 土层的根系生物量均显著高于其下各土层的根系生物量。根系生物量主要分布在表层土壤中,有利于半干旱地区植被对有限降水的有效利用^[24],有利于植物获取表层土壤中丰富的水分和矿质营养资源来满足生长需求;随着土壤深度的增加,土壤温度降低、含水量减少以及结构变差都会对根系生长造成不利影响,根量也就随之减少,这显示了草原植物对环境的适应性^[25]。

封育措施很好地控制了牲畜对草地植被的啃食与践踏,给草地提供自然恢复的时间;反过来植被的

恢复使地表凋落物及根系周转向土壤输入更多的营养,促进根系的生长,从而增加了根系的生物量^[24]。单贵莲等^[26]对内蒙古典型草原的研究发现,重度退化草地采用生长季围封恢复措施后,根系生物量显著增加。本研究发现,随着封育年限的延长,根系生物量逐渐增加并在封育 30 年达到最大值。虽然随着封育年限的延长,土壤结构得到改善,单株植物的根系生物量可能会有所下降,但是由于样地整体盖度的提高,因而根系生物量还是呈增加的趋势。

许多研究表明,土壤理化性质可能影响植被群落结构特征^[27-29]。Connell 和 Slatyer^[30]的研究表明,土壤资源可以提高演替后期物种的存活率,从而改变植被演替进程。本研究发现,所选样地的根系生物量与土壤含水量相关性不显著,这可能是由于当年的降水量较为充沛,水分基本满足了植被生长所需,所以土壤水分未成为根系生长的限制因素。封育措施使退化草地得到了休养生息的机会,使得植被在种类、数量和生物量上都有显著增加。改善了植被条件一方面可以减少土壤水分的蒸发,保持土壤含水量在一个较高的水平;另一方面植被根系的活动使表层土壤疏松,土壤结构得到改善,因而随着封育的进行,土壤容重呈现逐渐减小的趋势。反过来,土壤含水量的增加以及土壤结构的改善又对植被生长起到促进作用。

研究表明,围栏封育是草地管理的有效手段^[31-32]。但是在实际应用中,不仅要维持草地的正常生长,还要考虑到牧区经济的发展及草地资源的利用、更新及草地畜牧业的可持续发展。因而,封育年限的选择无疑是一个重要的课题。综合考虑本研

究结果,笔者认为封育 9 年是一个不错的选择。这样既给了退化草地重建的时间,使根系生物量、土壤含水量、土壤容重恢复到一个相对较高的水平,又不会因为封育时间太长而影响畜牧业的发展。

参考文献

- [1] 胡中民,樊江文,钟华平,等. 中国草地地下生物量研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1095-1101.
- [2] David K, Colin B, Han G D, *et al.* Chinese grasslands: Problems, dilemmas and finding solutions[A]. Development of Sustainable Livestock Systems on Grasslands in North-western China [C]. Canberra: ACIAR Proceedings, 2011: 12-25.
- [3] 杜青林. 中国草业可持续发展战略[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [4] 刘凤婵,李红丽,董智,等. 封育对退化草原植被恢复及土壤理化性质影响的研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(5): 116-122.
- [5] 张小全,吴可红, Murach D. 树木细根生产与周转研究方法评述[J]. 生态学报, 2000, 20: 875-883.
- [6] 孙继超,康峰峰,赵秀海,等. 森林植物细根生产力研究进展[J]. 世界林业研究, 2010, 23(3): 29-33.
- [7] Bunttoon C, Sasitorn P, Pipat P. Distribution of fine-root necromass in a secondary mangrove forest in Trat Province, Eastern Thailand[J]. Science Asia, 2011, 37: 1-5.
- [8] 姜恕. 羊草和大针茅草原群落生物量的初步比较研究[A]. 草原生态系统研究(第 1 集)[C]. 北京: 科学出版社, 1985: 12-23.
- [9] 鄯燕,张建国,张锦华,等. 西藏那曲地区高寒草地地下生物量[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2818-2823.
- [10] Ni J. Carbon storage in grassland of China[J]. Journal of Arid Environment, 2002, 50: 205-218.
- [11] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements[J]. Global Change Biology, 2002, 8: 736-753.
- [12] 朴世龙,方精云,贺金生,等. 中国草地植被生物量及其空间分布格局[J]. 植物生态学报, 2004, 25(4): 491-498.
- [13] 刘艾,刘德福. 我国草地生物量研究概述[J]. 内蒙古草业, 2005, 17(1): 7-11.
- [14] Metcalfe D B, Williams M, Aragão L E O C, *et al.* A method for extracting plant roots from soil which facilitates rapid sample processing without compromising measurement accuracy[J]. New Phytologist, 2007, 174: 697-703.
- [15] 左万庆,王玉辉,王凤玉,等. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究[J]. 草业学报, 2009, 18(3): 12-19.
- [16] 刘雪明,聂学敏. 围栏封育对高寒草地植被数量特征的影响[J]. 草业科学, 2012, 29(1): 112-116.
- [17] 周梦华,程积民,万惠娥,等. 云雾山本氏针茅群落根系分布特征[J]. 草地学报, 2008, 16(3): 267-271.
- [18] 余爱,杨帆,张宇,等. 不同磷浓度对柱花草和黑籽雀稗根系分布的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 219-224.
- [19] 毕建琦,杜峰,梁宗锁,等. 黄土高原丘陵区不同立地条件下柠条根系研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 225-230.
- [20] 黄小露,刘君,杨志民. 不同坪床配比百慕大 T-419 的生物量和根系分布特征研究[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 98-106.
- [21] Jonsson I, Fidjeland L, Maghembe J A. The vertical distribution of fine roots of five tree species and maize in Morogoro, Tanzania [J]. Agroforestry Systems, 1988, 6: 63-69.
- [22] Ugawa S, Miura S, Iwamoto K, *et al.* Vertical patterns of fine root biomass, morphology and nitrogen concentration in a subalpine fir-wave forest[J]. Plant and Soil, 2010, 335: 469-478.
- [23] 黄琳琳,陈云明,张升,等. 黄土丘陵区人工油松林地土壤特性及根系特征研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 37-41.
- [24] 陈芙蓉,程积民,于鲁宁,等. 封育和放牧对黄土高原典型草原生物量的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(6): 1079-1084.
- [25] 张娜,梁一民. 黄土丘陵区天然草地地下/地上生物量的研究[J]. 草业学报, 2002, 11(2): 72-78.
- [26] 单贵莲,徐柱,宁发,等. 围封年限对典型草原植被与土壤特征的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(2): 3-10.
- [27] Breemen N V, Finzi A C. Plant-soil interactions: Ecological aspects and evolutionary implications[J]. Biogeochemistry, 1998, 42: 1-19.
- [28] Adema E B, Grootans. Possible positive-feedback mechanisms: Plants change abiotic soil parameters in wet calcareous dune slacks [J]. Plant Ecology, 2003, 167: 141-149.
- [29] Blatt S E, Crowder A, Harmsen R. Secondary succession in two south-eastern Ontario old-fields[J]. Plant Ecology, 2005, 177: 25-41.
- [30] Connell J H, Slatyer R O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community

stability and organization[J]. The American Naturalist, 1977, 111: 1119-1144.

[31] 陈全功. 江河源区草地退化与生态环境的综合治理[J]. 草业学报, 2007, 16(1): 10-15.

[32] 张苏琼, 阎万贵. 中国西部草原生态环境问题及其控制措施[J]. 草业学报, 2006, 15(5): 11-18.

Root biomass distribution of natural grasslands with different enclosing years in the Loess Plateau

BAI Yu¹, SU Ji-shuai¹, CHENG Ji-min^{1,2}

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conversation of Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: An investigation on root biomass distribution in 0—80 cm soil layer of natural grasslands with different enclosing years was conducted in Yunwu Mountain, by employing soil core method. The correlations among root biomass, soil water content and soil bulk density were also studied. The results indicated that: 1) Root biomasses centralize in 0—30 cm soil layer and decrease with the increasing of soil depth for all natural grasslands with different enclosing years; 2) Root biomass increases with the increasing of enclosing year, and reaches the maximum value in grassland with a 30 years enclosing; 3) With the increasing of enclosing years, soil water content of grassland increases with a S-type, soil bulk density of topsoil decreases, and the structure of soil is improved; 4) There is no significant correlation between root biomasses and soil water contents of 5 kinds of enclosed grasslands.

Key words: root biomass; enclosure; soil water content; soil bulk density

Corresponding author: CHENG Ji-min E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn

2013 年 10 月国际市场主要饲料与畜产品价格分析

美国玉米、大豆、高粱、菜籽、棉籽饼、苜蓿粉价格环比分别下降 5.5%、6.8%、5.7%、3.1%、0.1%、0.5%；豆粉价格与 9 月持平；豆粕价格环比上涨 1.5%。

国际畜产品价格涨跌互现。美国瘦肉猪、育肥牛价格环比分别上涨 0.5%、4.3%，牛肉价格与 9 月持平，鸡肉价格环比下降 1.3%；欧盟猪肉价格环比下降 1.3%；新西兰羊肉、羊羔肉价格环比分别上涨 12.7%、4.2%。

表 1 2013 年 10 月国际市场主要饲料与畜产品平均价格

饲料	价格	畜产品	价格
玉米	173.97 USD · t ⁻¹	瘦肉猪	2.01 USD · kg ⁻¹
大豆	472.17 USD · t ⁻¹	育肥牛	3.62 USD · kg ⁻¹
高粱	184.50 AUD · t ⁻¹	猪肉*	2.35 USD · kg ⁻¹
豆粕	552.37 USD · t ⁻¹	鸡肉**	2.31 USD · kg ⁻¹
菜籽	479.95 CAD · t ⁻¹	牛肉**	4.58 USD · kg ⁻¹
豆粉	489.59 USD · t ⁻¹	羊肉***	2.40 USD · kg ⁻¹
棉籽饼	410.00 USD · t ⁻¹	羊羔肉***	3.96 USD · kg ⁻¹
苜蓿粉	350.00 USD · t ⁻¹	牛奶**	0.40 USD · kg ⁻¹

注：* 表示欧盟，** 表示美国，*** 表示新西兰。10 月参考汇率为 1 CNY(人民币)=0.164 USD(美元)=0.174 AUD(澳元)=0.171 CAD(加元)=0.103 GBP(英镑)

(兰州大学草地农业科技学院 王迎新)