

# 刈割对天山北坡草甸草原生物量的影响

孙霞, 丁妮, 贾宏涛, 杜俊龙, 金俊香

(新疆农业大学, 草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** [目的] 以天山北坡羊茅+杂类草草甸草原为研究对象, 研究刈割对草地生物量的影响, 探讨地下生物量的形成规律。[方法] 采用模拟放牧方式设置休牧、轻度放牧、中度放牧、重度放牧 4 个处理, 测定分析草地生态系统生物量的变化。[结果] 随着放牧强度的增大, 草本生物量和凋落物逐渐下降, 且下降幅度逐渐增大。与休牧相比, 轻牧、中牧和重牧的草本生物量分别下降了 27.51%, 45.28%, 65.05%。9 月各处理地下生物量与 6 月相比分别增加了 16.05%, 13.07%, 19.15%, 19.08%, 0—20 cm 土层的地下生物量占总地下生物量的 85%, 呈 T 型分布, 向下递减趋势明显。[结论] 放牧强度对植物地上生物量影响明显, 表现为: 休牧>轻牧>中牧>重牧; 季节变化中 7 月份地上生物量最大, 显著高于 9 月; 0—100 cm 土壤深度中各处理对地下生物量影响表现为: 轻牧>休牧>中牧>重牧; 各处理下地下生物量的垂直分布变化趋势相同, 即地下生物量集中分布在 0—10 cm 土层, 该层生物量占总地下生物量的 70%, 且随着土壤深度增加不断减少; 季节变化中, 地下生物量变化表现为: 9 月>6 月, 各层生物量随土层深度的增加向下递减趋势明显。

**关键词:** 刈割; 草甸草原; 生物量; 垂直分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0195-04

中图分类号: S812.8

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.102

## Effect of Cutting on Meadow Grassland Biomass in North Slope of Tianshan Mountain

SUN Xia, DING Wei, JIA Hongtao, DU Junlong, JIN Junxiang

(College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830052, China)

**Abstract:** [Objective] We took the fescue and miscellaneous grass meadow steppe in the north slope of Tianshan mountain as the research object in order to study the effect of cutting intensity on aboveground and underground biomass of grassland. [Methods] Four treatments including no grazing, light grazing, moderate grazing and heavy grazing were set to investigate the biomass of grassland ecosystem. [Results] With the increase of grazing intensity, herbaceous biomass and litter decreased, and this decrease trend increased gradually. Compared to the no grazing treatment, biomass in light grazing, moderate grazing and heavy grazing were decreased by 27.51%, 45.28%, 65.05%, respectively. The underground biomass of no grazing, light grazing, moderate grazing and heavy grazing in September increased by 16.05%, 13.07%, 19.15%, 19.08%, respectively, from June. Biomass in 0—20 cm soil layer accounted for 85% of the total underground biomass, and the decreasing trend of underground biomass with the increasing soil depths was obvious. [Conclusion] The effect of grazing intensity on aboveground biomass was: light grazing>no grazing>moderate grazing>heavy grazing. The maximum aboveground biomass occurred in July, which was significantly higher than that in September. The effect of grazing intensity on the underground biomass in 0—100 cm soil depth was light grazing>no grazing>moderate grazing>heavy grazing. The vertical distribution trend of underground biomass was the same in all different grazing intensities. Underground biomass mainly distributed in 0—10 cm soil layer, and it accounted for 70% of the total underground biomass. In addition,

收稿日期: 2014-07-13

修回日期: 2014-09-11

资助项目: 新疆草地资源与生态重点实验室开放课题、土壤学自治区重点学科资助“放牧强度对天山北坡羊茅+杂类草草甸草原固碳速率及碳储量的影响”(XJDX0209-2011-03)

第一作者: 孙霞(1975—), 女(汉族), 江苏省建湖县人, 博士, 副教授, 研究生导师, 研究方向为土壤与植物营养。E-mail: sunxia1127@163.com。

underground biomass reduced with the increase of soil depths. Variations in underground biomass were great in September than in June.

**Keywords:** cutting; meadow grassland; biomass; vertical distribution

植物生物量及其动态变化是草地放牧生态系统研究的重要内容之一。许多学者对不同放牧强度下草地地上、地下生物量进行了相关研究<sup>[1-5]</sup>。Scurlock 和 Hall<sup>[6]</sup>, Mokany 等<sup>[7]</sup>认为地下生物量占草地总生物量的 80% 以上,是草地土壤碳库最主要的输入源,在草地碳循环中起着关键作用。植物生物量的地上/地下分配方式反映植物的生长策略,并且会影响生产力和土壤碳输入,进而影响陆地生态系统碳循环<sup>[8-9]</sup>。国内对生物量的研究已经相当广泛和深入<sup>[10]</sup>,但对于草甸草原生物量的研究相对较少。放牧作为最主要的草地利用方式,是规模最大的人类活动影响因素。不同的放牧利用方式对草地植被产生不同的影响。放牧对草地生物量的影响及影响机制如何,是关系如何合理保护和利用草地的重要命题。本文以天山北坡羊茅+杂类草草甸草原为对象,对不同放牧强度下的地上和地下生物量进行比较分析,进一步探讨地下生物量的形成规律,以期对草地资源的合理利用与可持续发展提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于新疆乌鲁木齐市西南 74 km 的天山北坡谢家沟,地理位置为 43°32' N, 87°25' E, 海拔 1 620 m,属于典型山地干旱草原,春秋放牧草地。年降水量 362.4 mm,年蒸发量 1 684 mm;年均气温 3.3 °C,无霜期 120~140 d;土壤为山地栗钙土。植被以耐旱的多年生丛生禾草为主,另外还有旱生与中旱生杂类草。草地类型是以羊茅为主的草原草地类,主要优势种有羊茅(*Festuca ovina*)、针茅(*Stipa capillata*)、短柱苔草(*Carex turkestanica*),伴生种有新疆亚菊(*Ajania fastigiata*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、天山赖草(*Leymus tianshanicus*)等植物。

### 1.2 试验设计与方法

试验于 2012—2013 年 6—9 月每月下旬,在新疆农业大学谢家沟草地生态试验站进行。以天山北坡羊茅+杂类草草甸草原为对象,采取模拟放牧方式,设置不放牧(休牧)为对照,轻度放牧(草地利用率为 30%)、中度放牧(草地利用率为 50%)、重度放牧(草地利用率为 70%)共 4 个处理。各处理尽量选择植被、环境相对一致的区域设置 1 m×1 m 样方,3 次重复。休牧处理齐地刈割样方内地上植被,称取重量按草地利用率 0% 对待;轻牧、中牧和重牧处理分别自

上而下刈割休牧样方内牧草总量的 30%, 50% 和 70%,分别按草地利用率的 30%, 50% 和 70% 对待。地上生物量的采集时间是 6—9 月,地下生物量的采集时间是 6 月和 9 月。

### 1.3 测定项目及内容

地上生物量收集按同一处理样方内采集的样品混合均匀后装入袋中进行编号。在选取的 1 m×1 m 的样方中,采集地上凋落物,编号后并装入袋中。将采集的植物样带回室内称其鲜重,杀青后在 80 °C 烘箱内烘干至恒重。在取过地上生物量的样方内,设置 5 个点,用直径 7 cm 的土钻按 10 cm 间隔提取 0—100 cm 植被根系。0—50 cm 土层每层钻 5 钻,50—100 cm 每层钻 3 钻,各层组成一个混合样装入尼龙网袋中,冲洗根系后带回实验室漂洗干净,放进 65 °C 烘箱烘至恒重。

### 1.4 数据处理与计算

各层根系生物量采用以下计算公式<sup>[11]</sup>

$$RB_i = W_i / \pi (D/2)^2 \cdot 10^4$$

式中:  $RB_i$ ——第  $i$  层的 1 m<sup>2</sup> 根系的生物量(g/m<sup>2</sup>);  $W_i$ ——第  $i$  层每钻的根系重量(g);  $D$ ——根钻的内径(7 cm)。

采用 Excel 2012 进行数据的录入、整理; SPSS 20.0 进行方差分析、多重比较和 LSD 检验数据为 2012—2013 年 2 a 结果的平均值,用平均值±标准误的形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同放牧强度对地上生物量的影响

不同放牧强度下植物地上生物量 6—9 月的季节变化见表 1。可以看出,随着放牧强度增大,各处理生物量均显著下降。各处理下的草本地上生物量分别为 1 269.55, 992.86, 749.48, 478.72 g/m<sup>2</sup>,与休牧相比,轻牧、中牧和重牧的草本生物量分别下降了 27.51%, 45.28%, 65.05%。随着放牧强度的增大,凋落物逐渐下降。休牧处理的凋落物生物量为 21.64 g/m<sup>2</sup>;轻牧与休牧相比下降了 7.98%;中牧与休牧相比下降了 24.50%;重牧与休牧相比下降了 33.83%。随着放牧强度的增大,草本生物量和凋落物生物量均呈下降趋势,且下降幅度逐渐增大。6—9 月,轻牧、中牧和重牧处理的草本生物量与休牧处理之间呈显著差异;轻牧和休牧的凋落物差异不明显;中牧、重牧与轻牧、休牧差异显著。

表 1 各处理下的天山北坡草甸地上生物量变化情况

生物量	放牧强度	6 月	7 月	8 月	9 月	均值
草本生物量	休牧	1 064.84±13.12 <sup>Ad</sup>	1 696.6±20.09 <sup>Aa</sup>	1 202.36±18.74 <sup>Ab</sup>	1 114.4±15.66 <sup>Ac</sup>	1 269.55
	轻牧	813.81±10.78 <sup>Bd</sup>	1340.2±17.75 <sup>Ba</sup>	977.92±12.04 <sup>Bb</sup>	839.52±11.21 <sup>Bc</sup>	992.86
	中牧	599.27±10.63 <sup>Cd</sup>	1 041.76±11.43 <sup>Ca</sup>	699.64±9.67 <sup>Cb</sup>	657.24±10.23 <sup>Cc</sup>	749.48
	重牧	406.75±11.08 <sup>Dc</sup>	652.52±10.44 <sup>Da</sup>	471.84±8.54 <sup>Db</sup>	383.76±8.03 <sup>Dc</sup>	478.72
凋落物	休牧	21.02±1.06 <sup>Aa</sup>	20.4±0.74 <sup>Aa</sup>	22.44±0.76 <sup>Aa</sup>	22.68±1.20 <sup>Aa</sup>	21.64
	轻牧	19.72±0.42 <sup>Aa</sup>	19.68±1.32 <sup>Aa</sup>	20.64±0.35 <sup>Aa</sup>	20.48±1.13 <sup>Aa</sup>	20.13
	中牧	15.89±1.24 <sup>Bb</sup>	14.76±0.89 <sup>Bb</sup>	15.48±0.58 <sup>Bb</sup>	19.23±1.05 <sup>Aa</sup>	16.34
	重牧	10.69±0.33 <sup>Cc</sup>	12.4±0.57 <sup>Bb</sup>	15.04±0.42 <sup>Bb</sup>	19.14±0.98 <sup>Aa</sup>	14.32
地上总生物量	休牧	1 085.86±19.58 <sup>Ac</sup>	1717±27.34 <sup>Aa</sup>	1 224.80±21.22 <sup>Ab</sup>	1 237.08±20.07 <sup>Ab</sup>	1 291.19
	轻牧	833.53±17.21 <sup>Bc</sup>	1 359.88±23.11 <sup>Ba</sup>	998.56±17.98 <sup>Bb</sup>	860±18.32 <sup>Bc</sup>	1 012.99
	中牧	615.16±13.69 <sup>Cd</sup>	1 056.52±18.92 <sup>Ca</sup>	715.12±14.72 <sup>Cb</sup>	676.47±13.44 <sup>Cc</sup>	765.82
	重牧	417.44±14.82 <sup>Dc</sup>	664.92±20.75 <sup>Da</sup>	486.88±15.10 <sup>Db</sup>	402.9±12.93	493.04

注:大写字母表示放牧强度之间差异显著( $p < 0.01$ );小写字母表示各月之间差异显著( $p < 0.05$ )。

各处理的地上总生物量分别为 1 291.19, 1 012.99, 765.82, 493.04 g/m<sup>2</sup>, 与休牧相比, 轻牧、中牧和重牧的生物量分别下降了 22.55%, 40.69%, 61.82%。地上生物量表现为轻牧、中牧、重牧低于休牧处理, 差异显著。放牧初期, 由于植被在水热条件充足的情况下, 植株生长迅速, 地上生物量快速积累, 随放牧强度增加地上生物量的积累不断减小, 地上总生物量表现为: 休牧 > 轻牧 > 中牧 > 重牧, 结果与张风承等<sup>[12]</sup>的研究基本一致。而锡林图雅等<sup>[13]</sup>则得出轻牧和中牧能使草地地上生物量达到最优水平。

季节变化中, 6 月份地上生物量随着放牧强度的增加呈下降趋势, 7 月份地上生物量达到整个生长季节的最高值, 休牧显著大于其他处理, 中牧和重牧显著小于轻牧。8 月份各处理地上生物量都开始降低。9 月份植物开始进入枯黄期, 地上生物量下降显著, 轻牧显著大于中牧和重牧处理。

## 2.2 不同放牧强度对地下生物量的影响

图 1 是 6 月各放牧强度下地下生物量变化。由图 1 可见, 随着放牧强度的增大地下生物量逐渐减少, 植物根系在 0—100 cm 土层及总地下生物量的变化趋势是轻牧 > 休牧 > 中牧 > 重牧。休牧、轻牧、中牧和重牧处理的地下生物量分别是 2 279.99, 3 467.42, 1 890.09, 902.15 g/m<sup>2</sup>。轻度放牧时, 植被刈割了 30%, 与休牧相比, 地下生物量增加, 这是由于在放牧干扰胁迫下, 植物通过调节光合产物在地上、地下部分的分配, 将更多的光合产物分配到地下部分, 这是植物对放牧干扰的一种响应与适应<sup>[14]</sup>。但重牧时地下生物量骤减是由于过度的刈割(70%)导致植物光合面积急剧减少, 影响到植物的正常生长, 植物光合作用减弱, 其光合产物不能满足其自身生长发育, 因

而提供给地下根系的营养物质减少, 进而影响植物根系的生长发育, 生物量急剧下降<sup>[13]</sup>。

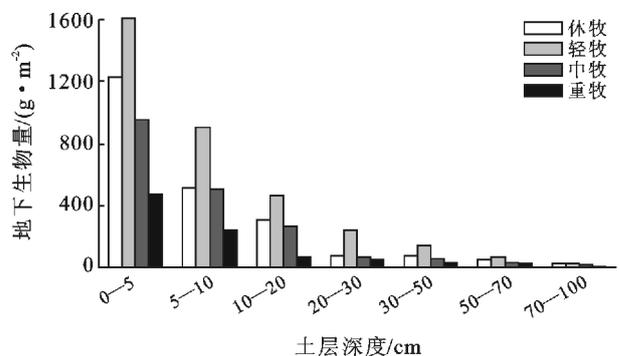


图 1 不同放牧强度下 6 月地下生物量的垂直分布情况

不同放牧强度下, 植物根系各个深度的变化趋势为: 轻牧 > 休牧 > 中牧 > 重牧。包尔吉干等<sup>[11]</sup>对草甸草原地下生物量的研究得出了相似的结论。李怡等<sup>[15]</sup>、董全民等<sup>[16]</sup>的研究表明放牧使地下生物量显著下降, 其变化趋势呈现出休牧 > 轻牧 > 中牧 > 重牧。而高永恒等<sup>[14]</sup>认为, 地下生物量随着放牧强度的增加而呈增加趋势, 重牧和中牧显著高于不放牧和轻牧。这主要是由于地形、气候等因素的不同, 植物生长状况也不一样。但具体的影响因素还有待进一步的研究。

植物根系的垂直分布情况可以反映植物对土壤中不同深度的资源的利用情况, 故地下生物量在空间梯度上的分布不均匀。由图 1 可以看出随着深度的增加, 地下生物量逐渐减少, 但减小的幅度逐渐降低。地下生物量主要集中分布在 0—10 cm 的土层中, 占总地下生物量的 70%, 0—20 cm 土层的地下生物量占总地下生物量的 85%, 呈 T 型分布, 向下递减趋势明显。这主要是因为大量的养料和有机质都分布于

土壤表层,为了获取更多的资源来满足生长需要植物的主要根系都分布于土壤表层。而随着土层深度的增加,养分含量减少,土壤温度下降,因此地下生物量一般呈迅速下降的趋势<sup>[17]</sup>。对草地地下生物量垂直分布进行分析可以得出草地地下生物量大部分集中于表层土壤中,随着土层深度的增加,地下生物量急剧降低。这与杨婷婷等<sup>[18]</sup>的研究结果相同,但孙熙麟等<sup>[19]</sup>对短花针茅荒漠草原的研究则认为地下生物量主要分布在 0—30 cm 土层。这是由于气候、地形等因素的影响,此外,植被类型不同也会影响植物根系的生长。

不同放牧强度下 9 月份地下生物量的垂直分布情况见图 2。随着放牧强度的增大地下生物量逐渐减少,植物根系在 0—100 cm 各个土层及总地下生物量的变化趋势是轻牧>休牧>中牧>重牧,9 月份休牧、轻牧、中牧和重牧处理的地下生物量分别为 2 645.84, 3 920.46, 2 252.1, 1 074.17 g/m<sup>2</sup>;随着深度的增加,地下生物量逐渐减少,但减小的幅度逐渐降低。地下生物量主要集中分布在 0—10 cm 的土层中,呈 T 型分布,向下递减趋势明显。与图 1 相比,地下生物量变化趋势表现为 9 月>6 月。随着土壤深度的增加,各个月份间地下生物量的变化幅度各不相同。9 月份休牧、轻牧、中牧和重牧处理的地下生物量与 6 月相比分别增加了 16.05%, 13.07%, 19.15%, 19.08%。此外,9 月份 50—100 cm 土层的生物量显著大于 6 月份,说明 9 月份植物根系生物量趋向深层化。董晓玉等<sup>[20]</sup>通过对黄土高原典型草原植物地下生物量季节动态的影响则得出了不同的结论,董晓玉指出其随季节动态变化呈“增加→降低→增加”的变化模式,及“N”字型变化趋势。高永恒等<sup>[14]</sup>指出在生长季 6—9 月,不同放牧强度下草地地下生物量均表现为从 6 月开始增加,8 月达到最大值,9 月开始下降。

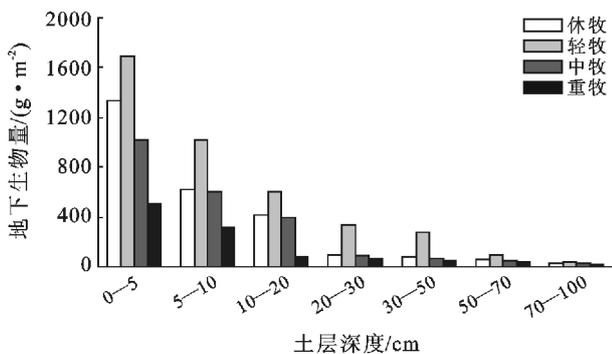


图 2 不同放牧强度下 9 月份地下生物量的垂直分布情况

### 3 结论

不同放牧强度对草甸草原生物量产生一定影响。

本文的研究结果表明中牧和重牧处理下植物地上地下生物量均呈现下降趋势。其中,地上生物量变化表现为休牧>轻牧>中牧>重牧;季节变化表现为 7 月最大,9 月最小;不同放牧强度下,地下生物量的垂直分布变现为轻牧>休牧>中牧>重牧。各处理地下生物量主要集中分布在 0—10 cm 土层,该层次土层聚集了 0—30 cm 范围内生物量的绝大部分,且各层生物量随土层深度的增加向下递减趋势明显。季节变化中,地下生物量变化表现为 9 月>6 月。休牧、轻牧、中牧和重牧处理地下生物量与 6 月相比分别增加了 16.05%, 13.07%, 19.15%, 19.08%。9 月份 50—100 cm 土层的生物量显著大于 6 月份,说明 9 月份植物根系生物量趋向深层化。重牧处理下生物量下降显著,草地出现退化迹象。如果重度放牧持续不变,地上生物量将继续减少,光合产物对地下生物量的补给也会随之减少,最终导致地下生物量锐减,草地退化严重。因此,及时在重度区域实行禁牧或休牧,对防止草地退化和实现植物恢复有重要意义。轻牧处理时,虽然植物地上生物量有所减少,但地下生物量却显著增加,这是植物在放牧干扰胁迫下所表现出的适应性,有助于增加植物对外界干扰的抵抗力,说明轻度放牧对这一区域的草甸草原是较为合理的。

#### [参 考 文 献]

- [1] 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]. 内蒙古草业, 2006, 25(12): 25-30.
- [2] 戴诚,康慕谊,纪文瑶,等. 内蒙古中部草原地下生物量与生物量分配对环境因子的响应关系[J]. 草地学报, 2012, 20(2): 2-11.
- [3] 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, 19(6): 1079-1084.
- [4] 万里强,陈玮玮,李向林,等. 放牧对草地土壤含水量与容重及地下生物量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(26): 25-29.
- [5] 黄德青,于兰,张耀生,等. 祁连山北坡天然草地地下生物量及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2011, 19(5): 194-211.
- [6] Scurlock J M O, Hall D O. The global carbon sink: A grass-land perspective [J]. Global Change Biology, 1989, 4(2): 229-233.
- [7] Mokany K, Raison R J, Prokushkin A S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomass[J]. Global Change Biology, 2006, 11(1): 84-96.

(下转第 204 页)

质及氮、磷、钾在时间和空间上都呈现出一定的变化规律,各养分含量逐年升高,这一结果表明退耕还林等植被恢复措施在改善干旱区土壤养分方面效果显著。

(3) 种植苜蓿对土壤理化性质的影响,主要通过土壤养分,土壤酸碱度及土壤可溶性盐等的变化来反映<sup>[10]</sup>。李小坤等<sup>[11]</sup>对牧草施肥研究进展进行了综述,而且许多学者<sup>[12-15]</sup>研究了紫花苜蓿对土地肥力的影响。本试验的研究结果显示,不同旱作年限苜蓿地土壤肥力指数在 0.539~0.847,均小于坡耕地,土壤肥力贫瘠,且随苜蓿种植时间的延长,呈现先增大、再减小的趋势,说明宁夏黄土丘陵区旱作苜蓿粗放经营(只刈割,不培肥),导致土壤综合肥力指数日趋下降。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 丁文广,魏银丽,牛贺文,等.西北干旱区植被恢复的土壤养分效应[J].生态环境学报,2010,19(11):2568-2573.
- [2] 安韶山,刘梦云,李壁成,等.宁夏黄土丘陵区不同植被恢复措施的土壤养分效应研究[J].西北植物学报,2003,23(8):1429-1432.
- [3] 潘占兵,李生宝,蔡进军,等.宁南山区苜蓿地土壤水分和养分变异规律研究[J].水土保持通报,2011,31(2):61-67.
- [4] 万素梅,胡守林,贾志宽,等.黄土高原地区苜蓿生产力动态及其土壤水分消耗规律[J].农业工程学报,2007,23(12):30-34.
- [5] 南京农业大学.土壤理化分析[M].北京:农业出版社,1987.
- [6] 从怀军,成毅,安韶山,等.黄土丘陵区不同植被恢复措施对土壤养分和微生物量 C,N,P 的影响[J].水土保持学报,2010,24(4):217-221.
- [7] 潘占兵,李生宝,马璠,等.宁南山区苜蓿地土壤养分的变化规律[J].江西农业学报,2011,23(4):86-90.
- [8] 王思成,王月玲,许浩,等.半干旱黄土丘陵区不同植被恢复方式下土壤理化特性及相关分析[J].西北农业学报,2009,18(1):295-299.
- [9] 闫玉厚,曹炜.黄土丘陵区土壤养分对不同植被恢复方式的响应[J].水土保持研究,2010,17(5):51-53.
- [10] 肖贵一.低产田种苜蓿肥田养畜[J].黑龙江畜牧兽医,1992(6):18-19.
- [11] 李小坤,鲁剑巍,陈防.牧草施肥研究进展[J].草业学报,2008,17(2):136-142.
- [12] 杨玉海,蒋平安,艾尔肯.种植苜蓿对土壤肥力的影响[J].干旱区地理,2005,28(2):248-251.
- [13] 马其东,高振生.黄河三角洲地区苜蓿生态适应性研究[J].草地学报,1999,7(1):28-38.
- [14] 胡发成.种植苜蓿改良培肥地力的研究初报[J].草业科学,2005,22(8):47-49.
- [15] 张春霞,郝明德,王旭刚.黄土高原地区紫花苜蓿生长过程中土壤养分的变化规律[J].西北植物学报,2004,24(6):1107-1111.
- [8] Kuzyakov Y, Domanski G. Carbon input by plants into the soil[J]. Journal Plant Nutrition Soil Science, 2000, 163(4):421-431.
- [9] Creighton M. L, James W R, Michael G R. Carbon allocation in forest ecosystems [J]. Global Change Biology, 2007,13(10): 2089-2109.
- [10] 韩文军,春亮,侯向阳,等.过度放牧对羊草杂类草群落种的构成和现存生物量的影响[J].草业科学,2009,26(9):195-199.
- [11] 包尔吉干·安齐尔,韩国栋.放牧强度对草甸草原地下生物量及碳密度的影响[J].内蒙古草业,2011,23(2):42-45.
- [12] 张凤承,刘冬伟,王明军,等.放牧对小叶章草甸植物生长和地上生物量的影响[J].中国草地学报,2012,34(1):18-22.
- [13] 锡林图雅,徐柱,郑阳,等.不同放牧率对内蒙古克氏针茅草原地下生物量及地上净初级生产量的影响[J].中国草地学报,2009,31(3):26-29.
- [14] 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.
- [15] 李怡,韩国栋.放牧强度对内蒙古大针茅典型草原地下生物量及其垂直分布的影响[J].内蒙古农业大学学报,2011,32(2):89-92.
- [16] 董全民,赵新全,马玉寿,等.牦牛放牧率与小嵩草高寒草甸暖季草地地上、地下生物量相关分析[J].草业科学,2005,22(5):65-71.
- [17] 董婷,赵萌莉.放牧强度对大针茅根系生物量及其形态特征影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.
- [18] 杨婷婷,高永.荒漠草原生物量动态及碳储量空间分布研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [19] 孙熙麟,王明玖,陈海军,等.短花针茅荒漠草原地下生物量对不同强度放牧强度的响应[J].内蒙古大学学报,2010,31(4):101-104.
- [20] 董晓玉,傅华,李旭东,等.放牧与围封对黄图高原典型草原植物生物量及其碳氮磷贮量的影响[J].草业学报,2010,19(2):175-182.

(上接第 198 页)