

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201406032

龙毅, 孟凡栋, 王常顺, 等. 高寒草甸主要植物地上地下生物量分布及退化对根冠比和根系表面积的影响[J]. 广西植物, 2015, 35(4): 532—538
 Long Y, Meng FD, Wang CS, et al. Above-and below-ground biomass distribution of main alpine meadow plants and impact of degradation on root/shoot ratio and root area[J]. *Guihaia*, 2015, 35(4): 532—538

高寒草甸主要植物地上地下生物量分布及退化对根冠比和根系表面积的影响

龙毅¹, 孟凡栋^{2,3}, 王常顺^{2,3}, 白玲¹, 钟扬¹, 汪诗平^{2*}

(1. 西藏大学理学院, 拉萨 850000; 2. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100094)

摘要: 研究高寒草甸主要植物地上地下生物量的分布及其对退化的响应有利于了解高寒草甸的退化过程。该研究首先在西藏那曲生态环境综合观测研究站小嵩草围栏内(2009年围封)选择原生植被较好的地点随机选择小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、矮嵩草(*K. humilis*)、紫花针茅(*Stipa purpurea*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)和青藏苔草(*Carex moorcroftii*)等5种植物斑块,选择退化斑块上(与原生植被相比)的二裂委陵菜和青藏苔草;然后用烘箱烘至恒重并称重,用扫描仪对根系进行扫描用于估算根系表面积;最后利用2因子方差分析检验不同物种个体、不同取样层次对地上和地下生物量的影响,利用物种和退化状态2因子方差分析检验对地上生物量的影响,以及利用物种、取样层次和退化状态3因子方差分析检验对二裂委陵菜和青藏苔草地下生物量、根冠比和根系表面积的影响。结果表明:在未退化条件下,小嵩草、矮嵩草和紫花针茅0~10 cm地下生物量占0~30 cm地下生物量的70%以上,0~30 cm地下生物量占其地上地下总生物量的96%以上;二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)和青藏苔草(*Carex moorcroftii*)0~10 cm地下生物量占0~30 cm地下生物量的50%以上,其中二裂委陵菜0~30 cm地下生物量占其地上地下总生物量的57%,青藏苔草0~30 cm地下生物量占其地上地下总生物量的87%;对于退化草甸的主要植物,退化显著降低了二裂委陵菜的地上生物量、地下生物量和根冠比,对其根系表面积影响不大,但显著增加了青藏苔草的地上生物量,降低了其根冠比,对其地下生物量和根系表面积影响不大。

关键词: 高寒草甸; 地上地下生物量; 根冠比; 根系表面积; 退化; 影响

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)04-0532-07

Above-and below-ground biomass distribution of main alpine meadow plants and impact of degradation on root/shoot ratio and root area

LONG Yi¹, MENG Fan-Dong^{2,3}, WANG Chang-Shun^{2,3},
 BAI Ling¹, ZHONG Yang¹, WANG Shi-Ping^{2*}

(1. College of Tibet University, Lhasa 850000, China; 2. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: Understanding on distribution of above-and below-ground biomass and the effects of degradation on root/shoot ratio and root area is crucial to predict the degraded processes in the alpine meadow. First, In Naqu Ecological and Environmental Observation and Research Station of *Kobresia pygmaea* Fence (2009 enclosed) select native veg-

收稿日期: 2014-11-24 修回日期: 2015-01-21

基金项目: 国家科技基础性工作专项重点项目(2012FY111403); 国家自然科学基金面上项目(31272488)。

作者简介: 龙毅(1990-), 男, 四川泸州人, 硕士研究生, (E-mail) long455709134@163.com。

* 通讯作者: 汪诗平, 博士, 研究员, 主要从事气候变化与草地管理研究, (E-mail) wangsp@itpcas.ac.cn。

etation place randomly selected *Kobresia pygmaea*, *K. humilis*, *Stipa purpurea*, *Potentilla bifurca* and *Carex moorcroftii* five species, degradation choice (compared with native vegetation) of *Potentilla bifurca* and *Carex moorcroftii*, then drying to constant weight and using a scanner to scan the surface area of roots. Finally, the use of different species and different levels of sampling two-way ANOVA to test the effects of above-and below-ground biomass, according to species and degraded state, the use of two-way ANOVA to test effects on aboveground biomass, and the use of the species, sampling levels and degraded state three-way ANOVA to examine the influence of biomass, root and shoot ratio and root surface area on *Potentilla bifurca* and *Carex moorcroftii*. Our results showed that belowground biomass of *Kobresia pygmaea*, *K. humilis* and *Stipa purpurea* mainly concentrated in the 0–10 cm soil layer which was about 70% of total belowground biomass of 0–30 cm, and belowground of 0–30 cm was about 96% of the total above-and below-ground biomass. Belowground biomass of 0–10 cm for *Potentilla bifurca* and *Carex moorcroftii* was about 50% of the total belowground biomass of 0–30 cm. Belowground biomass of 0–30 cm for *Potentilla bifurca* and *Carex moorcroftii* was about 57% and 85% of total above-and below-ground biomass respectively. As main plant species for the degraded alpine meadow, we found that degradation decreased aboveground biomass, belowground biomass, its root/shoot ratio and root surface area for *Potentilla bifurca*; and it increased aboveground biomass but reduced root/shoot ratio for *C. moorcroftii*, whereas there was no significant effect on its belowground biomass and root surface area.

Key words: alpine meadow; above-and below-ground biomass; root/shoot ratio; root surface area; degradation; impact

植物地上地下生物量对群落结构和生态系统功能具有重要影响,开展植物地上和地下生物量及其分配规律(即根冠比)的研究,被认为是目前解决草地生态系统中诸多问题的最有效途径之一(Wim *et al.*, 2009; O'Neill, 1994)。根冠比是指植物根系生物量与地上部分生物量的比值,其大小不仅反映了植物地下部分与地上部分的相关性,而且反映了植物分配给地下部分光合产物的比例,是群落的重要参数之一。根冠比主要受个体差异、温度、降水和土壤性质等因素的影响。一般认为,同一株植物地上和地下部分同时生长,具有稳定的根冠比(Brouwer, 1983)。但温度、降水和土壤性质等环境因素对根冠比的影响还有很多不确定性,如Mokany(2006)研究认为根冠比随着年均温的增加而降低,而Wang *et al.*(2010)研究发现中国草地植物无论是从个体水平还是群落水平根冠比均与温度无关。另外,植物主要通过根系吸收土壤中水分和养分,而植物根系表面积是评价植物根系吸收功能最常用的指标之一。植物根系表面积主要受个体和土壤条件等因素影响(任永哲等, 2011)。由于地下生态过程的研究受到技术和方法上的局限,对陆地植物根系的研究还不够深入(Vogt, 1996; Gill *et al.*, 2000)。

西藏那曲地区高寒草甸主要由小嵩草(优势种)、矮嵩草(优势种)、紫花针茅、二裂委陵菜和青藏苔草等植物组成。由于气候变化和过度放牧导致草

地植物群落组成发生改变和草地生态系统的严重退化(钟祥, 2005; 杨利民等, 1999; 柳小妮等, 2008; 汪诗平等, 2003),使西藏那曲地区高寒草甸形成了大量以二裂委陵菜和青藏苔草等少数几种植物为主的裸斑。尽管对高寒草甸群落的退化过程和模式开展了大量研究(赵新全, 2012),但就个体而言高寒草甸主要植物地上地下生物量分配,特别是根系表面积对退化过程的响应趋势还了解得很少。本文以西藏那曲地区高寒草甸主要植物个体为研究对象,拟回答以下两个科学问题:(1)了解正常状态下高寒草甸5种主要植物的地上与地下生物量的分布状况;(2)探讨退化高寒草甸主要植物二裂委陵菜和青藏苔草的地上与地下生物量分配、根冠比和根系表面积的变化趋势。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

该试验是在西藏那曲生态环境综合观测研究站进行的,该站位于藏北高原的腹地那曲县境内(91°12'~93°02' E, 30°31'~31°55' N),属高原亚寒带季风半湿润气候区,平均海拔在4 450 m以上,这里冬季长达半年,年温差小,昼夜温差大;年平均气温为-2.1 °C,1月份平均气温-14.4 °C;全年没有绝对无霜期,每年10月至次年5月为风雪期和土壤冻结期,6—9月为生长期。年平均降水量为406.2

mm,多集中在6—9月间。年蒸发量为1 810.3 mm,相对湿度为51%左右。气候特征是干燥、多风。主体土壤类型为高山草甸土。

1.2 样品采集

2013年8月16—30日,在该站的小嵩草高寒草甸围栏样地内(2009年围封),选择原生植被较好的地点随机选择小嵩草、矮嵩草、紫花针茅、二裂委陵菜和青藏苔草等5种植物斑块,利用特制的直径为6 cm的圆形钢筒分三层分别获取0~10、0~20和0~30 cm的原状土柱(即地上地下连在一起);同时,选择退化斑块上(与原生植被相比)的二裂委陵菜和青藏苔草,同样利用直径为6 cm特制的圆形钢筒分别获取上述同样三个层次的原状土样。每种植物每个层次的原状土样均重复7次。所有原状土柱带回实验室在水中浸泡3~6 h,小心地洗净根系上的泥土,用纸吸干根系的水分,除去非目标植物的根系后再剪除该植物的地上部分,然后用扫描仪对根系进行扫描用于估算根系表面积。由于技术原因,只获得了二裂委陵菜和青藏苔草的有效根系表面积数据。将所有植物地上和根系样品放入65℃的烘箱中烘48 h至恒重并称量。

1.3 根系表面积估算方法

在扫描根系的时候,将扫描仪的dpi(每英寸的像素)设置为600,采用黑白模式进行扫描,图片的扫描格式为JPG,然后利用南京大学开发的根叶面积计算软件(唐晓文,dullduck版权所有)算出扫描图像的根系表面积。

1.4 数据统计分析

利用正常状态下6 cm直径的取样数据,利用2

因子方差分析检验不同物种个体、不同取样层次对地上和地下生物量、地上和地下(0~30 cm)总生物量以及地下(0~30 cm)与总生物量比例等的影响;利用物种和退化状态2因子方差分析检验对地上生物量的影响,以及利用物种、取样层次和退化状态3因子方差分析检验对二裂委陵菜和青藏苔草地下生物量、根冠比和根系表面积的影响。统计分析均为0.05水平上的显著性差异。以上所有数据均换算为单位面积(cm^2)的数值。

2 结果与分析

2.1 地上和地下生物量及其比例

从表1看出,6 cm直径下不同植物斑块地上、地下生物量及其比例存在显著差异,其中地上生物量以矮嵩草和紫花针茅的最大,其次为小嵩草,而二裂委陵菜和青藏苔草的最小。地下生物量受物种和取样层次的显著影响,0~30 cm地下生物量以及与地上生物量之和均以紫花针茅的为最高,小嵩草次之(与矮嵩草差异不显著),而青藏苔草和二裂委陵菜的最小(表1)。小嵩草、矮嵩草和紫花针茅0~30 cm地下生物量占其地上地下总生物量的96%以上,而二裂委陵菜和青藏苔草0~30 cm地下生物量占其地上地下总生物量的57%和87%(表1)。5种植物地下生物量随着取样深度增加而有增加的趋势。所有植物0~20 cm与0~30 cm的根系生物量无显著性差异,小嵩草和青藏苔草的0~10 cm根系生物量显著小于0~20 cm根系生物量,但其它3种植物0~10 cm根系生物量与0~20 cm根系生物

表1 不退化状态取样直径6 cm下5种植物地上和地下生物量及其比例

Table 1 Above-and below-ground biomass and their ratio for five plants under non-degraded condition (mean±SD, n=7)

物种 Species	地上生物量 Aboveground biomass ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	0~30 cm 地下生物量 Belowground biomass ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	地上地下总生物 Total biomass of above- and below-ground ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	地下/地上地下总生物量比例 Ratio of belowground biomass and total biomass of above and below-ground (%)
小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i> (KP)	6.7±1.9b	412.3±109.3b	419.0±107.7b	0.982±0.009a
矮嵩草 <i>K. humilis</i> (KH)	20±4.5a	518.2±61.9ab	538.2±60.4ab	0.962±0.010a
紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i> (SP)	17.2±4a	595.9±106.8a	613.1±109.4a	0.972±0.004a
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i> (PB)	5.4±1.2b	7.6±2.9c	13.0±3.1c	0.570±0.104c
青藏苔草 <i>Carex moorcroftii</i> (CM)	1.3±0.4c	10.5±4.8c	11.8±4.6c	0.870±0.067b

注:同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters at the same column mean significant differences at 0.05 level.

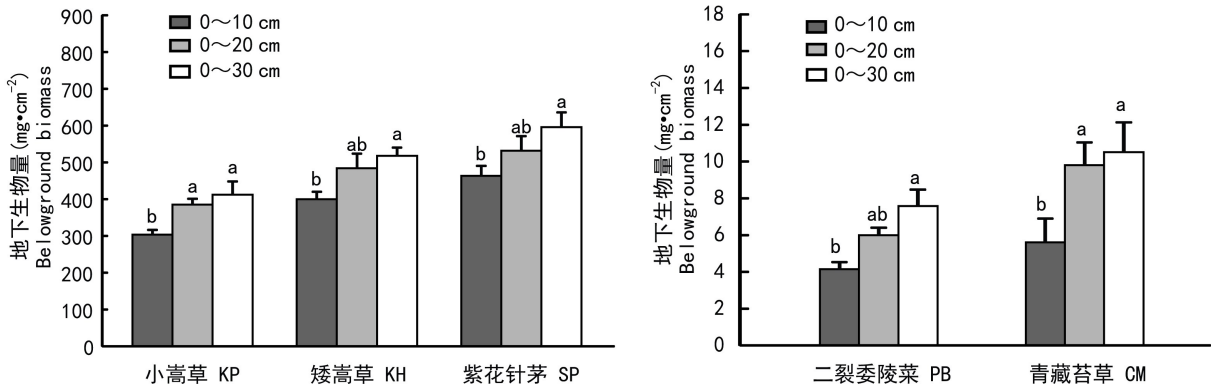


图 1 正常状态取样直径 6 cm 下 5 种植物不同层次地下生物量的分布

Fig. 1 Belowground biomass for five plants under un-degraded condition

表 2 不同物种、不同状态和不同土壤层次下地上、地下生物量、根冠比和根系表面积的方差分析

Table 2 Analysis of variance (P values) in above-and below-ground biomass, root/shoot ratio and root area under different plants, degradation conditions and soil depths

指标 Indicator	地上生物量 Aboveground biomass	地下生物量 Belowground biomass	根冠比 Root/shoot ratio	根系表面积 Root area
物种 Species	<0.001 **	<0.001 **	<0.001 **	<0.001 **
状态 Condition	0.02 *	<0.225	<0.006 **	0.291
层次 Depth	—	0.015 *	<0.002 **	<0.017 *
物种状态×层次(S×C×D)	—	0.995	0.144	0.282

注: *, ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

Note: * and ** indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

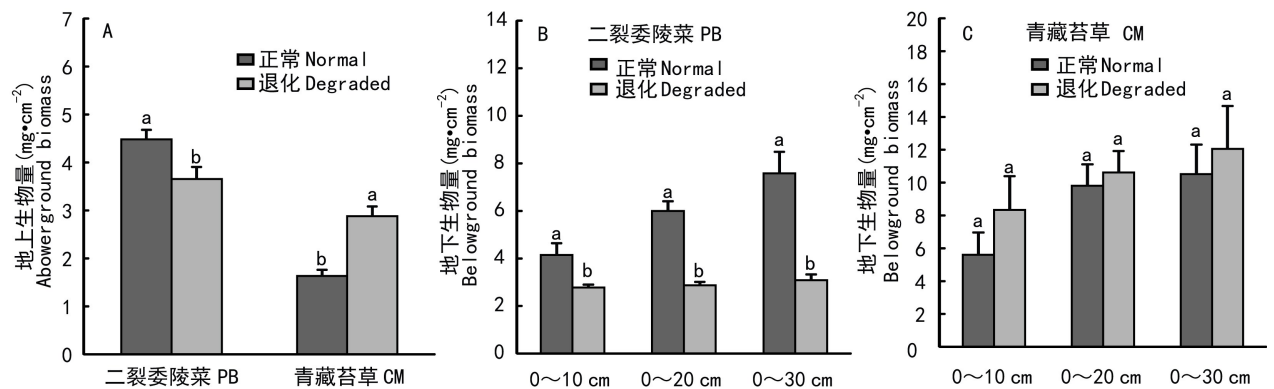


图 2 退化对二裂委陵菜和青藏苔草地上(A)、地下生物量(B,C)的影响

Fig. 2 Effects of degradation on aboveground(A) and belowground biomass of *Potentilla bifurca* (B) and *Carex moorcroftii* (C)

量无显著性差异(图 1)。小蒿草、矮蒿草和紫花针茅 0~10 cm 的地下生物量占 0~30 cm 地下生物量的 70% 以上,而二裂委陵菜和青藏苔草 0~10 cm 的地下生物量占 0~30 cm 地下生物量的 50% 以上(图 1)。

2.2 退化状态下不同植物地上、地下生物量及根系表面积的变化

地上生物量主要受物种和退化状态的影响,地下生物量主要受物种和取样深度的影响,根冠比主

要受物种、退化状态和取样深度的影响,而根系表面积主要受物种和取样深度的影响(表 2)。退化显著降低了二裂委陵菜地上生物量,无论取样深度如何退化都显著降低了其地下生物量,但随着取样深度的增加,退化状态下其地下生物量降低的幅度逐渐增大。0~10 cm 的降低幅度为 33%,0~20 和 0~30 cm 的降低幅度分别为 52% 和 59%。退化显著增加了青藏苔草的地上生物量,但在所有取样深度下退化对其地下生物量均没有显著性影响(图 2)。

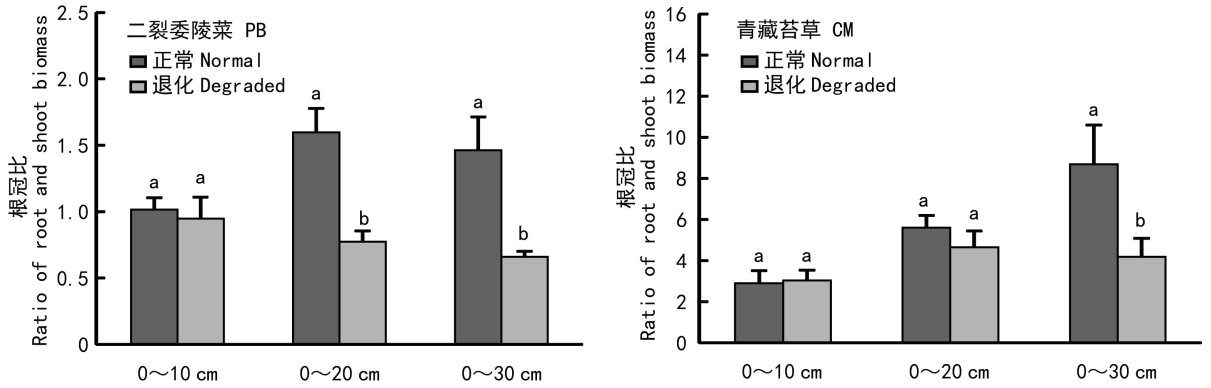


图3 退化对二裂委陵菜和青藏苔草根冠比的影响

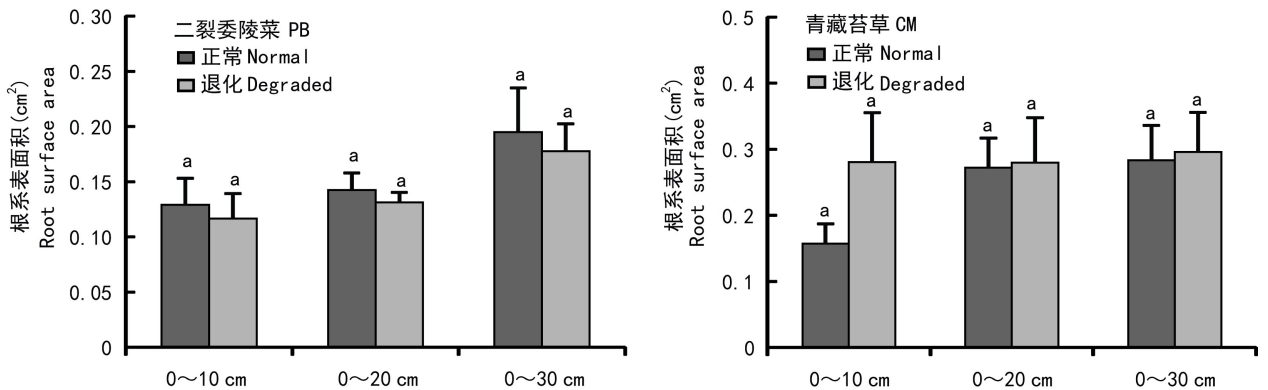
Fig. 3 Effects of degradation on root/shoot ratio for *Potentilla bifurca* and *Carex moorcroftii*

图4 退化对二裂委陵菜和青藏苔草根系表面积的影响

Fig. 4 Effects of degradation on root surface area for *Potentilla bifurca* and *Carex moorcroftii*

退化只在0~20和0~30 cm取样深度下显著降低了二裂委陵菜的根冠比,只在0~30 cm取样深度下显著降低了青藏苔草的根冠比。同时随着取样深度的增加,二裂委陵菜和青藏苔草在退化状态下根冠比降低的幅度在不断的增加,如二裂委陵菜0~10 cm根冠比降低幅度为7%,0~20和0~30 cm的降低幅度分别为52%和55%,青藏苔草0~10 cm根冠比增加幅度为4%,0~20和0~30 cm的降低幅度分别为21%和52%(图3)。

无论何种状态,二裂委陵菜和青藏苔草的根系表面积都随着取样深度的增加而增加。无论取样深度如何,退化都在一定程度上降低了二裂委陵菜的根系表面积而增加了青藏苔草的根系表面积,但都没有对其根系表面积产生显著影响(图4)。

3 讨论

(1)在正常状态下,高寒草甸的优势种小嵩草和

矮嵩草的地下生物量和总生物量都要显著大于退化状态下的主要植物二裂委陵菜和青藏苔草。这说明退化显著降低了群落的生产力(徐翠等,2013;周华坤等,2006)。退化状态下,二裂委陵菜和青藏苔草的根冠比随着取样深度的增加其下降幅度在不断增加,这说明二裂委陵菜和青藏苔草在退化演替过程中其根系在不断表层化。

(2)退化显著地抑制了二裂委陵菜的地上和地下生物量生长,但显著的促进了青藏苔草地上生物量的生长,这说明西藏高寒草甸不同植物在退化状态下的地上、地下生物量的变化和响应机制是不一样的(赵玉红等,2012;周华坤等,2005)。退化明显地降低了二裂委陵菜和青藏苔草的根冠比,可能与高寒草甸退化演替过程中土壤类型和植物群落的改变有关。在正常状态下西藏高寒草甸土壤为富含有机质的草甸层,群落的物种类型多样,生长密集,优势种为小嵩草和矮嵩草等植物,但在退化状态下土壤变为沙质土,群落主要由青藏苔草和二裂委陵菜

等少数几种植物构成。退化使土壤有机质含量减小,土壤容重增大(周华坤等,2005;冯瑞章等,2010),表层土壤颗粒变粗(刘洪来等,2009)。退化使植物群落的组成发生变化,植物种群的优势地位发生更替(周兴民等,1987;王亚军等,2005;鲁为华等,2009),降低群落的生物多样性、植被盖度、数量和群落的地上生物量(周华坤等,2006;李海英等,2004)。在退化状态下,二裂委陵菜和青藏苔草的根冠比都在明显的减少,这可能是退化使土壤有机质、储水能力、孔隙度和水分渗透率等都在降低,不利于植物根系的生长发育,而地上部分,由于物种组成的改变、数量和盖度等的降低,减少了物种间的竞争,使植物有更多的地上生长空间,从而退化导致了二裂委陵菜和青藏苔草的根冠比明显的下降。

(3)植物根系是水分及养分吸收的主要器官,同时具有营养合成、固定支持等重要功能,与土壤环境的关系非常密切(丁红等,2013)。土壤水分和养分状况对植物根系生长和形态发育有很大影响,大多研究认为,根系表面积较大植物的抗旱性和对土壤中养分的吸收能力较强(Blum *et al.*, 1997; Passioura *et al.*, 1983)。张蕴薇等(2002)研究发现退化使土壤水分的保蓄能力变差,土壤孔隙度和水分渗透率降低,不利于水分向土壤下层入渗,退化使土壤有机质含量减小(周华坤等,2005;冯瑞章等,2010)。退化降低了二裂委陵菜的根系表面积但增加了青藏苔草的根系表面积,这可能是二裂委陵菜的根系对高寒草甸退化引起的干旱和贫瘠的沙质土壤比较敏感,退化抑制了其根系的生长发育;退化增加了青藏苔草的根系表面积,这可能是青藏苔草具有一定的抗旱性以及贫瘠的沙质土壤具有一定的耐受性,从而退化在一定程度上增加了青藏苔草的根系表面积,但两者的变化都未达到显著水平。

4 结论

(1)对于未退化的矮嵩草高寒草甸而言,矮嵩草、矮嵩草和紫花针茅生物量的96%以上分布在地下,而青藏苔草和二裂委陵菜只有87%和57%的生物量分布在地下。所有植物0~10 cm的地下生物量占0~30 cm的比例在50%以上,甚至达70%。

(2)退化显著降低了二裂委陵菜地上生量、地下生物量和根冠比;退化只显著增加了青藏苔草的地上生物量,对其它指标没有显著影响。

参考文献:

- Blum A, Sullivan CY. 1997. The effect of plant size on wheat response to agents of drought stress root drying[J]. *Austr J Plant Physiol*, **24**(1): 35-41
- Brouwer R. 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense [J]. *Netherlands J Agric Sci*, **31**: 335-348
- Ding H (丁红), Zhang ZM (张智猛), Dai LX (戴良香), *et al.* 2013. Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress (不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对于干旱胁迫的响应)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **33**(17): 5 169-5 176
- Feng RZ (冯瑞章), Zhou WH (周万海), Long RJ (龙瑞军), *et al.* 2010. Characteristics of soil physical, chemical and biological properties on degraded alpine meadows in the headwater areas of the Yangtze and Yellow Rivers Qinghai-Tibetan Plateau (江河源区不同退化程度高寒草地土壤物理、化学及生物学特征研究)[J]. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), **41**(2): 263-269
- Gill RA, Jackson RB. 2013. Global patterns of root turnover for terrestrial radar for coarse root detection and quantification: a review[J]. *Plant Soil*, **362**: 1-23
- Li FX (李凤霞), Zhang DG (张德罡). 2005. Indicators and recovery approaches of degenerated grassland in China (草地退化指标及恢复措施)[J]. *Grassl & Turf* (草原与草坪), **25**(1): 24-26
- Li HY (李海英), Peng CH (彭红春), Wang QJ (王启基), *et al.* 2004. Study on the aboveground biomass of plant communities among the stages of regressive succession in alpine *Kobresia humilis* meadow (高寒矮嵩草草甸不同退化演替阶段植物群落地上生物量分析)[J]. *Acta Pratac Sin* (草业学报), **13**(5): 26-32
- Liu HL (刘洪来), Zhu JZ (朱进忠), Jin GL (靳瑰丽), *et al.* 2009. Characteristic analysis of seriphidium transillense (Poljak.) Poljak. desert grasslands at different degraded stages in the northern Tianshan Mountains (天山北坡伊犁绢蒿荒漠不同退化阶段草地特征分析)[J]. *Acta Agr Sin* (草地学报), **17**(4): 419-427
- Liu XN (柳小妮), Shun JL (孙九林), Zhang DG (张德罡), *et al.* 2008. A study on the community structure and plant diversity of alpine meadow under different degrees of degradation in the Eastern Qilian Mountains (东祁连山不同退化阶段高寒草甸群落结构与植物多样性特征研究)[J]. *Acta Pratac Sin* (草业学报), **17**(4): 1-11
- Lu WX (鲁为华), Zhu JZ (朱进忠), Wang DJ (王东江), *et al.* 2009. Distribution pattern and dynamic population changes of *Seriphidium transilense* seedlings in fenced enclosures in the northern Tianshan Mountains (天山北坡围栏封育条件下伊犁绢蒿幼苗分布格局及数量动态变化规律研究)[J]. *Acta Pratac Sin* (草业学报), **18**(4): 17-26
- Mokany K, Raison RJ, Prokushkin AS. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes[J]. *Glob Chang Biol*, **12**(1): 84-96
- O'Neill EG. 1994. Responses of soil biota to elevated atmospheric carbon dioxide[J]. *Plant Soil*, **165**: 55-65
- Passioura JB. 1983. Roots and drought resistance[J]. *Agric Water Manag*, **7**(1/3): 265-280
- Passioura JB. 1983. Roots and drought resistance[J]. *Agric Water Manag*, **7**(1/3): 265-280
- Ren YZ (任永哲), Xu YH (徐艳花), Ding JP (丁锦平), *et al.* 2011. Regulation of abiotic factors on the plasticity of plant root development (非生物因素调控植物根系发育可塑性的研究进

- 展[J]. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), **27**(9):34-38
- Vogt KA, Vogt DI, Palmiotto PA, *et al.* 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species[J]. *Plant Soil*, **187**:159-219
- Wang LA, Niu KC, Yang YH, *et al.* 2010. Patterns of above-and belowground biomass allocation in China's grassland: evidence from individual Gill allel observations[J]. *Sci Chin Life Sci*, **53**:851-857
- Wang SP(汪诗平), Wang YF(王艳芬), Chen ZZ(陈佐忠). 2003. Effect of climate and grazing on population of cleistogenes squarrosa in inner Mongolia steppe(气候变化和放牧活动对糙隐子草种群的影响)[J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **27**(3):337-343
- Wang YJ(王亚军), Wei XF(魏兴琥), Yang P(杨萍). 2005. Effects of over-grazing on vegetation degradation of *Kobresia pygmaea* meadow in Nagqu, Tibet(超载放牧对那曲地区高山高草草甸植被退化的影响)[J]. *J Lanzhou Univ* (兰州大学学报), **41**(1):32-38
- Win H, van der Putten, RD, Bardgett PC deRuiter, *et al.* 2009. Empirical and theoretical challenges in above ground-belowground ecology[J]. *Oecologia*, **161**(1):1-14
- Xu C(徐翠), Zhang LB(张林波), Du JQ(杜加强), *et al.* 2013. Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers (三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **33**(8):2 388-2 399
- Yan Y(鄢燕), Zhang JG(张建国), Zhang JH(张锦华), *et al.* 2005. The belowground biomass in alpine grassland in Nakchu Prefecture of Tibet(西藏那曲地区高寒草地地下生物量)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **25**(11):2 818-2 823
- Yang LM(杨利明), Li JD(李建东), Yang YF(杨允菲), *et al.* 1999. β -diversity of grassland communities along gradient of grazing disturbance(草地群落放牧干扰梯度 β 多样性研究)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **10**(4):442-446
- Zhang YW(张蕴薇), Hang JG(韩建国), Li ZQ(李志强). 2002. A study of the effects of different grazing intensities on soil physical properties(放牧强度对土壤物理性质的影响)[J]. *Acta Agr Sin*(草地学报), **10**(1):74-78
- Zhao YH(赵玉红), Wei XH(魏学红), Miao YJ(苗彦军), *et al.* 2012. Plant community and reproductive allocation of Alpine meadow with different degradation degrees in Northern Tibet(藏北高寒草甸不同退化阶段植物群落特征及其繁殖分配研究)[J]. *Acta Agr Sin*(草地学报), **20**(2):221-228
- Zhong X(钟祥). 2005. Research of the Qinghai-Tibet Plateau (青藏高原研究进展)[J]. *J Mount Sci*(山地学报), **23**(3):257-259
- Zhou HK(周华坤), Zhao XQ(赵新全), Zhou L(周立), *et al.* 2005. A study on correlation between vegetation degradation and soil degradation in the 'Alpine Meadow' of the Qinghai-Tibetan Plateau(青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究)[J]. *Acta Pratac Sin*(草业学报), **14**(3):31-40
- Zhou HK(周华坤), Zhao XQ(赵新全), Zhou L(周立), *et al.* 2006. Alpine meadow degradation alter the clonal growing characteristics of *Potentilla anserine*(高寒草甸退化对鹅绒委陵菜克隆生长特征的影响)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **26**(2):508-520
- Zhou XM(周兴民), Wang QJ(王启基), Zhang YQ(张堰青), *et al.* 1987. Quantitative analysis of succession law of the alpine meadow under the different grazing intensities(不同放牧强度下高寒草甸植被演替规律的数量分析)[J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **11**(4):276-285

(上接第 568 页 Continue from page 568)

- (2): 711-713
- Huang YL, Chen YY, Liu JL, *et al.* 2018. Chemical constituents from the leaves of *Alchornea trewioides* (III). Quinicacids [J]. *Guihaia*, **35**(1): 105-108
- Huang YL, Chen YY, Yan XJ, *et al.* 2014. Chemical constituents from the leaves of *Alchornea trewioides* (I). Phenolic acids and related compounds[J]. *Guihaia*, **34**(1): 126-129
- Huang YL, Liu JL, Chen YY, *et al.* 2014. Chemical constituents from the leaves of *Alchornea trewioides* (II). Flavonoids and phenylethanoid glycosides[J]. *Guihaia*, **34**(2): 143-147
- Jiangsu New Medical College. 1977. Dictionary of Chinese Traditional Drugs [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers:1 005
- Khac DD, Tran-Van S, Campos AM, *et al.* 1990. Ellagic compounds from diplopanax stachyanthus[J]. *Phytochemistry*, **29**(1): 251-256
- Lu JH, Wei YX, Chen YY, *et al.* 2012. Chemical constituents from *Alchornea trewioides*[J]. *Nat Prod Res Dev*, **24**: 772-774
- Pfundstein B, Desouky SKE, Hull W, *et al.* 2010. Polyphenolic compounds in the fruits of Egyptian medicinal plants (terminalia bellerica, terminalia chebula and terminalia horrida): Characterization, quantitation and determination of antioxidant capacities [J]. *Phytochemistry*, **71**(10): 1 132-1 148
- Qin RD, Cheng W, Zhang QY, *et al.* 2012. Phenolic acid derivatives from *Alchornea trewioides* [J]. *Acta Pharm Sin*, **47**: 926-929
- Sahar EE, Meselhu MR, Kusumoto IT, *et al.* 1995. Inhibitory effect of Egyptian folk medicines on human immunodeficiency virus (HIV) reverse transcriptase[J]. *Chem Pharm Bull*, **43**(4): 641-648
- Taniguchi S, Nogaki R, Bao LM, *et al.* 2012. Teruo Kuroda, Hideyuki Ito, and Tsutomu Hatano. Furosinin, a novel hydrolyzable tannin from *Geranium thunbergii* [J]. *Heterocycles*, **86**(2): 1 525-1 532
- Thitilertdech N, Teerawutgulrag A, Kilburn JD, *et al.* 2010. Identification of major phenolic compounds from *Nephelium lappaceum* L. and their antioxidant activities [J]. *Molecules*, **15**: 1 453-1 465
- Yan GH, Cheng DF, 2007. Study on the chemical constituents and anti-HIV activity from the *Geranium strictipes* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, **38**(3): 352-354
- Yoshind T, Itoh H, Matsunaga S, *et al.* 1992. Tannins and related polyphenols of euphorbiaceous plants. IX. Hydrolyzable tannins with ¹c₄ glucose core from phyllanthus-flexuosus Muell-Arg [J]. *Chem Pharm Bull*, **40**(1):53-60