

西藏那曲地区高寒草地地下生物量

鄢 燕^{1,2}, 张建国^{1,2}, 张锦华³, 范建容¹, 李辉霞⁴

(1. 中国科学院·水利部山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3. 四川农业大学动物科技学院草业科学系, 四川 雅安 625014; 4. 佛山大学地理系, 广东 佛山 528000)

摘要: 矮嵩草草甸、藏北嵩草草甸及紫花针茅草原是那曲地区主要的草地类型, 通过对其地下生物量的分布特征、地下/地上生物量的关系及其对土壤环境影响的研究发现: (1) 这三类植物群落的地下生物量表现为总的 T 字形趋势下的锯齿状分布, 主要分布在 0~10cm 的草皮层中, 而且不同的退化草地, 其地下的生物量也不同; (2) 各群落的地下生物量和地上生物量密切相关, 相关性均呈显著正相关。地下/地上生物量的比值越大, 地上生物量就越高。地上生物量的变化不大, 而地下生物量变化显著; (3) 在高山草甸土中, 矮嵩草草甸的地下生物量和土壤的有机质、全 N、碱解 N 的含量及土壤的容重呈相关关系, 而与其他土壤因子相关性不显著。 (4) 各群落的地下生物量的垂直分布特征及与土壤环境的关系是植物长期适宜高寒生境条件的结果和反映。

关键词: 地下生物量; 地上生物量; 高山草甸土; 高寒草地

文章编号: 1000-0933(2005)11-2818-06 **中图分类号:** S812.5; Q948.113 **文献标识码:** A

The belowground biomass in alpine grassland in Nakchu Prefecture of Tibet

YAN Yan^{1,2}, ZHANG Jian-Guo^{1,2}, ZHANG Jin-Hua³, FAN Jian-Rong¹, LI Hui-Xia⁴ (1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, 610041, Sichuan, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China; 3. Department of Grassland Science, College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Ya'an, 625014, China; 4. Department of Geography, Fushan, Guangdong, 528000, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (11): 2818~2823

Abstract Kobresia humilis meadow, K. littledalei meadow and Stipa purpurea steppe are dominant grassland types in Nakchu Prefecture of Tibet. The investigation was carried out in Nakchu, Amdo, Nyerong, Shantsa and Palgon counties in August 2003~2004 to examine the distribution of belowground biomass, the relationship between of belowground and aboveground biomass and its effects on soil quality. We found that the belowground biomass was mostly distributed in the 0~10cm soil depth in the three plant communities with a "T" shape distribution feature; And the belowground biomass varied with the degradation intensity of communities of Kobresia humilis meadow. For each community, the above- and belowground biomass was significantly correlated ($r=0.857, 0.919, 0.832$, respectively, for Kobresia humilis meadow, K. littledalei meadow, Stipa purpurea steppe). The ratio of belowground to aboveground biomass increased with the aboveground biomass. The belowground biomass varied greatly, while the aboveground biomass did not fluctuate apparently. The belowground biomass of Kobresia humilis meadow was significantly correlated with the soil organic matter ($r=0.498$), total nitrogen ($r=0.402$), available nitrogen ($r=0.438$), bulk density ($r=-0.476$), but was not related to soil elements. We suggest that both the vertical distribution characteristics of belowground biomass and its effects on soil quality reflect the long-term adaptation of plants to the alpine environment.

Key words: below ground biomass; aboveground biomass; high mountain meadow soil; alpine grassland

基金项目: 国家重大基础研究前期研究专项资助项目 (2004CCA03600)

收稿日期: 2004-11-23; **修订日期:** 2005-07-29

作者简介: 鄢燕 (1978~), 女, 四川西昌人, 博士生, 主要从事草地生态研究. E-mail: xcyanyan7@yahoo.com.cn

致谢: 感谢中国科学院成都山地研究所综合实验室的人员对本试验的大力帮助!

Foundation item: The Early Research of the Key Research Program Foundation in China (No. 2004CCA03600)

Received date: 2004-11-23; **Accepted date:** 2005-07-29

Biography: YAN Yan, Ph.D. candidate, mainly engaged in grassland ecology. E-mail: xcyanyan7@yahoo.com.cn

植物群落地下(根系)生物量是生物(地下、地上)总生产量的重要组成部分。根系具有固定支持植物, 调节植物生长发育, 贮存营养物质, 供给地上部分水分和营养物质等基本功能, 对于地上生物量的形成和植物生长发育起着重要的作用^[1]。国内外许多学者都对其进行了研究。早在 18 世纪初德国的科学家海尔斯就开始对植物根系进行研究, 但因研究方法和工作量的限制, 在以后的百多年内研究进展一直很缓慢。后来国内外研究者逐渐认识到: 作为地下部分的根系, 总是和其赖以攀延伸长的土壤密切联结成一个水、肥、气、热、根互为生态环境的“根土系统”。这种系统的构形容积、动态、内涵因素的数量、质量, 直接关系着地上部分的建成与产量形成^[2]。20 世纪 80 年代以后, 国内外学者开始重视对根系的研究, 但主要在作物和森林领域上研究较多^[3-5]。

在高寒草甸地区, 牧草地下生物量要占总生物量的 80% 以上, 作为吸收、合成、固定和支持器官, 在植物生长发育中起着不可忽视的作用^[1]。同时根系在代谢过程中产生些特殊物质, 如生物碱和激素, 不但对植物本身有影响, 而且对土壤根际微生物的活动及土壤的形成起着重要的作用^[5]。有关高寒草甸生物生物量的报道虽有不少, 但多集中于矮蒿草草甸或地上生物量的研究, 而主要群落的地下生物量的比较研究和定量分析报道甚少^[1,6-8]。生物量是生态系统最基本的数量特征, 是认识生态系统结构和功能的基础, 因此, 本文针对那曲地区高寒草地生态系统主要植被群落地下生物量的分布特征、地上/地下生物量关系以及对土壤条件的影响进行了研究, 为进一步了解高寒草地生态系统的功能提供了基础, 也丰富了有关生物量研究方面的资料, 具有重要意义。

1 研究区域概况

那曲地区位于西藏自治区的北部, 是西藏自治区主要的草地畜牧业基地之一。平均海拔为 4500m 以上, 其地理坐标是东经 83°52'20"~95°01'00", 北纬 29°56'20"~36°41'00"。该地区气候寒冷, 在全国气候区划中属青藏高原高寒气候区的一部分。年平均气温为-4~4℃, ≥0℃积温为 846.1~1514℃, 年降水量在 150~695.5mm 之间。植被主要以紫花针茅(*Stipa purpurea*) 草原为优势植物的高寒草原和以蒿草属(*Kobresia*) 为主的高寒草甸^[9]。土壤主要为高山草甸土(The high mountain meadow soil)、草甸沼泽土(The meadow bog soil)和高山草原土(The high steppe soil)^[10]。其理化性质见表 1。

表 1 高山草甸土、草甸沼泽土和高山草原土的理化性质

Table 1 The character of physics and chemistry of the high mountain meadow soil, meadow bog soil and high mountain steppe soil														
类型 Types	土层深度 Soil depth (cm)	水分 (2mm) Soil moisture (%)	水分 (0.25mm) Soil moisture (%)	pH 值 pH value	有机质 The organic matter (g/kg)	全 N Total nitrogen (g/kg)	全 P Total phosphorus (g/kg)	全 K Total kalium (g/kg)	碱解 N A available nitrogen (mg/kg)	有效 P A available phosphorus (mg/kg)	速效 K Readily available kalium (mg/kg)	阳离子交换量 CEC Cmol(+) /kg	容重 BD (g/cm ³)	
高山草甸土 The high mountain meadow soil	0~ 10	2.736	2.567	7.347	60.322	2.643	0.501	20.261	225.804	3.701	138.830	16.579	1.024	
	10~ 20	2.638	2.421	7.795	40.625	2.086	0.497	20.648	165.578	2.894	99.957	14.657	1.299	
高山沼泽 The meadow bog soil	0~ 10	3.328	3.003	8.12	79.42	3.026	0.475	20.420	234.525	5.508	129.954	21.886	0.908	
	10~ 20	4.66	3.332	7.43	86.324	4.255	0.578	19.364	324.387	6.065	110.237	19.04	0.918	
高山草 原土 The high steppe soil	0~ 10	1.703	1.575	8.197	20.442	1.363	0.402	23.440	85.537	2.731	136.047	10.719	1.231	
	10~ 20	2.045	1.886	8.505	16.647	1.213	0.433	24.764	82.898	2.819	124.325	11.567	1.417	

2 研究方法

2.1 样方布置

在那曲地区多种草地类型中, 选取不同类型和不同退化程度的草地, 选择典型样地。于 2003 年 8 月份和 2004 年 8 月份在那曲地区的那曲、安多、聂荣、班戈和申扎县等地共调查了 86 处样地, 其中矮蒿草草甸、藏北蒿草草甸和紫花针茅草原样地各为 20 处, 合计 60 处(图 1)。

2.2 取样方法

地下生物量的测定采用土柱法, 用特制的圆形钢筒取样。钢筒直径 6.8cm, 高 50cm, 上端配一铁盖子, 下端做成削尖形。地下生物量的取样与地上生物量同步进行, 每个地上的生物量样方内设一个地下生物量样方, 共 3 次重复。每个样方取 6 层, 分 0~5cm, 5~10cm, 10~15cm, 15~20cm, 20~25cm, 25~30cm。样品按层装入布袋中, 带回室内。用 80 目筛子冲洗、分离, 分离

后将根系按层装入纸袋中,在 75 °C 烘箱内烘干至恒重,称其干重。全部生物量均以烘干重计。

2.3 土壤样品的采集和分析

在测定地下生物量的同时,用大小为 100cm² 的环刀采集土样,样品装入无菌袋中,带回室内进行分析。分析方法按照土壤常规分析方法进行分析。具体方法见《土壤理化分析》^[11]。

3 结果与分析

3.1 那曲地区主要群落的地下生物量的形成规律

3.1.1 主要群落的地下生物量的垂直分布特征

那曲地区不同植被群落的地下生物量随土层深度的不同而异(见表 2),并发现,其地下生物量主要分布在 0~ 10cm 深的土层中。矮嵩草草甸的地下生物量为 2490.48g/m²,在 0~ 10cm 土层中分布约占地

下总生物量的 88.08%,10~ 20cm 土层中的地下生物量约占 10.85%,20~ 30cm 土层中的生物量约占 1.07%。藏北嵩草(*K. littledalei*)草甸的地下生物量为 10048.64g/m²,在 0~ 10cm 土层中分布约占地下总生物量的 76.84%,10~ 20cm,20~ 30cm 的土层中的地下生物量分别占地下总生物量的 18.23%和 4.93%。紫花针茅草原的地下生物量为 886.56g/m²,其中 0~ 10cm 的土层中分布的生物量约占地下总生物量的 87.07%,10~ 20cm,20~ 30cm 的土层中的生物量分别占地下总生物量的 12.42%,0.50%。它们的垂直空间分布结构见图 2,表现为总的 T 字形趋势下的锯齿状分布。这与王启基等^[12]研究的藏北嵩草植物地下生物量的空间梯度上的分布格局有异。他们报道了在 0~ 10cm 的藏北嵩草草甸的地下生物量占地下总生物量的 45.51%,10~ 30cm 的土层中的生物量可占地下总生物量的 49.56%。由于该地区的草地成不同程度的退化,造成地下生物量的不同(原因见 3.1.3),因而影响了实验结果。同时由于藏北嵩草草甸表层富含弹性的草毡层,在取根或洗根过程中未将其和根系完全分离,导致 0~ 10cm 的土层中的生物量增高,也一定程度的影响了实验结果,但其具体原因还需进一步深入调查。

表 2 那曲地区主要群落的不同土壤深度地下生物量(g/m²)

植被类型 Vegetation types	土壤深度 Soil depth (cm)					
	0~ 5	5~ 10	10~ 15	15~ 20	20~ 25	25~ 30
矮嵩草草甸 <i>Kobresia humilis</i> meadow	1778.75 (71.42%)	414.83 (16.66%)	182.5 (7.33%)	87.76 (3.52%)	26.62 (1.07%)	0.00 (0.00)
藏北嵩草草甸 <i>K. littledalei</i> meadow	5301.03 (52.75%)	2420.15 (24.08%)	1152.72 (11.07%)	679.15 (6.76%)	220.26 (2.19%)	275.33 (2.74%)
紫花针茅草原 <i>Stipa purpurea</i> steppe	642.90 (72.52%)	129.06 (14.56%)	72.27 (8.15%)	37.86 (4.27%)	4.47 (0.50%)	0.00 (0.00)

括号内为占总根重的百分数 The percentage of total biomass in parentheses

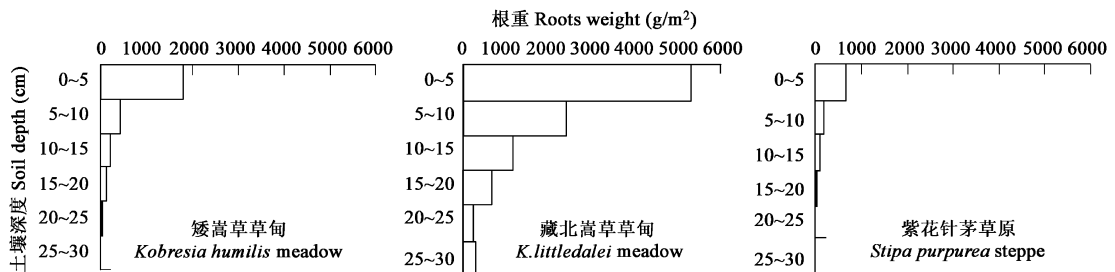


图 2 那曲地区主要植被群落地下生物量垂直分布

Fig. 2 The vertical distribution of belowground biomass of dominant vegetation communities in Nakchu Prefecture

那曲地区主要群落地下生物量的垂直分布特征与高寒草甸的气候、土壤有很密切的关系。该地区水热同季,植物将大部分根系分布在 0~ 10cm 的表土层中,以利用这一有利条件,获取更多的热量、水分和矿质营养,同时表层土壤通气条件较好,这些都为地下根系部分的生长发育创造了较有利的条件,随着土壤深度的增加,土壤温度、含水量和通气条件变劣,根量也随之减少,这显示了高寒草甸植物对严酷生境环境的适应性。

3.1.2 主要草地群落类型间不同层次根量的变化 从表 2 可知,不同草地类型的根量分布在不同层次的分布也有一定的差异。在 6 个层次的分布中,0~ 5cm 的矮嵩草草甸和紫花针茅草原的根量分布分别占各自总根量的 71.42% 和 72.52%,根量相近;而藏北嵩草草甸的根量占总根量的 52.75%,明显比其他两个类型的草地的根量少。5~ 10cm 中,矮嵩草草甸和紫花针茅草原的根量分布分别占各自总根量的 16.66% 和 14.56%;而藏北嵩草草甸的根量占总根量的 24.08%,比前两者的根量含量大。在 10~ 15cm,15~ 20cm,20~ 25cm,25~ 30cm 中,藏北嵩草草甸的根量分布都明显的大于其他两个类型的根量分布,特别是在 25~ 30cm 中,矮嵩草草甸和紫花针茅草原的根系含量极少,几乎可以忽略,而藏北嵩草草甸的根系含量可占总根量的 2.74%。这可能是藏北嵩草生活在草甸沼泽土上,地表常年积水或 1 米以内有永冻层发育,土壤厚而紧实,富弹性的草毡层,有机质含量 9.3%~ 19.9%。其下为腐殖质层,有机质含量达 10%~ 35%。由于该土地下水位低,土壤水分条件好,土层厚,有机质含量高,养分丰富,有利于地下根系的生长,在 0~ 30cm 中均有一定范围的分布。而在矮嵩草草甸和紫花针茅草原中由于低温、干旱,有机质含量不高,养分不充足,在一定程度上制约了地下根系的生长,使其分布不均。

3.1.3 不同退化程度的矮嵩草草甸植物群落地下生物量的变化 由于自然或社会经济原因(如气候变化、鼠虫害、放牧等因素)造成草地呈现不同程度的退化。不同退化程度(退化程度按矮嵩草草甸的盖度、优势种、毒杂草、产草量、土壤紧实度、地表状况及鼠虫害等因子来判别)矮嵩草草甸植物群落,其地下生物量在空间梯度上的分布是不均匀的,也表现为总的 T 字形趋势下的锯齿状分布(图 3)。轻度退化的群落其地下生物量为 3040.43g/m²,中度退化的群落地下生物量为 1867.53 g/m²,重度退化的群落地下生物量为 602.97 g/m²。可看出,由于草地的退化,植被减少,致使植物光合面积减少,尤其在牧草返青期,其光合产物不能满足其自身生长发育,因而需要地下根系提供营养物质,其结果势必影响了植物根系的生长发育,而且制约了地上、地下干物质的积累,久而久之,有些种不能完成其生命的全过程,逐渐衰退和消失,最后导致地下生物量的减少。

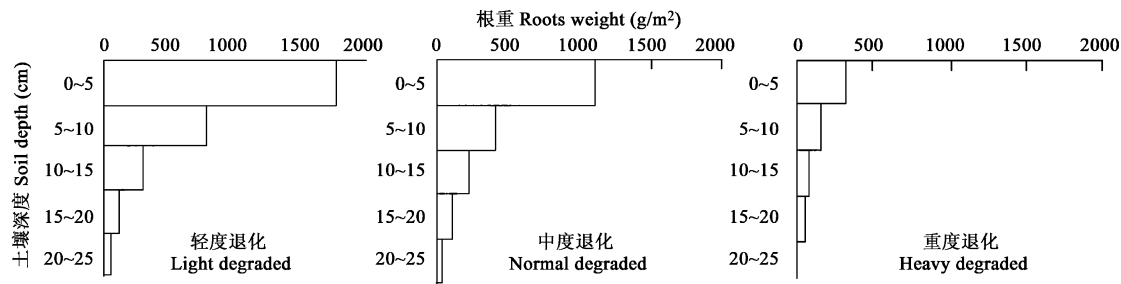


图 3 矮嵩草草甸中不同退化程度植物群落地下生物量分布

Fig. 3 The distribution of belowground biomass of different degraded communities of *Kobresia humilis* in Nakchu Prefecture

3.1.4 草地群落地上生物量与地下生物量之间的关系 在植被的整个生长过程中可以看到地上生物量和地下生物量之间是相辅相成,息息相关,既互相依存,又互相竞争,构成一个比例协调且与环境条件相适应的有机整体。总之,在生长季始末两者同时增长和衰退,在生长中后期两者互为消长关系^[12]。因此研究地下生物量与地上生物量的比值可反映分配给地下部的光合产物的比例,是群落或生态系统的重要参数之一,对草地生产具有十分重要的意义^[13]。

从表 3 可知,矮嵩草草甸、藏北嵩草草甸和紫花针茅草原的地上生物量和地下生物量呈显著正相关关系,相关系数分别为 0.857、0.919 和 0.832,这与王启基等^[6,8]研究的矮嵩草草甸的地上、地下生物量呈正相关关系的结论一致,也符合植物地上生物量和地下生物量呈正相关的普遍观点。表明地上和地下生物量之间有着相互依赖、相互制约的关系。植物根系发育良好,地下生物量较高,则能促进植物地上部的生长发育,获得较高的地上生物量^[6]。此外,矮嵩草草甸、藏北嵩草草甸和紫花针茅草原地下、地上生物量的比值分别为 9.32、26.98 和 2.44,说明在高寒地区地下生物量占很大比例,而且地下、地上生物量的比值越大,地上生物量就越高。其中,比值最小的为针茅草原型草地,这一类型草地水分条件最差,其地下与地上生物量的比值最小,而藏北嵩草草甸水分条件最好,地下、地上生物量比值最大,达到了 26.98。在通常情况下,适度干旱会促进根系发育,增加地下、地上生物量的比值,而在这 3 种草地类型中,水分增加却促进了根系的发育,这可能与其恶劣的气候条件有关,在高寒和不稳定的气温条件下植物通过其根部贮藏物质保证其正常生长。表明这是高寒地区植物长期适应高寒生境条件的结果。第三,地上生物量变化不大,而地下生物量变化显著。由于低温的限制,植物光合能力有限,地上生物量增长受到制约,对植物而言过量的地面生长如不能增加光合产物对整体无疑是一种巨大的浪费。因此将更多的产物转入地下贮藏起来不失为一种更好的生存策略。

3.2 地下生物量对土壤环境的影响

土壤是植物生长的基质,其化学特性决定着植物群落根系的生长发育,同时植物根系又反作用于土壤,改变其生境条件,使群落得以发展^[12]。由于本次研究工作量及时间有限,仅对矮嵩草草甸的地下生物量对高山草甸土的影响进行了分析。

表 3 各群落的地上、地下生物量相关性

Table 3 The relativity of aboveground and belowground biomass of communities					
群落类型 Community types	地下生物量(g/m ²) Belowground biomass	地上生物量(g/m ²) Aboveground biomass	地下: 地上 Below ground: aboveground	相关系数 Relative coefficient	R ²
矮嵩草草甸 <i>Kobresia humilis</i> meadow	2490.48	267.14	9.32	0.857**	0.7344
藏北嵩草草甸 <i>K. littledalei</i> meadow	10048.64	372.40	26.98	0.919**	0.8446
紫花针茅草原 <i>Stipa purpurea</i> steppe	886.56	363.73	2.44	0.832**	0.6922

** 显示在 0.01 水平下呈显著相关 Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

从表 4 和图 4 可知, 矮嵩草草甸的地下生物量和土壤的有机质, 全 N, 碱解 N (有效态氮) 含量呈正相关关系, 其相关系数分别为 0.498, 0.402, 0.438。说明地下生物量影响了土壤中有有机质和氮的含量, 随着地下生物量的增加, 有机质和氮含量也随之增加。这可能是由于在高山草甸土中由于草本植物生长繁茂, 地下生物量也较多, 每年给土壤留下较多的有机残体, 在土壤湿度较大的条件下, 有机残体进行嫌气分解, 有利于有机质和氮素的累积。

表 4 地下生物量与高山草甸土各化学成分的相关关系

Table 4 The correlativity of belowground biomass and the high mountain meadow soil's chemistry components							
	有机质 The organic matter (g/kg)	全 N Total nitrogen (g/kg)	全 P Total phosphorus (g/kg)	全 K Total potassium (g/kg)	碱解 N Available nitrogen (mg/kg)	有效 P Available potassium (mg/kg)	速效 K Readily available potassium (mg/kg)
地下生物量 Belowground biomass	0.498*	0.402*	0.289	- 0.102	0.438*	0.276	- 0.174
							容重 BD (g/cm ³) - 0.476*

* 显示在 0.05 水平下相关 Correlation at the 0.05 level(2-tailed)

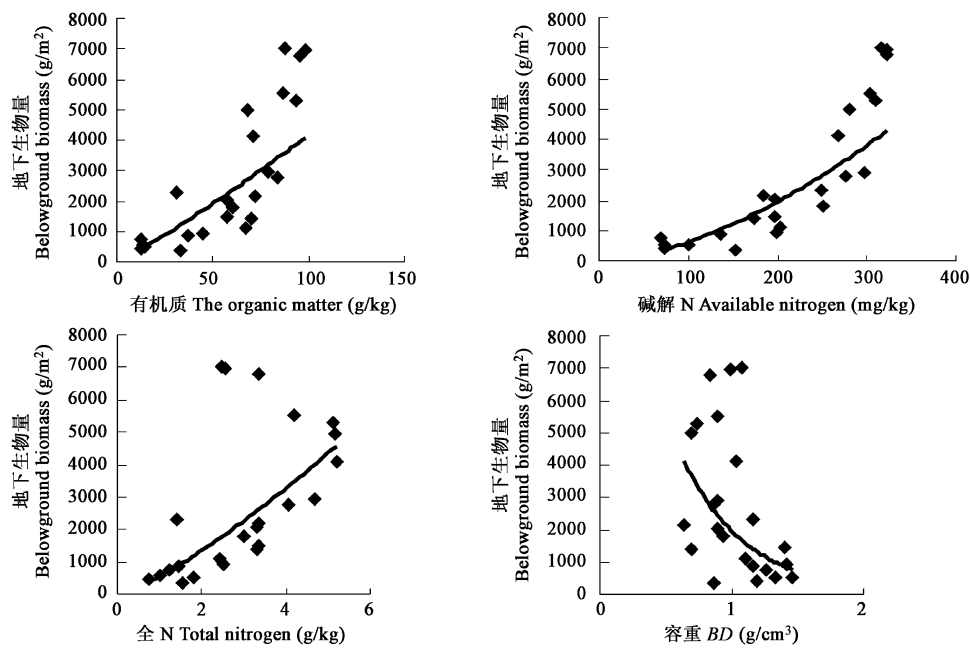


图 4 地下生物量与土壤有机质、全 N、碱解 N 和容重的关系

Fig 4 The relation of belowground biomass and the soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen and BD

地下生物量与土壤的容重呈负相关, 其相关系数为- 0.476。土壤容重随地下生物量的增大而减小。说明地下生物量可影响土壤的物理性质, 一定程度的改善土壤环境。

对于 P、K 因子来说, 根系与它们的相关性不显著, 表明根系对 P、K 含量的影响不大。这可能是土壤中的 P、K 含量主要与其成土母质有关。而与地下生物量无直接的关系。

群落的地下生物量和土壤的有机质、碱解N 和容重的方程为:

$$\text{地下生物量与土壤有机质} \quad Y = 66.0006X^{0.8367}$$

$$\text{地下生物量与土壤碱解N} \quad Y = 9.7319X^{0.9743}$$

$$\text{地下生物量与土壤容重} \quad Y = e^{9.9178 - 2.4597/X}$$

4 结论

(1) 这3类植物群落的地下生物量具有空间梯度上的垂直分布不均匀性, 主要分布在0~10cm 的草皮层中。矮嵩草甸的地下生物量为2490.48g/m², 在0~10cm 土层中分布约占地下总生物量的88.08%, 10~30cm 土层中的地下生物量仅占11.92%; 藏北嵩草甸的地下生物量为10048.64g/m², 在0~10cm 土层中分布约占地下总生物量的76.84%, 10~30cm 的土层中的地下生物量占地下总生物量的23.16%; 紫花针茅草原的地下生物量为886.56g/m², 其中0~10cm 的土层中分布的生物量占地下总生物量的87.07%, 10~30cm 的土层中的生物量仅占地下总生物量的12.92%。

(2) 不同草地类型间的不同层次根量的分布有异, 藏北嵩草甸的根量分布范围明显大于矮嵩草甸和紫花针茅草原。

(3) 在矮嵩草甸中, 不同退化程度群落的地下生物量分布表现为轻度退化> 中度退化> 重度退化。

(4) 各群落的地下生物量和地上生物量密切相关, 相关性均呈显著正相关。地下/地上生物量的比值越大, 地上生物量就越高。

(5) 在高山草甸土中, 矮嵩草甸的地下生物量和土壤的有机质, 全N 和碱解N 的含量呈正相关, 其相关系数分别为0.498, 0.402, 0.438; 与土壤的容重呈负相关, 其相关系数为-0.476。而与其他土壤因子相关性不显著。

(6) 各群落的地下生物量的垂直分布特征及与土壤条件的关系是植物长期适宜高寒生境条件的结果。

References

- [1] Li Y N. The relation of below ground biomass in alpine meadow plant and weather condition and turnover value. *China Agriculture Weather*, 1998, 19(1): 36~39
- [2] Liang Y L, Chen P Y. The adjustment of soil water and nitrogen phosphorus nutrition on root system growth of wheat and water use. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 20(3): 255~262
- [3] Li P, Zhao Z H, Li Z H B. Advances on the interactional mechanism between root system and eco-environment. *Journal of Northwest Forestry University*, 2002, 17(2): 26~32
- [4] Yang L Y, Li W H. The underground root biomass and C storage in different forest ecosystems of Changbai Mountains in China. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 204~209
- [5] Hao Y R, Lao X R, Sun W H. Interaction of roots and rhizosphere in the wheat-maize intercropping system. *Rural Eco-Environment*, 2003, 19(4): 18~22
- [6] Wang Q J, Yang F T, Shi S H. A preliminary study on formation of below ground biomass in a Kobresia humilis meadow. *The proceedings of the international symposium of alpine meadow ecosystem*, Beijing: Science Press, 1988 73~81
- [7] Yang F T, Wang Q J, Shi S H. Seasonal and annual biomass dynamics Kobresia humilis meadow. *The proceedings of the international symposium of alpine meadow ecosystem*. Beijing: Science Press, 1988 64~71
- [8] Wang Q J, Wang W Y, Deng Z F. The dynamics of biomass and the allocation of energy in alpine Kobresia meadow communities, Haibei region of Qinghai Province. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3): 222~230
- [9] Land Management Bureau in Tibet Autonomous Region, Stock Bureau in Tibet Autonomous Region. *Grassland Resource of Tibet Autonomous Region*. Beijing: Science Press, 1994 177~241
- [10] Animal Husbandry Bureau in Nakchu of Tibet Autonomous Region. *Land resources in Nakchu of Tibet*. China Agriculture Press, 1992 57~80
- [11] Nanjing land institute of China Academy of Sciences. *Analysis on soil physical and chemical characteristics*. Shanghai Science and Technology Press, 1978 36~58
- [12] Zhou X M, Wang Q J, Shi S B. *The Kobresia meadow of China*. Beijing: Science Press, 2001 131~167
- [13] Zhang N, Liang Y M. Studies on the below-ground/above-ground biomass ratio of natural grassland in loess hilly region. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(2): 72~78

参考文献:

- [1] 李英年. 高寒草甸植物地下生物量与气象条件的关系及周转值的分析. *中国农业气象*, 1998, 19(1): 36~39
- [2] 梁银丽, 陈陪元. 土壤水分和氮磷营养对小麦根系生理特性的调节作用. *植物生态学报*, 1996, 20(3): 255~262
- [3] 李鹏, 赵忠, 李占斌, 等. 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*, 2002, 17(2): 26~32
- [4] 杨丽福, 李文华. 长白山不同生态系统地下部分生物量及地下C 贮量的调查. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 204~209
- [5] 郝艳茹, 劳秀荣, 孙伟红, 等. 小麦/玉米间作物根系及根际微环境的交互作用. *农业生态环境*, 2003, 19(4): 18~22
- [6] 王启基, 杨福国, 史顺海. 高寒矮嵩草甸地下生物量形成规律的初步研究. *高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集*, 北京: 科学出版社, 1988 73~81
- [7] 杨福国, 王启基, 史顺海. 矮嵩草甸生物量季节动态与年间动态. *高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集*, 北京: 科学出版社, 1988 61~71
- [8] 王启基, 王文颖, 邓自发. 青海海北地区高山嵩草甸植物群落生物量动态及能量分配. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 222~230
- [9] 西藏自治区土地管理局, 西藏自治区畜牧局. *西藏自治区草地资源*. 北京: 科学出版社, 1994 177~241
- [10] 西藏自治区那曲地区畜牧局. *西藏那曲地区土地资源*. 北京: 中国农业科技出版社, 1992 57~80
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 上海科学技术出版社, 1978 36~58
- [12] 周兴民, 王启基, 师生波, 等著. *中国嵩草甸*. 北京: 科学出版社, 2001 131~167
- [13] 张娜, 梁一民. 黄土丘陵区天然草地地下/地上生物量的研究. *草业学报*, 2002, 11(2): 72~78