

江河源区高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 草甸植物和土壤碳、氮储量对覆被变化的响应

王启基¹, 李世雄^{1,3}, 王文颖², 景增春¹

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2 青海师范大学, 西宁 810008; 3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:以青海省果洛州藏族自治州甘德县青珍乡高山嵩草 *Kobresia pygmaea* 草甸轻度退化草地和重度退化草地为研究对象, 通过植物地上部分主要功能群 (禾草类、杂类草、莎草类)、植物根系和土壤碳、氮浓度及储量动态研究, 结果表明: 高寒小嵩草草甸轻度退化草地地上部分主要功能群碳、氮浓度和 C/N 比值明显高于重度退化草地的浓度。同一草地类型主要功能群比较, 碳、氮浓度依次为杂类草 > 禾草类 > 莎草类; 植物地上部分的碳、氮浓度明显高于地下根系的碳、氮浓度。重度退化草地植物根系碳、氮浓度高于轻度退化草地植物根系碳、氮浓度。重度退化草地土壤总有机碳浓度显著低于轻度退化草地土壤总有机碳浓度, 随着土层的加深碳、氮浓度有减少的趋势。江河源区高山嵩草草甸的土壤有机碳、氮储量最大, 植物根系碳、氮储量居中, 植物地上部分碳、氮储量最小。重度退化草地总有机碳储量 (13554.3 g/m²) 较轻度退化草地储量 (14669.2 g/m²) 下降 7.60%。其中, 0~40cm 土壤层碳储量下降 4.10%, 植物根系碳储量下降 59.97%, 植物地上部分碳储量下降 15.39%; 重度退化草地总氮储量 (3780.6 g/m²) 较轻度退化草地储量 (3352.7 g/m²) 高 12.76%, 其中, 0~40cm 土壤中总氮储量高 13.07%, 植物根系全氮储量下降 55.09%, 植物地上部分全氮下降 16.00%。由于草地退化损失有机碳 11149 kg/hm², 而全氮增加 4278 kg/hm²。

关键词:江河源区; 高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 草甸; 覆被变化; 植物; 土壤; 碳、氮储量

文章编号: 1000-0933(2008)03-0885-10 中图分类号: Q948 文献标识码: A

The despondences of carbon and nitrogen reserves in plants and soils to vegetations cover change on *Kobresia pygmaea* meadow of Yellow River and Yangtze River source region

WANG Qi-Ji¹, LI Shi-Xiong^{1,3}, WANG Wen-Ying², JING Zeng-Chun¹

1 Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China

2 Department of Biology, Qinghai Normal University, Xining 810008, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 0885 ~ 894

Abstract: We conducted this study on lightly and severely degraded *Kobresia pygmaea* meadow in Qingzhen village, Gande County, Guoluo Prefecture, Qinghai Province. The purpose of this research was to compare carbon, nitrogen concentration, content of unit area and dynamics of aboveground parts, plants roots and soils depths to 40 cm between lightly and severely degraded *Kobresia* meadow. The results showed that the aboveground tissue C, N concentration and C/N ratio was

基金项目: “十五” 国家科技攻关计划重大资助项目 (2004BA606A-02); 青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划科研课题及应用推广资助项目 (2005-SN-2); 国家自然科学基金资助项目 (30660120)

收稿日期: 2006-12-15; 修订日期: 2007-07-02

作者简介: 王启基 (1945 ~), 男, 青海湟源县人, 研究员, 主要从事草地生态学和恢复生态学研究. E-mail: wqj@nwipb.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by China's National “The 10th Five-year” Scientific and Technological Key Programmers (No. 2004BA606A-02), The scientific research and application popularization of Sanjiangyuan, Qinghai (No. 2005-SN-2) and National Natural Science Foundation of China (No. 30660120)

Received date: 2006-12-15; **Accepted date:** 2007-07-02

Biography: WANG Qi-Ji, Professor, mainly engaged in grassland ecology and restoration ecology. E-mail: WQJ@nwipb.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

significantly higher in the lightly degraded grassland than in the severely degraded grassland. In addition, total carbon and total nitrogen concentration of aboveground tissue were forbs > grasses > sedges at the same grassland type. total carbon and total nitrogen concentration of belowground roots was significantly higher in the severely degraded grassland than in the lightly degraded grassland. Total carbon and nitrogen concentration was higher in the aboveground tissue than belowground roots. Total soil organic carbon concentration in severely degraded grassland was significantly lower than that in lightly degraded grassland, and decreased with depths. C and N content in unit area was soil depths 0-20 cm > belowground root > aboveground issue in the same grassland types. The total carbon content of unit area of aboveground tissue, roots and soil depths 0-40 cm (14669.2 g/m^2) declined after degradation from lightly to severely degraded grassland (13554.3 g/m^2) 7.60%, in which that of soil 0-40 cm declined 4.10%, that of belowground roots declined 59.97% and aboveground tissue declined 15.39%. The nitrogen content of unit area of aboveground tissue, roots and soil depths 0-40 cm (3352.7 g/m^2) increased after degradation from lightly to severely degraded grassland (3780.6 g/m^2) 12.76%, in which that of soil 0-40 cm increased 13.07%, that of belowground roots declined 55.09% and aboveground tissue declined 16.00%. Thanks to degraded grassland, The total carbon lost 11149 kg/hm^2 , and total nitrogen increased 4278 kg/hm^2 .

Key Words: Yellow River and Yangtze River source region; *Kobresia pygmaea* meadow; vegetations cover change; plants; Soil; the reserves of carbon and nitrogen

土地利用变化与土地退化,对碳在地球各圈层,特别是气圈与土圈之间的平衡机制有相当显著的影响^[1],温室气体变化和碳、氮等元素的循环是生物地球化学循环研究的重要内容,特别是在当前人类活动影响加剧和大气中重要温室气体浓度不断增加的情况下,温室气体源汇以及碳、氮元素的循环等问题是研究全球变化热点之一,引起有关专家、学者们的极大关注。高寒嵩草(*Kobresia*)草甸是三江源区分布最广、面积最大的草地类型之一^[2]。主要分布在海拔 3200~5600m 的森林带以上的高寒灌丛带和广袤的高原面上,在此条件下发育的高山草甸土、亚高山草甸土以及高山草原草甸土等高山土壤富含有机质,土壤碳浓度明显高于其它地域土壤^[3]。近年来一些研究表明,大气中 CO_2 有相当大的一部分被草地植被所固定^[4],由于冻土热力敏感性大,因此高原冻土具有很大的碳、氮等温室效应气体的排放潜力^[5]。土地退化或退化土地恢复重建都会使原来的生态系统发生剧烈的改变。这些过程会改变植被生产力及土壤有机质的积累和分解速率,进而影响到生态系统碳、氮循环和土壤碳储量^[6]。在未来全球变化情景下,高原土壤层的碳释放和植被层的碳吸收对全球变化更为敏感,而且在区域生态系统碳平衡过程中起着极为重要的作用。有关青藏高原高寒草甸究竟是碳源(排放)还是碳汇(吸收),强度大小等问题,将是全球变化研究中的焦点之一。因此,开展江河源区植物土壤碳、氮等元素的储量及其循环特征的研究,对评价江河源区生物地球化学循环对全球变化的响应和反馈作用具有重要理论价值和实践意义。目前有关土壤碳通量的研究报道较多^[7-9],但多为低海拔地区的研究,象三江源高海拔地区的研究报道较少^[10]。本文旨在通过江河源区高山嵩草草甸退化演替过程中草地覆被变化对植物主要功能群和土壤碳、氮的分布及储量特征影响的研究,探讨高寒草甸草地对全球气候变化的响应和反馈作用,揭示草地覆被变化对碳排放和吸收机理,为评估草地覆被在生态系统中的生态价值和贡献,江河源区生态保护和退化草地植被恢复、重建提供科学依据。

1 研究区自然概况

该项研究在青海省果洛州藏族自治州甘德县青珍乡进行,试验区地处北纬 $34^{\circ}08'20'' \sim 34^{\circ}09'18''$,东经 $100^{\circ}11'28'' \sim 100^{\circ}12'14''$,平均海拔 4060 m。气候属典型高原大陆型气候,其特点是寒冷、少雨、日照长、太阳辐射强烈、风大。年平均气温 -2.7°C , 0 年积温 859°C 。年降水量 492.9 mm ,多集中在夏季,6~9 月份的降水量约 373.5 mm ,占全年降水量的 71.80%。年平均蒸发 1231.7 mm ,相对湿度 64%。全年日照时间约 2450.7 h ,日照率 55%。昼夜温差大,全年无绝对无霜期,灾害性天气较为频繁。主要植被类型为高寒

嵩草草甸、高寒沼泽草甸和高寒灌丛,分别占可利用草地的 65.04%、20.81%、14.15%。主要的土壤类型有高山草甸土、高山沼泽草甸土、高山灌丛草甸土等。

2 材料与方法

该项研究于 2003 年植物生长季 (6~8 月份) 进行,根据天然草地不同退化演替阶段,分别在轻度退化草场 (原生植被基本保存完好,总盖度约 90%,优势种为高山嵩草 (*Kobresia pygmaea*),优势度为 12.73%。次优势种有羊茅 (*Festuca ovina*)、高原早熟禾 (*Poa alpigena*)、钉柱委陵菜 (*Potentilla nivea*) 和严重退化草场 (总盖度约 50%,优势种为细叶亚菊 (*Ajania tenuifolia*) 和高山紫菀 (*Aster alpinum*),优势度分别为 9.31% 和 8.63%。次优势种有黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*)、矮嵩草 (*K. humilis*)、园萼刺参 (*Morina chinensis*) 设置 2 个调查样地,每个样地面积为 4hm² (200m × 200m)。

2.1 植物群落地上、地下生物量测定

在植物生长季 (6、7、8 月份) 用收割法测定植物地上生物量。每个样地随机选取 5 个面积为 50cm × 50cm 样方,记录每个样方的样方号、经纬度、海拔高度。将收割的植物地上部分按禾草类、杂类草、莎草类 3 个主要功能群分类,称取鲜重后在 80 °C 恒温箱中烘干至恒重。地下生物量的测定与地上生物量测定同步进行,在剪完地上生物量的样方内随机选取 3 个 25cm × 25cm 的小样方,并从地表开始,每 20cm 为 1 层测定其地下生物量,直至 40cm 为止,用 2mm 网眼的铁筛筛去土,拣去石头后,收集草根用清水冲洗干净,在 80 °C 恒温箱中烘干至恒重。文中生物量以烘干重计。

植物分析样品采集:将测定地上生物量收获的植物按禾草类、莎草类和杂类草等主要功能群分类保存。植物根系按层收集样方内群落的混合样品,并研磨植物地上、地下样品,测定总碳、总氮浓度。

2.2 土样分析样品采集

土样分析样品采集与测定地下生物量同步进行,在测定地上、地下生物量的对应样方内,分别按 0~20cm、20~40cm 两层采集土壤样品,在每个样地采集 3 个样方,即 3 次重复。同时用直径为 5.3 cm 的环刀分别测定 0~20cm、20~40cm 土层中的土壤容重,用铝盒称重法测定 0~20cm、20~40cm 土层的土壤含水量。将野外收集的土样风干,过 2 mm 筛,移出砾石和根系并称重。再过 0.25 mm 筛的土样用于测定土壤有机碳和总氮浓度。植物、土壤分析样品用 Vario EL III 元素分析仪测定,由兰州大学分析测试中心承担完成。

2.3 数据计算

$$\text{砾石百分含量 (\%)} = (\text{>0.25 mm 砾石干重} / \text{总土石干重}) \times 100$$

$$\text{植物地上部分碳、氮储量 (g/m}^2\text{)} = \text{单位面积生物量 (g/m}^2\text{)} \times \text{碳、氮浓度 (\%)}$$

$$\text{植物地下部分碳、氮储量 (g/m}^2\text{)} = \text{单位面积生物量 (g/m}^2\text{)} \times \text{土壤深度 (0~0.2m, 0.2~0.4m)} \times \text{碳、氮浓度 (\%)}$$

$$\text{土壤有机碳、氮储量 (g/m}^2\text{)} = D \times (B \times 10^6) \times (C/100) \times ((100 - G)/100) = D \times B \times C \times (100 - G) \times 100$$

式中, D 是土壤深度 (m); B 是土壤容重 (g/cm^3); C 是 <0.25 mm 土壤有机碳或总氮浓度 (%); G 是砾石百分含量 (%)。

3 研究结果与分析

3.1 不同退化演替阶段植物碳、氮分布特征

三江源区高山嵩草草甸草场由于长期过度放牧等人类活动、害鼠危害以及风蚀、水蚀和全球气候变暖等因素的影响,呈现全面退化趋势^[11]。根据草地退化的时间和空间格局的不同,选择轻度退化草地和重度退化草地为研究对象,其地上部分主要功能群 (禾草类、杂类草、莎草类) 和地下部分根系全碳、全氮浓度如表 1、表 2。

由表 1 可知,高寒小嵩草草甸轻度退化草地地上部分主要功能群全碳、全氮浓度和 C/N 比明显高于重度退化草地的浓度。按同一草地类型主要功能群比较,轻度退化草地全碳、全氮浓度依次为杂类草 > 禾草类 >

莎草类, C/N比值依次为禾草类 > 莎草类 > 杂类草; 重度退化草地全碳浓度依次为杂类草 > 莎草类 > 禾草类, 全氮浓度依次为杂类草 > 禾草类 > 莎草类; C/N比值依次为莎草类 > 杂类草 > 禾草类。经方差分析表明, 轻度退化草地与重度退化草地间禾草类、莎草类之间碳浓度差异显著 ($p < 0.05$), 杂类草之间碳、氮浓度差异不显著 ($p > 0.05$); 轻度退化草地禾草类、杂类草、莎草类之间碳、氮浓度差异不显著 ($p > 0.05$); 重度退化草地杂类草与禾草类、莎草类之间碳浓度差异显著 ($p < 0.05$), 而禾草类与莎草类之间碳浓度差异不显著 ($p > 0.05$); 重度退化草地禾草类、杂类草、莎草类之间氮浓度差异不显著 ($p > 0.05$)。

表 1 高山嵩草草甸不同演替阶段主要功能群 C、N浓度 (±标准误差)

Table 1 The C, N concentration (±standard error) and C:N ratio of main functional groups in different degraded stage of Kobresia pygmaea meadow

项目 Item	轻度退化草地 Light degraded land			重度退化草地 Severely degraded land		
	全碳 Total C (%)	全氮 Total N (%)	C/N	全碳 Total C (%)	全氮 Total N (%)	C/N
禾草类 Grasses	42.072 (0.615) a	1.335 (0.070) A	31.515	37.354 (1.752) b	1.310 (0.112) A	28.515
杂类草 Forbs	42.544 (0.338) a	1.416 (0.079) A	30.045	40.488 (1.278) a	1.384 (0.063) A	29.254
莎草类 Sedges	40.772 (1.875) a	1.330 (0.071) A	30.656	37.970 (2.680) b	1.265 (0.106) A	30.016

数据为 5 个样的平均值 Data are averages of 5 samples; 小写字母为碳浓度方差检验, 大写字母为氮浓度方差检验; 字母一样表示差异不显著 ($p > 0.05$) The small letter were ANOVA (LSD) of C concentration The capital letter were ANOVA (LSD) of N concentration; Means with the same letter were not significantly different ($p > 0.05$)

表 2 高山嵩草草甸不同演替阶段植物根系 C、N浓度 (±标准误差)

Table 2 The C, N concentration (±standard error) and C:N ratio of root of plants in different degraded stage of Kobresia pygmaea meadow

土壤深度 Soil depth (cm)	轻度退化草地 Light degraded land			重度退化草地 Severely degraded land		
	全碳 Total C (%)	全氮 Total N (%)	C/N	全碳 Total C (%)	全氮 Total N (%)	C/N
0~20	35.915 (1.117) a	0.563 (0.045) A	63.792	37.423 (1.132) a	0.654 (0.074) A	57.222
20~40	32.173 (1.044) b	0.477 (0.048) A	67.449	35.368 (1.518) ab	0.637 (0.062) A	55.523

数据为 6 个样的平均值 Data are averages of 6 samples; a, A 同表 1; a, A as table 1

重度退化草地植物根系全碳、全氮浓度高于轻度退化草地植物根系全碳、全氮浓度 (表 2)。而轻度退化草地 C/N 比值明显高于重度退化草地 C/N 比值。植物根系全碳、全氮浓度随着土壤深度的增加而减少。方差分析表明, 除轻度退化草地 0~20cm 与 20~40cm 植物根系碳浓度、轻度退化草地 20~40cm 根系碳浓度与重度退化草地根系碳浓度之间差异显著 ($p < 0.05$) 外, 其它处理之间碳、氮浓度差异不显著 ($p > 0.05$)。与地上主要功能群全碳、全氮浓度相比较, 无论是轻度退化草地, 还是重度退化草地, 其植物地上部分的碳、氮浓度明显高于地下根系的碳、氮浓度。其中氮浓度差异尤为明显, 地上部分氮浓度几乎是地下部分的 2 倍。

高寒小嵩草草甸不同退化演替阶段主要功能群碳、氮浓度分布格局的不同, 是由于 2 个演替阶段植物群落物种组成及其优势度差异所致。根据 2003 年 6、7、8 月测定平均值计, 轻度退化草地植物群落由 43 种植物组成, 优势种植物为高山嵩草, 优势度为 12.73%。次优势种有羊茅 (*Festuca ovina*)、高原早熟禾等。优势度分别为 7.34%、4.54%。该群落 6 种禾本科植物和 5 种莎草科植物的优势度为 45.69%, 32 种杂类草植物的优势度为 54.31%。重度退化草地植物群落由 38 种植物组成, 优势种植物为细叶亚菊, 其优势度为 9.31%。次优势种有黄帚橐吾、全缘绿绒蒿 (*Meconopsis integrifolia*), 优势度分别为 6.89%、6.04%。5 种禾本科植物和 5 种莎草科植物的优势度为 21.08%, 30 种杂类草植物的优势度为 78.92%。其中, 高山嵩草草甸由轻度退化草地演替到重度退化草地, 优势种植物高山嵩草的优势度由 12.73% 下降到 1.94%, 以禾本科和莎草科植物为主的优良牧草的优势度由 45.69% 下降到 21.08%, 而杂类草的优势度由 54.31% 上升到 78.92%。由于植物群落组成的变化, 导致植物根系的组成和形态发生变化, 轻度退化草地主要由短根茎密丛莎草科植物和禾本科植物的须根系形成密集的草皮层, 而重度退化草地植物根系以双子叶植物的直根系为主。由此可见, 由于群落物种的组成和优势种的变化导致植物碳、氮浓度的变化。

3.2 不同退化演替阶段土壤碳、氮分布特征

土壤作为植被的基本载体,两者之间有着十分密切的关系。植被的演替过程也是植被和土壤相互影响和相互作用的过程^[12]。植被通过光合作用所形成的有机物质一部分通过植物残体输送到土壤中,从而对有机碳的积累和周转产生深刻的影响。高寒小嵩草草甸不同演替阶段土壤有机碳、全氮浓度如表 3。

表 3 高山嵩草草甸不同演替阶段土壤总有机碳、全氮浓度 (±标准误差) 和 C/N 比值

Table 3 The concentration (±standard error) for soil total organic C, total N and C/N ratio in different degraded stage of *Kobresia pygmaea* meadow

土壤深度 Soil depth (cm)	轻度退化草地 Light degraded land			重度退化草地 Severely degraded land		
	总有机碳 Total organic C (%)	全氮 Total N (%)	C/N	总有机碳 Total organic C (%)	全氮 Total N (%)	C/N
0~20	4.821 (0.428) a	1.138 (0.045) A	4.118	3.733 (0.248) b	1.027 (0.058) A	3.635
20~40	4.180 (0.853) a	1.053 (0.052) A	3.973	3.322 (0.311) b	0.998 (0.058) A	3.329

数据为 6 个样的平均值 Data are averages of 6 samples; a, A 同表 1; a, A as table 1

由表 3 可知, 0~20 cm、20~40 cm 层土壤中, 重度退化草地土壤有机碳浓度较轻度退化草地土壤总有机碳浓度分别减少 22.57%、20.36%, 土壤全氮浓度分别减少 9.75%、5.22%。重度退化草地土壤 C/N 比值较轻度退化草地的 C/N 比值分别下降 14.19% 和 18.41%。方差分析表明, 轻度退化草地 0~20 cm 土壤碳浓度与 20~40 cm 土壤碳浓度差异不显著 ($p > 0.05$), 而重度退化草地与轻度退化草地 (0~20 cm、20~40 cm) 之间土壤碳浓度差异显著 ($p < 0.05$), 二者之间氮浓度差异不显著 ($p > 0.05$)。此结果表明, 草地退化导致土壤中碳和氮浓度下降。但相比较而言, 土壤中有机碳的丢失远大于氮的丢失。

3.3 生物量动态变化

根据 2003 年 8 月 30 日地上生物量高峰期测定的结果 (表 4) 表明, 轻度退化草地禾草类、莎草类、杂类草地上生物量分别占地上总生物量的 43.68%、10.98%、45.34%。重度退化草地禾草类、莎草类、杂类草地上生物量分别占地上总生物量的 5.31%、2.62%、92.07%。重度退化草地地上总生物量较轻度退化草地地上总生物量减少 11.21% ($p > 0.05$)。其中, 重度退化草地禾草类、莎草类生物量较轻度退化草地减少 89.20% ($p < 0.01$)、78.82% ($p > 0.05$), 而杂类草增加 80.28% ($p < 0.05$)。

由于高山嵩草草甸退化演替使植物群落组成发生变化, 由直根系的双子叶植物替代密丛、短根茎的莎草科和禾本科植物, 植物群落地下生物量同时发生变化 (表 4)。

表 4 不同退化演替阶段植物地上、地下生物量 (±标准误差)

Table 4 The biomass (±standard error) of above-ground in stage of different degraded succession (g/m^2)

项目 Item	地上生物量 (g/m^2) biomass of aboveground		地下生物量 (g/m^2) biomass of underground	
	轻度退化 Light degraded land	禾草类 Grasses	73.24 (13.32) a	0~20cm
	莎草类 Sedges	18.42 (4.47) b	20~4cm	284.89 (116.18) B
	杂类草 Forbs	76.03 (10.92) a		
	合计 Total	167.69 (24.27) cd	合计 Total	2551.69 (204.53) A
重度退化 Severely degraded land	禾草类 Grasses	7.91 (3.59) b	0~20cm	942.02 (168.70) C
	莎草类 Sedges	3.90 (2.09) b	20~4cm	28.34 (5.85) B
	杂类草 Forbs	137.07 (16.19) c		
	合计 Total	148.88 (21.54) cd	合计 Total	970.39 (172.35) C

小写字母为地上生物量方差检验, 大写字母为根系生物量方差检验 The small letter were ANOVA (LSD) of aboveground biomasses, the capital letter were ANOVA (LSD) of root biomasses; 字母一样表示差异不显著 ($p > 0.05$); Means with the same letter were not significantly different ($p > 0.05$)

根据 2003 年 6、7、8 月地下生物量的平均值计 (表 4), 轻度退化草地 0~20cm、20~40cm 土层中的生物量分别占地下总生物量的 88.57%、11.43%; 重度退化草地 0~20cm、20~40cm 土层中的生物量分别占地下总

生物量的 97.16%、2.82%。重度退化草地地下总生物量较轻度退化草地地下生物量减少 61.97% ($p < 0.01$),其中 0~20cm、20~40cm 土层中的生物量分别减少 58.44% ($p < 0.01$)、90.05% ($p > 0.05$)。

高寒草甸植物地上、地下生物量的这种分布格局是高寒草甸植物长期适应严酷自然环境的结果。草地退化不仅使草地覆被发生变化,初级生产力下降,使草地质量变劣,土地退化,甚至失去草地的经济利用价值和生态服务功能。

3.4 不同退化演替阶段植物、土壤碳、氮储量特征

3.4.1 不同演替阶段植物碳、氮储量特征

根据 2003 年生物量高峰期(8月 30日)地上生物量计算,轻度退化草地、重度退化草地主要功能群碳储量依次为杂类草 >禾草类 >莎草类(表 5)。

重度退化草地地上部分总碳储量 (59.79 g/m^2)较轻度退化草地地上部分总碳储量 (70.67 g/m^2)减少 15.40%。其中,禾草类碳储量减少 90.39%,莎草类减少 82.16%,而杂类草增加 71.58%。

氮储量变化趋势与碳储量变化趋势相似,重度退化草地地上部分总氮储量 (2.04 g/m^2)较轻度退化草地地上部分总氮储量 (2.30 g/m^2)减少 11.30%。其中,禾草类氮储量减少 98.79%,莎草类减少 80.00%,而杂类草增加 75.00%。

经方差分析表明,轻度退化草地禾草类全碳储量与莎草类全碳储量差异极显著 ($p < 0.01$),而与杂类草全碳储量差异不显著 ($p > 0.05$);莎草类全碳储量与杂类草全碳储量差异极显著 ($p < 0.01$)。重度退化草地禾草类全碳储量与莎草类全碳储量差异不显著 ($p > 0.05$),而与杂类草全碳储量差异极显著 ($p < 0.01$);莎草类全碳储量与杂类草全碳储量差异极显著 ($p < 0.01$)。轻度退化草地与重度退化草地相比较,禾草类之间、杂类草之间全碳储量差异极显著 ($p < 0.01$),莎草类之间全碳储量差异不显著 ($p > 0.05$);轻度与重度退化草地之间总碳储量差异不显著 ($p > 0.05$)。氮储量方差分析结果与碳储量方差分析结果基本相似(表 5)。

表 5 高山高草草甸不同演替阶段主要功能群 C、N 储量 (\pm 标准误差) (g/m^2)

Table 5 The reserves of C, N (\pm standard error) for main functional groups in different degraded stage of *Kobresia pygmaea* meadow (g/m^2)

类别 Types	轻度退化草地 Light degraded land		重度退化草地 Severely degraded land	
	全碳 Total C	全氮 Total N	全碳 Total C	全氮 Total N
禾草类 Grasses	30.81 (5.60) a	0.98 (0.18) A	2.96 (1.34) b	0.10 (0.05) C
莎草类 Sedges	7.51 (1.82) b	0.25 (0.15) B	1.34 (0.72) b	0.05 (0.03) C
杂类草 Forbs	32.34 (4.64) a	1.08 (0.15) A	55.49 (6.55) d	1.89 (0.22) D
合计 Total	70.67 (10.23) e	2.30 (0.33) D	59.79 (8.49) e	2.04 (0.29) D

数据为 5 个样的平均值 Data are averages of 5 samples; 小写字母为碳储量方差检验,大写字母为氮储量方差检验 ($p < 0.05$),字母一样表示差异不显著 ($p > 0.05$) The small letter were ANOVA (LSD) of C reserves, a capital letter is ANOVA (LSD) of N reserves ($p > 0.05$), The same letter were not significantly different ($p > 0.05$)

由表 6 可知,高山高草草甸植物地下部分(植物根系)碳、氮储量明显高于地上部分出储量,而且主要集中于 0~20cm 土层中,轻度退化草地和重度退化草地在该层植物根系的碳储量分别占 0~40cm 土层根系总碳储量的 90.31%和 97.25%。重度退化草地植物根系碳、氮总储量(0~40cm 土层)较轻度退化草地植物根系碳、氮总储量分别减少 60.46%和 57.14%。其中,0~20cm 土层中碳、氮储量分别减少 57.42%和 53.56%,20~40cm 土层中碳、氮储量分别减少 88.78%和 88.53%。

经方差分析表明,同一处理区 0~20cm 土层与 20~40cm 土层植物根系碳、氮储量差异极显著 ($p < 0.01$),0~20cm 土层与 0~40cm 土层植物根系碳、氮储量差异不显著 ($p > 0.01$),说明植物根系的碳、氮主要分布在 0~20cm 层的根系中。轻度退化草地与重度退化草地 0~20cm、0~40cm 土层中植物根系碳、氮储量差异极显著 ($p < 0.01$),而 20~40cm 土层中植物根系碳、氮储量差异不显著 ($p > 0.05$)。此结果说明,由于草地退化使植物根系所固定的碳和氮明显减少,尤其是 0~20cm 土层中根系的储量减少最多。

表 6 高山嵩草草甸不同演替阶段植物根系 C、N 储量 (标准误差)

Table 6 The reserves of C, N (±standard error) for plant root in different degraded stage of *Kobresia pygmaea* meadow (g/m²)

土壤深度 Soil depth (cm)	轻度退化草地 Light degraded land		重度退化草地 Severely degraded land	
	全碳 Total C	全氮 Total N	全碳 Total C	全氮 Total N
0~20	817.93 (77.10) a	13.76A	348.25 (60.96) c	6.39C
20~40	87.74 (33.33) b	1.57B	9.84 (1.97) b	0.18B
合计 Total	905.67 (78.14) a	15.33A	358.10 (62.32) c	6.57C

数据为 9 个样的平均值 Data are averages of 9 samples; a, A 同表 5; a, A as table 5

3.4.2 不同演替阶段土壤有机碳、全氮储量特征

由表 7 可以看出,重度退化草地土壤总有机碳储量 (13131.9 g/m²) 较轻度退化草地土壤总有机碳储量 (13692.7 g/m²) 减少 4.10%, 全氮储量增加 13.07%。其中, 0~20cm 土层中的总有机碳储量减少 1.88%, 全氮增加 14.59%。20~40cm 土层中的总有机碳储量减少 6.33%, 全氮增加 11.64%。

随着土层的加深总有机碳储量有减少的趋势, 而全氮储量有所增加。方差分析表明, 0~20cm、20~40cm 土层中轻度退化草地与重度退化草地或同一处理不同土层之间总有机碳储量、全氮储量差异不显著 ($p > 0.05$)。

通过土壤溶重、砾石比例、碳氮浓度、碳氮储量之间的相关分析表明, 土壤溶重与土壤砾石比例呈极显著的正相关 ($r_{(24)} = 0.705, p < 0.01$), 与碳浓度呈极显著的负相关 ($r_{(24)} = -0.567, p < 0.01$), 与氮储量呈显著正相关 ($r_{(24)} = 0.429, p < 0.05$), 与碳储量、氮浓度呈负相关 ($r_{(24)} = -0.120, r_{(24)} = -0.403$), 差异不显著 ($p > 0.05$); 土壤砾石比例与碳浓度呈显著负相关 ($r_{(24)} = -0.494, p < 0.05$), 与碳储量、氮浓度呈弱负相关 ($r_{(24)} = -0.316, r_{(24)} = -0.353, p > 0.05$), 与氮储量呈弱正相关 ($r_{(24)} = 0.056, p > 0.05$); 碳浓度与碳储量、氮浓度呈极显著正相关 ($r_{(24)} = 0.861, r_{(24)} = 0.819, p < 0.01$), 而与氮储量呈弱正相关 ($r_{(24)} = 0.295, p > 0.05$); 碳储量与氮浓度、氮储量呈极显著正相关 ($r_{(24)} = 0.755, r_{(24)} = 0.666, p < 0.01$); 氮浓度与氮储量呈极显著正相关 ($r_{(24)} = 0.601, p < 0.01$), 说明土壤物理结构对土壤化学组成有一定影响。

表 7 高山嵩草草甸不同演替阶段土壤总有机碳和氮储量 (标准误差)

Table 7 The reserves (±standard error) for soil total organic C and total N in different degraded stage of *Kobresia pygmaea* meadow

土壤深度 Soil depth (cm)	轻度退化草地 Light degraded land			
	溶重 Bulk density (g/cm ³)	砾石比例 Gravel relative mass (%)	总有机碳 Total organic C (g/m ²)	全氮 Total N (g/m ²)
0~20	0.90 (0.01)	21.18 (1.88)	6869.7 (692.8) a	1617.9 (85.3) A
20~40	1.13 (0.01)	27.72 (1.32)	6823.0 (639.7) a	1718.4 (80.5) A
合计			13692.7 (1211.4) b	3633.4 (160.0) B
土壤深度 Soil depth (cm)	重度退化草地 Severely degraded land			
	溶重 Bulk density (g/cm ³)	砾石比例 Gravel relative mass (%)	总有机碳 Total organic C (g/m ²)	全氮 Total N (g/m ²)
0~20	1.24 (0.01)	27.31 (0.47)	6740.8 (485.6) a	1854.1 (106.0) A
20~40	1.34 (0.01)	28.23 (0.54)	6391.1 (607.1) a	1918.5 (110.5) A
合计 Total			13131.9 (1032.3) b	3772.3 (210.0) C

砾石 > 0.25mm Gravel > 0.25mm; 数据为 6 个样的平均值 Data are averages of 6 samples; a, A 同表 5; a, A as table 5

3.5 不同演替阶段碳、氮储量特征比较及对全球变化的贡献率

轻度退化草地 (Light degraded, LD) 总有机碳储量 (0~40cm 土层) 为 14669.2 g/m², 其中, 土壤有机碳占 93.34%, 植物根系占 6.17%, 植物地上部分占 0.48% (图 1); 总氮储量为 3352.7 g/m², 其中, 土壤全氮占 99.51%, 植物根系全氮占 0.42%, 植物地上部分全氮占 0.07% (图 2)。重度退化草地 (Severely degraded, SD) 总有机碳储量为 13554.3 g/m² (0~40cm 土层), 其中, 土壤有机碳占 96.88%, 植物根系占 2.67%, 植物

地上部分占 0.44% (图 1);全氮储量为 3780.6 g/m²,其中,土壤全氮占 99.78%,植物根系全氮占 0.17%,植物地上部分全氮占 0.05% (图 2)。由此可见,江河源区高山嵩草草甸的土壤有机碳、氮储量最大,植物根系碳、氮储量居中,植物地上部分碳、氮储量最小。

从两个退化演替阶段总有机碳、氮储量比较可以看出,重度退化草地总有机碳储量较轻度退化草地下降 7.60%。其中,0~40cm 土壤层碳储量下降 4.10%,植物根系碳储量下降 59.97%,植物地上部分碳储量下降 15.39%;由于草地退化将损失有机碳 11149 kg/hm²。其中,土壤、植物根系、植物地上部分有机碳分别损失 5608、5432、109 kg/hm²,分别占总有机碳损失量的 50.30%、48.72%、0.98%。重度退化草地全氮储量较轻度退化草地提高 12.76%,其中,0~40cm 土壤中全氮储量提高 13.07%,植物根系全氮储量下降 55.09%,植物地上部分全氮下降 16.00%。重度退化草地总氮储量较轻度退化草地高主要来自土壤全氮储量,其主要原因可能是土壤溶重的增大和由于退化草地土壤松散,土壤温度较高,矿化度提高以及植物组成的改变减少了植物对土壤氮素的吸收利用。有关其中的作用机理有待进一步研究。由此可见,由于草地退化导致植物群落物种组成和结构、功能发生变化,从而影响高寒草甸生态系统碳、氮储量的变化。

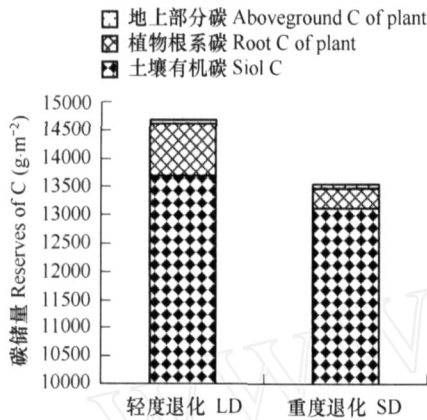


图 1 不同演替阶段土壤、植物碳储量分配

Fig. 1 The distribute of soil and plants C in different degraded stage

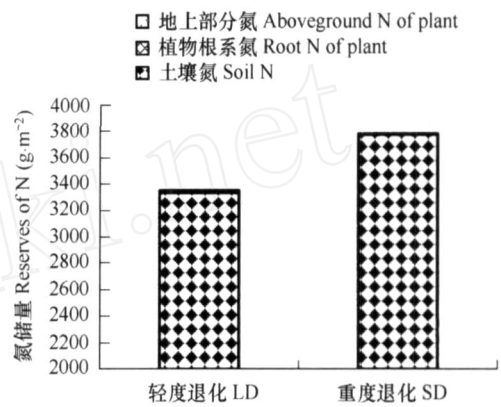


图 2 不同演替阶段土壤、植物氮储量分配

Fig. 2 The distribute of soil and plants N in different degraded stage

Tiessen 等人^[13]和 Davidson 等人^[14]的研究表明,草地开垦成农田后土壤中 30%~50%的碳素会损失掉,大量碳损失发生在开垦后的最初几年,20a后趋于稳定。Li和 Chen的研究指出,内蒙羊草草原经 40a的过度放牧后,草地表层土壤(0~20 cm)的碳储量降低了 12.4%^[15]。高寒草甸生态系统植物、土壤碳、氮储量的这种分布规律不仅与青藏高原独特的地理位置和气候条件密切相关,而且与长期适应高寒环境植物的生理生态学特性有关。此外,研究结果还揭示了退化草地植被恢复在三江源区生态保护和建设项目中的重要意义和必要性。如果三江源区退化草地植被得到恢复,可增加植物对大气 CO₂的固定,减少温室气体排放,改善生态环境的作用。

4 讨论

4.1 高山嵩草作为高寒嵩草草甸的关键种,其种群数量的变化和消失,对群落结构、功能和微环境产生很大的影响。轻度退化的高山嵩草草甸退化演替到重度退化阶段,其总盖度由 88.90%减少到 54.76%;原生植被的优势种高山嵩草的优势度由 12.73%下降到 1.94%;重度退化草地的优势种成为细叶亚菊,优势度为 9.31%,而在轻度退化草地中细叶亚菊的优势度为 1.77%,由于群落组成发生变化,导致植物地上部分功能群、根系组成、形态和碳、氮浓度发生变化。此外,土壤机械组成,尤其是土壤溶重、砾石比例对土壤碳、氮储量的影响较大。

4.2 三江源区作为国家级自然保护区,其生态保护和建设的关键问题是恢复自然生态系统结构和功能。由于草地退化造成植被盖度和生产力水平下降,土地退化,最终导致植物和土壤每年所固定的 CO₂有机碳储量

减少。根据 Trimble和 Mendel报道,在犹他州和蒙大拿州,由于地表覆盖从 100% 减少为 1% 以下,侵蚀速率增加 200倍^[16]。王根绪等的研究结果表明,植被盖度从 90%下降到 30%以下时,高山草甸土有机质流失将显著增加^[17]。Wang w. y 等在果洛州达日县的研究认为,不同土地管理措施对高寒草甸土壤、植物碳和氮的储量有很大的影响,由于土地退化使植物、土壤碳、氮流失^[10]。这些研究结果与本研究的的结果极为相似,说明草地退化和造成的水土流失将减少土壤有机碳浓度和储量。可见,草地退化不仅使植物群落的结构和功能发生变化,而且造成土壤的退化。因此,必须恢复退化草地植被,增加覆盖度,减少水土流失,增加土壤、植物对碳的固定,使三江源区成为一个巨大的碳汇。

4.3 以嵩草属植物为优势种的高寒嵩草草甸植物群落中的高山嵩草、矮嵩草等植物以克隆繁殖为主,不仅种子成熟度很低,数量少,而且种子萌发率极低^[18,19],由于严重退化的高寒嵩草草地植物群落中嵩草属植物几乎为零,而且草皮层被破坏,水土流失严重,此类退化草地要恢复到原生植被状态非常困难。因此,该类型退化草地植被的恢复方向和途径是今后研究的重点。有人曾多次进行过恢复和重建嵩草属植物的试验研究^[20,21],但难度很大,成效甚微,有关嵩草草甸严重退化后利用嵩草属植物恢复其植被及其应用技术有待于进一步研究。

References:

- [1] Martin H M, Oden global carbon cycle and the review of Arrhen is and Hog bern 's prediction one hundred year sage. *AMB D*, 1997, 26 (1): 17-24.
- [2] 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.
- [3] Fan J W, Zhong H P, Liang B, Shi P L, Yu G R. Carbon stock in grassland ecosystem and its affecting factors. *Grassland of China*, 2003, 25 (6): 51-58.
- [4] Wang S Q, Zhou C H. Estimating soil carbon reservoir of terrestrial ecosystem in China. *Geographical Research*, 1999, 18 (4): 349-356.
- [5] Kang X C. The characteristic of climate change in the last 40 years on Qinghai-Xizang Plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1996, 18 (supplementary issue): 281-288.
- [6] Lal R, Fauser N R, Eckert D J. Land use and soil management effects on emissions of radiatively active gases from two soils in Ohio. In: Lal R, Kimble J, Levine E, Stewart B A eds. *Soil Management and Greenhouse Effect*, CRC Press: Boca Raton, FL, 1995, 41-59.
- [7] Wang G, Wang C Y, Wang W Y, Wang Q J. Capacity of soil to protect organic carbon and biochemical characteristics of density fractions in Ziwulin Haplic Greyxems soil. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50 (1): 27-32.
- [8] Koto T, Tang Y H, Gu S. Carbon dioxide exchange between the atmosphere and an alpine meadow ecosystem on Qinghai-Tibetan Plateau. *Chi Agric. For. Meteorol*, 2004, 124, 121-134.
- [9] Gu S, Tang Y H, Du M Y, Koto T, eds. Short-term variation of CO₂ flux in relation to environmental controls in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. *J. Geophys. Res.*, 108 (No D21).
- [10] Wang W Y, Wang Q J, Wang C Y, Shi H L, Wang G. The Effect of Land Management on Carbon and Nitrogen Status in Plants and Soils of Alpine Meadows on The Tibetan Plateau. *Land Degrad. Develop.*, 2005, 16: 405-415.
- [11] Wang W Y, Wang Q J, Jing Z C, Li S X, Shi H L. The effect of vegetation cover change on community structure and species diversity on alpine *Kobresia* meadow in source region of Yangtze and Yellow River. *Resources Science*, 2006, 28 (2): 118-124.
- [12] Zhang Q F, Zheng H, Jin Y X. The relationship between the plant communities succession and the soil development. *Jourmar of wuhan Botanical Research*, 1990, 8 (4): 325-334.
- [13] Tiessen H J, Steward W B, Bettany J R. Cultivation effects on the amount and concentration of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soil. *Agronomy Journal*, 1982, 74: 831.
- [14] Davidson E A and Ackerman I L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 1993, 20: 161-193.
- [15] Li L, Chen Z. Changes in soil carbon storage due to over-grazing in *Leymus chinensis* steppe in the Xilin river basin of Inner Mongolia. *Journal of Environmental Science*, 1997, 9 (4) 486-490.
- [16] Trimble S W, Mendel A C. The cow as a geomorphic agent—a critical review. *Geomorphology*, 1995, 13 (1-4)
- [17] Wang G X, Chen G D, Shen Y P, Qian J. The affect of soil characteristic of vegetation cover change of land in alpine meadow. *Chinese Science*

Bulletin, 2002, 47 (23): 1771-1777.

- [21] Li X L. Study on germination and anatomy characteristics of *Kobresia humilis* seed in different region. Seed, 2002, 6: 12-13.
- [18] Li X L. Study on germination and anatomy characteristics of *Kobresia humilis* seed in different region. Seed, 2002, 6: 12-13.
- [19] Deng Z Fa, Xie X L, Zhou X M, Wang Q J. Study on reproductive ecology of *Kobresia pygmaea* population in alpine meadow. Acta Bot Boreali - Occident Sin, 2002, 22 (2): 334-349.
- [20] Li X L, Yang Y W, Zhang J, Nuzhou Y J. Growth characteristics of *Kobresia pygmaea* clones in the "black soil beach" with different degradation. Acta Pratacul Turae Sinica, 2003, 12 (3): 51-56.
- [21] Deng Z F, Xie X L, Wang Q J, Zhou X M. Dynamic analysis of seed rain and seed bank in *Kobresia pygmaea* meadow. Chin J Appl Environ Biol, 2003, 9 (1): 7-10.

参考文献:

- [2] 王启基, 王文颖, 邓自发. 青海海北地区高山嵩草草甸植物群落生物量动态及能量分配. 植物生态学报, 1998, 27 (3): 222 ~ 230.
- [3] 樊江文, 钟华平, 梁颀, 石培礼, 于贵瑞. 草地生态系统碳储量及其影响因素. 中国草地, 2003, 25 (6): 51 ~ 58.
- [4] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算. 地理研究, 1999, 18 (4): 349 ~ 356.
- [5] 康兴成. 青藏高原地区近 40 年来气候变化的特征. 冰川冻土, 1996, 18 (增刊): 281 ~ 288.
- [11] 王文颖, 王启基, 景增春, 李世雄, 史惠兰. 江河源区高山嵩草草甸覆被变化对植物群落特征及多样性的影响. 资源科学, 2006, 28 (2): 118 ~ 124.
- [12] 张全发, 郑重, 金义兴. 植物群落演替与土壤发展之间的关系. 武汉植物学研究, 1990, 8 (4): 325 ~ 334.
- [17] 王根绪, 陈国栋, 沈永平, 钱鞠. 土地覆盖变化对高山草甸土壤特征的影响. 科学通报, 2002, 47 (23): 1771 ~ 1777.
- [18] 李希来. 不同地区矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 种子解剖特征与萌发特性的研究. 种子, 2002, 6: 12 ~ 13.
- [19] 邓自发, 谢晓玲, 周兴民, 王启基. 高寒草甸高山嵩草种群繁殖生态学研究. 西北植物学报, 2002, 22 (2): 344 ~ 349.
- [20] 李希来, 杨元武, 张静, 牛周羊杰. 不同退化程度“黑土滩”高山嵩草克隆生长特性. 草业学报, 2003, 12 (3): 51 ~ 56.
- [21] 邓自发, 谢晓玲, 王启基, 周兴民. 高寒高山嵩草草甸种子库和种子雨动态分析. 应用与环境生物学报, 2003, 9 (1): 7 ~ 10.