

三江源区不同利用方式草地生物量及土壤养分特征

李亚娟¹, 孙灿灿¹, 曹广民², 龙瑞军³

(1. 甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008; 3. 兰州大学 草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:以三江源区玛多县高寒草原、退化高寒草原和垂穗披碱草人工草地为研究对象,研究了不同土地利用方式对地上、地下生物量以及土壤有机碳、全氮、全磷、有效氮、有效磷含量的影响。结果表明:总生物量的高低排序为高寒草原>人工草地>退化高寒草原,人工草地和退化高寒草原的总生物量分别仅为高寒草原的32.9%和22.8%,人工草地对地上植被的恢复效果较好,地上部生物量最高,为高寒草原地上生物量的359.2%,但对地下生物量的恢复并不理想,0~10 cm 地下生物量仅为高寒草原的11.5%。3种利用方式草地土壤碳氮磷养分含量均处于较低水平;退化和人工种植草地0~10 cm 土层的有机碳、全氮、全磷、有效氮、有效磷含量明显较高,而10 cm 以下土层的各样分含量明显下降;退化对下层土壤的全磷和有效磷含量没有明显的影响,不同利用方式草地的全磷和有效磷含量在不同土层的变异也不明显。

关键词:高寒草原;利用方式;退化草地;人工草地;植物量;土壤养分

中图分类号:S 153 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-5500(2016)04-0048-06

DOI:10.13817/j.cnki.cyyep.2016.04.009

三江源区地处青藏高原腹地,是我国江河中下游地区和东南亚国家生态环境安全和区域可持续发展的生态屏障^[1]。近年来,由于全球气候变暖和人类活动的影响,三江源区高寒草甸退化逐年加剧,严重退化后形成大面积的次生裸地^[2-3]。高寒草原是三江源区的主要原生草地类型,由于退化而变为退化高寒草原,环境退化又促使气候干旱和蒸发量的上升,进而反过来加剧草场退化^[4-5]。

人工草地建植作为三江源区草地恢复的一项重要措施,有助于改善土壤理化性质,提高土壤养分含量,同时保持水土,调节气候,对畜牧业的发展和草地生态

系统的恢复都起了重要作用^[6-7]。近年来,在高寒草甸重度和极度退化草地上改建的人工和半人工草地,虽能快速恢复“黑土滩”退化草地植被^[8],还能提供优质高产的牧草,从而减轻天然草地的压力,但是改建的人工草地由于管理不当和人类活动干预也出现了退化迹象^[9]。这些变化最终导致三江源区土地利用方式的变化,导致进入土壤中的物质和植物残体的数量和性质各异^[10]。诸多学者对三江源区高寒草地放牧管理、草地退化过程中植被群落演替以及土壤有机碳库的变化等方面进行了大量研究^[11-13],但对该区域土地利用方式变化方面的研究较少,尤其缺乏土地利用方式变化对草地生产力和土壤营养物质的综合研究。

因此,研究以三江源区的玛多县典型高寒草原、退化高寒草原及垂穗披碱草人工草地为研究对象,研究利用方式变化对草地生产力以及土壤营养物质状况的影响,以揭示该区域草地退化和人工恢复对土壤养分含量的影响,为当地高寒草地退化防治、人工草地的管理以及生态环境保护提供理论依据。

收稿日期:2016-05-13; 修回日期:2016-06-22

基金项目:甘肃省青年科学基金(1506RJYA027);甘肃农业大学创新基金(GSAU-STS-1417)资助

作者简介:李亚娟(1981-),女,甘肃庆阳人,博士,讲师,主要从事草地土壤学方面的研究。

E-mail:liyj@gsau.edu.cn

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于青海省果洛藏族自治州西北部的玛多县,地势自西北向东南倾斜,海拔 4 200~5 000 m,气候属高寒草原气候,一年之中无四季之分,只有冷暖之别,冬季漫长而严寒,夏季短促而温凉。年平均气温 -4.1°C ,年均降水量 300 mm。样地原生草地类型为高寒草原,土壤类型为高山草原土,土层厚度 50~60 cm,土壤质地为砂壤质。样地位于玛多县鄂陵湖管理站,基本概况见表 1。

1.2 样品采集与处理

于青海省玛多县鄂陵湖管理站附近,选择具有典型性和代表性的未退化高寒草原、退化高寒草原及垂

穗披碱草人工草地 3 种土地利用方式草地,每个样地选取 3 个采样点,样点均分布于滩地上(坡度为 $<5^{\circ}$),50 cm \times 50 cm 样方进行地上生物量测定,根土法进行样品采集并进行地下生物量的测定。用直径为 6 cm 的土钻分别对 0~10,10~20 和 20~40 cm 土层的土壤取样,分层分别装袋,用孔径 2 mm 土壤筛分出根系和土壤,将土壤样品风干,过 1 mm 和 0.25 mm 筛备用。

1.3 测定指标与方法

土壤有机碳含量用重铬酸钾硫酸外加热法;全氮含量用半微量凯氏定氮法;全磷含量用钼锑抗比色法;有效氮用碱解扩散吸收法;有效磷用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定^[14]。

所有试验数据用 Excel 2003 进行整理计算,用 SPSS 17.0 数据分析软件进行统计分析。

表 1 不同利用方式草地基本概况

Table 1 Basic information of the different land use patterns

土地利用方式	地理坐标	海拔高度/m	草地基本概况
高寒草原	N 35°05'108", E 97°59'859"	4 260	植被以双叉细柄茅为(<i>Ptilagrostis dichotoma</i>)主,杂类草有细叶亚菊(<i>Ajania tenuifolia</i>),火绒草(<i>Leontopodium leontopodioides</i>)、风毛菊(<i>Saussurea japonica</i>)等,牧草生长良好,盖度 60%,草高 18~20 cm,砂质土壤,地表细砂质,无砾石,鼠类活动轻
	N 35°05'109", E 97°59'884"	4 262	
	N 35°05'104", E 97°59'902"	4 264	
退化高寒草原	N35°05'623", E 97°58'772"	4 264	原生植被退化,次生植被以风毛菊(<i>Saussurea japonica</i>)、火绒草(<i>Leontopodium leontopodioides</i>)、细叶亚菊(<i>Ajania tenuifolia</i>)、麻黄(<i>Ephedra sinica</i>)等杂类草为主。植被总盖度不足 30%
	N 35°05'625", E 97°58'788"	4 268	
	N 35°05'625", E 97°58'788"	4 262	
多年生人工草地	N 35°02'637", E 98°02'242"	4 252	垂穗披碱草(<i>Elymus nutans</i>)人工草地,2008 年建植,人工植被盖度 80%
	N 35°02'654", E 98°02'260"	4 252	
	N 35°02'634", E 98°02'253"	4 252	

2 结果与分析

2.1 土地利用方式对草地植物生物量的影响

相比高寒草原,退化高寒草原地上、地下和总生物量均显著降低,总的生物量仅为高寒草原的 22.8% (表 2)。人工草地虽然地上部生物量最高,为高寒草

原地上生物量的 359.2%,但各土层地下生物量均很小,造成总生物量也很小,仅为高寒草原的 32.9%。3 种利用方式中高寒草原的总生物量高达 1 382.2 g/m²,主要原因是地下生物量很大,0~10 cm 土层的生物量有 800.5 g/m²,20~40 cm 的生物量高达 179.6 g/m²,退化和人工种植都造成地下生物量急剧下降,

表 2 不同土地利用方式草地的生物量

Table 2 Plant biomass of different land use patterns

土地利用方式	地上生物量	地下生物量			总生物量
		0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	
高寒草原	97.9 \pm 8.9 ^b	800.5 \pm 44.6 ^a	304.2 \pm 44.2 ^a	179.6 \pm 66.4 ^a	1 382.2 \pm 52.1 ^a
退化高寒草原	75.9 \pm 6.5 ^c	171.9 \pm 12.7 ^b	62.0 \pm 8.2 ^b	5.6 \pm 0.4 ^b	315.4 \pm 7.5 ^c
多年生人工草地	351.7 \pm 5.4 ^a	92.1 \pm 1.6 ^c	5.9 \pm 0.18 ^c	4.6 \pm 2.1 ^b	454.3 \pm 3.2 ^b

注:数据为平均值 \pm 标准差;不同小写字母表示不同土地利用方式之间差异显著($P<0.05$)。下同

尤其是人工草地 10 cm 以下土层的生物量较小, 10~20 cm 和 20~40 cm 土层的生物量分别仅为 5.9 和 4.6 g/m²。

2.2 土地利用方式对草地土壤碳、氮素含量的影响

碳、氮是植物生长所必需的大量元素, 土地利用方式的变化对土壤-植物体系氮素循环具有显著影响^[15], 研究区域 3 种土地利用方式土壤的有机碳、全氮和有效氮平均含量均处于较低水平, 有机碳均小于 15 g/kg, 全氮均小于 0.5 g/kg, 有效氮小于 85 mg/kg (表 3)。

在 0~10 cm 土层, 土壤有机碳、全氮和有效氮含量均表现出人工草地和退化高寒草原高于高寒草原的趋势, 退化高寒草原和人工草地的有机碳含量分别比高寒草原增加了 37.1% 和 38.5%, 有效氮含量分别比高寒草原增加了 17.9% 和 11.4%; 10~20 cm 土层, 有机碳与 0~10 cm 土层相似, 3 种利用方式的全氮含量差异不显著 ($P>0.05$), 有效氮的高低

顺序为高寒草原>退化高寒草原>人工草地; 而 20~40 cm 土层, 有机碳、全氮和有效氮含量均表现出高寒草原>退化高寒草原>人工草地的规律性。试验表明, 退化和开垦均导致 0~10 cm 土层的碳、氮含量增加, 而 10 cm 以下土层的碳氮含量却明显下降。

3 种土地利用方式土壤的有机碳、全氮和有效氮含量均表现出随土层深度增加而降低的趋势, 各土层之间差异显著 ($P<0.05$), 退化高寒草原和人工草地土壤养分沿土壤剖面的降低幅度更大, 这两种利用方式土壤的有机碳含量分别从 0~10 cm 土层的 13.72 g/kg 和 13.86 g/kg 降到 20~40 cm 土层中的 4.82 g/kg 和 4.50 g/kg, 全氮含量分别从 0~10 cm 土层的 0.33 g/kg 和 0.36 g/kg 降到 20~40 cm 土层的 0.10 g/kg 和 0.16 g/kg, 有效氮含量分别从 0~10 cm 土层的 85.1 mg/kg 和 80.4 mg/kg 降到 20~40 cm 土层的 16.7 mg/kg 和 25.6 mg/kg (表 3)。

表 3 不同土地利用方式土壤的有机碳、全氮和有效氮含量

Table 3 Soil organic C, total N and available N content of different land use patterns

土地利用方式	土层/cm	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	有效氮/(mg·kg ⁻¹)
高寒草原	0~10	10.01±0.52 ^{ba}	0.29±0.02 ^{aA}	72.2±7.2 ^{ba}
	10~20	6.86±0.45 ^{bb}	0.29±0.02 ^{aA}	70.8±5.2 ^{aA}
	20~40	6.78±0.22 ^{ab}	0.23±0.01 ^{aC}	60.4±6.5 ^{ab}
退化高寒草原	0~10	13.72±0.48 ^{aA}	0.33±0.02 ^{aA}	85.1±6.5 ^{aA}
	10~20	8.39±0.51 ^{ab}	0.28±0.01 ^{ab}	69.5±6.1 ^{ab}
	20~40	4.82±0.29 ^{bc}	0.10±0.01 ^{bcC}	16.7±3.5 ^{cC}
多年生人工草地	0~10	13.86±0.63 ^{aA}	0.36±0.02 ^{aA}	80.4±8.9 ^{aA}
	10~20	7.66±0.32 ^{ab}	0.24±0.01 ^{ab}	50.2±4.2 ^{bb}
	20~40	4.50±0.28 ^{bc}	0.16±0.01 ^{bc}	25.6±2.8 ^{bc}

注: 不同大写字母表示相同土地利用方式不同土层之间差异显著 ($P<0.05$), 下同

2.3 土地利用方式对草地土壤全磷和有效磷含量的影响

磷素对草地生态系统生产力和持续性都具有重要作用, 牧草中所含的磷主要来源于土壤中的有效磷, 3 种土地利用方式土壤的全磷和有效磷含量均处于较低水平, 人工草地的 3 个土层的全磷含量均最高, 而退化对土壤全磷没有明显影响 (表 4)。退化对土壤的有效磷含量也影响不大, 除了人工草地表层土壤的有效磷含量是 7.8 mg/kg 外, 3 种利用方式各土层的有效磷含量变异

在 5.0~6.0 mg/kg, 人工草地表层土壤有效磷含量相对较高可能与施肥有关, 而人工草地表层较高的全磷和有效磷含量也可能是其地上生物量较大的原因之一。

3 种利用方式土壤的全磷含量在 3 个土层之间差异均显著 ($P>0.05$), 除人工草地的表层土壤外, 其他 3 种利用方式 3 个土层之间有效磷含量差异也不显著 ($P>0.05$)。说明退化和人工种植对土壤全磷和有效磷在土壤剖面的分布没有明显影响, 这可能与磷素在土壤中的移动性差有关。

表 4 不同土地利用方式土壤的全磷和有效磷含量

Table 4 Soil total P and available P content of different land use patterns

土地利用方式	土层/cm	土壤全磷/(g · kg ⁻¹)	土壤有效磷/(mg · kg ⁻¹)
高寒草原	0~10	2.82±0.22 ^{bA}	5.4±0.4 ^{bA}
	10~20	3.10±0.12 ^{bA}	6.0±0.1 ^{aA}
	20~40	3.15±0.20 ^{bA}	5.5±0.2 ^{bA}
退化高寒草原	0~10	3.44±0.15 ^{bA}	5.7±0.3 ^{bA}
	10~20	3.01±0.23 ^{bAB}	6.0±0.2 ^{aA}
	20~40	2.67±0.08 ^{bBC}	5.0±0.2 ^{aAB}
多年生人工草地	0~10	4.45±0.11 ^{aA}	7.8±0.5 ^{aA}
	10~20	4.62±0.20 ^{aA}	5.5±0.1 ^{aB}
	20~40	4.52±0.12 ^{aA}	5.0±0.3 ^{bB}

3 讨论

退化造成高寒草原地上、地下和总生物量的显著下降,这与已有的研究一致^[16-18],尤其是地下生物量,退化高寒草原 20 cm 以下土层的生物量很小,人工种植对地上生物量虽然有明显的恢复效果,但对地下生物量没有恢复效果。刘伟等^[19]在青藏高原的研究表明,随着草地退化程度的加剧,植物根系有向表层聚集的趋势,退化后地下生物量主要集中在 0~20 cm 土层,20 cm 以下土层的地下生物量极小。

对土壤碳氮磷营养元素的进一步研究表明,研究区域土壤有机碳、全氮、有效氮、全磷和有效磷含量整体较低,施肥虽然使人工草地表层土壤的碳氮磷含量有所升高,但含量依然偏低,不利于草地生产力的恢复和可持续发展。草地退化和人工种植均使 0~10 cm 土层的有机碳、全氮、全磷、有效氮和有效磷含量明显升高。但也有研究表明,退化和开垦会导致土壤主要营养元素含量明显降低^[20-22],何贵永等^[23]的研究也表明长时间放牧会加快了土壤养分的周转,而使土壤养分匮乏,土壤肥力下降,草地退化。笔者之前的研究也表明退化导致土壤有机碳、全氮和全磷含量均显著升高^[24],有研究也表明退化对土壤养分的影响与退化程度有关,重度退化条件土壤有效养分会升高^[25-26]。因此,退化和人工种植对草地土壤养分的影响较为复杂,这与退化程度以及区域环境条件等都有关系,本研究的样地退化较严重,植被总盖度不

足 30%,表层凋落物较多,可能会使土壤养分处于暂时的丰富状态。

张生楹等^[27]的研究认为,开垦利用后土壤养分含量明显受到人为的控制和干扰,土壤有机碳、有效氮和有效磷均升高,这与此次研究结果一致,也是试验中人工草地利用方式具有较高地上生物量的重要原因。研究也发现,退化和人工种植导致 20 cm 以下土层有机碳、全氮、全磷和有效氮含量急剧下降,退化对土壤有效磷的影响不大,而人工种植后表层土壤的有效磷含量明显升高。退化和人工种植对土壤全磷和有效磷的分布没有明显影响,也有研究表明退化程度对全磷和有效磷的变化趋势影响不明显^[28-29],这也说明土壤全磷和有效磷受利用方式变化影响较小。

4 结论

草地退化导致高寒草原生物量明显降低,而垂穗披碱草人工草地对草地地上植被的恢复效果较好,但对地下生物量的恢复并不理想,这可能造成人工草地的可持续性差。退化和人工草地均导致表层的有机碳、全氮、有效氮、有效磷含量明显升高,而下层以上各养分有机碳、全氮、有效氮含量则明显下降;退化对土壤全磷和有效磷含量影响不大,不同利用方式草地的全磷和有效磷含量的变异也不明显。研究区域各利用方式草地土壤碳氮磷养分含量均处于较低水平,建议在退化草地的防治和恢复过程中加强土壤养分的补给及可持续的土壤养分管理。

参考文献:

- [1] 吕昌河,于伯华. 青藏高原土地退化整治技术与模式[M]. 北京:科学出版社,2011:20-25.
- [2] 王启基,来德珍,景增春,等. 三江源区资源与生态环境现状及可持续发展[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2005,41(4):50-55.
- [3] 尚占环,龙瑞军,马玉寿,等. 青藏高原江河源区生态环境安全问题分析与探讨[J]. 草业科学,2007,24(3):1-7.
- [4] 汪诗平. 青海省“三江源”地区植被退化原因及其保护策略[J]. 草业学报,2003,12(6):1-9.
- [5] 赵志平,吴晓蕾,李果,等. 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析[J]. 生态学报,2013,33(20):6577-6586.
- [6] 文金花,马玉寿,施建军,等. 利用草地早熟禾改建江河源区“黑土型”退化草地的研究[J]. 草原与草坪,2006,23(5):41-45.
- [7] 王彦龙,马玉寿,孙小弟,等. 大武地区“黑土型”退化草地人工植被群落稳定性研究[J]. 青海畜牧兽医杂志,2007,37(2):29-31.
- [8] Feng R Z, Long R J, Shang Z H. Establishment of *Elymus natans* improves soil quality of a heavily degraded alpine meadow in Qinghai-Tibetan plateau, China[J]. Plant and Soil, 2010, 327(1):403-417.
- [9] 施建军,邱正强,马玉寿.“黑土型”退化草地上建植人工草地的经济效益分析[J]. 草原与草坪,2007,24(1):60-64.
- [10] 魏卫东,李希来. 三江源区高寒草地生态研究进展[J]. 环境科学与管理,2011,36(8):122-125.
- [11] 尚占环,丁玲玲,龙瑞军,等. 江河源区退化高寒草地土壤微生物与地上植被及土壤环境的关系[J]. 草业学报,2007,17(2):34-40.
- [12] 王长庭,龙瑞军,王启兰,等. 三江源区高寒草甸不同退化演替阶段土壤有机碳和微生物量碳的变化[J]. 应用与环境生物学报,2008,14(2):225-230.
- [13] 孙文义,邵全琴,刘纪远,等. 三江源典型高寒草地坡面土壤有机碳变化特征及其影响因素[J]. 自然资源学报,2011,26(12):2072-2087.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005:1-40.
- [15] De C G, Van E M, Wilms Y J O, et al. Carbon and nitrogen in soil and vegetation at sites differing in successional age[J]. Plant Ecology, 2000, 149:43-50.
- [16] 张静,张生荣. 不同退化程度下紫花针茅草地群落结构特征与地下生物量的变化[J]. 饲草与饲料,2009(9):60-62.
- [17] 李媛媛,董世魁,李小艳,等. 围栏封育对黄河源区退化高寒草地植被组成及生物量的影响[J]. 草地学报,2012,20(2):275-286.
- [18] 李媛媛,董世魁,朱磊,等. 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策[J]. 生态学报,2013,33(15):4683-4691.
- [19] 刘伟,周华坤,周立. 不同程度退化草地生物量的分布模式[J]. 中国草地,2005,27(2):9-15.
- [20] 高旭升,田种存,郝学宁,等. 三江源区高寒草原草地不同退化程度土壤养分变化[J]. 青海大学学报(自然科学版),2006,24(9):37-40.
- [21] 颜淑云,周志宇,秦彧,等. 玛曲高寒草地不同利用方式下土壤氮素含量特征[J]. 草业学报,2010,19(2):153-159.
- [22] 邹丽娜,周志宇,颜淑云,等. 玛曲高寒草地土壤养分对不同利用方式的响应[J]. 中国草地学报,2009,31(6):80-87.
- [23] 何贵永,孙浩智,史小明,等. 青藏高原高寒湿地不同季节土壤理化性质对放牧模式的响应[J]. 草业学报,2015,24(4):12-20.
- [24] 李亚娟,曹广民,龙瑞军. 西藏安多草地退化对植物生物量和土壤养分的影响[J]. 草原与草坪,2015,35(4):32-36.
- [25] 李以康,韩发,冉飞,等. 三江源区高寒草甸退化对土壤养分和土壤酶活性影响的研究[J]. 中国草地学报,2008,30(4):51-58.
- [26] 张生楹,张德罡,柳小妮,等. 东祁连山不同退化程度高寒草甸土壤养分特征研究[J]. 草业科学,2012,29(7):1028-1032.
- [27] 张生楹,张德罡,柳小妮,等. 开垦利用对东祁连山高寒灌丛草地土壤养分含量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2012,47(2):80-82.
- [28] 负静,于辉,安沙舟,等. 昭苏马场不同草地类型土壤养分特征研究[J]. 新疆农业大学学报,2008,31(5):64-67.
- [29] 杨成德,龙瑞军,陈秀蓉,等. 东祁连山不同高寒草地类型土壤表层碳、氮、磷密度特征[J]. 中国草地学报,2008,30(1):1-5.

Study on plant biomass and soil nutrients under different land use patterns in Three-river Headwater Area

LI Ya-juan¹, SUN Can-can¹, CAO Guang-min², LONG Rui-jun³

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Northwest Plateau Institution of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810008, China; 3. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu Province 730020, China)

Abstract: Three land use patterns in Maduo county located in Three-river Headwater Area, including alpine steppe, degraded alpine steppe and sowed grassland with *Elymus nutans* were selected to study the effects of land use pattern on above ground biomass, and underground biomass, soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen and available phosphorus content. The results showed that the rank of total biomass in three land use patterns was alpine steppe > sowed grassland > degraded alpine steppe. The total biomass of sowed grassland and degraded alpine steppe accounted for 32.9% and 22.8% of that of alpine steppe respectively. The sowed grassland had good recovery effect on the above ground vegetation because of its highest aboveground biomass, which accounted for 359.2% of that of alpine steppe, however, the underground biomass of sowed grassland was lower, which accounted for 11.5% of that of alpine steppe. Soil nutrients of three land use patterns were all lower level. Soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen and available phosphorus in 0~10 cm soil both in degradation and artificial grassland were all higher, but these nutrients below 10 cm soil were all lower. Degradation had no obvious impact on soil total phosphorus and available phosphorus below 10 cm soil, and soil total phosphorus and available phosphorus under different land use patterns did not show obvious changes along the soil profile.

Key words: alpine steppe; land use patterns; degraded grassland; artificial grassland; phytomass; soil nutrients