

草地凋落物分解的主要影响因素

王苗苗, 侯扶江

(兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:分析了主要的非生物因素(降水、温度、地形)、生物因素(动物、微生物、植物)和管理因素(放牧、灌溉、刈割)对草地凋落物分解的作用机理和途径。在一定范围内,凋落物分解速率分别随降水和积温的升高而增加;土壤养分高有利于凋落物分解;凋落物分解,土壤微生物的作用在前期至关重要,中期则土壤动物起决定性作用,后期以两者共同作用为主;适度放牧、灌溉和刈割促进凋落物分解。这些因素通过改变凋落物的基质质量、生境,或直接改变(物理作用)凋落物的量,以调控凋落物的分解。从定量研究和前沿问题的角度,提出草地凋落物管理今后值得研究的几个方面。

关键词:草地;凋落物分解;降水;土壤;放牧

中图分类号:S812.29

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2012)10-1631-07

凋落物形成与分解是生态系统物质和能量循环的重要环节,既为土壤系统运转提供物质和能量,也是植被系统“吐故纳新”的必要途径,还可作为动物的食物。生态系统中若凋落物堆积则阻滞能流与物流,若匮乏则导致生态系统“营养不良”,凋落物对于草地健康不可或缺。同时,土壤有凋落物及其残存物,可蓄积降水,保持水土。凋落物还减缓雨滴对地面的溅击,截留降水,使其缓慢入渗,延缓地表径流,提高土壤水分^[1]。凋落物的组成、土壤质地和结构,以及土壤微生物和动物等是影响凋落物分解的主要因素^[2]。本研究主要讨论非生物因素、生物因素和管理因素对草原凋落物循环的作用机理与途径,旨在为草地的凋落物管理提供决策依据。

1 非生物因素

温度和水分是影响凋落物分解的两个主要因素,其他环境因素可通过水、热因子再分配而作用于凋落物的形成和分解过程。

1.1 温度 微生物数量和酶活性受温度影响较大^[3]。酶活性通常随着温度升高而增强,促进凋落物分解。土壤温度升高还可导致土壤养分矿化作用增强,养分可利用性提高,促进地表凋落物的分解。

但是,温度升高也促进植物蒸腾和土壤蒸发,降低土壤湿度,抑制凋落物的分解。因此,温度对于凋落物的分解具有双重作用,存在适宜的温度阈值。

凋落物的分解速率随积温增加而增大(表1),有明显的气候地带性。热带生态系统中,凋落物一年内可分解殆尽^[4]。放牧可导致0~20 cm土层温度平均上升1.3~1.4℃,凋落物分解速率增加21.5%^[5]。

1.2 水分 土壤过湿或过干会抑制土壤微生物的活性,抑制凋落物的分解^[6]。一定范围内,凋落物分解速度与土壤湿度正相关^[7-8];土壤水分过高,透气性下降,分解者的氧气需求受限,凋落物分解速率降低^[8]。

降水影响凋落物的营养成分,控制凋落物物质浸出等物理过程,影响凋落物的分解速率^[6]。Swift等^[9]发现,随着降水量增加,地表凋落物的分解速率增大。如果年均降水量从500 mm上升到5500 mm,凋落物的分解速率提高5~9倍^[10]。但是,降水对凋落物分解的促进作用也有一定的范围,不同类型凋落物受降水的影响也存在差异(表1)。程煜等^[11]发现,降水量达到200 mm时,木荷(*Schima superba*)叶凋落物的分解速率极显著提高,水分越充足其分解越强烈;而降水量在50 mm时,马尾松

收稿日期:2011-12-22 接受日期:2012-07-15

基金项目:国家自然科学基金面上项目“中国西部主要草原利用变化的碳平衡效应”(31172249);教育部新世纪优秀人才支持计划“陇东黄土高原作物-家畜综合系统能量与碳平衡特征及其调控”;国家科技支撑子课题“黄土高原草畜一体化利用关键技术与示范”(2011BAD17B02-03);国家公益性行业(农业)科研专项专题“黄土高原草地承载力与家畜配置”(200903060)

作者简介:王苗苗(1987-),女(满族),辽宁兴城人,硕士,研究方向为放牧系统管理。E-mail: wangmiaofly5@yahoo.com.cn

通信作者:侯扶江 E-mail: cyhoufj@lzu.edu.cn

表 1 不同草地类型凋落物分解速率比较
Table 1 Litter decomposition rate of different grassland types

| 草地建群种 Dominant species | 年均降水量 Annual average precipitation/mm | ≥10 °C 年积温 Annual accumulative temperature ≥10 °C/°C · d | 分解 Decomposition | | 参考文献 Reference |
|--|---|--|---------------------|--------------|-------------------|
| | | | Time/d | Mass/% | |
| 长芒草(<i>Stipa bungeana</i>), 百里香(<i>Thymus mandschuricus</i>), 铁杆蒿(<i>Artemisia sacrorum</i>) | 400~450 | 2 100~3 200 | 150 | 10 | [1] |
| 细叶葱(<i>Allium tenuissimum</i>), 大针茅(<i>Stipa grandis</i>) | 251.9 | 2 000~2 200 | 400 | 55 | [13] |
| 莎草科(Cyperaceae) | 1 024.1 | 3 100~4 500 | 60 | 30 | [14] |
| 草地雀麦(<i>Bromus riparius</i>) | 362 | 6 | 360 | 22 | [15] |
| 针茅(<i>Stipa aliena</i>) | 385 | 1.6 | 360 | 50 | [16] |
| 多花黑麦草(<i>Lolium multiflorum</i>), 毛花雀稗(<i>Paspalum dilatatum</i>) | 170 | 5 000~5 500 | 380 | 45 | [17] |
| 差不嘎蒿(<i>Artemisia halodendron</i>), 黄蒿(<i>Artemisia scoparia</i>) | 350~500 | 3 200~3 400 | 360 | 53.6 28.5 | [18] |
| 垂穗鹅冠草(<i>Roegneria nutans</i>), 四川嵩草(<i>Kobresia setchwanensis</i>) | 752.4 | 3 220 | 360 | 26.2 44 | [19] |
| 羊草(<i>Leymus chinensis</i>) | 470.6 | 2 800~3 100 | 360 | 36 | [20] |
| 糖蜜草(<i>Melinis minutiflora</i>), <i>Andropogon virginicus</i> | 400 | 4 500~8 000 | 360 | 70 | [21] |
| <i>Cynodon nlenfluen</i> , <i>Arachis pintoi</i> | 1 000~1 500 | 6 500~7 500 | 150 | 50 | [22] |
| Amosaic of mixed grasslands | 380~1 270 | 1 900~2 500 | 360 | 35 | [23] |
| <i>Agropyrum smithii</i> , <i>Bouteloa curtipendula</i> , <i>Bouteloa gracilis</i> | 986 | 4 000~6 500 | 360 | 60 | [24] |
| <i>Mulinum spinosum</i> , <i>Adesmia campestris</i> , <i>Senecio filaginoides</i> | 168~275 | 2 000~3 000 | 360 | 20 | [25] |
| <i>S. clarazii</i> , <i>P. ligularis</i> , <i>S. tenuis</i> , <i>Piptochaetium na postaense</i> | 400 | 3 000~3 500 | 360 | 35 | [26] |
| 胡枝子(<i>Lesedeza davurica</i>), 冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>) | 364.6 | 3 000~3 400 | 110 | 50 | [27] |
| 禾草 Herbage grass | 350~450 | 2 900~3 500 | 360 | 25 | [28] |
| <i>Encelia farinosa</i> , <i>Olneya tesota</i> | 335 | 7 000~7 500 | 360 | 90 | [29] |

(*Pinus massoniana*) 叶凋落物的分解速率能极显著提高, 但降水量超过 200 mm 时, 凋落物分解甚至会被抑制; 可能因为不同来源的凋落物化学组成有差异。李雪峰等^[12] 揭示, 降水量减少时, 蒙古栎(*Quercus mongolicus*) 叶凋落物初始 N、P 和 K 浓度显著升高, 而木质素浓度降低, 凋落物分解速率大; 降水量增加, 初始 N 浓度显著降低, 木质素浓度增高, 凋落物分解速率小。

一定范围内, 凋落物的分解速率与年均降水量、

年积温均呈显著线性相关 ($P < 0.05$) (图 1、图 2)。多元分析表明, 降水与温度对凋落物分解的贡献为 72%, 降水与热量的贡献之比为 1 : 1.87。

在草原凋落物分解中, 水、热因素是相互作用的, 凋落物分解取决于两者的数量关系, 它们对凋落物的作用途径主要包括改变分解微生物的活性与数量, 影响土壤和凋落物层的微环境以及凋落物分解的物理过程, 决定凋落物的物种组成、物理结构和化学成分, 影响家畜对凋落物的作用。

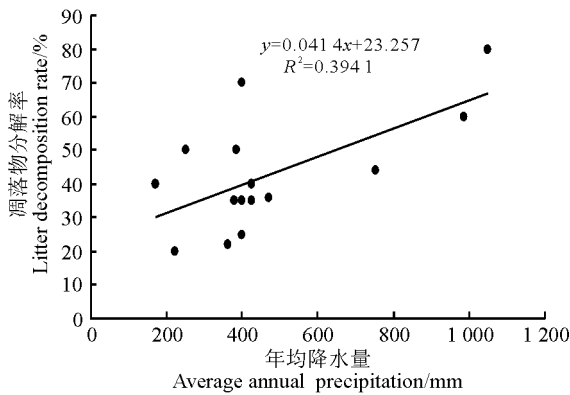


图1 凋落物的分解速率与年均降水量的关系

Fig. 1 Relation of litter decomposition rate and average annual precipitation

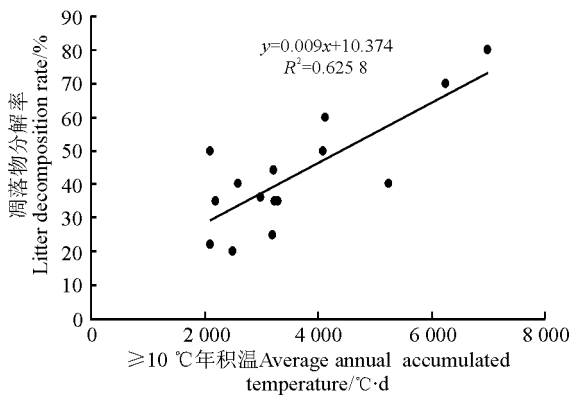


图2 凋落物分解速率与年积温的一般关系

Fig. 2 Relation of litter decomposition rate and average annual accumulated temperature

1.3 土壤养分 贫瘠土壤上的凋落物分解慢,因为土壤养分含量越低,分解者的能量与养分供给越少,难分解成分越多^[30]。当土壤氮含量低于凋落物时,凋落物氮向土壤释放,C/N升高,凋落物分解速率下降,反之亦然。凋落物分解随土壤养分增加而上升的原因:土壤养分多促进植株生长,提高植物地上和地下部分的凋落物产量,降低叶和根C/N^[31-32],改善土壤团粒结构以及一系列理化性状,提高土壤微环境,促进微生物的活动。

1.4 地形 地形导致水、热、土壤养分和凋落物量等重新分布,间接改变凋落物分解^[33-43]。洼地较平地容易积累凋落物,底层凋落物难以受阳光照射,凋落物的光降解作用较弱,分解速率较慢。阴坡和阳坡的水、热状况差异较大,阳坡光照强、土温高、蒸发大,凋落物分解速率较阴坡快。刘中奇等^[33]发现,

在25°~35°及35°~45°坡度段,阴向沟坡的枯落物量大于阴向梁坡的枯落物量,但在15°~25°坡段,阴向沟坡的枯落物现存量小于阴向梁坡。在潘帕斯、青藏高原、大青山和衡阳盆地的草原,阴坡凋落物高于阳坡^[37-39,43]。在加拿大,土壤有机质从坡顶到坡脚逐渐增加,土层增厚,凋落物分解加快^[41]。在黎巴嫩,中坡土壤含水量小于上坡和下坡,影响凋落物分解速率^[42]。坡度较大区域容易发生滑坡,可间接改变凋落物分解速率^[34],在植被完全被破坏的自然滑坡地段,土壤有机质和有效氮含量大幅度下降,全氮和全磷含量也有一定程度降低,因此,在植被演替早期凋落物分解较慢。

2 生物因素

生物因素是凋落物分解的主导因子^[7]。凋落物的分解过程不仅受生物分解者的类型、数量和活性影响,不同类型植被的凋落物其分解速率也会因化学组成的差异而不同。

2.1 动物

2.1.1 家畜 家畜主要通过采食、践踏、排泄物影响土壤的物理结构和草地营养物质的循环,导致凋落物分解的变化。践踏可破碎和浅埋凋落物;家畜生长季采食可减少凋落物形成,某些季节也直接采食凋落物;家畜排泄物沉积于草地土壤,影响排泄物斑块内的凋落物组成,也改变凋落物的土壤环境。

家畜排泄物改变凋落物基质质量,后者是凋落物分解的内在因素。一般认为,凋落物的C/N和木质素/N越高,分解速率越慢^[44]。排泄物只在大约20%的草地面积上富集养分,降低可食牧草量^[45],凋落物量随之减少。同时,有排泄物区域的养分循环加速,牧草C/N降低,凋落物的分解速率增加。践踏破碎凋落物,并使之与土壤充分接触,有助于凋落物的分解^[46-47]。家畜采食凋落物,凋落物积累量减少,地表植被覆盖下降,加之家畜践踏,土壤容重增加,提高了表土对温度的敏感性,加速了养分的循环,均有利于凋落物的分解。

2.1.2 小草食动物 很多小草食动物是凋落物的破碎者或分解者,尤其在凋落物分解初期作用大^[48]。蚁类等直接以凋落物为食,在这一过程中凋落物被碎裂和研细。在澳大利亚,白蚁能摄食全部凋落物的8.9%左右^[48]。在广州地区,白蚁对凋落物的年摄食率在15.3%~40.8%^[49]。一般,小草食动物群落多样性越高,凋落物的周转期越短,分解越快,反之亦然^[50]。

另一类小草食动物是啮齿类。它们种类多、分布广、繁殖快,啃食牧草活体和凋落物,减少地面和地下凋落物的现存量,增加凋落物的粉碎程度,将地上凋落物搬运至地下,增加土壤有机质。

2.2 植物 植物种类影响凋落物分解的主要原因之一是凋落物基质构成的差异。相似的环境下,凋落物的基质质量、木质素含量、木质素/N 和 C/N 等对分解起着决定性作用^[49]。凋落物的初始 N 含量高会加快其分解,而木质素含量高将延缓其分解^[51]。在加拿大,凋落物初始木质素/N 是影响其分解速率的重要变量,初始木质素/N 越高,分解越慢^[52]。宋新章等^[53]发现,N 和 P 含量是影响凋落物分解的最重要变量,其次是木质素/N 和 C/N。

不同经济属性的凋落物基质差异显著。豆科植物 C/N 较低,有利于凋落物分解,以豆科植物为建群种的草地凋落物分解快。禾本科植物 C/N 高,纤维素等难分解的物质较多^[54],分解速率较豆科植物慢。由于家畜不采食毒害草,毒害草的凋落物同样很少被小草食动物采食,量的积累造成其分解速率慢^[55]。

2.3 微生物 微生物是凋落物分解的主体,直接促进凋落物的能量流动、碳矿化(10%左右)和养分矿化(占 30%)^[56]。凋落物分解前期,微生物是分解的主力,中期土壤动物是凋落物的主要分解者,后期则是土壤动物和微生物共同作用^[57]。凋落物分解过程中,首先被微生物侵入,初步分解形成粗腐屑,经腐食性动物啃食和其他微生物分解后成为更微小的碎片^[58]。在凋落物分解前期(30 d)添加微生物制剂,可显著加快凋落物的分解^[59]。

3 管理因素

3.1 放牧 一般情况下,适牧有利于凋落物分解,凋落物分解速率表现为适牧>重牧>禁牧^[60]。草地立枯物和凋落物随着放牧率的增加而减少。在澳大利亚灌丛草地,重牧和适牧区秋季凋落物量分别是轻牧区的 53% 和 64%,夏季则分别是 39% 和 59%^[61]。在密苏里,适牧和重牧下,家畜分别采食了 45% 和 77% 的地上生物量,禁牧、适牧和重牧草地凋落物年分解速率分别是 13%、55% 和 19%^[62]。家畜践踏随放牧率而增强,立枯物和凋落物更容易破碎、分解^[63]。不同季节放牧,凋落物分解速率也不同,青藏高原暖季放牧地凋落物分解速率较冷季放牧地高 8.3%^[64]。放牧导致草地凋落物组成差异,从而影响凋落物分解速率。在混播草地放牧,夏

季和秋季多年生牧草凋落物分别高于黑麦(*Secale cereale*)22% 和 52%,春季无芒雀麦(*Bromus inermis*)凋落物明显多于其他物种^[65]。在干旱半干旱草原,放牧家畜排泄物增加土壤速效氮,进而提高凋落物氮,加快其分解^[16]。划区轮牧有利于草地恢复,提高牧草品质和凋落物的基质质量^[66]。

3.2 灌溉 草地灌溉后土壤含水量迅速增加,有利于凋落物内物质的淋溶,加快分解。一般,凋落物浸泡于水中,短时间内(尤其是 24 h),酚醛树脂、可溶性碳水化合物、氨基酸和无机物等可溶性物质的流失,导致大约 30% 的凋落物干质量损失^[67]。灌溉后的土壤较为湿润,为土壤微生物和土壤动物提供了适宜的生存环境,增强微生物活性,促进凋落物分解。

3.3 刈割 刈割对牧草品质起重要作用^[68]。幼嫩期的牧草体内干物质、粗蛋白、维生素和矿物质的含量高,但随着牧草的生长,非可溶性碳水化合物(纤维素、木质素等)逐渐增多,适当刈割促进植物的补偿生长,改变牧草的基质质量,影响凋落物分解。过度刈割或早期刈割抑制牧草光合作用面积,减少凋落物量^[69]。

4 讨论

凋落物分解是一个复杂过程,但各因素作用于凋落物分解的机制相似:改变凋落物的基质质量,主要是易分解成分(N、P 等)和难分解的有机成分(木质素、纤维素、半纤维素、多酚类物质等);改变凋落物的外部环境,包括土壤生物,如土壤动物、微生物,非生物环境,如光质、降水、热量等;直接改变凋落物的量,除了控制凋落物的形成过程,还包括凋落物的采食、踏入土壤、破碎、搬运、侵蚀和堆积等。

对温度、降水和放牧等影响草地凋落物分解的主要因子已有一定的研究,以后的研究需要重点关注以下几个方面:1)定量各因素在草原凋落物分解中的贡献率,我国对于森林凋落物分解研究较多,但是对草原凋落物的研究起步比较晚,而且由于家畜的加入,形成了土—草—畜—人(管理)互动,因此影响草原凋落物分解的因素较森林和农田较为复杂;2)在定量分析凋落物的分解因素时,要综合考虑多种因素之间的相互作用,尤其是家畜的采食、践踏和排泄物,草原啮齿类的采食、破碎与搬运等;3)碳管理正在成为诸多学科的前沿问题,凋落物分解对于草地碳汇的作用需要引起高度重视;4)氮沉降对草原凋落物分解的作用尚无统一的结论;5)草类生物

质能源与凋落物的形成、分解有密切关系,可结合在一起研究;6)退化草地及其恢复是世界性问题,其中凋落物管理的作用需要明晰;7)放牧和封育是现阶段我国草原管理的两大旋律,对凋落物分解的作用值得关注。

参考文献

- [1] 程积民,万惠娥,胡相明,等.半干旱区封禁草地凋落物的积累与分解[J].生态学报,2006,26(4):1207-1212.
- [2] 严海元,辜夕容,申鸿.森林凋落物的微生物分解[J].生态学杂志,2010,29(9):1827-1835.
- [3] 宋新章,江洪,张慧玲,等.全球环境变化对森林凋落物分解的影响[J].生态学报,2008,28(9):4414-4423.
- [4] Smith J L, Norton J M, Paul E A, *et al.* Decomposition of ¹⁴C- and ¹⁵N-labeled organisms in soil under anaerobic conditions[J]. Plant and Soil, 1989, 116: 115-118.
- [5] Garibald L A, Semmartin M, Chaneton E J. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in flooding Pampa grasslands[J]. Oecologia, 2007, 151: 650-662.
- [6] Austin A T, Vitousek P M. Nutrient dynamics on a rainfall gradient in Hawaii[J]. Oecologia, 1998, 113: 519-529.
- [7] 郭继勋,祝廷成.羊草草原枯枝落叶分解的研究——主要优势植物的分解速率和损失率[J].生态学报,1992,12(4):295-299.
- [8] Pausas J G, Casals P, Romanyà J. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: Effects of N content and the moss layer[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36: 989-997.
- [9] Swift M J, Heal O W, Anderson J M O. Decomposition in Terrestrial Ecosystems[M]. Great Britain: Blackwell Scientific Publications Press, 1979.
- [10] Austin A T, Vitousek P M. Precipitation, decomposition and litter decomposability of *Metrosideros polymorpha* in native forests on Hawaii[J]. Journal of Ecology, 2000, 88: 129-138.
- [11] 程煜,陈灿,洪伟,等.模拟酸雨及降水量对木荷、马尾松叶凋落物分解的影响[J].福建农林大学学报,2009,38(6):595-595.
- [12] 李雪峰,韩士杰,张岩.降水量变化对蒙古栎落叶分解过程的间接影响[J].应用生态学报,2007,18(2):261-266.
- [13] 孙晓芳,黄建辉,王猛,等.内蒙古草原凋落物分解对生物多样性变化的响应[J].生物多样性,2009,17(4):397-405.
- [14] 张建利,张文,毕玉芬.山地草地凋落物分解与凋落物水文功能[J].生态环境,2008,17(6):1986-1990.
- [15] Baron V S, Mapfumo E, Dick A C, *et al.* Grazing intensity impacts on pasture carbon and nitrogen[J]. Range Management, 2002, 55: 535-541.
- [16] Liu P, Huang J H, Han X H. Litter decomposition and nutrient release as affected by soil nitrogen availability and litter quality in a semiarid grassland ecosystem[J]. Oecologia, 2010, 162: 771-780.
- [17] Semmartin M, Garibaldi L A, Chaneton E J. Grazing history effects on above- and below-ground litter decomposition and nutrient cycling in two co-occurring grasses[J]. Plant and Soil, 2008, 303: 177-189.
- [18] 曲浩,赵学勇,赵哈林,等.陆地生态系统凋落物分解研究进展[J].草业科学,2010,27(8):44-51.
- [19] 高永恒,陈槐,罗鹏.放牧强度对川西北高山草甸两个优势物种凋落物分解的影响[J].生态科学,2007,26(3):193-198.
- [20] 王妮,郭继勋,张保田.东北松嫩草地羊草群落环境因素与凋落物分解季节动态[J].草业学报,2003,12(1):47-52.
- [21] Mack M C, D'Antonio C M. The effects of exotic grasses on litter decomposition in a Hawaiian Woodland: The importance of indirect effects[J]. Ecosystems, 2003, 6(8): 723-738.
- [22] Oliveira C A, Mirmml S, Purcino H A, *et al.* Decomposition of *Arachis pintoi* litter intercropped with forage grass in "Cerrado" soil in the dry and wet seasons [J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 36(6): 405-410.
- [23] Mayer P M, Tunnell S J, Engle D M. Invasive grass alters litter decomposition by influencing macrodetritivores[J]. Ecosystems, 2005, 8(2): 200-209.
- [24] Vivanco L, Austin A T. Intrinsic effects of species on leaf litter and root decomposition: A comparison of temperate grasses from North and South America[J]. Oecologia, 2006, 150: 97-107.
- [25] Yahdjian L, Sala O E, Austin A T. Differential controls of water input on litter decomposition and nitrogen dynamics in the Patagonian steppe[J]. Ecosystems, 2006, 9(1): 128-141.

- [26] Moretto A S, Distel R A, Didone N G. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland [J]. *Applied in Soil Ecology*, 2001, 18(1): 31-37.
- [27] 李玉强, 赵哈林, 赵学勇, 等. 沙漠化过程对植物凋落物分解的影响 [J]. *水土保持学报*, 2007, 21(5): 64-67.
- [28] 邵玉琴, 赵吉, 杨吉力. 内蒙古皇甫川流域凋落物分解过程中营养元素的变化特征 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18(3): 81-84.
- [29] Yrizar A M, Núñez S, Búrquez A. Leaf litter decomposition in a southern Sonoran desert ecosystem, northwestern Mexico: Effects of habitat and litter quality [J]. *Acta Oecologica*, 2007, 32(3): 291-300.
- [30] Sariyildiz T, Anderson J M. Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: A laboratory study [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 391-399.
- [31] 廖利平, 高洪, 汪思龙, 等. 外加氮源对杉木叶凋落物分解及土壤养分淋失的影响 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 34-39.
- [32] 申艳, 杨慧玲, 何维明. 冬小麦生境中土壤养分对凋落物碳氮释放的影响 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(5): 498-504.
- [33] 刘中奇, 朱清科, 邝高明, 等. 半干旱黄土丘陵沟壑区封禁流域植被枯落物分布规律研究 [J]. *草业科学*, 2010, 27(4): 20-24.
- [34] 张德罡. 砍伐与滑坡对东祁连山杜鹃灌丛草地土壤肥力的影响 [J]. *草业学报*, 2002, 11(3): 72-75.
- [35] 潘复静, 张伟, 王克林, 等. 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C : N : P 生态化学计量特征 [J]. *生态学报*, 2011, 31(2): 335-343.
- [36] 孙建新, 周志勇. 复杂地形森林生态系统碳氮循环计量分析林生态系统——问题与挑战 [D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [37] 廖泽志, 陈经同. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地主要植物群落物种多样性研究 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(1): 305-306, 319.
- [38] 王素英, 王海荣, 方亮. 大青山不同立地条件林木根际土壤微生物数量变化研究 [J]. *内蒙古林业科技*, 2009, 35(3): 18-24.
- [39] 潘刚, 任毅华, 边巴多吉, 等. 西藏色季拉山急尖长苞冷杉林枯枝落叶及苔藓层的生物量与持水性能 [J]. *水土保持研究*, 2007, 15(5): 81-87.
- [40] 邱莉萍, 张兴昌, 程积民. 坡向坡位和撂荒地对云雾山草地土壤酶活性的影响 [J]. *草业学报*, 2007, 16(1): 87-93.
- [41] Gregorich E G, Anderson D W. Effect s of cultivation and erosion on soils of four toposequences in Canadian prairies [J]. *Geoderma*, 1985, 36: 343-354.
- [42] Kater C, Martin A, Maillet J. Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone quarries in Lebanon [J]. *Applied Vegetation Science*, 2003, 6(2): 199-204.
- [43] Bryant D M, Elisabet H A H, Timothy R S, *et al.* Analysis of litter decomposition in an alpinus tundra [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1998, 76: 1295-1304.
- [44] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应 [J]. *生态学报*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [45] Ball D, Hoveland C, Lacefield G D. 南方牧草 [M]. 李向林, 译. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [46] 张成霞, 南志标. 不同放牧强度下陇东天然草地土壤微生物三大类群的动态特征 [J]. *草业科学*, 2010, 27(11): 131-136.
- [47] Pakeman R J, Thwaites R H, Lue Duc M G, *et al.* Vegetation re-establishment on land previously subject to control of *Pteridium aquilinum* by herbicide [J]. *Applied Vegetation Science*, 2000, 3(1): 95-104.
- [48] Otis G W, Eduardo S C, Crawford D L. The effect of foraging army ants on leaf-litter arthropods [J]. *Biotropica*, 1986, 18(1): 56-61.
- [49] 廖崇惠, 陈茂乾. 小良人工阔叶混交林中白蚁对枯枝落叶的消耗作用 [J]. *生态学报*, 1990, 10(2): 173-176.
- [50] 徐国良, 黄忠良, 欧阳学军, 等. 鼎湖山地表无脊椎动物多样性及其与凋落物的关系 [J]. *动物学研究*, 2002, 23(6): 477-482.
- [51] Berg B, McLaugherty C. *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration* [M]. Berlin: Springer, 2003.
- [52] Berg B, Ekbohm G. Litter mass-loss rates and decomposition patterns in some needle and leaf litter types. Long-term decomposition in a Scots pine forest [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1991, 69(7): 1449-1456.
- [53] 宋新章, 江洪, 马元丹. 中国东部气候带凋落物分解特征——气候和基质质量的综合影响 [J]. *生态学报*,

- 2009, 29(10):5219-5226.
- [54] 刘洪岭,李香兰,梁一民. 禾本科及豆科牧草对黄土丘陵区台田土壤培肥效果的比较研究[J]. 西北植物学报, 1998, 18(2):287-291.
- [55] 李宏,陈卫民,陈翔,等. 新疆伊犁草原毒害草种类及其发生与危害[J]. 草业科学, 2010, 27(11):171-173.
- [56] Smith V C, Bradford M A. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time[J]. Applied in Soil Ecology, 2003, 24:197-203.
- [57] Barajas G, Alvarez J. The relationships between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest [J]. Applied in Soil Ecology, 2003, 24: 91-100.
- [58] Krivtsova V, Illiana J B, Liddella K. Some aspects of complex interactions involving soil mesofauna: Analysis of the results from a Scottish woodland[J]. Ecological Modelling, 2003, 170:441-452.
- [59] 郑路,尹林克,姜逢清,等. 微生物菌剂对干旱区城市防护绿地凋落物分解的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9):2267-2272.
- [60] Naeth M A, Bailey A W, Pluth D J, *et al.* Grazing impacts on litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of alberta[J]. Journal of Range Management, 1991, 44(1):7-12.
- [61] Mapfumo E, Naeth M A, Baron V S, *et al.* Grazing impacts on litter and roots: Perennial versus annual grasses[J]. Range Management, 2002, 55:16-22.
- [62] Shariff A R, Biondini M E, Grygiel C E. Grazing intensity effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization[J]. Range Management, 1994, 47: 444-449.
- [63] Naeth M A, Chanasyk D S, Rothwell R L. Grazing impacts on infiltration in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of alberta[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1990, 70(4):593-605.
- [64] Luo C Y, Xu G P, Chao Z G. Effect of warming and grazing on litter mass loss and temperature sensitivity of litter and dung mass loss on the Tibetan plateau [J]. Global Change Biology, 2010, 16:1606-1617.
- [65] Chapman S K, Hart S, Cobb N S, *et al.* Insect herbivory increases litter quality and decomposition: An extension of the acceleration hypothesis [J]. Ecology, 2003, 84: 2867-2876.
- [66] Gammon D M, Roberts B B. Aspects of defoliation during short duration grazing of the *Matopos sandveld* of Zimbabwe[J]. Zimbabwe Journal of Agricultural Research, 1980, 18:29-34.
- [67] 迟国梁,童晓立. 亚热带地区树叶凋落物在流水和静水环境中的淋溶规律[J]. 生态科学, 2010, 29(1): 50-55.
- [68] 朱珏,张彬,谭支良. 刈割对牧草生物量和品质影响的研究进展[J]. 草业科学, 2009, 26(2):80-85.
- [69] 王仁忠. 放牧和刈割干扰对松嫩草原羊草草地影响的研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2):210-213.

Influence of main factors on grass litter decomposition

WANG Miao-miao, HOU Fu-jiang

(Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Litter decomposition is eco-system material circulation and the main part of energy flow. The protection of soil and water has an irreplaceable role of litter decomposition. This paper analyzes the impacts of non-biological factors (precipitation, temperature), biological factors (animals, microbes, species) and objective factors on grass litter decomposition. The results showed that these factors could affect litter decomposition process directly and indirectly. The direct effects mainly changed the litter size and vegetation composition, thus changed the decomposition rate eventually. On the other hand, the indirect effects included changing the litter substrate C/N ratio and contents of litter lignin and nitrogen.

Key words: grassland; litter decomposition; precipitation; soil; graxing