

草原凋落物的分解及营养元素的释放和累积

耿元波¹, 史晶晶^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:草原凋落物的分解是草原生态系统物质循环的主要环节, 其中植物营养元素的释放和累积对退化草场恢复的进程和质量有着重要意义。本文从凋落物自身的性质、外部环境因素(生物及非生物因子)、混合效应等对凋落物分解速率的影响以及凋落物分解时植物营养元素的释放和累积两个方面论述了国内外对草原凋落物的分解及营养元素的生物地球化学行为的研究现状。一般情况下, 草原凋落物分解速率与凋落物自身的N、P、K等元素含量正相关, 与C/N、C/P、木质素、纤维素等的比值或含量值负相关, 而与周围环境中营养元素的组成及含量的关系不大。混合凋落物中不同种类凋落物的N、P含量及物种丰富度影响着非加性效应作用的效果。在凋落物分解过程中, 总体趋势表现为分解初级阶段对N的积累, 对P和K的释放, 而对Na、Ca、Mg等营养元素来说, 随物种和根茎叶等部位的不同规律也不一样。凋落物中各元素的含量、凋落物分解阶段、物种类型、非加性效应、土壤环境等都是影响其营养元素释放和累积的因素。据此, 本文展望了草原凋落物未来可能的研究方向, 指出多因子的交互作用对草原凋落物分解的影响、凋落物混合分解机制探究、某些大量及微量营养元素的释放和累积可能是未来需要研究的重点。

关 键 词:草原; 凋落物分解; 营养元素; 生物地球化学

1 引言

凋落物(litter)是草原生态系统第一性生产力的组成部分, 植物所吸收的营养物质大部分以凋落物的形式返回地表, 形成中间物质库, 并在分解者的作用下使其中的营养物质不断归还土壤^[1]。作为草地土壤有机质的主要来源, 凋落物是维持土壤肥力的基础。凋落物的分解是草原中植物营养元素生物地球化学循环的重要环节, 凋落物通过分解向土壤释放营养元素, 是植物体将营养物质归还土壤的主要途径^[2]。草原凋落物的分解影响着草原植物萌发、群落结构和植被演替, 在土壤理化性状改善、生态系统能量流动和营养物质循环过程中起着重要作用^[3-5]。中国人口众多, 对资源的需求压力很大, 而资源的承载能力有限, 对于草场来说, 为了提供更多的畜牧产品, 大部分都存在过度放牧的问题, 在内蒙古, 有很多草场处于过牧状态, 几乎都面临草原退化问题^[6]。中国著名的典型草原区——内蒙古锡林郭勒盟草原因草场面积大、质量高, 一直实行粗放的放牧管理制度, 但自2004年起迫于资源

压力也开始实施围栏禁牧措施, 以期逐步恢复退化的草场。在退化草原的恢复过程中, 凋落物的形成、积累、分解和产量以及其中植物营养元素的释放和累积均影响着草原恢复的进程和质量^[6]。

近10年来, 国际上对草原凋落物的研究主要集中在以下2个大的方面: ①放牧^[7-14]、土壤微生物或动物^[15-16]、光降解(紫外辐射等)或凋落层^[17-20]、CO₂浓度升高^[21-23]和生物多样性^[24]等因素对凋落物分解的影响, 凋落物分解对植物营养元素循环的贡献^[25]等。这些研究涉及影响凋落物分解的外部环境因素(生物及非生物因子)以及凋落物分解过程中木质素、C、N、P、C/N、木质素/N等化学成分或比例的生物地球化学行为及规律。②不同植物种^[26-29]、植物营养元素(如植物或土壤中的C、N、P、K等)、H₂O及混合凋落物的非加性效应(non-additive effect)对凋落物分解速率的影响、凋落物性质的分析^[30-36]等。这些研究主要涉及植物(凋落物)或土壤的性质、H₂O等对凋落物分解率的影响。中国草原生态系统凋落物分解的研究开展于20世纪80年代, 研究内容主要集中于地上部分凋落物分解过程中的微

收稿日期: 2011-10; 修订日期: 2012-02.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071138); 中国科学院地理科学与资源研究所自主部署创新项目(200905009)。

作者简介: 耿元波(1969-), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为环境生物地球化学。E-mail: gyb0741@sina.com

生物学效应、营养元素的变化、分解速率等及放牧、气候和土壤等因素对凋落物分解的影响等,对立枯的分解情况也有专门研究^[1,2,15,37-51]。总的来说,对草原凋落物分解的研究开展得还比较少,有一些具体过程尚缺乏深入的认识,尤其是凋落物中金属植物营养元素的生物地球化学行为方面的研究。

本文从凋落物自身的性质及外部环境对凋落物分解速率的影响、凋落物分解时营养物质的释放和累积两个方面论述国内外对草原凋落物的研究现状。

2 凋落物的性质及外部环境对凋落物分解的影响

凋落物的分解包括粉碎、淋溶过程和分解代谢过程,是一个复杂的物理、化学、生物学过程。粉碎是物理作用,土壤动物的摄食、非生物因素如土壤的干湿交替、冻融作用等直接或间接地粉碎了凋落物,使凋落物体积变小,表面积增大。淋溶作用使凋落物中的可溶性组分如C、N等被淋滤出来。代谢是生物化学过程,凋落物在分解者及各种酶的作用下降解,将复杂的有机物转变为简单的小分子,也有可能形成比较复杂的新有机化合物。在分解过程中,凋落物产生CO₂和H₂O以及N、P、K、Ca、Mg等营养元素的淋失或释放^[52]。

2.1 凋落物的性质对凋落物分解的影响

凋落物的物理、化学、生物学等性质在一定程度上影响着凋落物的分解^[53]。首先,凋落物的形状、体积、柔韧度、表面性质等物理属性通过影响土壤动物的啃食、微生物的活动、淋溶作用等对凋落物的分解产生影响^[48]。其次,构成凋落物的各种易分解或难分解的不同组分(如木质素、多酚、纤维素等)的含量是影响凋落物分解的主要化学因素^[49]。许多实验证明凋落物的化学组成与分解速率密切相关。比较常见的用于凋落物分解的指标有N和P的浓度、木质素浓度、C/N、木质素/N等,且C/N和初始N浓度这两个指标比木质素浓度能更好地预测凋落物的分解速率。一般来说,凋落物中C/N比值越小、初始N浓度越高、木质素含量越低,凋落物分解速率越快^[26,45,49]。但是N并没有直接影响凋落物的分解,N浓度低时,微生物的生长繁殖受到限制,凋落物的分解速率随之降低,提高凋落物中N的浓度,可以促进微生物的分解活动。随着分解的进

行,木质素逐渐代替N元素控制着分解的速率,木质素含量和木质素/N成为影响凋落物失重率的重要因素^[46]。木质素是凋落物中最难被分解的成分之一,只有特定的微生物能够将其分解。此外,P也是影响凋落物分解的一个重要因子,Gijsman等^[43]研究P与根系凋落物分解的关系时发现,根系C/P高达1780,而微生物的C/P仅介于34~50之间,因此需要固定大量的P才能使根系凋落物分解得以进行。

国内关于凋落物分解速率与自身化学组成关系的研究较少。对草原凋落物而言,凋落物的自身营养元素的含量对凋落物的分解有着重要影响。凋落物的分解速率与植株中水溶性物质、蛋白质的含量正相关,与纤维素的含量负相关,与本身的C/N值负相关^[40]。地表凋落物和根系凋落物的分解及养分释放速率与木质素含量、C/N、木质素/N和木质素/P均呈显著的负相关关系^[39]。凋落物中热水溶性有机C的含量同样影响凋落物的分解,且在凋落物分解矿化初期贡献作用最大^[37]。同国外研究一样,N素被认为是调节草原凋落物分解速率的一个重要因素,总N的含量与凋落物分解速率成正相关^[2]。混合凋落物的分解速率也与初始TC、TN、TP的含量有关,具体表现为:C浓度越高,分解速率越低;而N、P浓度越高,分解速率越高^[38]。

综上所述,C/N、初始N浓度和木质素是制约凋落物分解的重要因素,也是用来预测凋落物分解速率的常用指标,一般情况下草原生态系统凋落物分解率与凋落物自身的N、P、K等含量正相关,与C/N、C/P、木质素和纤维素比值或含量值负相关。

2.2 环境因子对凋落物分解的影响

凋落物的分解不仅与自身的物质组成密切相关,受环境因子的影响也很大。环境因子包括生物因子和非生物因子。生物因子直接影响凋落物的分解,起主导作用,包括土壤中的微生物和动物。非生物因子主要是指凋落物分解的外在自然环境条件,如温度、降水等气候因子,它通过影响生物因子而间接影响凋落物分解^[54]。

2.2.1 生物因子对凋落物分解的影响

草原凋落物既是土壤动物的食物来源,又是土壤微生物能量和养分的提供者,而土壤动物和微生物的活动又会直接影响凋落物的分解。土壤动物将体积较大的有机物破坏成小体积的,腐生微生物的活动将大体积的复杂有机化合物转化为小分子

的简单无机化合物^[55]。一些研究发现,土壤中包含的动物区系很复杂时(包括微动物区系、中型动物区系和大型动物区系),凋落物的分解速率显著加快^[6]。Vossbrinck等^[51]用不同孔径的凋落物分解袋和杀菌处理来区分微生物、土壤动物和非生物因素对凋落物分解的贡献,发现无生物作用的枯草分解速率为7.2%,只有微生物的分解速率为15.2%,三者共同作用的分解速率为29.4%。这说明在凋落物分解的过程中,土壤生物之间是相互协同、共同作用的,且细菌和真菌在凋落物分解的最初阶段起着主要作用^[56]。但是凋落物的分解与生物多样性却没有显著的相关性^[38, 57-59]。

2.2.2 非生物因子对凋落物分解的影响

气候是影响凋落物分解的非生物因素,其中温度和湿度是对凋落物分解影响较大的非生物因子。大量研究表明,随着温度的升高,凋落物的分解速率会加快。王其兵等^[60]应用海拔引起的自然温度梯度作为气候变化研究的替代系统,结合网袋法评价了气候变化对草甸草原、羊草草原和大针茅草原混合凋落物分解过程的可能影响,实际观测结果表明:较之当前气候,在气温升高2.7℃,降水基本保持不变的气候变化情景下,3种凋落物的分解速率分别提高了15.38%、35.83%和6.68%。对太平洋热带岛屿Mauna Loa上调落物的研究也表明,气温随海拔升高而降低时,凋落物的分解速率呈指数降低^[61]。气候变暖,温度升高时,草原生态系统的环境和土壤生物的生境随之改变,使得土壤养分可利用性提高,微生物活性增强,从而促进凋落物的分解。

湿度是影响凋落物分解的另一个重要环境因子,降雨可以通过制约淋溶作用来影响凋落物分解速率,也可以通过影响土壤生物的活性来提高分解速率。Thomas和Asakawa^[50]发现旱季开始后热带牧草叶片凋落物的分解速率下降,凋落物半分解(即1/2凋落物分解)需要的时间增加;当考虑降雨的因素时,凋落物分解与木质素/N比值的线性相关性增强。热带草原两种不同N含量的根系凋落物(低N和高N)的分解速率同季节和土壤质地有关,在旱季随着剩余根重量的减少,根系凋落物的分解率急剧下降,而在雨季分解率下降则比较平缓,在沙土和粘土中,这两种凋落物根系的基本分解模式相似,但分解率和其下降的程度不同,原因可能在

于土壤质地和相应的持水能力的不同^[43]。在中国的内蒙古锡林郭勒草原研究凋落物分解与环境因子的关系时发现,雨季(6-8月)凋落物分解的控制因素是温度,温度升高,分解释放的CO₂量也增加,在干燥条件下(雨季前),即在风干状态下,分解十分缓慢,即使升高温度,也不会引起CO₂释放的增加^[62]。用羊草、大针茅、猪毛菜和芨芨草作供试材料来分析草原凋落物分解率与气候因子之间的定量关系,实验结果同样表明气温的增高和降水量的增大都有利于凋落物的分解,年内各月的分解率7月最大,相当于4月或10月的2.6~6倍,年际分解率变化不大^[63]。因此,内蒙古温带典型草原凋落物分解速率同土壤温度和水分显著正相关^[39]。

由于分解者微生物也从周围的土壤中获取养分以维持自身的活动,土壤有效养分也被认为是影响凋落物分解速率的主要因子之一^[48]。然而大量的研究表明,土壤的有效养分对凋落物分解速率影响较小,Hunt等^[44]研究了一个矮草草原、一个高山草甸和一个黑松林优势植物对增加N(施用硝酸铵)和减少N(施用蔗糖)供应后叶片凋落物分解率的变化,结果发现,N供应对分解的影响不大。施肥(N、P、K)对草原凋落物的化学组成和凋落物的分解没有影响^[23, 45]。Aerts等^[31]对两个土壤养分水平不同的草原生态系统进行的12年的施N肥和P肥试验,发现土壤N含量的增加对凋落物的化学组成几乎没有影响,也没有发现在土壤养分(N、P)增加情况下凋落物的分解速率会加快,作者认为土壤养分的增加主要是通过影响凋落物的产量而不是分解速率来影响生态系统的碳平衡。总的来说,土壤中的养分对凋落物分解速率的影响不大。

非生物因子对凋落物分解的影响途径是多样的,一方面,直接作用于凋落物的分解,如降雨的淋溶作用使得凋落物发生物理性分解;另一方面,非生物因子的改变引起土壤生物活动变化,促进或抑制分解者的活动从而间接影响凋落物的分解速率。总之,非生物因子对凋落物分解有着极其重要的影响。

2.3 混合效应对凋落物分解的影响

草原生态系统的植被是由多物种组成的,在分解过程中不同种类凋落物间存在着相互作用,使得混合凋落物的分解速率与基于各单个凋落物分解率计算的平均值(期望分解率)显著不同,或快或慢,

这种现象称为混合效应(mixture effects),或称非加性效应(non-addictive effects)。凋落物混合后除了对分解速率产生影响外,还可能对分解过程中的养分动态产生影响。Cartner 和 Cardon^[42]注意到,76%的混合凋落物在分解过程中表现出了非加性养分动态。混合凋落物的养分含量有可能上升也有可能下降,比基于组分凋落物计算的期望值偏离25%~100%左右。为了更准确的预测群落水平凋落物的分解和生物地球化学过程,对混合凋落物而不是单一物种的凋落物进行研究更有现实意义。

有关凋落物分解混合效应产生机制的研究还不多,大致有以下4种可能的机制:①由于不同类型凋落物间养分的转移而引起的促进作用;②由某些凋落物含有的化学组成物质引起的促进或抑制作用;③由于凋落物层物种组成更加多样化,改善了分解的微环境,从而加速分解;④由于各级分解者之间的相互作用而引起的促进或抑制作用。

Smith 和 Bradford^[15, 47]探讨了草原生态系统凋落物性质和土壤环境共同作用对凋落物分解的影响,结果发现同种类不同初始N含量的混合凋落物对分解起抑制作用,而不同种类的凋落物混合没有明显的非加性效应。凋落物多样性不能提高分解的速率,种间混合物在凋落物分解中起中性甚至相反的作用^[46],这是非加性效应的表现。非加性效应的强度与凋落物的初始N和P含量有关^[32]。N含量相差特别大的混合凋落物分解速率高于期望分解速率,但是如果事先对植物进行高浓度CO₂处理,则混合凋落物分解时的相互作用消失^[64]。陈瑾等^[65]对内蒙古草原的4个优势植物种的单种凋落物及它们的不同混合组合的分解速率和养分动态进行了野外实验,研究结果表明凋落物混合效应对其分解过程中养分元素N、P的释放有重要的影响,且P元素的释放对凋落物混合更为敏感,而对分解速率的影响并不普遍,原因是在大尺度的条件下研究凋落物的分解时,水分和温度的改变掩盖了混合效应对凋落物分解的影响。混合凋落物的分解速率与参与分解的凋落物的数量没有明显的相关性,其加和效应更多地取决于混合凋落物中各组分的特性,分解速率与初始C含量呈负相关,与初始N、P含量呈正相关^[38]。Dimitrakopoulos^[66]对地中海草原上10种草本植物凋落物的研究发现,当混合凋落物物种均匀度很低的时候,其分解速度显著下降,这主要是由混合凋落物初始C/N不同造成的。

3 凋落物分解过程中主要植物营养元素的累积和释放

凋落物的分解速率影响着它在地表积累的速度,同时也制约着N、P、K等营养元素及其他元素向土壤的回归和植物的再利用^[41]。由于退化草地存在着不同程度“少N、缺P、高有机质”的问题^[67],其中N是决定生态系统生产力的重要营养元素^[68],土壤的微量元素如B、Zn、Mo是草场作物生长的限制因子^[69],因此研究这些营养元素的生物地球化学行为有助于退化草场的恢复和治理。

凋落物在分解过程中会逐步释放其所含的元素,表现出植物越短缺的元素释放越快趋势^[52, 70]。凋落物自身的性质会影响其营养元素的释放,例如适口性好、高营养牧草,其叶凋落物要比适口性差、低营养分解率更高、营养元素(N、P)释放更快^[71]。凋落物种类不同,其化学组成也不同,微生物在对凋落物进行分解时都有其所要求的最低元素含量水平,当凋落物中某元素的含量水平达不到要求时,在分解的初始阶段就会表现出对某种元素的积累现象。Seastedt^[72]对堪萨斯州曼哈顿附近高草草原的研究发现,叶片和茎在分解的前两年积累N和P,枯死的根系和根状茎也积累N,但在分解第1年根系能矿化相当一部分P。希腊北部温带草原两种C₄植物和一种C₃植物的叶片和茎凋落物均表现出对N的积累,但始终释放P元素,分解1年和2年后释放出K元素,而Ca元素得到累积^[73]。放牧地区,凋落物中营养元素的积累较非放牧地区更为明显,阿根廷湿润的潘帕草原上的毛花雀稗(*Paspalum dilatatum*)在放牧地区积累更多的营养元素^[13]。“蒂夫顿85”狗牙根牧场('Tifton 85' Bermudagrass Pastures)里的凋落物分解时,N元素会迅速开始积累,60天仍未达到最大值,且最长可以积累128天,减少放牧压力以及增加土壤中N的含量都会促进N的积累^[74]。而Garibaldi等^[75]的研究却发现放牧地区N的释放比非放牧地区的更多,这主要是因为在放牧地区的物种里面含有大量处于生长初期的非禾本草本植物的凋落物,这种凋落物的分解和营养元素的释放均显著高于其他物种。

在中国,众多学者也研究了内蒙古典型草原凋落物分解过程中营养元素的变化。赵吉等^[76]发现羊草和大针茅不同物候期植株分解过程中,幼嫩植

株分解会使营养元素迅速释放,凋落物分解会产生N和P的积累,2年内几乎没有N和P的净释放,各物候期植株的分解均引起K的迅速释放,最后残体中C/N值趋于15/1。凋落物在分解过程中植物营养物质的损失,在不同植物的凋落物表现出不同的特点,如羊草、大针茅和芨芨草,损失量最快的是无N浸出物,其次是粗纤维、粗脂肪、粗蛋白和灰分始终处于次要地位。而猪毛菜不同,粗纤维的损失高于无N浸出物^[77]。不同部位的凋落物的养分动态也不同,Liu等^[78]对内蒙古地区半干旱退化牧场常见的5个物种的凋落物养分动态进行了为期1年的研究时就发现,茎和叶在分解的前6个月表现出对N和P的缓慢释放,后6个月迅速累积N、P且含量远远超过前6个月释放的N、P总量;而根在前6个月表现出对N的积累,后6个月迅速释放N,但始终释放P;根凋落物在前10个月缓慢释放K和Na,在后两个月固定了大约5%~10%的K和Na,而茎和叶对Na和K没有固定作用,根对Ca和Mg的养分动态同K和Na类似,都是先释放后固定,但是茎和叶的Ca、Mg动态随物种不同各不一样;混合凋落物对N、P的积累都表现出了负相关的非加效应。对杨树叶、油松针叶和禾草3种不同植被的凋落物分解的研究表明,植物营养元素随凋落物失重率的增高而降低,其中一部分营养元素最终回归土壤,表现为凋落物样袋下相对应土层的营养元素含量提高^[79]。杜占池等^[80]研究了中国南方红三叶叶片凋落物中营养元素的释放规律,从物理、生物和化学作用方面进行了分类。

综上所述,不同物种凋落物分解时营养元素的变化不一样,同一物种不同部位的凋落物分解时营养元素的变化也不一样。混合凋落物对N、P的积累都表现出负相关的非加效应。凋落物中各元素的含量、凋落物分解阶段、物种类型、非加效应、土壤环境等都是影响营养元素释放和累积的因素。其总体趋势表现为分解初级阶段对N的积累,对P和K的释放,而对Na、Ca、Mg等营养元素来说随物种和根茎叶等部位的不同规律也不一样,研究工作开展的也较少,看不出总体的规律性来。

4 研究展望

自然放牧状态下的草场,其营养物质的外部来源主要是凋落物的分解、放牧牲畜的排泄物以及大

气的干湿沉降等(C、H、O、N等例外,O和H主要来自于降水,C可通过光合作用直接从大气中吸收,N可通过固N作用可从大气中部分吸收),但大气干湿沉降所占的比例很小。中国大部分的放牧草场基本上都还处于粗放状态,凋落物的分解作为营养物质回归土壤的主要过程之一日益得到重视。今后,在草原凋落物的研究过程中应重点进行以下3个方面的研究:

(1) 多因子的交互作用对草原凋落物分解的影响。在注重各个环境因子对凋落物分解的影响的同时,应加大多因子交互作用对凋落物分解的影响,从全球气候变化的大尺度环境对凋落物的分解进行研究,如CO₂浓度增加、N沉降、降雨格局的变化等与凋落物分解密切相关的多因子组合实验。同时还要进一步研究生物因子和非生物因子的交互作用,深入探讨凋落物分解的机理。这对于凋落物的有效调控有着重要意义。

(2) 凋落物混合分解机制探究。目前有关混合凋落物的分解机制尚不明确,植物种的组成和比例,营养元素的混合效应对凋落物分解的作用是今后研究的重点。

(3) 大量和微量营养元素的释放和累积。凋落物分解过程中养分的释放机制及其复杂,因凋落物的种类、分解阶段而异,且与各个营养元素自身的特点有关。纵观近些年来国内外有关草原凋落物植物营养元素的研究,对于草地生态系统凋落物中植物营养元素的研究还集中在C、N、P、K(N、P、K是植物主要的限制性营养元素)等几个主要的大量营养元素上,多在讨论凋落物本身化学组成或外加营养元素对分解率的影响方面,而对其他大量植物营养元素(Ca、Mg、S等)和微量营养元素(Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo、Cl)的研究不多,对凋落物分解时植物营养元素总体释放和累积的一般规律也鲜有报道,在草原禁牧恢复过程中营养元素的生物地球化学行为探讨得也不多。因此,对于草原凋落物分解过程中营养元素的释放和积累过程尚需做进一步的研究。

参考文献

- [1] 赵吉,邵玉琴,孔祥辉. 皇甫川地区枯枝落叶的分解及其对土壤生物环境的影响. 农业环境保护, 2002, 21(6): 543-545.
- [2] 张建利,张文,高玲苹,等. 云南马龙县山地封育草地凋

- 落物分解与氮释放的研究. 草业科学, 2008, 25(7): 77-82.
- [3] Facell J M, Pickett S T A. Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. Botanical Review, 1991, 57(1): 1-32.
- [4] 郭继勋. 羊草草原分解者亚系统. 长春: 吉林大学出版社, 1994.
- [5] 郭继勋, 孙刚. 松嫩平原羊草草原凋落物层群落学作用的研究. 植物生态学报, 2000, 24(4): 473-476.
- [6] 王堃. 草地植被恢复与重建. 北京: 化学工业出版社, 2004: 1-260.
- [7] Raiesi F, Asadi E. Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semi-arid ecosystem. Biology and Fertility of Soils, 2006, 43(1): 76-82.
- [8] Olofsson J, Oksanen L. Role of litter decomposition for the increased primary production in areas heavily grazed by reindeer: A litterbag experiment. Oikos, 2002, 96(3): 507-515.
- [9] Semmartin M, Aguiar M R, Distel R A, et al. Litter quality and nutrient cycling affected by grazing-induced species replacements along a precipitation gradient. Oikos, 2004, 107(1): 148-160.
- [10] Dubeux J C B, Sollenberger L E, Interrante S M, et al. Litter decomposition and mineralization in *bahiagrass* pastures managed at different intensities. Crop Science, 2006, 46(3): 1305-1310.
- [11] Garibaldi L A, Semmartin M, Chaneton E J. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in flooding Pampa grasslands. Oecologia, 2007, 151(4): 650-662.
- [12] Mapfumo E, Naeth M A, Baron V S, et al. Grazing impacts on litter and roots: Perennial versus annual grasses. Journal of Range Management, 2002, 55(1): 16-22.
- [13] 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. Plant and Soil, 2008, 303(1-2): 177-189.
- [14] 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. 生态学报, 2006, 26(4): 1207-1212.
- [15] Smith V C, Bradford M A. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. Applied Soil Ecology, 2003, 24(2): 197-203.
- [16] Bradford M A, Tordoff G M, Eggers T, et al. Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. Oikos, 2002, 99(2): 317-323.
- [17] Henry H A L, Brizgys K, Field C B. Litter decomposition in a california annual grassland: Interactions between photodegradation and litter layer thickness. Ecosystems, 2008, 11(4): 545-554.
- [18] Austin A T, Vivanco L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. Nature, 2006, 442: 555-558.
- [19] Hoorens B, Aerts R, Stroetenga M. Elevated UV-B radiation has no effect on litter quality and decomposition of two dune grassland species: Evidence from a long-term field experiment. Global Change Biology, 2004, 10(2): 200-208.
- [20] Brandt L A, King J Y, Milchunas D G. Effects of ultraviolet radiation on litter decomposition depend on precipitation and litter chemistry in a shortgrass steppe ecosystem. Global Change Biology, 2007, 13(10): 2193-2205.
- [21] Dukes J S, Hungate B A. Elevated carbon dioxide and litter decomposition in California annual grasslands: Which mechanisms matter? Ecosystems, 2002, 5(2): 171-183.
- [22] Hu S, Chapin III F S, Firestone M K, et al. Nitrogen limitation of microbial decomposition in a grassland under elevated CO₂. Nature, 2001, 409(6817): 188-191.
- [23] Dukes J S, Field C B. Diverse mechanisms for CO₂ effects on grassland litter decomposition. Global Change Biology, 2000, 6(2): 145-154.
- [24] King R F, Dromph K M, Bardgett R D. Changes in species evenness of litter have no effect on decomposition processes. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34(12): 1959-1963.
- [25] Steinaker D F, Wilson S D. Belowground litter contributions to nitrogen cycling at a northern grassland-forest boundary. Ecology, 2005, 86(10): 2825-2833.
- [26] Koukoura Z, Mamolos A P, Kalburtji K L. Decomposition of dominant plant species litter in a semi-arid grassland. Applied Soil Ecology, 2003, 23(1): 13-23.
- [27] 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. Applied Soil Ecology, 2001, 18(1): 31-37.
- [28] 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. Oecologia, 2006, 150(1): 97-107.
- [29] Personeni E, Loiseau P. Species strategy and N fluxes in grassland soil: A question of root litter quality or rhizosphere activity? European Journal of Agronomy, 2005, 22(2): 217-229.

- [30] Murphy K L, Burke I C, Vinton M A, et al. Regional analysis of litter quality in the central grassland region of North America. *Journal of Vegetation Science*, 2002, 13 (3): 395-402.
- [31] Aerts R, Hannie D C, Beltman B. Plant community mediated vs. nutritional controls on litter decomposition rates in grasslands. *Ecology*, 2003, 84(12): 3198-3208.
- [32] Liu P, Sun O J, Huang J H, et al. Nonadditive effects of litter mixtures on decomposition and correlation with initial litter N and P concentrations in grassland plant species of northern China. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44(1): 211-216.
- [33] Patrick L B, Fraser L H, Kershner M W. Large-scale manipulation of plant litter and fertilizer in a managed successional temperate grassland. *Plant Ecology*, 2008, 197 (2): 183-195.
- [34] Manning P, Saunders M, Bardgett R D, et al. Direct and indirect effects of nitrogen deposition on litter decomposition. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(3): 688-698.
- [35] Liu P, Huang J H, Han X G, et al. Differential responses of litter decomposition to increased soil nutrients and water between two contrasting grassland plant species of Inner Mongolia, China. *Applied Soil Ecology*, 2006, 34 (2-3): 266-275.
- [36] Hobbie S E. Contrasting effects of substrate and fertilizer nitrogen on the early stages of litter decomposition. *Ecosystems*, 2005, 8(6): 644-656.
- [37] 吴庆标, 王效科, 欧阳志云. 活性有机碳含量在凋落物分解过程中的作用. *生态环境*, 2006, 15(6): 1295-1299.
- [38] 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. *生物多样性*, 2009, 17(4): 397-405.
- [39] 刘忠宽, 汪诗平, 韩建国, 等. 内蒙古温带典型草原植物凋落物和根系的分解及养分动态的研究. *草业学报*, 2005, 14(1): 24-30.
- [40] 廖仰南, 张桂枝, 赵吉. 草原羊草(*Aneurolepidium chinensis*)和大针茅(*Stipa grandis*)不同物候期植株分解的微生物特性//中国科学院草原生态系统定位站. 草原生态系统研究. 第4集. 北京: 科学出版社, 1992: 151-159.
- [41] 郭继勋. 羊草草地营养元素的吸收、积累和归还. *中国草原*, 1986(5): 31-34.
- [42] Cartner T B, Cardon Z G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos*, 2004, 104(2): 230-246.
- [43] Gijsman A J, Alarcón H F, Thomas R J. Root decomposition in tropical grasses and legumes as affected by soil texture and season. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, 29(9-10): 1443-1450.
- [44] Hunt H, Ingham E, Coleman D, et al. Nitrogen limitation of production and decomposition in prairie, mountain meadow, and pine forest. *Ecology*, 1988, 69(4): 1009-1016.
- [45] Kemp P R, Deborah G W, Clenton E O, et al. Effects of elevated CO₂ and nitrogen fertilization pretreatments on decomposition on tallgrass prairie leaf litter. *Plant Soil*, 1994, 165(1): 115-127.
- [46] Martinez-Yrizar A, Nunez S, Burquez A. Leaf litter decomposition in a southern Sonoran Desert ecosystem, northwestern Mexico: Effects of habitat and litter quality. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 2007, 32(3): 291-300.
- [47] Smith V C, Bradford M A. Do non-additive effects on decomposition in litter-mix experiments result from differences in resource quality between litters? *Oikos*, 2003, 102(2): 235-243.
- [48] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Berkeley: University of California Press, 1979.
- [49] Taylor B R, Parkinson D, Parsons W F J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*, 1989, 70(1): 97-104.
- [50] Thomas R J, Asakawa N M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology & Biochemistry*, 1993, 25(10): 1351-1361.
- [51] Vossbrinck C R, Coleman D C, Woolley T A. Abiotic and Biotic Factors in Litter Decomposition in a Semiarid Grassland. *Ecology*, 1979, 60(2): 265-271.
- [52] 耿元波. 锡林河流域主要草原类型的生物地球化学研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2001.
- [53] Cornelissen J H C. An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types. *Journal of Ecology*, 1996, 84(4): 573-582.
- [54] 曲浩, 赵学勇, 赵哈林, 等. 陆地生态系统凋落物分解研究进展. *草业科学*, 2010, 27(8): 44-51.
- [55] 李学斌, 马林, 陈林, 等. 草地枯落物分解研究进展及展望. *生态环境学报*, 2010, 19(9): 2260-2264.
- [56] 廖仰南, 赵吉, 张桂枝. 羊草和大针茅凋落物分解及其微生物学效应. *植物生态学与地植物学学报*, 1989, 13 (4): 359-366.
- [57] Blair J M, Parmelee R W, Beare M H. Decay rates, nitrogen fluxes, and decomposer communities of single-and mixed-species foliar litter. *Ecology*, 1990, 71(5): 1976-1985.
- [58] Hector A, Beale A, Minns A, et al. Consequences of the

- reduction of plant diversity for litter decomposition: Effects through litter quality and microenvironment. *Oikos*, 2000, 90(2): 357-371.
- [59] Scherer-Lorenzen M. Functional diversity affects decomposition processes in experimental grasslands. *Functional Ecology*, 2008, 22(3): 547-555.
- [60] 王其兵, 李凌浩, 白永飞, 等. 模拟气候变化对 3 种草原植物群落混合凋落物分解的影响. *植物生态学报*, 2000, 24(6): 674-679.
- [61] Vitousek P M, Turner D R, Parton W J, et al. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: Patterns, mechanisms, and models. *Ecology*, 1994, 75(2): 418-429.
- [62] 黄德华, 陈佐忠. 用红外线 CO₂ 分析仪测定凋落物形成、分解与积累//中国科学院草原生态系统定位站. 草原生态系统研究. 第 2 集. 北京: 科学出版社, 1988: 217-223.
- [63] 尹承军, 黄德华, 陈佐忠. 内蒙古典型草原 4 种植物凋落物分解速率与气候因子之间的定量关系. *生态学报*, 1994, 14(2): 149-154.
- [64] Hoorens B, Aerts R, Stroetenga M. Litter quality and interactive effects in litter mixtures: More negative interactions under elevated CO₂? *Journal of Ecology*, 2002, 90(6): 1009-1016.
- [65] 陈瑾, 李扬, 黄建辉. 内蒙古典型草原 4 种优势植物凋落物的混合分解研究. *植物生态学报*, 2011, 35(1): 9-16.
- [66] Dimitrakopoulos P G. Influence of evenness on the litter-species richness-decomposition relationship in Mediterranean grasslands. *Journal of Plant Ecology*, 2010, 3(2): 71-78.
- [67] 龙章富, 刘世贵. 退化草地土壤农化性状与微生物区系研究. *土壤学报*, 1996, 33(2): 192-200.
- [68] 金钊, 齐玉春, 董云社. 干旱半干旱地区草原灌丛荒漠化及其生物地球化学循环. *地理科学进展*, 2007, 26(4): 23-32.
- [69] 刘全友, 童依平, 李继云, 等. 多伦县土壤营养元素有效态含量的影响因素研究. *生态学报*, 2000, 20(6): 1034-1037.
- [70] 耿元波, 章申, 董云社, 等. 无牧草原生态系统营养元素的生物地球化学特征. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 219-222.
- [71] Moretto A S, Distel R A. Decomposition of and nutrient dynamics in leaf litter and roots of *Poa ligularis* and *Stipa gynerioides*. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55(3): 503-514.
- [72] Seastedt T R. Mass, nitrogen, and phosphorus dynamics in foliage and root detritus of tallgrass prairie. *Ecology*, 1988, 69(1): 59-65.
- [73] Koukoura Z. Decomposition and nutrient release from C3 and C4 plant litters in a natural grassland. *Acta Oecologica*, 1998, 19(2): 115-123.
- [74] Liu K, Sollenberger L E, Silveira M L, et al. Grazing Intensity and Nitrogen Fertilization Affect Litter Responses in Tifton 85 Bermudagrass Pastures: II. Decomposition and Nitrogen Mineralization. *Agronomy Journal*, 2011, 103(1): 163-168.
- [75] Garibaldi L A, Semmartin M, Chaneton E J. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in flooding Pampa grasslands. *Oecologia*, 2007, 151(4): 650-662.
- [76] 赵吉, 廖仰南, 张桂枝. 羊草和大针茅不同物候期植株的分解及其主要营养元素的转化//中国科学院草原生态系统定位站. 草原生态系统研究. 第 4 集. 北京: 科学出版社, 1992: 161-169.
- [77] 陈佐忠, 黄德华. 内蒙古典型草原栗钙土地带几种植物凋落物分解速率与分解过程研究//中国科学院草原生态系统定位站. 草原生态系统研究. 第 4 集. 北京: 科学出版社, 1992: 31-39.
- [78] Liu P, Huang J H, Han X G, et al. Litter Decomposition in Semiarid Grassland of Inner Mongolia, China. *Range-land Ecology & Management*, 2009, 62(4): 305-313.
- [79] 邵玉琴, 赵吉, 杨劫. 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. *水土保持学报*, 2004, 18(3): 81-84.
- [80] 杜占池, 樊江文, 钟华平. 营养元素在红三叶叶片分解过程中的释放动态. *草业科学*, 2003, 20(7): 12-15.

Influencing Factors of Grassland Litter Decomposition and Nutrient Release and Accumulation

GENG Yuanbo¹, SHI Jingjing^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Litter decomposition is a main linkage of material cycle in grassland ecosystem. In the meantime, nutrient elements release and accumulation play an important role in the process of degraded grassland recovery. In this paper, we briefly reviewed the research progress of litter decomposition and the biogeochemical behaviour of nutrient elements in grassland at home and broad from two aspects: the main factors which affect litter decomposition rate, including the properties of litter, external environment (biological and non-biological factors) and mixture effects; the release and accumulation of plant nutrient elements when litter decomposes. Grassland litter decomposition rates, in common circumstances, are positively correlated with initial litter N, P and K, while negatively correlated with C/N, C/P, lignin and cellulose, and insignificantly correlated with the nutrients ambient. The effects of non-additive effects are dependent on N and P contents as well as litter diversities. In the process of litter decomposition, an overall trend shows that litter accumulates N while it releases K and P at the primary stage of decomposition whereas it shows no obvious regularity on the immobilization of Na, Ca and Mg for different parts or types of species. Different contents of each nutrient, different stages of decomposition, different types of species, non-additive and soil environment are the main factors that affect the nutrients release and accumulation. It can be concluded that the exploration of the interaction of factors, the mechanism in mixture decomposition, the release and accumulation of some major and trace nutrient elements will be research hotspots in the future.

Key words: grassland; litter decomposition; nutrient element; biogeochemistry

本文引用格式:

耿元波, 史晶晶. 草原凋落物的分解及营养元素的释放和累积. 地理科学进展, 2012, 31(5): 655-663.

2012中国地理编辑出版年会在太原举办

2012年4月26-29日,2012中国地理编辑出版年会在太原师范学院成功举办。来自全国各地30多个地理期刊和有关出版社的地理编辑50多人出席了年会。会议由中国地理学会编辑出版工作委员会和太原师范学院共同主办,太原师范学院城市与旅游学院承办。

4月27日上午举行了年会开幕式和大会学术报告会,出席年会的地理编辑以及太原师范学院的师生近300人,开幕式由中国地理学会编辑出版工作委员会副主任何书金主持,太原师范学院校长王尚义、中国地理学会秘书长张国友和中国地理学会编辑出版工作委员会主任彭斌先后致辞,太原师范学院党委书记田润华应邀出席。随后,举行了“地理学发展前沿学术报告及成果交流报告”,由中国地理学会编辑出版工作委员会副主任吕建华主持。中国地理学会常务理事、中国科学院地理科学与资源研究所副所长葛全胜研究员作为特邀嘉宾就“全球变化研究进展”作了大会报告;太原师范学院汾河流域科学发展研究中心副主任、城镇与区域规划研究所所长郭文炯教授作了“太原师范学院汾河流域科学发展研究中心、城市与旅游学院地理学科发展情况”成果介绍报告;太原师范学院城市与旅游学院副院长邵秀英教授、太原师范学院城市与旅游学院副教授李素清博士分别就“古村落旅游地公共管理问题研究”、“山西矿区环境演变与植被重建研究”作了研究成果报告。

4月27日下午举行了“编者、作者、读者与专家互动交流会”,由彭斌主任主持。彭斌首先做了引导性发言,并就委员工作会议讨论通过的“地理学学术道德规范编辑倡议书”进行了说明,与会编辑代表一致通过了该倡议书。随后,北京玛格泰克公司总经理林家乐做了“中国地理资源期刊网”建设的技术支撑与运营途径报告。葛全胜研究员以审稿专家身份谈了自己对期刊发展的看法,他认为“科技期刊要反映科技成果、引导学科发展方向”,在绩效评价方面要提高中文期刊论文的权重。目前,从国家层面上看,我国地理科学研究领域包括气候、综合自然地理、水文水资源、土壤、地表要素修复、生态循环、典型区研究、综合人文地理、可持续发展、数据融合等10个方面,粗略估算研究经费近40亿元,期刊发展有着巨大的市场需求。会上,各刊负责同志对规范审稿、成果评价、数字出版、期刊运营、办刊经验、学术著作出版等方面进行了广泛的研讨。

4月26日晚上,在太原漳泽酒店召开了第五届中国地理学会编辑出版工作委员会全体会议,到会的主任、副主任、委员20多人参加了工作会议,张国友秘书长也应邀出席。会议重点讨论了“地理学学术道德规范编辑倡议书”以及“工作委员会的主要工作重点”。会议由彭斌主任主持。

4月28-29日,与会代表考察了山西自然景观与晋商文化,考察期间,编辑们继续进行了广泛交流。

中国地理学会编辑出版工作委员会有着20多年的历史,历经五届工作委员会,组织开展了众多交流和评选表彰活动,为全国地理编辑工作交流、业务提高和个人成长搭建了平台。2009年以来,中国地理编辑出版年会已经连续举办了四次,前三次分别由衡阳师范学院、西安外国语大学、福建师范大学承办,在地理期刊与出版界产生了较大的影响。编辑们对地理学科发展的关注,以及对编辑出版经验的深入交流,对提升我国地理资源期刊与出版水平有着重要的意义。会议决定2013中国地理编辑出版年会由安徽师范大学承办。

(何书金)

