

DOI: 10.5846/stxb201309222321

李学斌, 陈林, 吴秀玲, 宋乃平, 李昕. 荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物分解速率及影响因素. 生态学报, 2015, 35(12): 4105-4114.

Li X B, Chen L, Wu X L, Song N P, Li X. Litter decomposition rates and influencing factors of four typical plant communities in desert steppe. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(12): 4105-4114.

荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物分解速率及影响因素

李学斌^{1,*}, 陈林¹, 吴秀玲², 宋乃平¹, 李昕³

1 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021

2 宁夏农业勘查设计院, 银川 750001

3 宁夏动物卫生监督所, 银川 750001

摘要:测定荒漠草原甘草、赖草、蒙古冰草以及黑沙蒿等植物群落枯落物分解过程中质量损失量分析荒漠草原枯落物分解速, 同时通过枯落物自身化学成份、含水率的测定, 结合气候因子进行偏相关分析, 探讨荒漠草原枯落物分解的影响因素。结果表明: 荒漠草原 4 种植物群落枯落物的质量累积损失率随分解时间的延长而增加, 但枯落物分解的质量损失量与时间并不呈线性相关; 4 种植物群落枯落物质量损失量大小依次为: 甘草群落>赖草群落>蒙古冰草群落>黑沙蒿群落; 荒漠草原枯落物分解采用单指数衰减的 Olson 模型拟合效果较好, 4 种植物群落中甘草群落枯落物分解最快, 黑沙蒿群落分解最慢; 蒙古冰草、赖草和甘草群落枯落物中 N、P、K 的含量显著高于黑沙蒿群落, 但是 C、木质素、纤维素、C/N、木质素/N 和纤维素/N 值则显著低于黑沙蒿群落枯落物, 蒙古冰草群落、甘草群落、赖草群落和黑沙蒿群落 4 种植物群落枯落物分解速率(k)与枯落物初始 N、P、K 含量均呈显著正相关; 偏相关分析表明, 4 种植物群落枯落物分解速率与降雨量、枯落物自身含水量的偏相关系数达显著水平, 其余因子偏相关系数均未达显著水平。结合上述研究可以确定荒漠草原枯落物分解 50% 所需时间为 2—5a, 分解 95% 需 8—24a。

关键词:封育; 荒漠草原; 枯落物; 分解速率

Litter decomposition rates and influencing factors of four typical plant communities in desert steppe

LI Xuebin^{1,*}, CHEN Lin¹, WU Xiuling², SONG Naiping¹, LI Xin³

1 Key Lab of Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

2 Ningxia Agricultural Institute of Prospecting and Design, Yinchuan 750001, China

3 Ningxia Animal Health Supervision Institute, Yinchuan 750001, China

Abstract: Litter is the important components of grassland ecosystem, and plays an important role in grassland, influencing ecosystem structure, process and functioning. Litter accumulation can change the nutrient availability and modify local physical environmental conditions, and litter of grassland has gradually become one of the important issues in grassland ecology, but the factors related to the decomposition litter and litter decomposition rates in desert steppe is still unknown. In this study, four typical plant litters of desert steppe, *Glycyrrhiza uralensis*, *Leymus secalinus*, *Agropyron crisatum* and *Artemisia desertorum* communities were selected in Yanchi Country of Ningxia, and the loss rate of litter mass, the chemical composition, the water content of four typical plant communities were measured, and climatic factors and their partial

基金项目:国家自然科学基金项目(31260581); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)前期专项资助项目(2012CB723206)

收稿日期:2013-09-22; **网络出版日期:**2014-07-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixuebin@nxu.edu.cn

correlations were analyzed, and statistics and numerical taxonomy methods were used to identify the effects of litter accumulation. The results showed that the loss rate of litter mass was increased with decomposition time. However, the relationship between the loss rate of litter mass and decomposition time was not linear correlation. The loss rate of litter mass of four typical plant communities was *Glycyrrhiza uralensis* community > *Leymus secalinus* community > *Agropyron crisatum* community > *Artemisia desertorum* community. The litter decomposition rates of desert steppe was best represented by the he Olson model of single exponential decay, and the litter decomposition rate of *Glycyrrhiza uralensis* was the fastest, while the *Artemisia desertorum* was the slowest. The contents of N, P, K of litters of *Agropyron crisatum*, *Leymus secalinus* and *Glycyrrhiza uralensis* communities were significantly higher than *Artemisia desertorum* community, but contents of C, lignin, cellulose, and rates of C:N and lignin:N and cellulose:N were significantly lower than litter of *Artemisia desertorum* community. The decomposition rates of four plant communities was positively correlated with the initial contents of N, P, K in litters,. Partial correlation analysis results showed the decomposition rates of four plant communities was significantly correlated with rainfall and the water content of litter. It was concluded that litter decomposition was complex physical and chemical and biological processes, which Influenced by many factors, and plant species was an major factor decisioned the rate of decomposition. The contents of 50% of litters decomposed in desert steppe was about 2—5 years, while 95% was about 8—24 years, which could provide scientific basis for the response and adaptation mechanism of grassland on the environmental factors and adaptation strategy.

Key Words: enclosed; desert steppe; litter; decomposition rate

草地枯落物是草地生态系统养分地球化学循环的物质基础。枯落物分解与草地生态系统的养分循环、生产力关系密切,并在维持土壤肥力等方面发挥重要作用^[1]。相关研究表明,多数生态系统中植物所吸收的养分,90%以上的 N 和 P、60%以上的矿质元素都来自于植被枯落残体归还给土壤的养分再循环^[2-3]。枯落物的养分循环是由其分解速率决定。目前,国内外关于枯落物分解速率及其影响因子进行了大量报道,一些学者研究表明,森林生态系统枯落物初始 C 含量及 C/N 值是影响其分解速率的关键因子^[4-5];另一些学者认为,草地生态系统与森林生态系统不同,枯落物分解速率与初始碳含量、C/N 值关系不大,木质素/N 值是影响其分解速率的主要因子^[6-7];而对于湿地生态系统来说,C/N 和枯落物分解速率呈负相关,C/P 具有更好地指示意义^[8]。可见,在不同植被类型与环境条件下,枯落物的分解速率及其影响因子存在明显差异。近年来,随着荒漠草原“退耕还草”和“封育禁牧”等政策的实施,尤其在家畜等草食型动物退出草地生态系统后,荒漠草原养分循环的链条发生了变化,枯落物成为联系植被与土壤的重要中间环节。枯落物的分解动态及其影响因素成为荒漠草原恢复及其“自肥”机制的重要生态问题之一,目前相关研究还较少。本研究选取围封的自然条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物的分解加以研究,分析枯落物分解速率,旨在明确不同植物枯落物的分解特征,揭示荒漠草原枯落物分解的影响因素,以及不同组分对枯落物分解速率的贡献,以期荒漠草原的恢复、合理利用及科学管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县高沙窝乡国家级草地资源观测站(37°57'01.34''N, 107°00'44.99''E),草地封育时间为 2005 年底。该地区属于典型中温带大陆性气候,年均气温 8.1℃,年降水量 250—350 mm,主要集中在 5—9 月,约占年降水量的 60%以上。年均无霜期为 165 d。土壤类型主要是灰钙土,其次是风沙土和黑垆土。植物类型主要是灌丛、沙生植被和荒漠植被,群落中常见植物种类以旱生和中旱生类型为主。本试验选取蒙古冰草(*Agropyron crisatum*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、赖草(*Leymus secalinus*)和黑沙蒿(*Artemisia desertorum*)4 种典型植被类型,样地大小为 40m×40 m。样地基本情况于 2010 年 8 月野外测定(表 1),气象因

子情况见表 2。

表 1 样地基本情况
Table 1 The condition of four plots

群落类型 Site	盖度/% Coverage	高度/cm Height	鲜生物量/(g/m ²) Fresh biomass	伴生种 Companion species
A	76.67	70.11	245.5±21.0	银灰旋花(<i>Convolvulus ammannii</i>)、刺叶柄棘豆(<i>Oxytropis aciphylla</i>)、达乌里胡枝子(<i>Leguminosae</i>)、砂珍棘豆(<i>Oxytropis racemosa</i>)、沙葱(<i>Radix Acanthopanax Senticosl</i>)、中亚白草(<i>Pennisetum centrasiaticum</i>)
B	51.66	38.89	226.2±23.6	银灰旋花、达乌里胡枝子、二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)、小变蒿(<i>Pedicularis ternata</i>)
C	83.33	20.78	150.9±11.9	甘草、铁杆蒿(<i>Artemisia</i>)、达乌里胡枝子、狗尾草(<i>Setariaviridis</i>)、沙生冰草(<i>Agropyron desertorum</i>)、小画眉草(<i>Eragrostis pilosa</i>)
D	85.67	40.33	116.9±15.6	中亚白草、达乌里胡枝子、细叶山苦荬(<i>Lxeris chinensis</i>)、刺沙蓬(<i>Salsola ruthenica</i>)

A:蒙古冰草群落,B:甘草群落,C 赖草群落,D:黑沙蒿群落

表 2 气象因子情况表
Table 2 Condition of meteorological factors

气象因子 Meteorological factors	2010 年							2011 年	
	5	6	7	8	9	10	11-12	1-2	3-4
均温 Average temperature/℃	8.32	16.04	21.16	25.03	21.03	14.48	6.19	-5.29	0.10
降雨量 Rainfal/mml	31.50	20.55	45.21	40.51	55.37	23.37	36.32	0.00	4.06

1.2 研究方法

(1) 枯落物分解的测定 枯落物分解速率测定采用“质量损失率”。实验于 2010 年 4 月 5 日采集 4 种植物群落的枯落物带回实验室,分别选择外形较为整洁的单一枯落物于 65 ℃ 烘箱烘干至恒重。一部分用于枯落物初始化学成分测定;另一部分用于分解测定,具体为将收集的枯落物剪成约 5 cm 左右的小段,分别称取 20 g,装入大小为 25 cm×25 cm、网眼为 0.5 mm×0.5 mm 的尼龙网袋内,将样袋于 4 月 8 日按“S”型随机分别埋入样地内 10 cm 左右深度,3 次重复,每个样地埋放分解袋 27 个,共计 108 袋,分别于 5 月 8 日、6 月 10 日、7 月 10 日、8 月 7 日、9 月 11 日、10 月 9 日、12 月 4 日、翌年 2 月 10 日和 4 月 5 日依次收集取样,带回实验室去掉泥沙及杂物,于 65 ℃ 恒温箱烘 24 h 后称重,测定不同植物群落枯落物的质量损失量,用于计算枯落物的分解速率。

(2) 枯落物初始化学成份测定 将上述采集的枯落物用植物粉碎机粉碎,过 2 mm 的孔径筛,然后装入纸袋用于测定枯落物初始化学成份 C(重铬酸钾-浓硫酸氧化法)、N(半微量凯氏法)、P(氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法)、K(氢氧化钠熔融-火焰光度计法)、木质素和纤维素(硫酸法)^[9]。

(3) 枯落物自然含水率测定 在设置的样方内,分别于每月收取枯落物带回实验室称其鲜重,然后在自然状态下避光风干称其干重,最后计算不同季节枯落物的自然含水率。枯落物自然含水率(%)=(枯落物湿重-枯落物干重)×100%。

(4) 相关环境因子测定 通过自动气象站获取温度、降雨等气象因子。

1.3 数据处理

各群落的枯落物质量为每月每个样地 3 个分解袋的质量平均值得出。枯落物质量损失率指放置一定时间后枯落物失去的干质量除以放置前枯落物的干质量。枯落物质量损失率公式: $D = (W_t/W_o) \times 100\%$ 。式中 D 为枯落物干质量损失率(%), W_t 为样品分解 t 时间后损失的质量(g), W_o 为样品的初始质量(g)。枯落物质量残留率是指放置一定时间后枯落物残留的干质量除以放置前枯落物的干质量。分解速率采用改进的 Olson

负指数衰减模型^[10]: $y = ae^{-kt}$, 式中 y 为枯落物月残留率(%), a 为修正参数, k 为分解指数($\text{g g}^{-1} \text{m}^{-1}$), t 为分解时间(month)。

2 结果与分析

2.1 枯落物初始化学成分含量分析

枯落物分解不仅受到分解时所处环境的影响, 主要是受枯落物基质质量的影响^[11]。用作枯落物(基质)质量的常见指标有: N 浓度、P 浓度、K 浓度、C 浓度、木质素与纤维素浓度、C/N 比值、木质素/N 比值、C/P 比值等。枯落物分解前的化学组成对其后的分解速率和养分释放具有显著的影响^[12]。

从表 3 可以看出, 荒漠草原 4 种群落枯落物组分中都是 C 的含量最大, 占枯落物总质量的 40% 以上, 其中, 黑沙蒿群落枯落物的 C 含量更是达到了 50% 以上 (506.0 g/kg), 其次为纤维素和木质素, 分别占枯落物总质量的 25%—27% 和 14%—16%, 其它化学成分所占枯落物总质量的比重较小, 分别为: N 值 0.94%—2.04%; P 值 0.04%—0.06%; K 值 0.17%—0.28%。作为荒漠草原的优质牧草禾本科的蒙古冰草、赖草和豆科的甘草群落枯落物中 N、P、K 的含量显著高于防风固沙的先锋植物黑沙蒿群落; 而 C、木质素、纤维素、C/N、木质素/N 和纤维素/N 值则显著低于黑沙蒿群落枯落物。

表 3 围封条件下荒漠草原 4 种植物群落枯落物初始化学成分

Table 3 The chemical composition of four typical plant litter

化学组成 Chemical composition	A	B	C	D
C/(g/kg)	477.1 ± 3.9	461.3 ± 2.8	472.8 ± 4.2	506.0 ± 3.1
N/(g/kg)	14.3 ± 0.4	16.6 ± 0.2	14.19 ± 0.3	8.3 ± 0.1
P/(g/kg)	0.51 ± 0.02	0.46 ± 0.01	0.47 ± 0.02	0.33 ± 0.01
K/(g/kg)	1.97 ± 0.10	2.29 ± 0.13	2.15 ± 0.09	1.46 ± 0.07
木质素 Lignin/(g/kg)	126.5 ± 7.8	114.4 ± 6.9	121.2 ± 5.2	137.4 ± 4.1
纤维素 Cellulose/(g/kg)	213.4 ± 5.7	219.6 ± 4.2	217.8 ± 6.3	229.2 ± 3.7
C/N	33.36	27.8	33.3	60.9
C/P	935.5	1002.8	1005.9	1533.3
N/P	28.0	36.1	30.2	25.2
木质素 Lignin/N	8.8	6.9	8.5	16.6
纤维素 Cellulose/N	14.9	13.2	15.3	27.6

2.2 枯落物分解速率

2.2.1 不同植物群落枯落物分解质量损失率变化

枯落物分解过程中质量随时间的变化可用“质量损失率”和“分解速率”来表达, 它们从不同角度反映了分解过程中枯落物的动态变化^[13]。对于荒漠草原来说, 枯落物分解受到多种因素的影响, 除受自身组分影响外, 特别是受水分、温度等气候因素的影响, 这就使得枯落物质量损失和分解速率的变化一方面具有某种规律性, 另一方面又表现出不规则变化, 显示了相当的复杂性。

研究结果(图 1)表明: 围封条件下荒漠草原 4 种植物群落枯落物的质量累积损失率随分解时间的延长质量累积损失率增加。与质量损失率相比, 枯落物分解的质量损失量并不与时间呈线性相关, 不同季节质量损失量增加的快慢有差异, 在分解的 4—7 月, 枯落物质量损失量呈增大的趋势, 8 月份质量损失有所降低, 9—10 月又有一个跃进式的上升, 但到了 11—12 月份质量损失明显降低, 到了翌年 1—2 月, 枯落物质量基本保持不变。4 种群落枯落物质量损失量大小依次均为: 甘草群落 > 赖草群落 > 蒙古冰草群落 > 黑沙蒿群落。黑沙蒿群落枯落物第 1 年质量损失仅为 3.85 g, 质量损失率为 19.25%, 在 4 种群落枯落物分解中质量损失最低。黑沙蒿为草本小灌木, 在枯落物结构组成中, 枝茎的比例相对较高, 木质素、纤维素等较难分解的成份较多, 又是固沙先锋植物, 因此质量损失相对较小; 甘草群落枯落物第 1 年质量损失为 6.40 g, 质量损失率为 32.00%,

为 4 种群落枯落物质量损失最大的。甘草群落枯落物的结构组成中,叶的含量相对较高,同时甘草是豆科牧草,植物体内 N 素含量相对较高,C/N 值较小,可能更易于枯落物的分解;蒙古冰草群落枯落物第 1 年质量损失为 5.73 g,质量损失率为 28.00%;同为禾本科牧草,赖草的木质化程度相对于蒙古冰草要小一些,因此赖草群落第 1 年质量损失为 14.08 g,质量损失率为 29.60%。

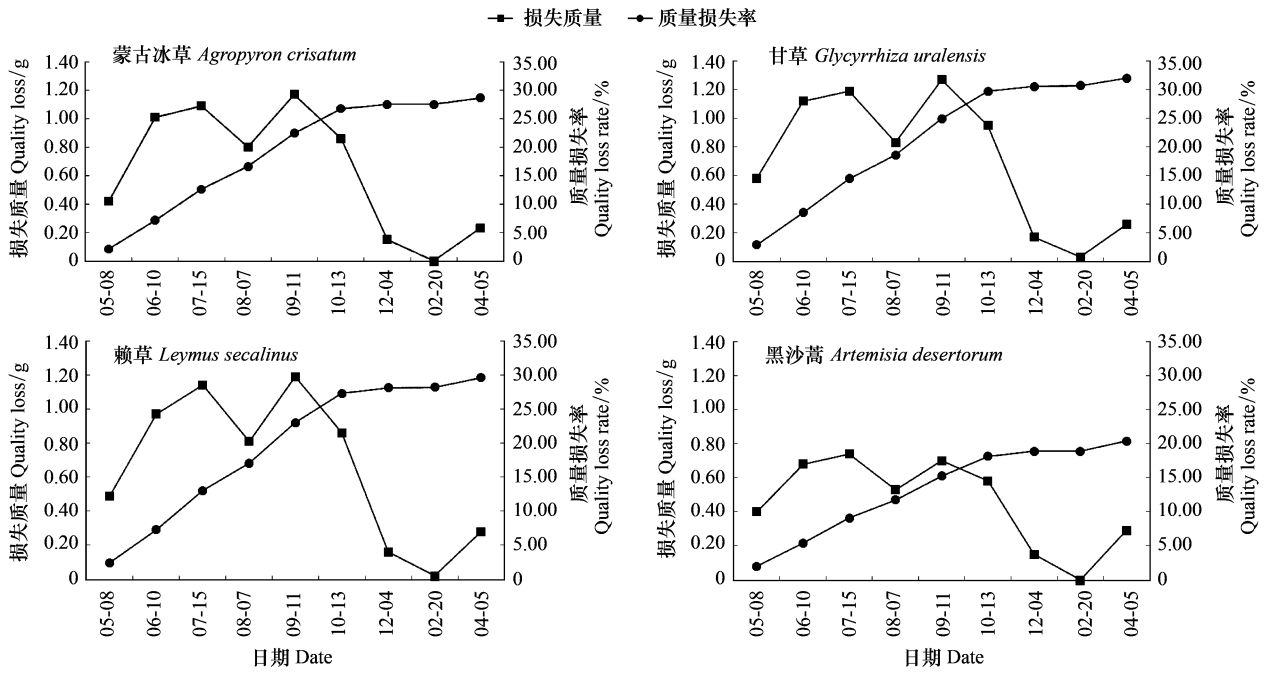


图 1 围封条件下荒漠草原 4 种植物群落枯落物质量损失量及质量损失率

Fig.1 The quality loss and quality loss rate of four typical plant litter

2.2.2 枯落物分解速率模型

枯落物分解是一个动态过程,用于描述枯落物分解速率常用的模型有单指数衰减模型、双指数衰减模型和多指数模型^[14-16]。采用哪种模型要根据具体情况确定^[17]。对于荒漠草原草本植物来说,采用 Olson 的单指数衰减模型拟合效果较好(表 4 和图 2)。单指数模型 $Y_t = Y_0 e^{-kt}$,式中 Y_0 为分解开始时的枯落物重量, Y_t 为在时间 t 时的剩余量, k 为分解速率常数。分解速率可用半分解时间($t_{0.50}$)和 95% 分解时间($t_{0.95}$)来表征,它们与 k 的关系为: $t_{0.50} = 0.693/k$, $t_{0.95} = 3/k$ 。但在实际应用中,多用 $Y = ae^{-kt}$ 来描述,式中 Y 为重量残留率(%), a 为拟合参数, k 为年腐解系数,即分解速率常数($g\ g^{-1}\ a^{-1}$)。按照这一模型,得到各枯落物分解残留率随时间的指数回归方程,再进一步估算各枯落物分解的半衰期(枯落物分解一半所需要的时间) $t_{0.5}$ 和分解 95% 时所需要时间 $t_{0.95}$ 。

表 4 围封条件下荒漠草原 4 种植物群落枯落物分解模型

Table 4 The model of litter decomposition of four typical plant

群落类型 Community types	回归方程 Regression equation	R^2	分解指数(k) Decomposing index	$t_{0.5}$ /Month	$t_{0.95}$ /Month
A	$y = 94.040e^{-0.0282t}$	$R^2 = 0.8104$	0.0282	22.40	104.05
B	$y = 95.100e^{-0.0149t}$	$R^2 = 0.8197$	0.0319	19.46	91.64
C	$y = 93.903e^{-0.0292t}$	$R^2 = 0.8205$	0.0292	21.58	100.44
D	$y = 95.607e^{-0.0182t}$	$R^2 = 0.8364$	0.0182	35.62	162.13

从图 2 可以看出,随着时间的延长,枯落物残留率显著降低。根据枯落物分解 1a 的数据估算的分解模型可知,4 种植物群落枯落物在分解速率上存在显著差异,分解指数 k 介于 0.0182(黑沙蒿群落)—0.0319(甘草

群落)之间,分解最快的是甘草群落,其分解一半所需的时间约是 1.62a,分解 95%需要 7.64a;其次是赖草,其分解一半所需的时间是 1.80a,分解 95%需要 8.37a;再次是蒙古冰草群落,其分解一半所需的时间是 1.87a,分解 95%需要 8.67a;分解最慢的是黑沙蒿,其分解一半所需的时间是 2.97a,分解 95%需要 13.51a。

2.3 枯落物分解速率影响因子

2.3.1 枯落物分解速率与枯落物初始化学成分的关系

由图 3 可见,枯落物初始化学组成影响枯落物的分解速率。蒙古冰草群落、甘草群落、赖草群落和黑沙蒿群落 4 种群落枯落物分解速率(k)与枯落物初始 N、P、K 含量均呈显著正相关,判定系数(R^2)分别为 0.9895、0.7530 和 0.9788;与枯落物初始 C、木质素和纤维素含量呈显著负相关,判定系数(R^2)分别为 0.9911、0.9236 和 0.6383;与 N/P 值呈显著正相关,判定系数(R^2)为 0.7108;与 C/N 值、C/P 值、木质素/N 值、纤维素/N 值呈显著负相关,判定系数 R^2 为分别为 0.9893、0.8798、0.9943 和 0.9773。

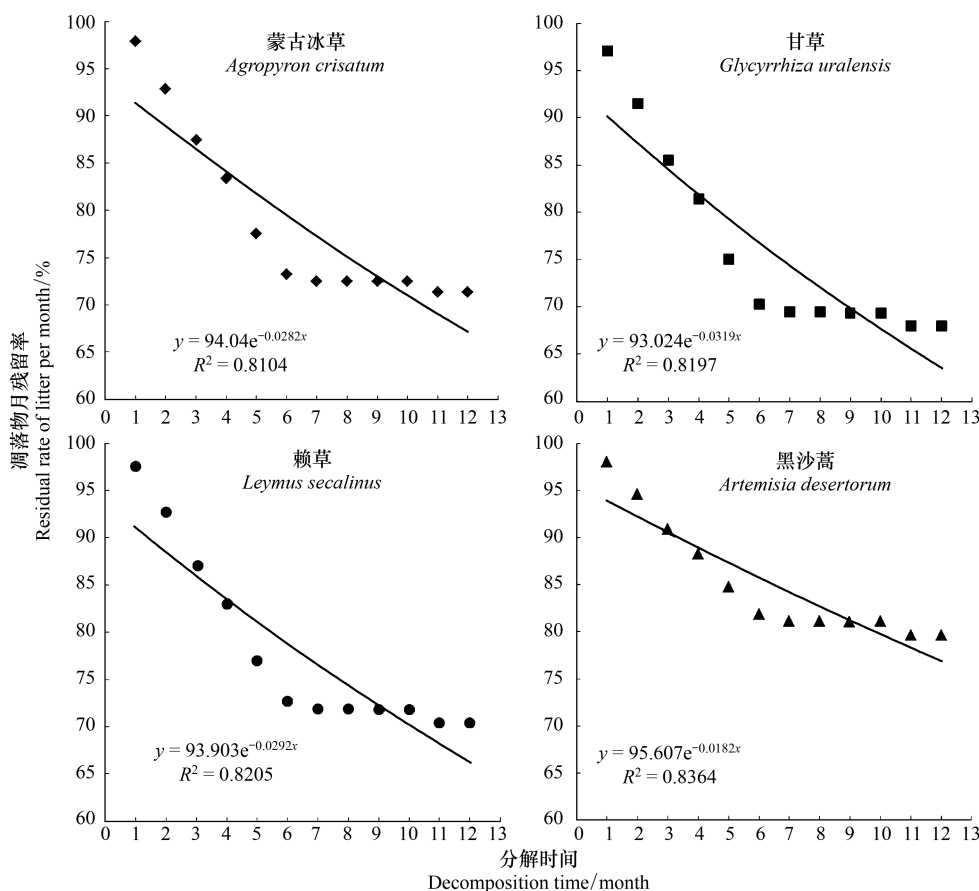


图 2 围封条件下荒漠草原 4 种植物群落枯落物分解残留率变化

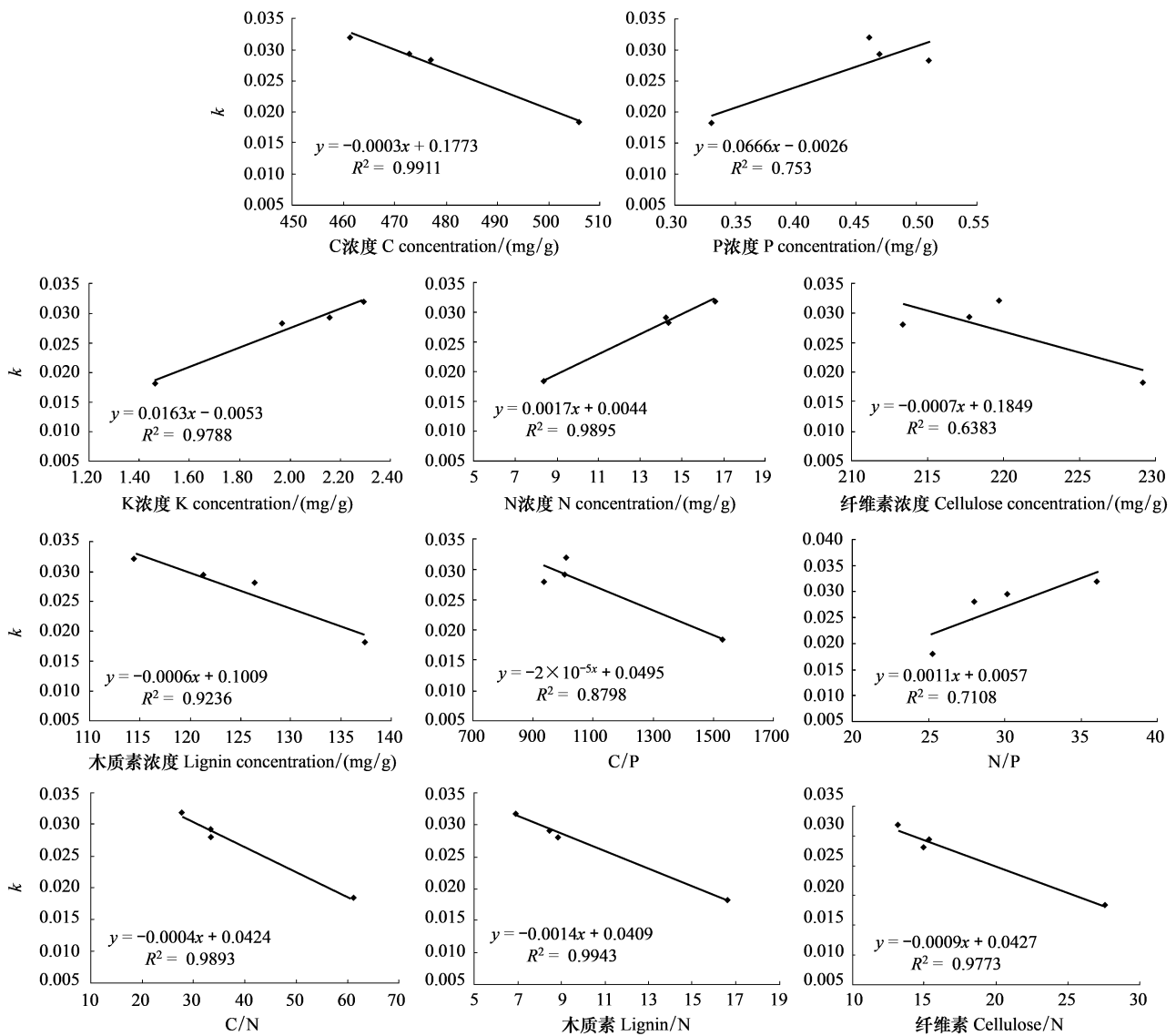
Fig.2 The residual rate of litter per month of four typical plant communities

2.3.2 枯落物分解速率与枯落物含水率的关系

实验选取 2010 年 5—10 月荒漠草原 4 种植物群落枯落物自然含水率与分解速率进行相关分析,研究结果图 4 表明,枯落物分解速率与枯落物含水率呈正相关,其回归方程符合指数函数,蒙古冰草群落、甘草群落、赖草群落和黑沙蒿群落相关性达到极显著水平(R^2 分别为:0.7234、0.6868、0.8159 和 0.6680, $P < 0.01$)。枯落物分解速率随着枯落物含水率的升高而增加。

2.3.3 枯落物分解速率与气候因子的关系

对枯落物分解速率与降雨量、气温的关系进行统计分析,研究发现:枯落物分解速率与降雨量、气温有明显的线性回归关系(表 5),说明在研究区域降雨量、气温对枯落物的分解速率产生显著的影响。

图 3 围封条件下荒漠草原 4 种植物群落 k 值与枯落物初始元素组成的关系Fig.3 The relationship of k value and chemical composition of four typical plant litter

在实验期内,枯落物分解随着气温和降雨的增加而增加,但枯落物分解速率最大值出现在 9 月份,而没有出现在温度最高的 7 月,这说明枯落物分解除了受温度影响外,还受到降雨的影响。在 4—5 月,随着气温的不断升高,同时由于上年降雨和冬季降水的储存,融化,地表水分相对充足,微生物活性逐步增强,枯落物分解较快;5—7 月期间,气温持续上升,土壤动物、土壤微生物繁殖、活性进一步增强,同时由于降雨和土壤水分的运移,加速了枯落物的淋溶作用,枯落物分解加快,质量损失增多;8 月份,由于阶段性的干旱和高温导致了土壤水分的蒸散,尽管气温更加有利于微生物活性,但土壤水分使微生物活性大大受到了抑制;9 月份降雨较多,微生物活性在短期的抑制后,活性进一步激活,枯落物分解达到了一个峰值。在 5—10 月,枯落物累计损失占总损失量的 89%—93%;11 月至翌年的 4 月,由于受到温度条件限制,分解较慢,枯落物累积损失仅占 1a 累积分解失重的 7%—11%。

总体来看,从 5—10 月份,在气温相对较高,达到 10 ℃ 以上后,基本满足了土壤动物及多数微生物活性,此时间,影响枯落物分解的主导因子是土壤水分;从 11 月份至翌年 4 月份,在秋季降雨的补足下(同时,土壤蒸发大大降低),土壤水分相对充足,但气温降至 10 ℃ 以下,甚至降至 0 ℃ 以下或更低的温度,此时间段,由于低温的影响,大大降低了土壤动物的活动及微生物的活性,影响枯落物分解的主导因素转变为温度。

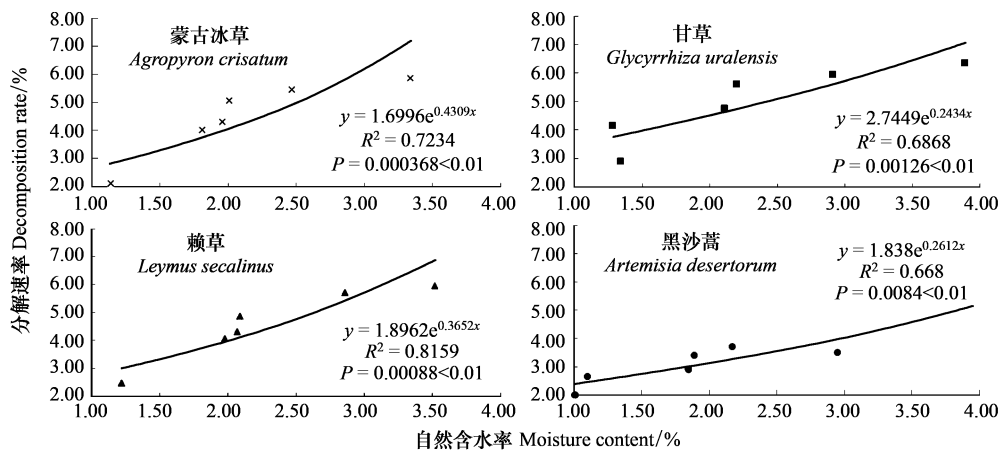


图4 围封条件下荒漠草原枯落物分解速率与枯落物含水率关系

Fig.4 The relationship of decomposition rate and moisture content of four typical plant litter

表5 围封条件下荒漠草原4种植物群落枯落物分解速率与气温、降雨的关系

群落类型 Community type	A	B	C	D
与降雨的回归方程 The regression equation of litter decomposition rate with rainfall	$y = 0.0799x + 0.9028$ $P < 0.01$	$y = 0.0843x + 1.1488$ $P < 0.01$	$y = 0.0804x + 0.9926$ $P < 0.01$	$y = 0.0447x + 0.9854$ $P < 0.01$
与气温的回归方程 The regression equation of litter decomposition rate with air temperature	$y = 0.193x + 0.8878$ $P < 0.05$	$y = 0.2011x + 1.164$ $P < 0.05$	$y = 0.1893x + 1.0377$ $P < 0.05$	$y = 0.1113x + 0.9371$ $P < 0.05$

A: 蒙古冰草群落, B: 甘草群落, C: 赖草群落, D: 黑沙蒿群落

2.3.4 影响枯落物分解速率因子的偏相关分析

枯落物分解是一个相当复杂的生态学过程,除与枯落物自身性质影响外,生态因素也是影响枯落物分解的一个重要方面。大量研究表明,气温、降雨、土壤 pH 值、枯落物自身含水率等均对枯落物分解有重要的影响。但无论相关影响因子多少,枯落物分解都是在土壤微生物作用下对诸生态因子综合效应的反映^[18-19]。本研究采用偏相关分析,对荒漠草原4种植物群落枯落物分解速率与气温、降雨量、枯落物自身含水率、枯落物自身性质(C、N、P、K、木质素、纤维素)等因子进行了偏相关分析,结果表明,4种植物群落枯落物分解速率与降雨量、枯落物自身含水量的偏相关系数达显著水平,其余因子偏相关系数均未达显著水平。

3 结论与讨论

(1) 枯落物分解是一个复杂的物理化学和生物过程,受多因素制约,但植物种类是决定其分解速率的主要因素^[20]。荒漠草原4种植物群落枯落物分解速率存在显著差异,甘草群落>赖草群落>蒙古冰草群落>黑沙蒿群落。4种植物群落枯落物经过1a分解后,质量损失率均没有超过50%,甘草群落枯落物分解速率最大,质量损失为32.00%,黑沙蒿群落枯落物分解速率最小,质量损失率仅为19.25%,这与本研究提出的枯落物分解速率与初始化学成份相关相一致,前后互为印证。但与张建利等^[21]研究的西南山地草地枯落物分解年质量损失率为38%以上存在差异,这可能由于本研究区内降雨量较少,限制了枯落物分解速率的缘故。

(2) 4种植物群落枯落物Olson分解模型的判定系数(R^2)均很高,说明拟合效果较好。黑沙蒿群落枯落物分解的半衰期最大,然后依次为蒙古冰草群落、赖草群落和甘草群落。根据研究,推算出围封条件下荒漠草原枯落物分解50%所需时间为2—5a,分解95%需8—24a。研究结果长于温带森林生态系统枯落物分解50%需要1—3.3a,分解95%需要8—17a^[22]、西南山地草地枯落物分解50%需要1—4a,分解95%需要4—18a^[23]、热带雨林、温带草原枯落物分解95%需要2a^[24]和东北羊草草地枯落物分解95%需要6—8a^[25]。这可能与水

热环境等因素的差异有关。

(3) 草地枯落物的分解速率一般受到枯落物自身性质、气候、生物等因子的综合影响。其中枯落物分解速率与枯落物自身初始化学组成密切相关,但在不同研究区域、不同植物种类、不同土壤条件下,枯落物的初始化学组成与枯落物分解速率的关系存在着差异。本研究发现,荒漠草原枯落物初始 C、N、P、K、木质素和纤维素的含量共同调控着枯落物的分解速率,枯落物分解速率与枯落物初始 N、P、K 的含量呈显著正相关,与枯落物初始 C、木质素和纤维素的含量呈显著负相关。这与宋新章等^[26]在浙江千岛湖姥山林场常绿阔叶林的研究结果存在一定差异。在浙江千岛湖姥山林场 7 种常绿阔叶林的枯落物初始磷、氮和木质素的含量与枯落物分解速率呈显著相关,而碳、钾的含量与分解速率关系不显著,这可能与选择的不同物种、枯落物的不同性质有关系。枯落物分解速率除受自身物质组成影响外,还与枯落物含水率、降雨量和气温呈正相关,分解速率随着枯落物含水率、降雨量和气温的升高而增加,与枯落物含水率的回归方程符合指数函数,与降雨量、气温呈线性正相关,这与张建利等^[20]研究的云南马龙县山地封育草地枯落物分解,程积民等^[27]研究的西北半干旱区封育草地枯落物分解,杨靖春等^[28]研究的东北羊草草地枯落物分解的结果相一致。通过对 4 种植物群落枯落物分解速率与以上影响因子进行偏相关分析,结果表明,枯落物分解速率与降雨量、枯落物自身含量的偏相关系数达显著水平,其余因子偏相关系数均未达显著水平,这与郭继勋等^[13]采用通径分析得出的土壤水分对草地枯落物的分解速率的效应最强,与王妮^[29]等采用的偏相关分析得出的降雨量、枯落物相对湿度对枯落物的分解速率效应最大相一致。

参考文献 (References):

- [1] Liu C J, Chen P J, Lai M Y, Kao J H, Jeng Y M, Chen S S. Ribavirin and interferon is effective for hepatitis C virus clearance in hepatitis B and C dually infected patients. *Hepatology*, 2003, 37(3): 568-576.
- [2] 万猛, 田大伦, 樊巍. 豫东平原杨-农复合系统凋落物的数量、组成及其动态. *生态学报*, 2009, 29(5): 2507-2513.
- [3] Chapin III F S, Matson P A, Mooney H A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer-Verlag, 2002: 1-3.
- [4] 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 VII. *Canadian Journal of Botany*, 1991, 69(7): 1449-1456.
- [5] Liu Q, Peng S L, Bi H, Zhang H Y, Li Z A, Ma W H, Li N Y. Nutrient dynamics of foliar litter in reciprocal decomposition in tropical and subtropical forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(1): 24-32.
- [6] Moore T R, Trofymow J A, Taylor B, Prescott C, Camiré C, Duschene L, Fyles J, Kozak L, Kranabetter M, Morrison I, Siltanen M, Smith S, Titus B, Visser S, Wein R, Zoltai S. Litter decomposition rates in Canadian forests. *Global Change Biology*, 1999, 5(1): 75-82.
- [7] Martínez-Yrizar A, Núez S, Búrquez A. Leaf litter decomposition in a southern Sonoran desert ecosystem, northwestern Mexico: Effects of habitat and litter quality. *Acta Oecologica*, 2007, 32(3): 291-300.
- [8] 张林海, 曾从盛, 张文娟, 王天鹅, 全川. 闽江河口湿地枯落物分解及主要影响因子. *应用生态学报*, 2012, 23(9): 2404-2410.
- [9] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 王希华, 黄建军, 闫恩荣. 天童国家森林公园常见植物凋落叶分解的研究. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 457-467.
- [11] Bryant D M, Holland E A, Seastedt T R, Walker M D. Analysis of litter decomposition in an alpine tundra. *Canadian Journal of Botany*, 1998, 76(7): 1295-1304.
- [12] Aber J D, Melillo J M. Nitrogen immobilization in decaying hardwood leaf litter as a function of initial nitrogen and lignin content. *Canadian Journal of Botany*, 1982, 60(11): 2263-2269.
- [13] 郭继勋, 祝廷成. 羊草草原枯枝落叶积累的研究——自然状态下枯枝落叶的积累及放牧、割草对积累量的影响. *生态学报*, 1994, 14(3): 255-259.
- [14] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44(2): 322-331.
- [15] Minderman G. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *The Journal of Ecology*, 1968, 56(2): 355-362.
- [16] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, Sollins P, Gregory S V, Lattin J D, Anderson N H, Cline S P, Aumen N G, Sedell J R, Lienkaemper G W, Cromack K, Cummins K W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15(1): 133-302.
- [17] 黄建辉, 陈灵芝, 韩兴国. 暖温带落叶阔叶林辽东栎枝条分解过程中有机物质的变化. *植物学报*, 1998, 40(4): 75-82.

- [18] Waksman S A, Starkey R L. The soil and the microbe. *Soil Science*, 1931, 32(5): 406.
- [19] Daubenmire R, Prusso D. Studies of the decomposition rates of tree litter. *Ecology*, 1963, 44(3): 589-592.
- [20] 张林海, 曾从盛, 张文娟, 王天鹅, 仝川. 闽江河口湿地枯落物分解及主要影响因子. *应用生态学报*, 2012, 23(9): 2404 -2410.
- [21] 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. *生态环境*, 2008, 17(5): 1986-1990.
- [22] 胡肄慧, 陈灵芝, 陈清朗, 孔繁志, 缪有贵. 几种树木枯叶分解速率的试验研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1987, 11(2): 124-131.
- [23] 宋学贵, 胡庭兴, 鲜骏仁, 李伟, 武卫国, 肖春莲. 川西南常绿阔叶林凋落物分解及养分释放对模拟氮沉降的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2167-2172.
- [24] Whittaker R. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, 1965, 147(3655): 250-255.
- [25] 王妮, 宋日, 郭继勋. 东北松嫩草原碱茅群落的土壤呼吸同枯枝落叶分解释放 CO₂ 贡献量研究. *草业学报*, 2002, 11(2): 45-50.
- [26] 宋新章, 江洪, 余树全, 马元丹, 周国模, 窦荣鹏, 郭培培. 中亚热带森林群落不同演替阶段优势种凋落物分解试验. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 537-542.
- [27] 程积民, 万惠娥, 胡相明, 赵艳云. 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.
- [28] 杨靖春, 祖元刚, 王笃恭, 陈珊, 祝廷成. 东北羊草草原凋落物的分解速率及其土壤微生物的能量流动研究. *中国草原*, 1986, (5): 7-10, 80.
- [29] 王妮, 郭继勋. 松嫩草甸草地碱茅群落根呼吸对土壤呼吸的贡献. *科学通报*, 2006, 24(5): 559-564.