

149-154

11527(6)

第14卷 第2期
1994年6月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 14, No. 2
Jun., 1994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

尹承军 黄德华 陈佐忠

中国科学院植物研究所, 北京, 100044
中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站

5812

A 摘要 文章报道了内蒙古典型草原羊草(*Aneurolepidium chinense*)、大针茅(*Stipa grandis*)、猪毛菜(*Salsola collina*)和芨芨草(*Aeluropus splendens*)的凋落物的分解速率与气温和降水之间的关系,建立了动态模型 $\frac{X(t)}{X(0)} = e^{-(a-bT-cP)}$ 。其中 t 表示时间, $X(t)$ 是 t 时凋落物残留量, ΣT 是累计气温, ΣP 是累计降水量。气温的增高和降水量的增大都有利于凋落物的分解。季节之间,相对分解速率(单位: $g/d \cdot g$)变化较大,7月份最大,相当于4月份、10月份的2.6—6倍之多,年度相对分解速率(单位: $g/a \cdot g$)波动不大,慢年相当于快年的96%以上。而年度绝对分解速率(单位: g/a)呈现越来越慢的趋势。据估计,分解90%的凋落物需要5.8a(羊草)、6.4a(大针茅)、6.8a(猪毛菜)和13.4a(芨芨草)。

关键词: 凋落物, 分解速率, 草原, 数学模型。

植物凋落物分解的速率,影响着凋落物地表积累的速度,也制约着氮、磷等营养元素及其他物质向土壤的归还,对土壤库的物质平衡起着重要作用,是土壤-植物亚系统物质循环中的重要环节。植物凋落物的分解过程不仅与植物材料本身有关,也与环境条件密切相关。研究其中的关系,有助于对植物材料的深入认识和对环境条件特别是气候因子在分解过程中调控作用的阐明。因此,植物凋落物分解过程的研究,有重要理论意义,并受到许多方面的重视。

模型化的方法已被许多学者用于植物凋落物分解速率的研究,被用得较多的模型有:单指数模型^[1-3],双指数模型^[9-12],渐近模型^[2]等。

近年来,学者们越来越重视环境因子对凋落物分解过程的影响,把重要的环境因子引入模型。在内蒙古草原上凋落物的分解,已被证实与环境因子有密切关系^[13]。

凋落物的分解过程是一系列包括生物、化学和物理变化的复杂过程,而重量的变化是其综合结果的反映。文章对凋落物重量的变化过程及其与气温和降水的关系予以定量化,并建立了动态模型;分析其动态特征。建立的模型实际上是对单指数模型^[6]的修改。

1 研究地区概况及研究方法

1.1 研究地区的自然条件

研究地点设在中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站的退化草场恢复演替与综合改良试验区内。本区属于大陆性气候中的温带草原气候,季节变化极其明显。试验期间(1984—1988年)的气象资料如表1。

1.2 实验材料与方法

供实验材料分别是羊草(*Aneurolepidium chinense*)、大针茅(*Stipa grandis*)、猪毛菜(*Sal*

* 本文于1992年5月23日收到,修改稿于1993年4月27日收到。

表 1 1984—1988 年气象资料

Table 1 Meteorological data

年份 Year	气温 Temperature (°C)											
	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1984	-23.8	-20.2	-12.0	3.7	11.8	15.8	18.9	17.8	9.7	2.4	-7.6	-18.5
1985	-23.5	-19.6	-12.0	2.9	11.9	17.1	18.1	16.9	8.8	3.3	-14.0	-24.9
1986	-24.9	-23.4	-9.9	1.5	11.3	17.9	16.5	15.5	8.9	0.4	-11.2	-17.6
1987	-20.4	-20.1	-12.9	4.2	10.1	15.2	18.6	16.7	11.0	2.3	-9.1	-14.3
1988	-19.1	-18.8	-10.4	1.1	10.1	16.9	-20.7	16.9	10.1	3.1	-8.0	-17.9

年份 Year	降水 Precipitation (mm)											
	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1984	1.3	3.7	7.1	17.1	23.6	112.7	43.2	61.2	21.6	10.8	0.2	1.2
1985	5.5	5.7	1.5	11.5	37.3	34.0	119.0	51.9	15.7	1.2	16.0	2.8
1986	2.6	0.6	4.2	1.5	13.1	61.0	103.7	81.4	95.8	36.5	9.9	3.7
1987	3.8	2.3	0.0	12.8	27.9	24.5	52.4	116.9	63.0	19.3	2.1	2.2
1988	0.7	4.6	1.5	5.3	32.2	29.1	112.2	74.4	31.7	11.0	0.3	8.0

sola collina) 和芨芨草 (*Achnatherum splendens*) 的凋落物。1984 年 5 月底分别采集上述植物的立枯和其当年凋落物, 去除杂质与污染物, 按种分别称取 8—10g (65°C 烘干重) 放入有编号的尼龙网袋, 尼龙袋大小为 20×25cm, 网格大小为 2×2mm, 将网袋摆放在退化羊草草原样地地面。放入样地后经历 89d, 362d, 454d, 701d, 833d, 1098d, 1191d, 1441d 和 1557d, 每种材料分别取出 5—10 个凋落物袋, 去除污染物质, 烘干, 称重, 获得凋落物残留物的重量。

1.3 建立模型

研究凋落物的失重过程及其与气温和降水的定量关系, 选取月平均气温、月平均降水量作为调节控制因子。冬季 (11—12.1—3 月), 月平均气温在 -7.6°C 以下, 降水量很小, 起分解作用的主要微生物处于冬眠状态, 淋溶作用几乎没有, 凋落物的分解速率很小, 忽略不计, 所有的分解都看作是在 4—10 月间进行的。

计算中使用了以下变量符号

t ——时间 (d), 指凋落物放置实验地后经历的时间。

T ——月平均气温 (°C)

P ——月平均降水量 (mm/d)

$X(t)$ ——凋落物在时间 t 的残留量 (g)

$-\frac{dX(t)}{dt}$ 是凋落物绝对分解速率, 用凋落物在单位时间分解的重量来衡量; $-\frac{dX(t)}{dt}/X(t)$ 是凋落物相对分解速率, 用每单位重量凋落物在单位时间内分解的重量来衡量。

假定凋落物绝对分解速率与残留量的大小成正比, 又与气温 T 、降水量 P 的函数成比例关系, 这是因为, 凋落物残留量越大, 其单位时间分解的总重量就越多; 温度和湿度的增加, 都有利于分解^[3]。于是

$$\frac{dX(t)}{dt} = -f(T, P)X(t) \quad (1)$$

$f(T, P)$ 是 T, P 的函数, 表示 T, P 对分解速率的综合影响, 其数值正好等于凋落物分解的相

对分解速率。

冬天,气温低,降水在地面上呈冻结状态,蒸发量较小,4月春天融化后,才对凋落物的分解起作用。因此,考虑4月份凋落物分解受降水的调控作用时,应当把在此期间(11—12,1—3月份)降水加算在内,才能使模型更为合理。

经过分析和计算, $f(T,P)$ 采取线性的形式,从实验数据来看,可以很好地描述凋落物分解的动态规律,并且具有较简单的形式:

$$f(T,P)=a+bT+cP \quad (2)$$

代入(1)求解,得到

$$\frac{X(t)}{X(0)} = e^{(a-b\Sigma T - c\Sigma P)} \quad (3)$$

ΣT 是从凋落物放置样地开始到时刻 t 的温度的累加(冬季除外), ΣP 是降水量的累加。

用多元回归的方法,可以算得(3)中各参数的值,见表2。

表2 模型中各个参数的值
Table 2 Parameters of the models

项 目 Item	a	b	c	复 相 关 系 数 Coefficient of multiple correlation
羊 草 <i>A. chinense</i>	0.0000905	0.0001384	0.0001396	0.99
大 针 茅 <i>S. grandis</i>	0.0006352	0.0000841	0.0000823	0.99
猪 毛 菜 <i>S. collina</i>	0.0001152	0.0001153	0.0001153	0.97
芨 芨 草 <i>A. splendens</i>	0.0000513	0.0000513	0.0000513	0.98

凋落物的相对分解速率,用每克凋落物残留量每天分解的克数来表示,在数值上等于 $f(T,P)$;参数 b 表示在降水量 P 不变时,气温每升高 1°C ,相对分解速率变化的量; c 表示在气温不变时,降水量每增加 1mm ,相对分解速率的变化。 P 和 T 有明显的相互关系,二者共同调控着分解速率的变化。

2 结果与讨论

根据所建立的动态模型和有关的气温和降水资料,可以估算出每个时刻凋落物的残留量,图1给出动态曲线。

2.1 季节动态

据公式(2),用1984—1988年各个月的平均气温($^{\circ}\text{C}/\text{d}$)和平均降水量(mm/d),分别求不同月份的5a平均值,代入公式(2)就可算出各个月份相对分解速率的大小,作为一般气候条件的估值(见图2)。

每一种材料的相对分解速率随季节起伏而波动。羊草的7月份的分解速率约是4月份的5.5倍、10月份的6倍,大针茅7月份的是4月份的2.6倍、10月份的2.8倍,猪毛菜7月份

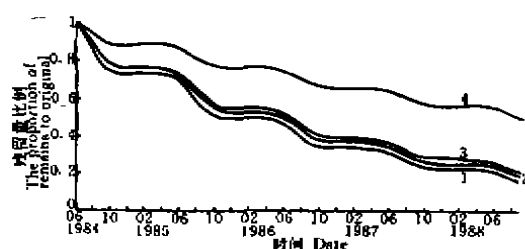


图1 4种材料残留物重量占初始时刻比例的动态曲线(年、月)

Fig. 1 The dynamic curves of remains

1. 羊草 *A. chinense*, 2. 针茅 *S. grandis*
3. 猪毛菜 *S. collina*, 4. 芨芨草 *A. splendens*

的是 4 月份的 4.9 倍、10 月份的 5.9 倍, 芨芨草 7 月份的是 4 月份的 4.9 倍、10 月份的 5.9 倍。

不同的植物材料, 在相同的气候条件下, 其分解速率呈现一定差异, 例如, 在 7 月份, 羊草凋落物的相对分解速率分别是大针茅、猪毛菜、芨芨草的 1.4 倍、1.2 倍和 2.7 倍。见图 1, 总的看来, 4 种不同材料分解的快慢顺序是: 羊草 > 大针茅 > 猪毛菜 > 芨芨草。不同的植物材料, 其成分和结构有差异。羊草和大针茅对粗蛋白、粗脂肪和粗纤维的含量较高, 相对于灰分来说, 这 3 种成分的分解较快, 因而羊草和大针茅的分解较快。

根据模型(公式(3))以及每年累积降水量与 4—10 月份累计气温就可以估算年度分解速率, 结果见表 3。降水一栏指的是从前一年 11 月到该年 10 月份的累积降水量。气候因子的 5 年平均值及由此算出的平均年度分解速率也列于表中。

表 3 年度相对分解率(%)

Table 3 Yearly relative rate of decomposition

年份 Year	ΣT	ΣP	羊 草 <i>A. chinense</i>	大 针 茅 <i>S. grandis</i>	猪 毛 菜 <i>S. collina</i>	芨 芨 草 <i>A. splendens</i>
1984	2453.9	305.4	66.9	69.4	71.0	84.0
1985	2420.2	284.7	67.4	69.7	71.4	84.3
1986	2203.7	419.2	68.1	70.2	72.1	84.6
1986	2390.7	336.5	67.2	69.6	71.2	84.1
1988	2417.8	307.0	67.2	69.6	71.2	84.1
平均 Mean	2377.3	330.6	67.4	69.7	71.4	84.2

不同年份的分解速率随气候的变化而波动。最慢的是 1986 年, 最快的是 1984 年, 波动最大的是羊草凋落物, 1986 年是 1984 年的 96%。一个年度经历春、夏、秋和冬不同季节的一个轮回周期, 气候因子的年度之间的波动不及一年内不同季节之间波动那么激烈, 年度分解速率的波动比较小。

表 4 经历一定时间后, 凋落物被分解的量(Y, %)

Table 4 The quantity of decomposition after different time

材 料 Material	t (a)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
羊 草 <i>A. chinense</i>	32.6	54.6	64.9	79.4	86.1	90.6	93.7	95.7	97.1	98.0
大 针 茅 <i>S. grandis</i>	30.3	51.4	66.1	76.4	83.5	88.5	92.0	94.4	96.1	97.3
猪 毛 菜 <i>S. collina</i>	28.6	49.0	63.6	74.0	81.4	86.8	90.5	93.2	95.2	96.6
芨 芨 草 <i>A. splendens</i>	15.7	29.0	40.2	49.6	57.5	64.2	69.8	74.6	78.6	82.0

t = 经历的时间(年)。

t = time (a)

$Y = (1 - x(t)/x(0)) \times 100\%$ —— 经历时间 t 所分解的部分占初始量的比例

Y is the proportion of the material which was decomposed after t years to the whole original.

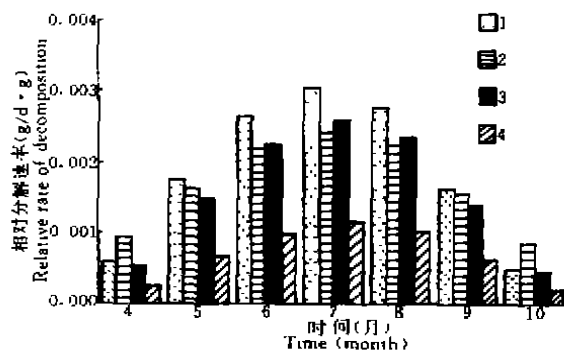


图 2 4 种材料在各月(4—10月)中的相对分解速率

Fig. 2 Relative rate of decomposition in different month

1. 羊草 *A. chinense*, 2. 针茅 *S. grandis*

3. 猪毛菜 *S. collina*, 4. 芨芨草 *A. splendens*

根据气候条件和模型,可以估算凋落物放置若干年后所被分解的量,以及分解一定的量所需要的时间。作为一般情况,这里用多年平均状态的气候条件(表 3)来计算,结果见表 4 和表 5。

表 5 分解一定比例的量所需要的时间(t)
Table 5 The time to decomposition some part of material

材 料 Material	Y (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
羊 草 <i>A. chinense</i>	0.3	0.6	0.9	1.3	1.8	2.3	3.1	4.1	5.8	7.6
大 针 茅 <i>S. grandis</i>	0.3	0.6	1.0	1.4	1.9	2.5	3.3	4.5	6.4	8.3
猪 毛 菜 <i>S. collina</i>	0.3	0.7	1.1	1.5	2.1	2.7	3.8	4.8	6.8	8.9
芨 芨 草 <i>A. splendens</i>	0.6	1.3	2.1	3.0	4.1	5.4	7.0	9.4	13.4	17.5

$Y = (1 - x(t)/x(0)) \times 100\%$ —— 分解掉的部分占初始量的比例。 t = 分解掉 Y 所需要的时间(a)。
Y is the proportion of the material which be decomposed to the whole original. t = time to decomposition
Y material (a)

从总体上看(见图 1, 表 4, 表 5), 凋落物的绝对分解速率, 在初始阶段较快, 放置野外的时间越长, 其越慢, 以羊草凋落物为例, 第 1 年分解 32.6%, 第 2 年分解 22.6%, 第 5 年分解 6.7%, 第 10 年分解掉 0.9%, 这里的百分数指的是与初始重量比较而言。

参 考 文 献

- (1) 黄德华, 陈佐忠, 孙昌在, 娜顺德力格. 荒漠草原腐钙土地带凋落物分解速率与分解过程的研究. 干旱区资源与环境, 1989, 3(2), 54—62
- (2) Howard P J A and Howard D M. Microbial decomposition of tree and shrub leaf litter. I: Weight loss and chemical composition of decomposing litter. Oikos, 1974, 25, 341—352
- (3) Jenny H, Gessel S P and Bingham F T. Comparative study of decomposition of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Science, 1949, 68, 419—432
- (4) Lang G E. Litter accumulation through ecosystem development. Dissertation. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA. 1973
- (5) Oohara H, Voskida N and Chang N K. Balance of producers and decomposers in a grassland system in Obihiro. Journal of Japanese Grassland Science 1971, 17: 7—18
- (6) Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology, 1963, 44, 322—331
- (7) Wieder R K. Decomposition of ^{14}C labeled fescue litter in Missouri strip mines. Dissertation. University of Missouri, Columbia, Missouri USA. 1978
- (8) Wieder R K, Carrel J E, Rapp J K et al. Decomposition of tall fescue and cellulose litter on surface mines and a tallgrass prairie in central Missouri, USA. J. Applied Ecology. 1983, 20, 303—321
- (9) 李家藻等. 高寒草甸生态系统研究的若干数学模型. 北京: 科学出版社. 1991, 165—181
- (10) Bunell F K, Tait D E N. Mathematical simulation models of decomposition in tundra. in: Soil organism and decomposition in tundra. Tundra Biome Steering Committee. Stockholm, Sweden. 1974, 207—225
- (11) Hunt H W. A simulation model for decomposition in grassland ecosystem. Ecology, 1977, 58, 469—484
- (12) Moorhead D L. A general model of litter decomposition in the northern chihuahuan Desert. Ecological modelling, 1991, 54, 197—219
- (13) 黄德华, 陈佐忠. 用红外线 CO_2 分析仪测定凋落物分解速率的方法. 草原生态系统研究, 第 2 集. 北京: 科学出版社. 1988, 218—223
- (14) 陈佐忠, 黄德华. 内蒙古典型草原腐钙土地带几种植物凋落物分解速率与分解过程研究. 草原生态系统研究, 第 4 集. 北京: 科学出版社. 1992, 31—39

QUANTITATIVE RELATIONSHIPS BETWEEN THE LITTER DECOMPOSITION OF FOUR SPECIES IN INNER MONGOLIA GRASSLAND AND CLIMATIC FACTORS

Yin Chengjun Huang Dehua Chen Zuozhong

(Institute of Botany, Chinese Academy of Science,
Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station,
Chinese Academy of Science, Beijing, 100044)

The relationship between the climatic factors and the litter decomposition of 4 species (*Aneurolepidium chinense*, *Stipa grandis*, *Salsola collina*, *Achnatherum splendens*) in Inner Mongolia steppe were studied by modelling. The mathematical model is $X(t)/X(0) = \exp[-(at + b\Sigma T + c\Sigma P)]$. Where t is time, $X(t)$ is the weight of the remaining litter at time t , T is air temperature, and P is precipitation. A high temperature and abundant precipitation will result in rapid decomposition. The relative rate of decomposition varied obviously in different seasons and the rate in July was found to be 2.6—6 times that in April or in October. The annual changes were small and the annual relative decomposition rate in a slowly year was not less than 96% of that in a fastly year. The changes in annual absolute decomposition rate were distinct and it becomes slower as the number of year increasing. A decomposition of 90% litter will take 5.8 years for *A. chinense*, 6.4 years for *S. grandis*, 6.8 years for *S. collina* and 13.4 years for *A. splendens* on an estimated basis.

Key words: grassland, litter, decomposition, mathematical model.