

林地枯落物最佳蓄积量确定方法的探讨*

苏宁虎

(中国科学院西北水土保持研究所, 陕西杨陵)

摘 要

本文根据最优化理论原理, 在综合考虑森林枯落物抑制土壤蒸发、控制土壤侵蚀及影响土壤矿质层温度三个主要的生态因子的前提下, 提出了确定林地枯落物最佳蓄积量的方法。研究工作中, 依此确定出华北落叶松人工林和辽东栎林地的枯落物最佳蓄积量分别为16.0吨/公顷和10.5吨/公顷。通过改变模型中的参数, 本方法可用于任何立地环境中去。

这里所说的枯落物最佳蓄积量, 是指使土壤流失量、土壤物理性蒸发量尽可能地小、使枯落物层下矿质土壤的温度尽可能高的林地枯落物蓄积量。提出确定林地枯落物最佳蓄积量有一个重要的原因, 即当林地上枯落物太少时, 其各种作用表现不明显, 而当蓄积量太多时, 虽然利于贮存营养、抑制土壤蒸发、控制林地侵蚀等, 但也会降低土壤温度、导致微生物活性减弱, 从而降低分解速率及营养释放率、不利于植物的天然更新 (R. Daubenmire 1968) 因此, 确定一个既利于抑制土壤蒸发、控制土壤侵蚀又不致过分地降低土壤温度的适宜蓄积量, 就成为一个重要的课题。

一、确定枯落物最佳蓄积量的数学模型

目前关于枯落物影响植物营养状况、林地土壤侵蚀、生物种群、植物种子更新及土壤理化性质等方面的研究报道已很多, 但对于枯落物量达到什么程度为最适宜的问题, 则缺少综合全面的阐述及确定方法。Frimble (1956) 从防止土壤侵蚀和蒸发的角度, 井上宏 (1976) 从防止土壤侵蚀的角度, 对该问题曾进行过探讨, 但其结果均只给出了数值的下限, 而没有确定数值的范围, 是一些没有严格概念和确定方法的尝试。

在前人研究的基础上, 本研究根据最优化理论原理 (Lowe, C. W., 1967), 在综合考虑林地枯落物抑制土壤蒸发、控制土壤侵蚀和影响林地土壤温度的基础上, 提出了林地枯落物最佳蓄积量的确定方法——期望系数 (Desirability Coefficient) 法。该方法假定原有 n 个指标, 每个指标各有一定的期望系数。第 i 个指标的期望系数为 d_i ($0 \leq d_i \leq 1$)。如果有 n 个指标, 就有 n 个期望系数 d_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 用这些期望系数的几何求积, 得到一个总期望系数 d

$$d = \left[\prod_{i=1}^n d_i \right]^{1/n} \quad (1)$$

通常用 $d_i = 1$ 表示第 i 个指标效果最好, $d_i = 0$ 表示第 i 个指标效果最差, 而一般期望系数

* 本项研究是孙林夫、吴钦孝两位老师指导下进行的, 曾列在第四届国际水土保持大会 (委内瑞拉, 1985年11月) 上宣读。

本文于1986年11月24日收到。

d_i 满足:

$$0 < d_i < 1 \quad (2)$$

如果某一试验使 d_i ($i=1, 2, \dots, n$) 都等于1, 则 $d=1$, 这表明总的效果最好; 反之, 有 $d_i=0$ (i 为 n 中一项), 则 $d=0$, 这表明该试验效果最差。由此可见, 只要定出 d_i ($i=1, 2, \dots, n$) 及其确定方法, 即可根据式 (1) 来判断试验结果的优劣。

本研究中, 由于考虑了枯落物对土壤蒸发的抑制能力、对土壤侵蚀的控制能力及土壤矿物质层温度三个指标, 因而式 (1) 中 $n=3$, 由此,

当

$$d = \left[\prod_{i=1}^3 d_i \right]^{1/3} = d_{\max} \quad \text{时} \quad (3)$$

$d_{\max}$ 所对应的林地枯落物蓄积量即为最佳蓄积量, 用 L_{op} 表示。其中

$$d_1 = ERI = S/S_0 \quad (4)$$

称作侵蚀速率指数,

$$d_2 = r = (E_0 - E)/E_0 \quad (5)$$

称作蒸发抑制率,

$$d_3 = T_c = T_i/T_0 \quad (6)$$

称作温度影响指数。

二、各指标值的确定

1. 侵蚀速率指数 ERI 的确定

根据 Reid 和 Love (1951) 的概念, 侵蚀速率 (Erosion rate) 是指单位面积上、单位深度的径流所产生的土壤流失量。这里的侵蚀速率指数是有枯落物覆盖的林地土壤侵蚀率 S 与同条件下无覆盖的土壤侵蚀率 S_0 之比值, 即 $ERI = S/S_0$ 。确定土壤侵蚀率有多种方法, 如小区法 (Reid 和 Love 1951)、人工模拟实验等 (村井 1975)。本研究采用人工模拟测定, 测定装置 (蒋定生 1979)* 如图 1 所示。

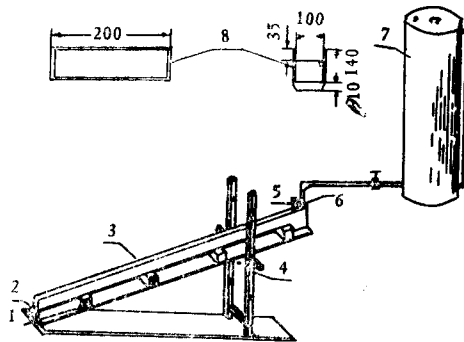


图 1 原状土冲刷器构件 (单位: 毫米)
Fig. 1 Components of Flume for Measuring Erosion Rate

1. 螺紋, 2. 装样室, 3. 流水槽, 4. 坡度调节架, 5. 稳流器, 6. 静水池, 7. 自动供水桶, 8. 取样器

* 取样器是在原图的基础上改造的。

试验所用样品, 在各林型枯落物厚度不同的地方采取。试验前, 将取样器连同所取样品 (底部垫海棉) 放在水盆中浸泡至饱和 (约 8 小时左右), 水深不能淹没样槽, 以免封闭非毛管孔、聚积空气而影响饱和 (中国科学院南京土壤研究所, 1978)。只有浸水至饱和, 才能使冲刷水量全部变为“净雨量” (形成径流的雨量), 避免由于土样湿度的差异而使测定结果出现误差。浸泡至预定时间后, 取出测定。每个样品的冲刷用水量为 2,000 立方厘米。在测定完不同厚度的枯落物下及无枯落物覆

盖的土壤侵蚀量之后, 将泥沙沉淀烘干, 求得侵蚀速率 S (公斤/公顷·毫米), 同时把供测定用的枯落物烘干, 计算蓄积量 L (吨/公顷)。

测定结果表明, 随着枯落物蓄积量 L 的增加, 土壤侵蚀速率 S 呈明显的指数规律递减。这与 Reid 和 Love (1951) 用小区法测定的结果一致。

用上述方法测得各林型的土壤侵蚀速率之后, 拟合得到 $S = S_0 \exp(-ML)$ 型方程。用最小二乘法进行回归计算, 就能求得该方程中参数 S_0 和 M 的数值, 即:

华北落叶松人工林:

$$S^* = 4.16 \exp(-0.062L), \quad r^{**} = -0.62, \quad (7)$$

辽东栎林:

$$S^* = 5.10 \exp(-0.09153L), \quad r^{**} = -0.84 \quad (8)$$

得到方程 $S = S_0 \exp(-ML)$ 之后, 就可求得侵蚀速率指数 ERI:

$$ERI = S/S_0 = \exp(-ML) \quad (9)$$

由此得到上述两林型土壤侵蚀速率指数为:

华北落叶松人工林:

$$ERI = S/S_0 = \exp(-0.062L) \quad (10)$$

辽东栎林:

$$ERI = S/S_0 = \exp(-0.09153L) \quad (11)$$

2. 蒸发抑制率 R 的测定:

蒸发抑制率由下式定义:

$$R = (E_0 - E)/E_0 \quad (12)$$

式中, E_0 、 E 分别为无枯落物及有枯落物覆盖时的土壤蒸发量 (毫米), 用蒸发器 (近岚弘荣, 1976) 测定。

采样前, 要注意选取不同厚度的枯落物, 以便取得不同数量的枯落物的蒸发抑制率。采样时, 先取掉原状枯落物层, 将矿质土壤按蒸发器大小削成一定形状, 缓慢装入蒸发器, 然后用原来的枯落物覆盖上 (注意不要露出表土), 同时留一至数个不覆盖作对照处理。

上述步骤完成后, 将枯落物蒸发器置于原地, 定时称重。待测定结束后, 将枯落物烘干, 作计算用。

测定结果表明, 枯落物蓄积量 L 与其覆盖下的土壤蒸发量之间存在紧密的线性关系, 即:

$$E = a + bL \quad (13)$$

实测资料拟合得到如下方程:

在华北落叶松人工林:

$$E = 11.10 - 0.1956L, \quad r = -0.90 \quad (14)$$

在辽东栎林:

$$E = 19.36 - 0.4297L, \quad r = -0.99 \quad (15)$$

根据 (12) — (15) 式就可以计算出蒸发抑制率 R 。即 $R = (E_0 - E)/E_0$, 且 $E = a + bL$, 则 $R = (E_0 - a + bL)/E_0$ 。理论上, $a = E_0$, 所以, 可得到:

* t 检验均在 0.01 水平上显著;

** r 系 $\ln S - L$ 间的相关系数。

$$R = bL/E_s$$

(16)

由此得到:

华北落叶松人工林地:

表 1 华北落叶松人工林地枯落物蓄积量与温度影响指数一览表

Table 1 Statistical Data of Litter Amount and Temperature for Larix Stand

测 值 表 号		20901		20908		20916		20903	
时间	统计量	T_c	L	T_c	L	T_c	L	T_c	L
7 月上旬	ΣT_c	10.169	80.04	9.8898	99.2	9.9938	140.83	9.9460	150.40
	$\bar{T}_c$	1.0169	8.004	0.9990	9.92	0.9994	14.08	0.9946	15.04
	S	0.0111	0.0438	0.00139	0.0529	0.0091	0.0780	0.0121	0.0804
	C_v	1.09%	0.55%	0.14%	0.53%	0.91%	0.55%	1.22%	0.53%
	n	10	10	10	10	10	10	10	10
7 月中旬	ΣT_c	9.9376	94.86	9.4905	237.18	9.3960	243.96	9.6929	145.71
	$\bar{T}_c$	0.9938	9.486	0.9491	23.718	0.9396	24.396	0.9693	14.57
	S	0.0457	0.0650	0.0491	0.1688	0.0531	0.1754	0.0489	0.1022
	C_v	4.60%	0.69%	5.18%	0.71%	5.65%	0.72%	5.04%	0.70%
	n	10	10	10	10	10	10	10	10
7 月下旬	ΣT_c	9.9257	92.66	9.7387	231.65	9.6654	238.23	9.7922	142.30
	$\bar{T}_c$	0.9926	9.266	0.9739	23.17	0.9665	23.823	0.9792	14.23
	S	0.04024	0.067	0.04358	0.1661	0.0428	0.1727	0.0365	0.1013
	C_v	4.10%	0.72%	4.5%	0.72%	4.40%	0.72%	3.73%	0.71%
	n	10	10	10	10	10	10	10	10
测 值 表 号		22071		x1232		x4173		13447	
时间	统计量	T_c	L	T_c	L	T_c	L	T_c	L
7 月上旬	ΣT_c	9.4376	195.15	9.6791	131.25	9.8256	163.20	10.00	0.00
	$\bar{T}_c$	0.9438	19.52	0.9679	13.125	0.9826	16.32	1.00	0.0
	S	0.036	0.1055	0.0158	0.0711	0.0157	0.1673	0.0	0.0
	C_v	2.50%	0.54%	1.60%	0.54%	1.60%	1.02%	0.0	0.0
	n	10	10	10	10	10	10	10	10
7 月中旬	ΣT_c	8.8463	491.31	9.5713	193.16	9.3297	440.46	10.00	0.0
	$\bar{T}_c$	0.8846	49.131	0.9571	19.32	0.93297	44.05	1.00	0.0
	S	0.1096	0.3539	0.0349	0.1403	0.0568	0.310	0.0	0.0
	C_v	12.41%	0.72%	3.65%	0.73%	6.10%	0.70%	0.0	0.0
	n	10	10	10	10	10	10	10	10
7 月下旬	ΣT_c	9.5824	479.81	9.6985	188.60	9.6054	430.19	10.00	0.0
	$\bar{T}_c$	0.9582	47.98	0.9699	18.86	0.9605	43.02	1.00	0.0
	S	0.0453	0.3455	0.0292	0.1358	0.0294	0.3074	0.0	0.0
	C_v	4.70%	0.72%	3.00%	0.72%	3.10%	0.71%	0.0	0.0
	n	10	10	10	10	10	10	10	10

注: ▲表中 ΣT_c 表示总和, $\bar{T}_c$ 表示平均值, S 表示标准差, C_v 表示变异系数, n 为样本数(下表同)。

$$R = 0.01762L \quad (17)$$

辽东栎林地:

$$R = 0.022195L \quad (18)$$

3. 温度影响指数 T_e 的测定:

温度影响指数是指枯落物层下矿质土壤表面温度 T_i 与同条件下无覆盖的土壤表面温度 T_o 之比值, 即: $T_e = T_i/T_o$ 。 (19)

T_i 和 T_o 是分别在不同蓄积量的枯落物下及同条件下无覆盖的土壤表面设温度表测得的。为此, 每天8:00时, 14:00时及20:00时观测记录温度, 计算出日平均值并汇总成旬平均值之后, 用于有关的计算。温度与蒸发同步进行测定, 结果见表1、表2。

表2 阴坡杂灌辽东栎林枯落物蓄积量与温度影响指数一览表

Table 2 Statistical Data of Litter Amount and Temperature for Oak Stand

项 目	测 值 表 号	61756		x2814		63243		64455		4-3087	
		T_e	L	T_e	L	T_e	L	T_e	L	T_e	L
7 月 上 旬	ΣT_e	9.4081	185.10	9.2702	193.20	9.2054	226.10	9.4321	156.20	10.00	0.0
	$\overline{T_e}$	0.9408	18.51	0.9270	19.32	0.9205	22.61	0.9432	15.62	1.00	0.0
	S	0.0358	0.4195	0.04241	0.4373	0.0462	0.5122	0.0354	0.3533	0.0	0.0
	C _r	3.81%	2.27%	4.58%	2.26%	5.02%	2.27%	3.76%	2.26%	0.0	0.0
	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
中 旬	ΣT_e	9.4374	171.70	9.3331	179.30	9.3344	209.80	9.4121	144.90	10.00	0.0
	$\overline{T_e}$	0.9437	17.17	0.9333	17.93	0.9334	20.98	0.9412	14.49	1.00	0.0
	S	0.0425	0.3892	0.0460	0.4073	0.0561	0.4744	0.0453	0.3287	0.0	0.0
	C _r	4.50%	2.27%	4.93%	2.27%	6.01%	2.26%	4.81%	2.27%	0.0	0.0
	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
下 旬	ΣT_e	9.4830	159.30	9.3685	166.40	9.3354	194.70	9.5291	134.50	10.00	0.0
	$\overline{T_e}$	0.9483	15.93	0.93685	16.64	0.9335	19.47	0.9529	13.45	1.00	0.0
	S	0.025	0.3621	0.0309	0.3771	0.0310	0.4408	0.0235	0.3037	0.0	0.0
	C _r	2.64%	2.27%	3.30%	2.27%	3.32%	2.27%	2.46%	2.26%	0.0	0.0
	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

对温度观测资料的分析表明, T_e 与L之间存在着紧密的线性关系:

$$T_e = T_i/T_o = a_1 + b_1L \quad (20)$$

拟合得到:

华北落叶松人工林地:

$$T_e = 0.9992 - 0.0035L, r = -0.99 \quad (21)$$

辽东栎林地:

$$T_e = 1.003 - 0.0016L, r = -0.78 \quad (22)$$

理论上, $a_1 = T_o/T_o = 1.0$, 即 $L = 0.0$ 时, $T_e = T_o/T_o$, 实际要求的精度也会使式(21)和(22)中 a_1 值等于1.0。

三、最佳蓄积量计算

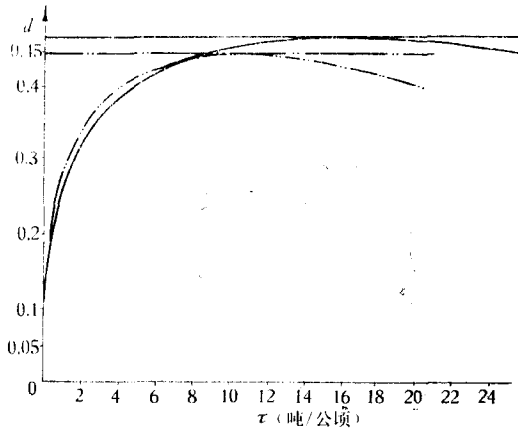


图2 枯落物蓄积量与综合指标关系图
Fig.2 Relationship between Litter Amount
L and Integrated Index d in Two Stands.

从式(3)可知,在测得 d_i 后,即可计算出 L_i 所对应的 d_i 值(含 d_{max})。

把华北落叶松人工林地及辽东栎林地枯落物最佳蓄积量计算数据(略)绘于图2。

从图2可以看出,华北落叶松人工林和辽东栎林,各有一个峰值 d_{max} ,其值分别为0.4675和0.4410,与该值所对应的枯落物蓄积量 L_{op} 分别为16.0吨/公顷和10.5吨/公顷,该值即为所求的最佳蓄积量。

综上所述,这种确定枯落物最佳蓄积量的方法,其优点在于把确定标准建立在改善土壤水分状况、提高土壤保持能力及考虑土壤温度的基础上,对确定方法给出了定量指标。

四、讨 论

1. 在确定枯落物最佳蓄积量的方法中,侵蚀速率指数的测定受季节的影响甚微,如果谈影响,那只是季节变化所引起的温度差异对水的粘滞系数的影响以及由此带来的完全可以忽略的问题。但对另外两个指标来说,则受到季节的较大影响。因此,测定时间问题值得探讨。

2. 测定期以年为单位好,还是以某一时段为好,是问题的中心。如果以年为单位,似乎在时间上有代表性,其实也不一定,若这样做也会给测定带来不便。

本次测定期选在7月份,旨在代表汛期的蒸发抑制率和温度影响指数,7月份也是一年中日平均温度最高的时期,这对于测定蒸发抑制率来说是理想的,因为“覆盖的长期效果与降雨频率和降雨量密切相关。长期无雨,则覆盖土壤的水分损失接近于无覆盖的同类土壤”。

(贝弗尔, L.D., 1983)。因此,选旱季测定蒸发抑制率是不合适的。低温期由于覆盖与无覆盖的土壤蒸发量均较小,特别在林地更是如此,因而覆盖与否蒸发量出现的不明显差异,并不真正代表枯落物对蒸发的抑制能力。所以,也不宜把测定期选在低温期。

通过分析Ebermeyer (1891)的资料可知,覆盖尽管能在夏季使土壤变冷而冬季变暖些,并使温度变幅减小,但对一年内各季节平均温度或平均温度总和来说,有无覆盖的测值几乎相等,即正负作用在年内相互抵消(见表5)。

因此可以认为,以年为单位进行测定,不论对蒸发抑制率还是温度影响指数来说,都不合适。蒸发抑制率的测定应选在土壤水充足且大气蒸发力大的时期,以7月份最为理想。由于蒸发及温度均受控于大气物理状态,而且温度又会影响蒸发,所以蒸发抑制率与温度影响指数要同步测定。

3. 本方法原则上能够考虑多指标的最优化问题,只改变式(3)中参数 n 即可。本文仅以三个指标来确定林地枯落物最佳蓄积量,对此,作者认为,由于枯落物的土壤保持能力

表 3 表面覆盖不同对温度的影响*
Table.3 Effect of Mulches on Soil Temperature

栏目	季 节	不同覆盖物下的土壤温度 (°C)				备 注
		8 年生山毛榉	8 年生枫树	草 地	裸 露 地	
1	冬 季	1.23	1.30	0.96	0.74	年变幅：表示一年内最高和最低温度之差。 年内总和：表示一年内各季节温度之和。
2	春 季	6.14	5.19	6.03	5.55	
3	夏 季	16.89	16.98	18.11	18.74	
4	秋 季	10.31	10.31	10.20	9.80	
5	平均值 (0—60CM)	8.64	8.45	8.83	8.70	
6	年变幅	28.7	25.1	35.6	36.1	
	表 面 0—60CM	21.12	20.20	23.58	24.9	
7	年内总和T	34.57	33.78	35.30	34.83	平均值M = 34.62
8	T—M	-0.05	-0.84	0.68	0.21	

* 表中 1—6 栏为Ebermeyer (1891) 在德国慕尼黑所测定的 5 年的平均值。

及对蒸发的抑制作用，涉及了林地主要水文要素的最终结果，枯落物层下矿质土壤的温度，又涉及到枯落物分解速率、营养释放速率、植物根系代谢能力及种子萌发环境等生理生态因素，所以这三个指标不仅测定较方便，而且基本上说明了问题的实质。

4. 至于用上述三个指标确定的最佳蓄积量是否也可以成为植物种子更新的最适宜的厚度问题，尽管水分、温度两个指标有所涉及，但未作研究，有待进一步探讨。

5. 对于确定最佳蓄积量的若干指标（因素）来说，其生态学意义和作用有大有小。所以，为了表明各指标（因素）的重要程度，最好进行权重分配或模糊评判，以确定各因素的重要程度。这方面需进一步研究。

6. 本文仅探讨确定枯落物最佳蓄积量的方法及有关问题，控制蓄积量大小的经营措施不在本研究范围之内。

参 考 文 献

- Daubenmire, R.: 1981, 植物群落——群落生态学教程（中译本），第227页，人民教育出版社。
- Frimble, G. R. and H. W. Lull, 1956, The role of forest humus in watershed management in New England Northwest, For. Exp. Sta. Paper 35.
- 井上宏：1978，森林状态与地表侵蚀（地被物的效果），水土保持译丛，1，P63—70。
- Lowe, C. W. 1967, A report on a simplex evolutionary operation for multiple response, Trans. Inst. Chem. Eng. 45, R3—8.
- Reid, E. H. and L. D. Love, 1951, Range-watershed conditions and recommendations for management, U.S.D. A. For. Serv. Washington, D.C.
- 村井 1975，林地的水すめで土壤保全機能22関する研究（第一报），林试研报，P274。
- 蒋定生 1979，黄土区不同利用类型土壤抗冲能力的研究，土壤通报，4，P20。
- 中国科学院南京土壤研究所 1978，土壤理化分析，第523页上海科学技术出版社。
- 近岗弘荣 1976，参观西德森林水文试验站，水利科学（日），No. 11。
- L. D., 贝弗尔，1983，土壤物理学（中译本），第413页，科学出版社。
- L. D. 贝弗尔 1965，土壤物理学（中译本），第344页，科学出版社。

AN APPROACH FOR DETERMINING OPTIMAL AMOUNT OF FOREST LITTER

Su Ninghu

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica)

A method for determining the optimal amount of litter on woodland is developed according to theory of optimization on the premise of giving integrated consideration to soil water, soil erosion and soil temperature regimals. The optimal amount of litter determined by this mathematic model for larch (*Larix principis-rupprechtii* Mayr) and oak (*Quercus liaotungensis* Koidz) stands is 16.0 tons/ha and 10.5 tons/ha respectively. The model can be used in any site by changing parameters in the model.