

# 辽东山区柞蚕场土壤侵蚀研究

曹忠杰<sup>1</sup>, 林素兰<sup>2</sup>, 贾天会<sup>2</sup>

(1 辽宁省水土保持局, 沈阳 110003; 2 辽宁省水土保持研究所, 朝阳 122000)

**摘要:** 辽宁省东部山区现有柞蚕场面积 74.5 万  $\text{hm}^2$ , 由于近年来过度开发, 管理粗放, 造成土壤侵蚀加剧, 生产力下降。为更好治理柞蚕场, 了解掌握其土壤侵蚀程度和规律, 结合全省土壤侵蚀研究, 通过野外模拟降雨试验, 着重对不同降雨、坡度、雨前土壤含水量和植被盖度条件下柞蚕场的土壤侵蚀规律, 进行了较为系统的研究, 得出 4 因子与土壤侵蚀之关系, 为有的放矢地采取相应的治理管护措施, 提供了一套科学的基础依据。

**关键词:** 辽东; 柞蚕场; 土壤侵蚀; 模拟试验

中图分类号: S 157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2001)01-0137-05

## Study on Soil Erosion of Tussah Silkworm Nursery in Mountain Area of Eastern Liaoning

CAO Zhong-jie<sup>1</sup>, LIN Su-lan<sup>2</sup>, JIA Tian-hui<sup>2</sup>

(1 Soil and Water Conservation Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110003, PRC;

2 Institute of Soil and Water Conservation of Liaoning Province, Chaoyang 122000, PRC)

**Abstract:** The area of tussah silkworm nursery in mountain area of eastern Liaoning is about 745 000  $\text{hm}^2$ , owing to overexploitation, extensive management in recent years, the soil erosion has become intensified, the productivity declined. Combining soil erosion study of whole province, through the experiment of field simulated rainfall, the law of soil erosion in tussah silkworm nursery is studied systematically under the conditions of different rainfall, slopes, soil moisture before rainfall and percentage of vegetation in order to manage the tussah silkworm nursery well, to understand and master its situation and law of soil erosion. Therefore, the relation between four factors and soil erosion is obtained. That provide a set of scientific basis for the corresponding measure of control and management.

**Key words:** eastern Liaoning; tussah silkworm nursery; soil erosion; simulated experiment

### 1 柞蚕场基本状况

辽宁山区现有柞蚕场面积 74.5 万  $\text{hm}^2$ , 集中在岫岩、凤城、庄河、宽甸、盖州、西丰、海城、普兰店、瓦房店、东港等县(市)。通过多点调查分析, 将柞蚕场大体分为以下 3 种类型:

一类蚕场: 蚕场植被盖度为 0.8 以上, 柞树密度

为 2 250 墩/ $\text{hm}^2$  左右, 树势旺盛, 柞林间生长的小灌木、小乔木、榛和胡枝子到处可见, 草本植物种类繁多, 生长繁茂, 枯落物丰富, 腐殖质层厚 3 cm 左右, 蓄水保土能力强, 生产力水平高。

二类蚕场: 植被盖度在 0.5~0.8 之间, 柞树较一类蚕场缺株 10%~20%, 柞林间植物群落以小灌

\* 收稿日期: 2000-09-01

作者简介: 曹忠杰, 男, 高级工程师, 辽宁省水土保持学会秘书。

木和半灌木占优,如榛、胡枝子、花木兰和苦参等。腐殖质层厚度不足 2 cm,土壤有一定肥力,遇大雨时有水土流失发生,生产力水平中等。

三类蚕场:蚕场植被盖度小于 0.5,柞树每  $\text{hm}^2$  不足 1 500 墩,林间植物多为低矮小草,如羊胡子苔草、马牙草和蒿类。乔、灌木稀疏,土质差,土层薄,水土流失严重,生产力水平低下。

表 1 各类蚕场面积分布表

总面积/ $\text{hm}^2$	一类蚕场		二类蚕场		三类蚕场	
	面积/ $\text{hm}^2$	占总面积 / %	面积/ $\text{hm}^2$	占总面积 / %	面积/ $\text{hm}^2$	占总面积 / %
	745200	223560	30	298080	40	223560

蚕场植物类型与经营状况调查(如表 2)结果表明,蚕场类型不同,植被状况差别明显,最终反映在蚕场退化,生产力下降。蚕场植被变化呈长期演替规律,并始终处于动态变化之中。物种的变化除受环境因素制约外,人类活动的影响非常重要,如开发利用不合理,势必导致有些种子繁殖的物种消失,根茎繁殖的植物生长不良而使蚕场退化。

表 2 蚕场植被类型与经营状况

植被类型	郁闭度	优势物种	优势物种 盖度 / %	经营状况
密闭型	0.8	榛子、花木兰、羊胡子苔草	65.5	精心管理
稀疏型	0.4	羊胡子苔草、铁杆蒿、花木兰	48.0	频繁砍伐
中间型	0.6	草、榛子、羊胡子苔草、花木兰	53.8	经营较粗放
稀疏型	0.5	草、榛子、羊胡子苔草、花木兰	47.0	早春放牧砍伐频繁

## 2 研究方法和试验设计

### 2.1 研究方法

该项研究采用本省最新研制的单喷头变雨强模拟侵蚀降雨机,进行野外小区模拟试验。试验区位于岫岩县前营水库北岸柞蚕场,具有辽东山区的典型特征。地貌属千山山脉之余脉所形成的低山丘陵区。多年平均降雨量 850 mm 左右。植被既有针阔混交林,又有落叶阔叶林,灌木草类品种繁多。土壤为薄层淋溶土,土层厚度小于 30 cm,坡度在 20~40 之间。蚕场类型为一、二、三类均有分布。

试验中根据不同因素的水平控制布设小区,小区面积  $60 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ ,四周用铁板作边界,小区下方

集流槽并与集流桶相连。降雨开始后,记录产流时间,产流后每隔 3 min 量测产流量,并取一次水样,水样经过滤后用烘干法测定含沙量。

### 2.2 试验设计

2.2.1 试验因素选择 影响蚕场土壤侵蚀的因素很多,综合有关研究成果和辽东山区蚕场具体情况,试验因素选择降雨侵蚀力( $R$ )、坡度( $S$ )、雨前土壤含水量( $W$ )和植被覆盖度( $C$ )。

2.2.2 试验水平确定 降雨:根据辽东山区雨量特点,本试验降雨因素上限雨强定为 120 mm/h,下限水平为 60 mm/h,零水平为 90 mm/h,降雨历时为 30 min。由于降雨引起土壤侵蚀是雨量和雨强二者的综合作用,因此降雨因素用降雨侵蚀力( $R$ )来表示。计算公式为:

$$R = EI_{30}/100 \quad E = eP$$

$$e = 11.897 + 8.7311 \log i \quad (i \leq 7.6 \text{ mm/h})$$

$$e = 28.33 \quad (i > 7.6 \text{ mm/h})$$

式中: $E$ ——时段降雨动能( $\text{J}/\text{m}^2$ ); $I_{30}$ ——一次降雨中最大 30 min 降雨强度( $\text{mm}/\text{h}$ ); $e$ ——单位降雨动能 [ $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm})$ ]; $P$ ——时段降雨量( $\text{mm}$ ); $i$ ——单位降雨的降雨强度( $\text{mm}/\text{h}$ )。

坡度:根据试验区的实际情况及标准地的实测结果,试验坡度上限为  $38^\circ$ ;下限  $20^\circ$ ;零水平为  $29^\circ$ 。

雨前土壤含水量:试验前用酒精燃烧法测定 0~20 cm 土层土壤含水量作为下限水平,降雨试验结束后隔 24 h 再测定 0~20 cm 土壤含水量作为上限水平。通过实测上限水平为 0.22,下限水平为 0.14,零水平为 0.18。

植被盖度:根据试验需要选择不同盖度的标准地,经过实测,试验地盖度的上限定为 0.9,下限定为 0.48,零水平为 0.69。

各因素水平确定后,将有量纲的各因素水平进行无量纲化处理,即进行自变量编码:计算公式为

$$\text{基准水平} \quad X_{i0} = (X_{i1} + X_{i2})/2$$

$$\text{变化间距} \quad \Delta i = (X_{i1} - X_{i2})/2$$

$$\text{因素编码} \quad Z_i = (X_i - X_{i0})/\Delta i$$

计算结果见表 3。

表 3 各因素水平与编码

水平	降雨侵蚀力 $Z_1$	坡度 $Z_2$	雨前土壤含水量 $Z_3$	盖度 $Z_4$
上限水平(+1)	1960	38	0.22	0.90
下限水平(-1)	490	20	0.14	0.48
零水平(CK)	1225	29	0.18	0.69
间距( $\Delta i$ )	735	9	0.04	0.21

### 2.2.3 试验设计

试验设计采用四因素二水平一次回归正交设计, 选择对应的二水平正交表, 按排好表头进行正交性变换形成试验方案。为了检验试验结果与基准水平是否吻合, 还增加两个重复的基准水平试验同时进行。

## 3 试验结果分析

### 3.1 坡面产流机理

一般情况下, 坡面产流过程可用如下水量平衡方程

$$R(t) = \int_0^t i dt - \int_0^t i_n dt - \int_0^t e dt - \int_0^t s_d dt - \int_0^t f dt$$

式中:  $i$ ——降雨强度;  $i_n$ ——植被截流率;  $e$ ——蒸散率;  $s_d$ ——填注率;  $f$ ——土壤入渗率。

上述几个因素决定着坡面是否产流或产流量的大小。当以裸地径流小区作为基本状态时, 由于不存在植物的截留作用, 且此时蒸散率和填注率较小, 可忽略不计, 于是上述方程可变为:

$$R(t) = \int_0^t i dt - \int_0^t f dt, \text{ 对该式微分可得:}$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = i - f, \text{ 由此式可看出, 裸地坡面产流主要取}$$

决于降雨强度和土壤入渗率间的大小。当  $i > f$  时, 坡面即开始产流。对于有覆盖的柞蚕场而言, 由于存在着树冠及林下植被对降雨的拦截作用, 故不能象裸地那样处理。假设柞蚕场截留率  $i_n$  为一常数, 尽管截留率随时间延长, 由于留在植被上的水体增多, 截留率有减少的趋势, 但整个过程中变幅不是太大, 且其值较雨强和土壤入渗率为小, 故可作此假设。则产流方程可表示为:

$$\frac{dR(t)}{dt} = i - f - i_n$$

由此可看出, 由于柞蚕场植被截留作用的存在, 任意时刻坡面径流率由降雨强度、土壤入渗率和植被截留率三者决定。当  $i > f + i_n$  时, 坡面产生径流, 侵蚀开始。当  $i < f + i_n$  时, 坡面径流消失, 侵蚀停止。当  $i = f + i_n$  时, 径流则为产生或消失的转折点。

### 3.2 植被盖度对土壤侵蚀的影响

3.2.1 初损雨量 降雨开始后, 林冠首先接受降雨, 林冠截留上有削减雨滴动能和吸收雨水的双重作用。雨水透过林冠到达地面后, 经过林下植被和枯落物的拦截吸收之后, 才能到达地表渗入土壤。随着降雨历时的延长, 植被与土壤被雨水饱和后, 地表开始产流。从降雨开始到地面产流, 这一段时间称为径

流起始时间, 其降雨量称之为初损雨量。在相同降雨情况下, 不同植被盖度下的初损雨量有很大差异。如表 4 可以看出, 随着植被盖度的增高, 径流起始时间越长, 初损雨量越大。当植被盖度由 48% 提高到 90% 时, 相应的初损雨量由 3.67 mm 增大到 12.5 mm。说明植被盖度越高, 推迟和减少径流的作用愈强。

表 4 植被盖度与初损雨量

植被盖度/ %	径流起始时间	初损雨量/ mm
48	3 分 40 秒	3.67
90	12 分 34 秒	12.50

3.2.2 产流、产沙过程 植被盖度不同, 产流过程有很大差异。从整个过程看, 高植被盖度下的产流过程始终低于低盖度。且植被盖度越低, 径流波动愈明显, 而植被盖度越高, 不仅径流过程波动小, 而且起点低, 呈缓上升趋势。产沙过程与产流过程基本一致。高植被盖度小区产沙过程起点低, 随着降雨历时的延长而缓慢波动上升; 而低盖度小区产沙过程起点高, 达到峰值后缓慢下降。这是由于低盖度条件下, 地表裸露, 浮土疏松, 抗蚀力差, 在降雨开始时易受雨滴击溅和径流冲刷, 水样含沙量高, 产沙量大, 到达峰值后, 当降雨继续进行, 表土形成结皮, 土壤抗蚀力提高, 水样含沙量降低, 并趋于稳定, 所以产沙量也随之减少。而高植被盖度小区, 由于植被的截留保护作用, 降雨初期产沙量小, 随着降雨历时的延长, 林冠层及枯落层的拦截吸收逐渐饱和, 林地土壤入渗率下降, 径流加大, 因而产沙量也随之缓慢上升。

3.2.3 产流、产沙量 试验结果如表 5。从中看出: 当雨强为 2.0 mm/min 时, 盖度 90% 与 48% 相比, 径流量减少 212.16 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, 冲刷量减少 2.707 t/km<sup>2</sup>; 雨强为 1.0 mm/min 时, 盖度 90% 与 48% 相比, 径流量减少 280.22 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, 冲沙量减少 2.745 t/km<sup>2</sup>。平均来看, 高盖度情况下产流量和产沙量比低盖度情况下减少 246.19 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 和 2.726 t/km<sup>2</sup>。同时还可以看出, 这种作用随着降雨强度的增大有减少的趋势。

表 5 不同盖度产流产沙量

盖度/ %	雨强/ (mm · min <sup>-1</sup> )	历时/ min	产流量/ (m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup> )	产沙量/ (t · km <sup>-2</sup> )
90	2.0	30	1352.24	5.183
48	2.0	30	1564.40	7.890
90	1.0	30	944.24	2.772
48	1.0	30	1224.46	5.517

### 3.3 雨前土壤含水量对土壤侵蚀的影响

测试结果如表 6。从表中可以看出,随土壤含水量的增大,径流量和冲沙量都明显增加。高含水量(0.22)情况下的产流量、产沙量比低含水量(0.14)情况下分别增加 435.73 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 和 2.705 t/km<sup>2</sup>。其产流产沙过程,低含水量(0.14)产流起始时间比高含水量(0.22)晚 6 min,整个过程都低于高含水量,但随降雨历时的延长,土壤含水量达到饱和后,产流过程趋于一致。产沙过程与产流过程基本相同。

表 6 不同雨前土壤含水量产流产沙量

雨前土壤含水量/%	雨强/(mm·min <sup>-1</sup> )	历时/min	产流量/(m <sup>3</sup> ·km <sup>-2</sup> )	产沙量/(t·km <sup>-2</sup> )
22	1.0	30	1676.19	7.889
14	1.0	30	1240.46	5.184

### 3.4 坡度对土壤侵蚀的影响

坡面径流起始于降雨强度大于土壤入渗强度与植被截留率之和而产生的坡面薄层水流。当降雨历时延长,地表水体增加后,在一定坡度范围内,随地面坡度的增大径流流速增加,水流冲刷能力增强,水土流失就愈加严重。测试结果见表 7,从表中可看出,当坡度从 20 增大到 38 时,蚕场坡面产流、产沙量分别增加 368.4 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 和 1.911 t/km<sup>2</sup>。产流产沙过程,低坡度始终低于高坡度。由于试验下限坡度水平 20,故从两过程来看,均为产流过程很快达到峰值,之后均没有明显的峰值出现,比较平稳。从产沙过程来看与产流过程基本一致。

表 7 不同坡度产流产沙量

坡度(°)	雨强/(mm·min <sup>-1</sup> )	历时/min	产流量/(m <sup>3</sup> ·km <sup>-2</sup> )	产沙量/(t·km <sup>-2</sup> )
38	1.0	30	1603.29	7.473
20	1.0	30	1313.35	5.600
38	2.0	30	2018.35	10.263
20	2.0	30	1571.50	8.315

## 4 柞蚕场土壤侵蚀模型

### 4.1 建模原理

一次回归试验方法是将回归分析法和正交试验法的优点有机的结合起来而形成的。其建模原理为:根据一次回归正交设计安排试验,共进行 N 次试验,试验结果为 y<sub>1</sub>、y<sub>2</sub>、……y<sub>n</sub>。则数学模型为:

$$y = b_0 + b_1x_{1i} + \dots + b_px_{pi} + \dots + b_{pq}x_px_q$$

由于试验具有正交性,其结构矩阵(或回归正交表)中任一列之和,以及任意两列乘积之和均为零。即:

$$x_{ki} = 0, \quad \sum_{i=1}^n X_{ki}x_{si} = 0$$

根据最小二乘法原理,求解模型中各项回归系数,其方程组为:

$$\begin{aligned} Nb_0 + 0 + \dots + 0 &= y \\ 0 + (X_{1i}^2)b_1 + 0 + \dots + 0 &= X_{1i}y \\ 0 + 0 + (X_{2i}^2)b_2 + 0 + \dots + 0 &= X_{2i}y \\ 0 + 0 + 0 + (X_{pi}^2)b_p + \dots + 0 &= X_{pi}y \end{aligned}$$

$$0 + 0 + 0 + \dots + (X_p X_q)^2 b_{pq} = (X_p X_q) y$$

所以:  $b_0 = \frac{1}{N}y$

$$b_p = \frac{X_{pi}}{X_{pi}^2} = \frac{1}{N} X_{pi}y$$

$$b_{pq} = \frac{X_p X_q y}{(X_p X_q)^2} = \frac{1}{N} X_p X_q y$$

由于试验对各因素进行了无量纲的编码变换,所有变量在考察区内均匀的变化,具有直接的可比性,所以回归系数绝对值的大小,直接反映了变量在试验中对指标所起作用的大小,且其符号又说明了所起作用之性质。

### 4.2 径流量回归方程的建立

按一次回归正交设计方法的统计要求,将 16 次测试结果列表,并计算出各项的回归系数与偏差平方和,得出四项影响因素 Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub>、Z<sub>3</sub>、Z<sub>4</sub> 的回归系数绝对值与偏差平方和都明显大于其它各项。经方差分析表明,影响柞蚕场径流量大小的主要因素依次是 Z<sub>1</sub>、Z<sub>3</sub>、Z<sub>4</sub>、Z<sub>2</sub>。根据各项回归系数得四因素组成的回归方程:

$$y_{\text{径流量}} = 1371.33 + 236.99 Z_1 + 120.65 Z_2 + 231.89 Z_3 - 123.10 Z_4$$

为了方程使用方便,故将方程中变量 Z<sub>i</sub> 用原变量 R、S、W、C 代换,得回归方程为:

$$y_{\text{径流量}} = 0.322R + 13.406S + 5797.25W - 586.19C - 51.44$$

回归方程建立后,与其准水平进行吻合度检验和复相关系数计算,得出该方程与基准水平吻合良好,方程很好地反映了四因子与柞蚕场径流量之间的关系。

### 4.3 土壤冲刷量回归方程的建立

同理将各次测试结果列表, 计算出各项的回归系数与偏差平方和。结果也可看出, 四因素  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $Z_4$  的回归系数绝对值和偏差平方和均明显大于其它各列。方差分析结果表明, 影响柞蚕场土壤冲刷量大小的主要因素依次是  $Z_4$ 、 $Z_1$ 、 $Z_3$ 、 $Z_2$ , 其作用均达及显著水平, 回归方程为:

$$y_{\text{冲刷量}} = 5.34 + 1.196Z_1 + 0.886Z_2 + 1.179Z_3 - 1.363Z_4$$

将式中变量  $Z_i$  用原变量  $R$ 、 $S$ 、 $W$ 、 $C$  代换, 得土壤冲刷量回归方程:

$$y_{\text{冲刷量}} = 0.0016R + 0.098S + 29.47W - 6.49C - 0.339$$

回归方程建立后, 同样与基准水平进行吻合度检验和复相关系数计算, 得出该方程与基准水平吻合良好, 并很好地反映了四因子与柞蚕场冲刷量之间的关系。

## 5 结 语

随着对柞蚕场开发力度不断加大, 水土流失问

致谢: 参加本项研究的还有: 黄毅, 李晓华同志。

题也愈渐突出, 最终导致蚕场生产力的下降以及生态环境的破坏。因此只有对频繁的经济活动所造成的水土流失进行定量分析与评价, 才能有的放矢地制定相应的治理规划和配置各种治理管护措施, 以达到保护蚕场资源, 发展蚕业生产之目的。本项研究得出了柞蚕场土壤侵蚀数学模型, 为蚕场的土壤侵蚀评价提供了可靠而实用的方法, 从而解决了蚕场土壤侵蚀量的计算问题。在应用上, 只要具备模型中各因素的基本资料, 就可以快速准确地计算出任一地块或蚕场土壤侵蚀量, 并能对其未来的趋势作出较为准确的预测, 体现了模型在应用上具有较强的科学性和实用性。由于研究中因素的选择和水平的确定, 充分考虑了辽东山区的自然地理特征及蚕场的具体情况, 且试验区的选择具有典型性和代表性, 所以该模型在整个辽东山区柞蚕场的土壤侵蚀评价上可广泛应用。

(上接第 92 页)

术均能较为显著地增加产量和水分生产率。

(2) 沟播及缩行密植等优化土壤水流动系统技

### 参考文献:

- [1] 吴景社, 李久生, 李英能, 等. 21 世纪节水农业中的高新技术重点研究领域[J]. 农业工程学报, 2000(1): 9~13.
- [2] 李英能. 节水农业新技术[M]. 江西: 江西科学技术出版社, 1998.
- [3] 王会肖, 刘昌明. 作物水分利用效率内涵及研究进展[J]. 水科学进展, 2000(1): 99~104.
- [4] 靳孟贵, 张人权, 高云福, 等. 土壤水流动系统及其应用初探[J]. 中国农村水利水电, 1998(5): 7~10.
- [5] 靳孟贵, 张人权, 高云福, 等. 土壤水资源的特性及若干指标[J]. 地质科技情报, 1997(2): 73~78.
- [6] 逢焕成. 秸秆覆盖对土壤环境及冬小麦产量状况的影响[J]. 土壤通报, 1999(4): 174~175.
- [7] 郑大玮, 马思延. 应用中子仪开展旱地农田土壤水分研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999(3).
- [8] 靳孟贵, 张人权, Ian Simmers, 等. 土壤水资源评价的研究[J]. 水利学报, 1999(8): 30~34.