

幼龄桔园套种对土壤流失的影响 及其模拟研究*

吴建军 李全胜 严力蛟 (浙江农业大学农业生态研究所, 杭州 310029)

【摘要】 在幼龄桔园套种紫云英(I)、套种(混播)黑麦草和紫云英(II)、不套种(III)及套种黑麦草(IV), 分析和模拟了下垫面性状和降雨与土壤流失量的关系及规律. 套种牧草使土壤流失量大大下降, 平均侵蚀量仅为自然裸露区的 14.7%; 各小区(折算成 hm^2) 单位降雨的土壤侵蚀量随降雨过程次序的增加而呈指数规律下降, 土壤流失量随覆盖度指数而下降.

关键词 下垫面 幼龄桔园套种 土壤侵蚀 模拟研究

Effect of intercropping on soil erosion in young citrus plantation — a simulation study. Wu Jianjun, Li Quansheng and Yan Lijiao (Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 8(2): 143~ 146.

With non intercropping as a control, milkvetch, mixture of ryegrass and milkvetch and ryegrass were respectively intercropped with young citrus trees and the relationships of underlying soil surface with rainfall and soil erosion were analyzed and simulated. The amount of eroded soil from intercropped plots was greatly reduced, being only 14.7% as compared with control on the average. The amount of eroded soil is decreased exponentially with increasing order of rain course and increasing coverage of soil surface.

Key words Underlying surface, Intercropping in young citrus plantation, Soil erosion, Simulation study.

1 引言

我国南方红壤坡地雨热同季, 自然资源丰富, 但由于不合理的开发利用给自然资源的持续利用带来了严重后果. 森林面积正在急剧下降, 南方红壤区已有 1/4 以上的山丘失去森林保护, 红壤丘陵大多荒芜^[5], 尤其对新垦坡地而言, 由于下垫面植被遭受破坏, 且经人工翻耕后, 水土流失更为严重. 有研究表明, 坡度为 5° 的幼龄茶园, 年土壤侵蚀量可达 $49.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 而坡度为 20° 时, 达到 $170 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[2]. 另外, 自然植被遭到破坏后, 土壤石质化现象也日趋严重^[3]. 因此, 土壤侵蚀和保持研究是红壤坡地开发利用过程中的一个重要课题. 下

垫面性状对水土流失和保持有着密不可分的关系, Renard 等的研究包含了下垫面性状的因子, 并从采用合理生态对策和保护措施的作用面与着眼点出发. 新垦桔园套种对土壤保持的作用分析是下垫面对红壤坡地农林系统生态环境影响研究的一个组成部分, 它对自然资源持续利用具有重要的理论和实际指导意义.

2 材料与方法

本试验设在浙江省金华市北山生态农业实验场, 属中亚热带季风气候, 年平均气温 17.3°C , 年降水量 1400 mm, 年日照 2100 h 左右. 试验区域

* 浙江省自然科学基金资助项目(391152).
1996年4月16日收稿, 9月24日接受.

为新种植的幼龄柑桔园,土壤为粘壤土红壤,含 > 0.2 mm 颗粒 16%、0.2~ 0.02 mm 颗粒26.6%、0.02~ 0.002 mm 颗粒 35.9%、< 0.002 mm 颗粒 21.5%。柑桔于 1992 年春季定植,1992 年 9 月下旬设小区试验,共设 4 个小区,小区面积为 30 m²,坡度为 8.8°。试验处理为下垫面套种紫云英(*Astragalus sinicus*) (I)、套种(混播)黑麦草(*Lolium perenne*)和紫云英(II)、自然裸露状况(III)、套种黑麦草(IV)。各小区之间用双层0.08 mm PVC 农膜隔离(地下深度约 70 cm,地面高出约 30 cm 并砌砖保护隔离),小区底边做成 120°角形成出水口,接水池为 1 m³。观察每次降雨过程的降水量,测定土壤侵蚀量,并及时清池,同时测定植被覆盖度。

3 结果与分析

3.1 下垫面和降雨量对土壤保持的影响

表 1 不同下垫面和降雨条件下的土壤侵蚀量(1993 年)

| 时 段 Periods (month, date) | 侵蚀量 Amount of soil erosion(kg·hm ⁻²) | | | | 过程降雨条件 Rainfall conditions | |
|---------------------------------|--|--------|---------|--------|----------------------------|--------------------------|
| | I | II | III | IV | 降雨总量 | 日最大降雨 |
| | | | | | Total rainfall(mm) | Max. daily rainfall (mm) |
| 3.6~ 4.4 | 4781.1 | 2662.4 | 12930.9 | 1941.8 | 196.6 | 72.6 |
| 4.5 | 128.5 | 102.1 | 357.0 | 80.2 | 16.4 | 16.4 |
| 4.6~ 29 | 544.5 | 405.3 | 717.3 | 66.8 | 98.0 | 27.4 |
| 4.30~ 5.3 | 281.4 | 201.0 | 551.8 | 50.1 | 74.5 | 51.2 |
| 5.4~ 5.7 | 61.2 | 32.9 | 129.8 | 16.7 | 50.1 | 33.6 |

I. 紫云英套种小区 Plot intercropped with *Astragalus sinicus*, II. 紫云英和黑麦草混播小区 Mixed plot intercropped with *Astragalus sinicus* and *Lolium perenne*, III. 自然裸露小区 Natural naked plot, IV. 黑麦草套种小区 Plot intercropped with *Lolium perenne*. 下同 The same below.

表达式。但是,从表 1 可以看出,即使在同一区块,侵蚀量和降雨量之间并非呈线性关系,究其原因由是不同时段土壤易蚀性存在差异。因此,即使在同一区块,只有在土壤易蚀性和其它影响土壤侵蚀因子相同条件下,降雨量越大,土壤侵蚀量越多。

3.2 单位降雨侵蚀量与土壤易蚀性

在同一区块,降雨量和侵蚀量之间并非线性关系,这与土壤易蚀性有关。在本研究分析中,为简便起见,用单位降雨强度下单位面积的土壤侵蚀量表示土壤易蚀性的大小。表 2 即为 1993 年不同处理区块的单位降雨侵蚀量。

表 1 为不同下垫面和不同降雨条件下的土壤侵蚀量。从表 1 可以看出,在 4 种不同处理,即不同下垫面的条件下,在同一降雨过程中,以自然裸露区(III区)的土壤侵蚀量最大,黑麦草种植区(IV区)的土壤侵蚀量最小。事实上,这与同步观测的下垫面覆盖度正好成反相关。显然,试验表明在坡度和土壤质地基本一致的条件下,下垫面植草和覆盖度的提高将会显著减少土壤流失。其中,黑麦草种植区平均土壤侵蚀量仅为自然裸露区的 14.7%,减少了85.3%。

许多研究表明土壤侵蚀量和过程降雨状况有着密切的关系,是引起土壤侵蚀的原动力,并提出了许多降雨侵蚀力的数学

表 2 单位降雨土壤侵蚀量(kg·hm⁻²·mm⁻¹)

| 时 段 Periods (month, date) | 土壤侵蚀量 Amount of soil erosion | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|------|------|-----|
| | I | II | III | IV |
| | | | | |
| 3.6~ 4.4 | 24.3 | 13.5 | 65.7 | 9.9 |
| 4.5 | 7.8 | 6.2 | 21.8 | 4.9 |
| 4.6~ 29 | 5.6 | 4.1 | 7.3 | 0.7 |
| 4.30~ 5.3 | 3.8 | 2.7 | 7.4 | 0.7 |
| 5.4~ 7 | 1.2 | 0.7 | 2.6 | 0.3 |

从表 1 可见,5 个降雨过程的降雨总量依次为 196.6、16.4、98.0、74.5 和 50.1 mm;日最大降雨量依次为 72.6、16.4、27.4、51.2 和 33.6 mm。由此可见,单位降雨侵蚀量与过程降雨总量和日最大降雨量

不呈线性关系. 这是因为晚秋或初冬翻耕播种后, 土层相对较为松散, 具体表现为单位降雨侵蚀量较大, 即土壤易蚀性较大. 但随着降雨过程和降雨次数的增加, 松散表层被逐渐侵蚀, 接着出现湿而密实的土层, 使降水在土层上的分布均匀化, 降低了土层厚度, 从而使冲击力下降, 减小了同一坡面上单位降雨的侵蚀量, 即土壤易蚀性下降. 因此, 对于坡地开发利用, 为了减少土壤侵蚀量, 应尽可能减少土壤翻耕次数, 甚至免耕. 为此, 有学者提出“最少耕作法”^[1,4].

3.3 不同降雨过程与土壤易蚀性模拟

对不同降雨过程与土壤易蚀性的模拟研究表明, 一次翻耕后, 土壤易蚀性随降雨过程次序的变化呈指数规律下降. I 到 IV 小区的数学表达式分别为:

$$y_1 = 41.26\exp(-0.673x)$$
$$r = -0.9731^{**} \tag{1}$$

$$y_2 = 27.66\exp(-0.675x)$$
$$r = -0.9718^{**} \tag{2}$$

$$y_3 = 110.61\exp(-0.754x)$$
$$r = -0.9688^{**} \tag{3}$$

$$y_4 = 21.54\exp(-0.893x)$$
$$r = -0.9579^{**} \tag{4}$$

式中 $y_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 为 I ~ IV 小区的土壤易蚀性, 即不同降雨过程中单位降雨强度和单位面积的土壤流失量, $x (x = 1, 2, 3, 4, 5)$ 代表第 1 到第 5 个降雨过程.

分别对(1)~(4)式求导以计算土壤易蚀性随降雨过程次序的下降速率, 其数学表达式为:

$$y_1' = -27.77\exp(-0.673x) \tag{5}$$

$$y_2' = -18.67\exp(-0.675x) \tag{6}$$

$$y_3' = -83.40\exp(-0.754x) \tag{7}$$

$$y_4' = -19.24\exp(-0.893x) \tag{8}$$

表3 为根据(5)~(8)式计算的各试验区不同降雨过程的土壤流失速率, 表明土

壤易蚀性的下降速率随降雨过程次序迅速减小. 事实上, 土壤易蚀性随降雨过程次序的增加而逐渐趋于稳定, 4 个试验区的趋势一致(图1).

表3 单位降雨土壤侵蚀量随降雨过程次序的下降速率
Table 3 Reduction rate of soil erosion per unit rainfall with the order of rainfall periods

| x | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| y_1' | -14.84 | -7.23 | -3.69 | -1.88 | -0.96 |
| y_2' | -10.18 | -4.84 | -2.46 | -1.25 | -0.64 |
| y_3' | -39.99 | -18.46 | -8.69 | -4.09 | -1.92 |
| y_4' | -8.77 | -3.23 | -1.32 | -0.54 | -0.22 |

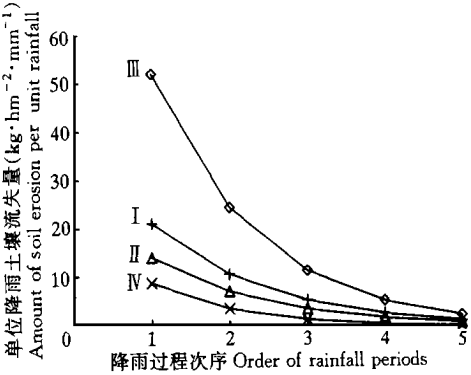


图1 单位降雨土壤流失量随降雨过程次序的变化
Fig.1 Changes of amount of soil erosion per unit rainfall with the order of rainfall periods.

结果表明, 翻耕后的土壤最易侵蚀, 应特别注意保护. 因此, 实践中应尽量减少坡地果园的翻耕次数, 特别要避免在多雨和大雨季节翻耕, 以减少水土流失量. 有条件时, 应提倡翻耕后覆草或秸秆, 以减轻甚或消除翻耕后前几个降雨过程引起的大量水土流失.

3.4 土壤面覆盖度与土壤侵蚀量

前已述及, 土壤侵蚀量和下垫面植草(即土壤覆盖)密切相关. 表4 为不同下垫面的植被覆盖度及土壤侵蚀量和自然裸露对照区块土壤侵蚀量的比率. 根据土壤侵蚀流失比率和每次实测不同下垫面的覆盖度, 建立了统计估算方程:

$$P = \exp(-1.94m) \quad r = 0.9503^{**} \tag{9}$$

式中, P 为土壤侵蚀流失比率; m 为下垫面

表 4 植被覆盖度与不同下垫面土壤侵蚀量流失比率
Table 4 Vegetation cover and ratio of soil erosion of treated underlying surface to control

| 时 段 Periods (month. date) | 植被覆盖度 Vegetation cover (%) | | | | 土壤侵蚀量流失比率 Ratio of soil erosion of treated underlying surface to control | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|----|-----|-----|---|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| 3. 6~ 4. 4 | 50 | 80 | 0 | 100 | 0. 37 | 0. 21 | 1. 00 | 0. 15 |
| 4. 5 | 53 | 55 | 0 | 70 | 0. 36 | 0. 29 | 1. 00 | 0. 22 |
| 4. 6~ 29 | 25 | 35 | 5 | 100 | 0. 76 | 0. 56 | 1. 00 | 0. 09 |
| 4. 30~ 5. 3 | 25 | 50 | 5 | 100 | 0. 51 | 0. 36 | 1. 00 | 0. 09 |
| 5. 4~ 7 | 25 | 70 | 5 | 100 | 0. 47 | 0. 25 | 1. 00 | 0. 13 |
| 平均 | | | | | 0. 49 | 0. 33 | 1. 00 | 0. 14 |
| Average | | | | | | | | |

自然裸露对照小区流失比率约定为 1.00 Ratio of natural naked control plot is defined as 1.00.

覆盖度.

从上述分析可以看出, 下垫面覆盖度和土壤侵蚀流失比率之间存在指数关系, 且相关极显著. 即在自然环境条件和本试验区域相似的情况下, 如果自然裸露区的土壤侵蚀量为 S_0 , 那么在下垫面覆盖度为 m 条件下的土壤侵蚀量(S)为:

$$S = PS_0 = \exp(-1.94m) S_0 \quad (10)$$

这就为合理估算类似区域在不同覆盖状况下的土壤侵蚀总量提供了方法, 也为提出有效的防治对策奠定了理论基础.

4 讨 论

4.1 水土流失对土壤肥力的影响

水土流失是我国南方红壤丘陵开发利用中一个严重的生态问题. 它使大量土壤有机质和养分损失, 致使流失地土壤肥力下降. 在本研究中, 流失土壤含有机质 1. 15%, 全 N 0. 16%, 速效 P 25. 78 mg·kg⁻¹, 速效 K 388. 13 mg·kg⁻¹, 随土壤流失的有机质、全 N、速效 P、速效 K 分别达 11. 5 kg·t⁻¹、1. 6 kg·t⁻¹、25. 78 g·t⁻¹和 388. 13 g·t⁻¹. 长此以往必然导致土壤肥力耗竭. 严重的水土流失还会导致土壤石质化而失去利用价值, 并将造成下游河道淤塞、水体富营养化等一系列生态问题.

另一方面, 我国南方人口密度高, 耕地

资源十分有限, 而可开发利用的红壤丘陵坡地面积很大, 贮藏着巨大的潜力. 但若在开发利用过程中对水土流失问题不能给予足够的重视, 将直接影响土壤肥力的保持和影响资源的可持续利用.

4.2 合理耕作, 减少水土流失

套种研究表明, 改善下垫面性状对减轻水土流失具有重要的作用. 结合有关学者的研究结果, 认为可以通过下述途径以减少或达到防治土壤侵蚀的目的: 一是选用合理的种植制度, 适当提高复种指数, 即尽量减少坡地下垫面裸露的机会, 并设计针对不同种类土壤的防蚀轮作制. 二是经济林果园的合理间作套种, 以减少下垫面裸露的比例, 尤其在新开垦种植的经济林果园内更应采用合理的套种措施, 本研究和其他学者的研究都证实了这一点^[6, 8]. 三是选用合理的土壤耕作法和提倡翻耕后覆盖. 适当少耕或免耕, 翻耕后覆盖, 都有利于减少土壤流失. 四是选用合理的种植方式, 应实行等高种植, 避免顺坡种植, 条件允许时尽可能构筑水平梯田. 等高种植和水平梯田能有效地减少水土流失.

参考文献

1 方学敏. 1993. 通用土壤流失方程式研究进展. 中国水土保持, (8): 22~ 24.
2 王晓萍. 1990. 茶园土壤地力退化现状及其防治途径. 见: 全国土地退化防治学术讨论会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 355~ 363.
3 林昌虎. 1990. 贵州喀斯特山地石化初探. 见: 全国土地退化防治学术讨论会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 318~ 320.
4 罗守德. 1993. 免耕秸秆覆盖对玉米根系的影响. 山西农业科学, 21(1): 14~ 18.
5 赵其国、石华等. 1992. 红壤地区农业资源综合发展战备与对策. 见: 红壤生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1~ 13.
6 蔡 庆、唐克丽. 1992. 植被对土壤侵蚀影响的动态分析. 水土保持学报, 6(2): 47~ 51.
7 Renard, K. G. *et al.*. 1991. Revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1): 30~ 33.
8 Zuzel, J. F. 1993. Effects of straw mulch on runoff and erosion from small agricultural plots in North eastern Oregon. Soil Science, 156(2): 111~ 117.