

# 不同土地利用产流产沙与降雨特征的关系

彭文英, 张科利

(北京师范大学 资源与环境科学系, 北京 100875)

**摘要:** 为了明确土地利用对水资源的影响, 必须明确不同土地利用的产流产沙特征, 尤其是要研究与降雨特征的关系。通过对陕西省安塞县降雨侵蚀资料的分析, 研究了不同土地利用方式产流产沙随降雨量、降雨强度和降雨侵蚀力变化的规律。不同农作的侵蚀性起始产流雨量雨强差异不明显, 不同土地利用产流产沙随降雨特征的变化具有明显的分段性, 产流产沙及减流减沙主要是在  $I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}$ ,  $P \geq 50 \text{ mm}$  时段内产生, 它们的差异也主要发生在该时段内。同时, 不同土地利用的产流产沙和减流减沙还具有明显的季节性。

**关键词:** 土地利用; 降雨特征; 产流产沙

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)04-0025-05

中图分类号: S157.4

## Relationship of Runoff and Sediment with Rainfall Characteristics in Different Land use

PENG Wen-ying, ZHANG Ke-li

(Department of Resources and Environment Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, PRC)

**Abstract:** In order to analyze the influence of land use on soil and water resources, the character of runoff and sediment in different land use should be studied, particularly the relation with rainfall character. The laws of runoff and sediment in different land use varying with rainfall, intensity and erosivity of rainstorm, are pointed out, and their subsection character are laid stress on. Runoff and sediment, and their reduction in different land use all mainly occur in  $I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}$ ,  $P \geq 50 \text{ mm}$ , as well as their differences. Meantime, runoff and sediment and their reduction in different land use showed a seasonal characteristic.

**Keywords:** land use; rainfall character; runoff and sediment

水土流失是黄土高原的主要环境问题, 尽管影响水土流失的因素有气候、地形、土壤、生物、人为活动等, 但黄土高原水土流失加重的主要原因是人类对土地的不合理利用。因此, 研究土地利用方式与产流产沙的关系对治理水土流失十分重要。几十年来许多研究者作了大量工作, 王万忠按农、林、草 3 种土地利用类型研究了黄土地区降雨特性与土壤流失的关系<sup>[1]</sup>; 侯喜禄等对黄土丘陵沟壑区植被减沙效益以及森林保持水土效益及其机理做了具体研究<sup>[2-3]</sup>; 张兴昌、卢宗凡对不同农作物水土保持效应进行了分析和数值化综合评价, 对其效益大小进行了排序<sup>[4]</sup>; 范兴科、蒋定生等对黄土高原坡耕地实施水土保持措施后的蓄水拦沙效益进行了人工模拟试验研究, 评价了不同水土保持措施蓄水拦沙效果<sup>[5]</sup>。此外, 还有许多关于不同土地利用产流产沙特征和减流减沙效益方面的研究。这些研究对指导水土保持和土地利

用做出了重要贡献, 但是, 对不同土地利用方式的产流产沙规律注意不多, 尤其是对不同农作的产流产沙与降雨特征关系研究还不够深入。而在进行流域土地利用对水资源的影响评价时, 需要明确每种土地利用的产流产沙特征, 把握其对径流、泥沙的贡献情况, 以提高评价土地利用对水资源的影响精度。本文利用布设在陕西省安塞县农地径流小区和林草径流小区资料, 分析了不同土地利用方式下产流产沙与降雨特征的关系, 目的在于为坡面产流产沙及小流域水资源评价提供依据。

### 1 不同利用坡面侵蚀性初始产流雨量及雨强

地表产流主要与 2 种因素有关, 一是降雨, 二是下垫面。下垫面特征是由地形、土壤、地表覆盖等决定的。在同一坡面, 同一场降雨下, 地表产流主要受地表覆盖不同的影响。而地表覆盖差异主要是土地

利用不同的反映。覆盖度不同的土地利用方式在拦截雨水和入渗等方面有很大差异,这种差异必然引起产流和产沙方面的差异,主要体现在起始产流降雨和产流产沙随降雨变化的差异上。在研究土地利用对水土资源的影响中,往往要动态的模拟不同土地利用下的产流产沙规律,尤其是不同土地利用的产流、汇流以及输沙规律,这样才能提高模拟模型的精确性。因此,有必要研究不同土地利用侵蚀性初始产流的雨量雨强,明确不同土地利用的初始产流雨量雨强差异。谢云等用土壤侵蚀损失率提出了动态雨量标准和时段雨强标准<sup>[6]</sup>,这里称为侵蚀性初始产流的雨量雨强。我们用安塞县 1987—1992 年的 49 场降雨侵蚀资料,按照文献[6]的方法,假设在总土壤侵蚀量中,可允许土壤侵蚀损失率为 1%,计算了不同农作的侵蚀性初始产流的雨量雨强,结果如表 1 所示。表明不同农作的雨量雨强有差异,但是,差异不明显,这可能与农作的生长情况和暴雨的季节差异有关。在雨季初期,4—6 月作物生长均较差,此时的覆盖对产流产沙影响不显著所致。但谷子的初始产流雨量雨强较大,这可能与谷子耕作垄沟有关,垄沟的存在拦蓄了初期雨水,阻止了产流。

表 1 不同农作的初始产流雨量雨强

| 土地利用 | 年均侵蚀量/<br>( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ) | 雨量/<br>mm | 雨强/<br>( $mm \cdot min^{-1}$ ) |
|------|--|-----------|--------------------------------|
| 裸地   | 12591.2                                      | 11.1      | 0.200                          |
| 荞麦   | 10271.5                                      | 12.1      | 0.197                          |
| 谷子   | 7569.1                                       | 12.0      | 0.219                          |
| 黄豆   | 7381.1                                       | 11.3      | 0.196                          |
| 马铃薯  | 6846.3                                       | 11.4      | 0.196                          |

## 2 不同土地利用产流产沙随降雨特征的变化

降雨特征是指每次降雨的雨型、雨量和雨强特征。大量研究已表明侵蚀量与最大 30 min 雨强关系最好<sup>[7]</sup>,所以用最大 30 min 雨强  $I_{30}$  来研究雨强与侵蚀的关系。降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能

力,常用降雨侵蚀力因子  $R$  来评价,  $R = EI_{30}$  ( $E$  为降雨动能)。江忠善等在降雨特征与水土流失关系的研究中认为,在黄土高原可以用  $PI_{30}$  ( $P$  为降雨量)代替  $EI_{30}$ <sup>[8]</sup>,故用  $PI_{30}$  表示降雨侵蚀力。本文用安塞茶坊农牧径流小区 49 场降雨侵蚀资料、安塞县南沟林草径流小区 1984—1989 年 15 场降雨侵蚀资料、安塞纸坊沟林草径流小区 1987—1991 年 11 场降雨侵蚀资料,分析、总结了不同土地利用方式下产流产沙与降雨特征的关系。

### 2.1 产流产沙趋势随降雨变化有明显阶段性

安塞地区不同土地利用径流量和侵蚀量随降雨特征的变化表明,不同土地利用的产流产沙与降雨量和雨强相关性较差,与  $PI_{30}$  相关性较好,相关系数在 0.9 以上。但是,不同土地利用的产流产沙随  $P, I_{30}$  的变化趋势较一致,雨强和雨量增大到一定值时其径流量和侵蚀量往往会出现量的激增。

当  $P < 20$  mm 时,不同农作侵蚀模数所占比例普遍为 3%~4%,径流量所占比例也在 10%左右,平均侵蚀模数除裸地在 100 t/( $km^2 \cdot a$ ) 以上外,其它都在 100 t/ $km^2$  以下,平均径流量也不到 2 mm,年均侵蚀模数裸地不到 500 t/( $km^2 \cdot a$ ),侵蚀强度属于弱度侵蚀,其它不到 100 t/( $km^2 \cdot a$ );当  $20 \leq P < 50$  mm 时,其侵蚀所占比例上升到 30% 以上,平均侵蚀模数裸地与荞麦在 800 t/ $km^2$  以上,其它在 500~600 t/ $km^2$ ,年均侵蚀模数裸地与荞麦在 3500 t/( $km^2 \cdot a$ ) 以上,其它在 2000~2500 t/( $km^2 \cdot a$ ),属于中度侵蚀; $P \geq 50$  mm 时,径流量所占比例几乎在 45% 以上,侵蚀模数比例也几乎在 60% 以上,平均径流量已达 25 mm 以上,最大达 32 mm 以上,平均侵蚀模数都在 6000 t/( $km^2 \cdot a$ ) 以上,荞麦近 10000 t/( $km^2 \cdot a$ ),裸地达 10000 t/( $km^2 \cdot a$ ) 以上,属于强度侵蚀和剧烈侵蚀。表 2 表明茶坊不同农作类型的侵蚀量随雨量分级呈跳跃式变化情况。从  $P < 20, 20 \leq P < 50$  到  $P \geq 50$  mm,不同农作类型的侵蚀从弱度上升到轻度、中度,再上升到强度侵蚀,3 段雨量分别为低、中、高雨量。

表 2 不同土地利用侵蚀随雨量分级的情况

| 土地利用类型 | $P < 20$ mm |        |        | $20 \leq P < 50$ mm |        |        | $P \geq 50$ mm |        |         |
|--------|-------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|----------------|--------|---------|
|        | 占总侵蚀量/%     | 年均侵蚀模数 | 次均侵蚀模数 | 占总侵蚀量/%             | 年均侵蚀模数 | 次均侵蚀模数 | 占总侵蚀量/%        | 年均侵蚀模数 | 次均侵蚀模数  |
| 裸地     | 3.8         | 481.2  | 144.4  | 31.6                | 3978.2 | 954.8  | 64.6           | 8131.4 | 12197.7 |
| 荞麦     | 3.0         | 305.2  | 91.6   | 35.5                | 3643.2 | 874.4  | 61.6           | 6323.1 | 9484.7  |
| 谷子     | 2.9         | 223.1  | 66.9   | 30.8                | 2330.6 | 559.3  | 66.3           | 5014.9 | 7522.4  |
| 黄豆     | 4.1         | 300.9  | 90.3   | 33.4                | 2461.9 | 590.9  | 62.6           | 4618.3 | 6927.4  |
| 马铃薯    | 4.1         | 280.5  | 84.1   | 36.4                | 2492.8 | 598.3  | 59.5           | 4073.0 | 6109.5  |
| 红豆草    | 3.2         | 72.3   | 21.7   | 42.0                | 96.2   | 231.0  | 54.9           | 1258.2 | 1887.3  |
| 沙打旺    | 6.5         | 79.7   | 23.9   | 68.1                | 836.3  | 200.7  | 25.4           | 311.6  | 623.1   |

注: ① 年均侵蚀模数单位为( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ); ② 次均侵蚀模数单位为( $t \cdot km^{-2}$ )。

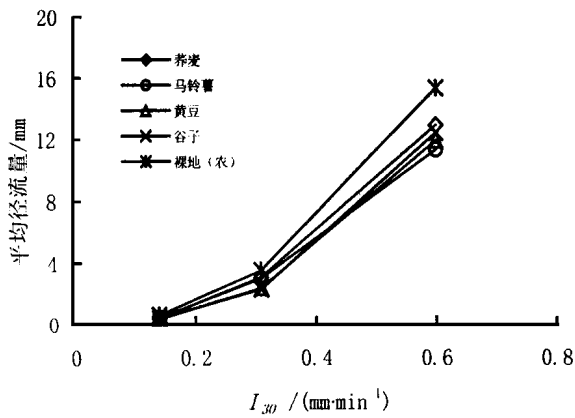


图1 雨强分级平均径流量变化

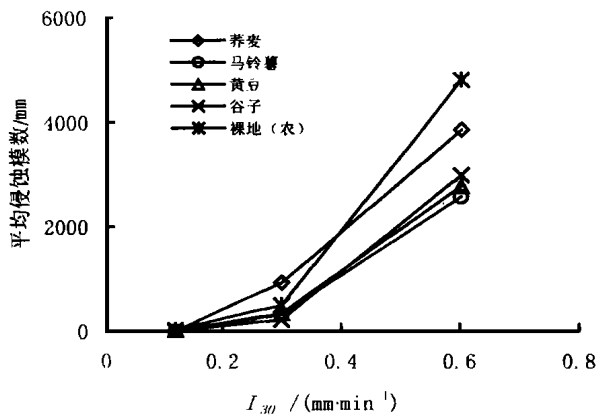


图2 雨强分级平均侵蚀模数变化

图1,图2表明,径流量、侵蚀量随雨强分级也呈跳跃式变化。当 $I_{30} < 20 \text{ mm/min}$ 时,不同农作径流量和侵蚀量所占比例不到1%,平均径流量不到1 mm,平均侵蚀模数不到 $10 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,裸地近 $30 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,年均侵蚀模数在 $20 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 左右,裸地近 $100 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,侵蚀强度很弱;当 $0.2 \leq I_{30} < 0.4 \text{ mm/min}$ 时,其径流量所占比例高的上升到20%左右,低的在15%左右,侵蚀量比例在10%左右,平均径流量上升到3 mm,平均侵蚀模数荞麦与裸地相近,在 $500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 左右,年均侵蚀模数裸地与荞麦都在 $1000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上,其它不到 $900 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,属中度侵蚀。 $I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}$ 时,其径流量所占比例急增到75%以上,侵蚀模数占90%左右,平均径流量均在10 mm以上,平均侵蚀模数在 $2500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上,在荞麦地近 $4000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,裸地近 $5000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,裸地、荞麦年均侵蚀模数均在 $10000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 左右,属于剧烈侵蚀,谷子、黄豆、马铃薯在 $6000 \sim 7000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,属于强度侵蚀。从 $I_{30} < 20, 0.2 \leq I_{30} < 0.4$ 到 $I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}$ ,不同农作类型的侵蚀也从弱度侵蚀跳到中度侵蚀,再急增到强

度侵蚀,3段雨强称为低、中、高雨强。

以上分析表明,不同农作产流产沙随雨强雨量的变化都具有明显的分段性,按雨强和雨量可分别划分为: $I_{30} < 0.2, 0.2 \leq I_{30} < 0.4, I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}$ , $P < 20, 20 \leq P < 50, P \geq 50 \text{ mm}$ 。在 $I_{30} < 0.2 \text{ mm/min}, P < 20 \text{ mm}$ 时,产流产沙很弱,侵蚀对土地生产力影响很小;在 $I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}, P \geq 50 \text{ mm}$ 时产流产沙很强,侵蚀严重威胁土地生产力。所以可以把20 mm降雨量和 $0.2 \text{ mm/min}$ 最大30 min雨强作为不同土地利用的危害性雨量雨强基准,把大于50 mm降雨量和大于 $0.4 \text{ mm/min}$ 最大30 min雨强作为最具危害性的雨量雨强。安塞茶坊1987—1992年间, $I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}$ 的降雨有14场, $P \geq 50 \text{ mm}$ 的降雨有4场,这是引起侵蚀的主要降雨。防治水土流失主要应针对此时的降雨特征进行。安塞县其它林草径流小区分析也具有如此结果,只是产流产沙量不同。

## 2.2 产流特征随降雨变化的差异

不同的土地利用有不同的地面覆盖状况,其土壤含水量也不同,故其产流时间和产流大小以及随降雨的变化也有差异。安塞县纸坊沟不同土地利用的总径流深是按农、草、林由大到小分布,农地比草地大近30倍,草地比林地大1倍多。 $PI_{30} < 50$ 时( $P$ 单位为mm, $I_{30}$ 为 $\text{mm/min}$ ),总径流深由大到小是苜蓿、沙棘杨树、农地、红豆草、沙打旺、刺槐、沙棘油松、侧柏紫穗槐、沙棘,农、草、林分异不明显,最大径流深与最小径流深相差不到4 mm。 $PI_{30} = 218.4$ 时,农地径流深为23.12 mm,苜蓿、红豆草分别为19.03 mm,12.81 mm,沙棘杨树、沙打旺不到9 mm,而刺槐、沙棘不到2 mm,农地比沙棘径流深大17.35倍。随降雨侵蚀力的增大,农地产流增长速度最快,其次是草地,林地增长最慢。而且,农、草、林产流差异主要是在高降雨侵蚀力下产生的。

农地中,不同农作物产流随降雨变化也有一定差异。 $PI_{30} < 50$ 时,裸地的径流量比最小的谷子大0.28倍,荞麦比谷子大0.07倍。 $PI_{30}$ 为129.9,径流量最大的裸地比最小的马铃薯大0.36倍,荞麦比马铃薯大0.25倍,随 $PI_{30}$ 的增大,裸地径流量增长最快,其次是荞麦、谷子,马铃薯最小。

## 2.3 产沙特征随降雨变化的差异

不同作物产流差异必然导致产沙差异。当 $P < 20 \text{ mm}$ 时,平均侵蚀模数农地比苜蓿、沙棘、杨树、柠条、沙打旺均小,当 $P \geq 20 \text{ mm}$ 时,农地平均侵蚀模数迅速上升到第一, $P \geq 50 \text{ mm}$ 时,平均侵蚀模数最大的农地比红豆草大2.7倍,比刺槐大48.5倍,红豆草比刺槐大12.7倍。 $I_{30} < 0.2 \text{ mm/min}$ 时,农地侵蚀

量比苜蓿、红豆草、柠条、沙棘杨树都小,当  $I_{30} \geq 0.2$  mm/min 时,农地平均侵蚀模数增长为第一,  $I_{30} \geq 0.4$  mm/min 时,平均侵蚀模数农地比最小的刺槐高 4 094.9 t/km<sup>2</sup>,比苜蓿高 3 026.4 t/km<sup>2</sup>,苜蓿比刺槐

高 1 068.5 t/(km<sup>2</sup>·a), (表 3, 4)。随雨量雨强的增大,产沙增长速度明显是农地大于草地,草地大于林地。农地在小雨时产沙较弱,随雨量雨强的增大,作物作用越来越弱,侵蚀强度也越来越大。

表 3 雨量分级与农、林、草地平均侵蚀模数

| 雨量/mm            | 刺槐    | 沙棘杨树    | 柠条      | 侧柏紫穗槐   | 沙打旺   | 红豆草     | 苜蓿      | 农地      |
|------------------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|
| $P < 20$         | 18.9  | 51.5    | 54.9    | 2.5     | 39.4  | 22.6    | 59.1    | 36.4    |
| $20 < P \leq 50$ | 20.8  | 398.2   | 258.6   | 732.2   | 182.6 | 624.6   | 483.9   | 1 632.2 |
| $P \geq 50$      | 114.5 | 1 486.8 | 1 481.9 | 1 350.3 | 279.5 | 1 538.2 | 1 519.7 | 5 669.5 |

表 4 雨强分级与农、林、草地平均侵蚀模数

| 雨强/(mm·min <sup>-1</sup> ) | 刺槐   | 沙棘杨树    | 柠条    | 侧柏紫穗槐   | 沙打旺   | 红豆草     | 苜蓿      | 农地      |
|----------------------------|------|---------|-------|---------|-------|---------|---------|---------|
| $I_{30} < 0.2$             | 32.6 | 17.8    | 20.7  | —       | 15.0  | 24.3    | 21.1    | 16.3    |
| $0.2 < I_{30} \leq 0.4$    | 48.3 | 101.2   | 134.2 | 35.6    | 91.1  | 66.3    | 90.3    | 77.6    |
| $I_{30} \geq 0.4$          | 60.0 | 1 053.3 | 957.6 | 1 175.8 | 239.7 | 1 213.7 | 1 128.5 | 4 154.9 |

不同农作物的播种时间、播种方式、植物长势等都有差异,造成其产沙差异。图 3 所示,为了清晰地看出几种农作的侵蚀模数随  $PI_{30}$  (二者相关系数达 0.92 以上) 的变化,把  $PI_{30} < 40$  用几个平均值来代替。随  $PI_{30}$  增大,侵蚀量增长速度不一样,由大到小分别是裸地、荞麦、谷子、黄豆、马铃薯,从  $PI_{30} < 20$  到  $PI_{30} \geq 20$ ,平均侵蚀模数增长倍数最大的是谷子,为 27.6 倍,其次是荞麦,为 24.2 倍,但荞麦产沙量比谷子大。不同农地的侵蚀量有 55% 以上集中在  $PI_{30} > 100$  的 2 场降雨中。所以,产沙差异主要出现在大雨时段内。表 5 看出不同雨强雨量段内各农作平均侵蚀模数排序差异。裸地与荞麦在各段内侵蚀都大,谷子在低雨强雨量下,产沙较弱,随雨强雨量增大,产

沙迅速增大。可见,在分析不同农作物的水保效应时,最好考虑降雨特性的差异。

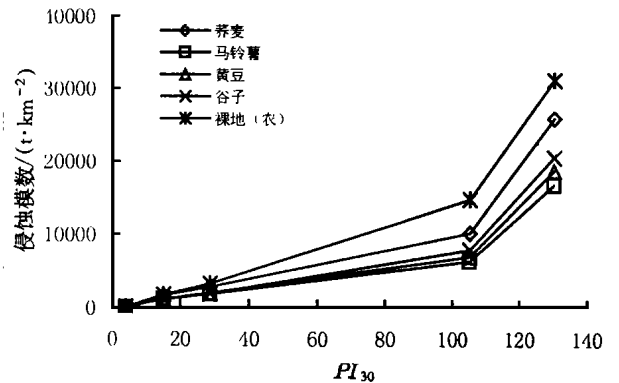


图 3 农地侵蚀模数与  $PI_{30}$  关系

表 5 不同雨强雨量段内各农作平均侵蚀模数排序

| 雨强/(mm·min <sup>-1</sup> ) | 平均侵蚀模数排序        | 雨量/mm            | 平均侵蚀模数排序        |
|----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| $I_{30} < 0.2$             | 裸地、黄豆、荞麦、谷子、马铃薯 | $P < 20$         | 裸地、荞麦、黄豆、马铃薯、谷子 |
| $0.2 \leq I_{30} < 0.4$    | 裸地、荞麦、黄豆、马铃薯、谷子 | $20 \leq P < 50$ | 裸地、荞麦、马铃薯、黄豆、谷子 |
| $I_{30} \geq 0.4$          | 裸地、荞麦、谷子、黄豆、马铃薯 | $P \geq 50$      | 裸地、荞麦、谷子、黄豆、马铃薯 |

### 3 不同土地利用减流减沙特征

前面分析了不同土地利用产流产沙随降雨特征的变化及其差异,同时也表明其减流减沙特征不同。在小雨强、小雨量下各林草基本不减流减沙,当  $I_{30} \geq 0.2$  mm/min,  $P \geq 20$  mm 林草减流减沙作用才明显,尤其当  $I_{30} \geq 0.4$  mm/min,  $P \geq 50$  mm 时减流减沙相当明显。减流减沙强度:林地 > 草地 > 农地。如果把茶坊不同农作类型的侵蚀模数与裸露农地的侵蚀模数相减得减沙量,其减沙量与  $PI_{30}$  相关性很好,相关系数达

0.94 以上。 $PI_{30} < 10$  时,减沙量所占比例在 10% 以下,当  $PI_{30} > 40$ ,各农作减沙量增大,减沙量所占比例 50% 以上,甚至 70%,减沙由强到弱依次为马铃薯、黄豆、谷子、荞麦,荞麦几乎不减流减沙。在  $PI_{30} > 100$  的 2 场降雨中,  $PI_{30}$  为 129.9 时,不同农作的侵蚀比(把不同利用类型的侵蚀模数与裸露农地侵蚀模数相比得侵蚀比)明显比  $PI_{30}$  为 105.1 时大,尤其是荞麦,前者是 0.83,后者是 0.69,这说明降雨侵蚀力很大时,农作物覆盖对减流减沙的影响较小,产流产沙强度接近裸地。

另外,不同土地利用的产流产沙和减流减沙还有明显的季节性。从4—9月,各农作侵蚀比不断减小,4种农地的平均侵蚀比从4—9月依次为0.995,0.88,0.65,0.56,0.64,0.44。8月侵蚀比比7月大,这可能是因为8月高强度的暴雨较多,各农作产沙量与裸地相差不大。由于不同作物播种时间和长势不同,不同农作侵蚀比最小值出现的时间也有差异。荞麦和黄豆出现在9月,谷子在6月,马铃薯在7月。安塞县1987—1992年降雨主要集中在7—9月,占88.8%,侵蚀量也集中在7—9月,占80%以上。不过,4月降雨虽少,但由于往往是初次降雨,地表干燥疏松,作物未播种或刚播种,农地闲置且已翻土,水土流失很严重。如1987年4月9日降雨造成的侵蚀占全年的75%以上,占6a观测总侵蚀的6%左右。所以如何在时间上结合水土保持措施的配置,合理利用土地资源,对防止坡耕地水土流失,提高水资源的利用效益都十分重要。

## 4 结 语

(1) 几种农作类型的侵蚀性起始产流的雨量和雨强有所差异,但不十分明显。相比之下,谷子地的初始产流雨量和雨强相对较大。

(2) 不同土地利用产流产沙趋势随降雨变化有明显分段性。当 $I_{30} < 0.2 \text{ mm/min}$ ,  $P < 20 \text{ mm}$ 时,各种利用地块的产流产沙都很弱;而当 $I_{30} \geq 0.4 \text{ mm/min}$ ,  $P \geq 50 \text{ mm}$ 时,各种利用地块的产流产沙都很强。

(3) 不同土地利用的产流产沙随降雨特征变化程度不同。裸地、荞麦产流产沙增长最快;谷子在低雨强小雨量下产流产沙较小,在高雨强雨量下产流产沙较大;马铃薯在高雨强大雨量段内产流产沙较弱。

(4) 不同土地利用的减流减沙随降雨特征的变化程度不同。随雨量、雨强、 $PI_{30}$ 的增大,土地利用的减沙量迅速增大。农地减沙效益随降雨变化增加程度由大到小分别是马铃薯、黄豆、谷子、荞麦。同时也表现出从4—9月不同农地的减沙有逐渐增强的趋势。

致谢:文中使用了江忠善、侯喜禄先生的部分资料,在此感谢!

### [参 考 文 献]

- [1] 王万忠.黄土高原降雨特性与土壤流失关系的研究——关于侵蚀性降雨的标准问题[J].水土保持通报,1984,4(4):58—63.
- [2] 侯喜禄,等.陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J].水土保持通报,1990,10(4):33—40.
- [3] 侯喜禄,等.黄土丘陵区森林保持水土效益及其机理的研究[J].水土保持研究,1996,3(6):98—103.
- [4] 张兴昌,等.农作物水土保持效益的数值化综合评价[J].水土保持学报,1993,7(6):51—56.
- [5] 范兴科,等.黄土高原坡耕地水土保持措施效益评价试验研究[J].水土保持学报,1990,4(3):1—6.
- [6] 谢云,刘宝元,等.侵蚀性降雨标准研究[J].水土保持学报,2000,14(4):6—11.
- [7] N. W. 哈得逊[英].土壤保持[M].北京:科学出版社,1975,51.
- [8] 贾志伟,江忠善.降雨特征与水土流失关系的研究[J].中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1990,12:9—14.
- [9] 王万忠,等.黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙[M].北京:科学出版社,1996.
- [10] 蒋定生,等.黄土高原丘陵区水土流失规律与水土保持措施优化配置研究[J].水土保持学报,1992(3):14—17.