

北京山区土地利用对土壤侵蚀的影响*

符素华¹ 段淑怀² 李永贵² 刘汉柱² 吴敬东³ 刘宝元¹

1. 北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875; 2. 北京市水利局, 北京 100073;

3. 北京市水科学研究所, 北京 100044

摘要 北京市山区存在较为严重的土壤侵蚀。房山蒲洼的坡面径流资料表明: 陡坡耕地(23°)的年均侵蚀模数为 $5340.5 \text{ t} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 缓坡耕地(11°)的年均侵蚀模数为 $3571.5 \text{ t} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 均远大于土壤自然形成速度和北方石质山区的允许土壤流失量。选用北京市中山区房山蒲洼, 低山区怀柔东台沟和浅山丘陵区密云石匣共 36 个坡面径流试验小区的野外观测资料, 分析得出了北京山区不同土地利用下的水土保持效益值, 其中免耕(玉米)为 0.280, 梯田(玉米)为 0.095, 人工草地为 0.033, 荒草地为 0.030, 小水平条林地为 0.042, 大水平条林地为 0.025, 鱼鳞坑林地为 0.017。人工草地、荒草地和林地水土保持效益显著, 且三者无显著差别。研究结果可为土壤侵蚀模型预报, 水土保持规划, 环境治理和评估提供依据。

关键词 土地利用 土壤侵蚀 水土保持效益 北京山区

北京市总面积为 16800 km^2 , 其中山区面积为 10400 km^2 , 属大陆性气候, 平时干旱少雨, 水源不足, 汛期往往大雨成灾^[1]。山区地带性土壤为褐土, 主要土地利用类型有荒草地, 林地和农地。根据地理位置, 北京市山区可分为北部山区和西部山区, 北部山区主要为花岗岩等火成岩, 西部山区主要为石灰岩等沉积岩。根据海拔高度, 北京市山区可分为中山、低山和丘陵 3 种类型^[1]。北京市中山区房山蒲洼坡面径流小区资料表明: 该地区 23°坡耕地的年均侵蚀模数可高达 $5340.5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这种侵蚀模数远大于土壤的自然形成速度 $65 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[2]以及北方土石山区的允许土壤流失量 $200 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[3]。而山区近 50% 地区的土层厚度小于 30 cm ^[1]。按照这种流失速度, 会迅速降低土地生产力, 破坏山区土地资源, 造成水污染等环境问题。

1941 年 Smith^[4]把植被的作用引入到土壤流失估算方程中。1965 年 Wischmeier 等^[5]建立的通用土壤流失方程(USLE)中也考虑了不同土地利用对土壤侵蚀的影响。此后, 土地利用对土壤侵蚀的影响也得到广泛研究, 并取得了一些成果^[6-8]。江忠

善^[9]和侯喜禄^[10]等也分析了不同土地利用对土壤侵蚀的影响。但是目前对北京山区研究还较少。本文选用了北京山区坡面径流试验小区的野外观测结果, 分析了不同土地利用方式下的相对土壤侵蚀率及其区域差异, 得到不同土地利用的水土保持效益。

1 资料与方法

为研究土地利用等对土壤侵蚀的影响, 自 1987 年来北京市水利局分别在北京市中山区房山蒲洼、低山区怀柔东台沟以及丘陵区密云石匣等地布设了坡面径流试验小区, 进行了降雨、径流和泥沙观测。为了分析土地利用的水土保持效益, 本文共选用了 36 个小区的试验观测资料(见表 1)。房山蒲洼坡面径流试验小区用 1992~1995 年的年均土壤侵蚀量; 怀柔东台沟采用 1988~1995 年的年均土壤侵蚀量; 密云石匣采用 1993~1999 年的年均土壤侵蚀量。在这三个地区, 每个地方的径流小区布设都比较集中, 可认为其降雨量是相同的。另外, 同一地区不同径流小区的土壤类型和小区坡长坡宽也都一致。因此影响这些小

2001-04-06 收稿, 2001-06-07 收修改稿

* 国家杰出青年基金(批准号: 49725103)、北京市科技项目和北京市水利局水土流失监测项目资助

E-mail: fsuhua@mail.bnu.edu.cn

1) 戴耀昌. 京郊山区水土流失防治途径的探讨. 见: 刘汉柱等主编. 北京市水土保持科技论文集. 北京市水利局. 1996

区土壤侵蚀的因素主要是不同的土地利用和坡度。而本文的主要目的是分析不同土地利用对土壤侵蚀的影响，因此要消除坡度对土壤侵蚀的影响，以便在其他

条件相同的情况下比较不同土地利用对土壤侵蚀的影响。为此，本文对试验资料进行标准化处理，将观测侵蚀量转换到同一坡度(15°)上进行比较。

表1 坡面径流小区概况

类型	小区	坡度/(°)	坡长/m	坡宽/m	坡向	土壤	水土保持及土地利用
中山区 房山蒲洼	1	15.0	10	5	阴	棕壤	标准小区 ^{a)}
	2	15.0	10	5	阴	棕壤	自然坡 ^{b)}
	3	11.0	10	5	半阴半阳	棕壤	玉米(窄梯田)
	4	11.0	10	5	半阴半阳	棕壤	玉米(坡耕地)
	5	23.0	10	5	阴	棕壤	林地(小水平条)
	6	23.0	10	5	阴	棕壤	玉米(坡耕地)
	7	20.0	10	5	半阴半阳	棕壤	林地(大水平条)
	8	20.0	10	5	半阴半阳	棕壤	自然坡 ^{b)}
	9	22.0	10	5	阴	棕壤	草地(水平沟垄)
	10	22.0	10	5	阴	棕壤	自然坡 ^{b)}
低山区 怀柔东台沟	1	23.0	10	5	阳	黄壤土	自然坡 ^{b)}
	2	23.0	10	5	阳	黄壤土	黄豆(坡耕地)
	3	33.2	10	5	阳	黄砂土	玉米(坡耕地)
	4	33.2	10	5	阳	黄砂土	玉米(梯田)
	5	27.7	10	5	阳	黄砂土	自然坡 ^{b)}
	6	27.7	10	5	阳	黄砂土	洋槐(鱼鳞坑)
	7	26.2	10	5	阳	黄砂土	自然坡 ^{b)}
	8	26.2	10	5	阳	黄砂土	洋槐(水平条)
	9	20.5	10	5	阴	黄壤土	自然坡 ^{b)}
	10	20.5	10	5	阴	黄壤土	洋槐(鱼鳞坑)
丘陵区 密云石匣	1	16.8	10	5	阳	粗骨褐土	陡坡开荒(玉米)
	2	16.8	10	5	阳	粗骨褐土	栗树(大水平条)
	3	16.8	10	5	阳	粗骨褐土	栗树(大水平条, 土埂)
	4	14.6	10	5	半阳	粗骨褐土	标准小区 ^{c)}
	5	14.6	10	5	半阳	粗骨褐土	自然坡 ^{b)}
	6	11.6	10	5	半阴	粗骨褐土	山楂(大水平条)
	7	9.6	10	5	半阴	粗骨褐土	山楂(大水平条, 土埂草)
	8	27.0	10	5	阴	粗骨褐土	自然坡 ^{b)}
	9	27.0	10	5	阴	粗骨褐土	沙打旺(小水平条)
	10	27.0	10	5	阴	粗骨褐土	刺槐(鱼鳞坑)
	11	19.5	5	5	半阴	粗骨褐土	自然坡 ^{b)}
	12	17.2	10	5	半阴	粗骨褐土	油松、刺槐(鱼鳞坑)
	13	18.9	10	5	半阴	粗骨褐土	自然坡 ^{b)}
	14	19.3	15	5	半阴	粗骨褐土	自然坡 ^{b)}
	15	19.0	10	5	半阴	粗骨褐土	刺槐(鱼鳞坑)
	16	19.0	10	5	半阴	粗骨褐土	栗树(小水平条)
	17	3.8	10	5	阳	粗骨褐土	玉米(梯田)
	18	3.8	10	5	阳	粗骨褐土	玉米(坡耕地)
	19	6.0	10	5	半阳	粗骨褐土	自然坡 ^{b)}
	20	6.0	10	5	半阳	粗骨褐土	豆科(免耕)

a) 该标准小区处理方式：每年春季进行翻耕准备成苗床状态，用拔草的方法将地表植被覆盖率控制在一定范围内；b) 植被覆盖度在80%以上；c) 该标准小区的地表处理如下：小区第一年春季准备成苗床状态，以后不再翻耕，用拔草的方法将地表植被覆盖率控制在一定范围内

目前，国内外就坡度对土壤侵蚀的影响已开展了大量的研究工作^[11~14]，并建立了坡度与土壤流失量的关系式。Liu等^[15]比较了上述几个文献中给

出的坡度与土壤流失量的计算公式，发现坡度小于10°时，这些公式计算结果差异不大；而在大于10°的陡坡上，则存在较大差异。其主要原因是国外土

壤侵蚀主要集中在缓坡上, 其试验资料主要来源于缓坡地. 同时, Liu 等^[15]用黄土高原绥德、安塞和天水 3 个水土保持试验站的试验资料建立了陡坡地坡度和土壤侵蚀量的关系式, 该公式已在土壤侵蚀模型中得到应用. 本文在以上这些研究基础上选用坡度公式对坡度加以修正以消除坡度对土壤侵蚀的影响. 在不同的坡度范围用不同的坡度修正公式. 缓坡 ($\theta < 10^\circ$) 选用 McCool 等^[14]的坡度公式

$$S = 10.8 \sin\theta + 0.03, \quad \theta < 5^\circ; \quad (1)$$

$$S = 16.8 \sin\theta - 0.5, \quad 5^\circ \leq \theta < 10^\circ; \quad (2)$$

陡坡 $\theta \geq 10^\circ$ 采用 Liu 等^[15]的坡度公式,

$$S = 21.91 \sin\theta - 0.96, \quad \theta \geq 10^\circ. \quad (3)$$

式中 S 为坡度因子, 其定义为: 在降雨、土壤、土地利用以及坡长等条件都相同的情况下, 任一坡度上的土壤侵蚀量与 5.15° 坡度上土壤侵蚀量的比值为该坡度的 S 值; θ 为坡度 ($^\circ$).

为了在 15° 坡度上比较不同土地利用下的土壤侵蚀量, 需将其进一步校正, 其计算公式为

$$A_i' = \frac{A_i}{S_i} \times S_{15}, \quad (4)$$

式中, A_i' 为第 i 小区校正到 15° 坡度上的年均侵蚀量; A_i 为第 i 小区的年均侵蚀量; S_{15} 为坡度为 15° 的坡度因子; S_i 为第 i 小区的坡度因子.

消除坡度影响因素后, 就可同一坡度上比较不同土地利用对土壤侵蚀的影响, 即不同土地利用下的相对土壤流失率. 为此, 本文以坡耕地的土壤侵蚀量为标准, 得到不同土地利用下的相对土壤流失率 E , 其计算公式为

$$E_i = \frac{A_i'}{A_b}, \quad (5)$$

式中, E_i 为第 i 小区土地利用下的相对土壤流失率; A_i' 为第 i 小区的校正到 15° 坡度上的侵蚀量; A_b 为坡耕地小区的校正到 15° 坡度后的平均土壤侵蚀量.

2 试验结果分析

2.1 不同土地利用下的相对土壤流失率 E

以 15° 坡耕地 (玉米) 的土壤侵蚀量为基准值,

其他土地利用方式下由 (5) 式计算得出相对土壤流失率 E (表 2). 梯田 (玉米) 的相对土壤流失率在 $0.070 \sim 0.304$ 之间. 人工草地的相对土壤流失率在 $0.008 \sim 0.133$ 之间. 自然坡的相对土壤侵蚀率在 $0.001 \sim 0.191$ 之间. 由于蒲洼、怀柔和密云分别代表了北京山区的中山区、低山区和浅山丘陵区, 为分析同一土地利用水土保持效益的区域差异, 特选择了样本数较多的荒草地和林地, 对其相对土壤流失率作了方差分析. 分析结果表明: 在 0.05 的显著水平下, 在北京山区, 荒草地和林地不同地区间的水土保持效益无显著差异. 荒草地的计算值 $F = 0.767$, 小于 $F_{0.05} = 4.459$; 林地的计算值 $F = 0.948$, 也小于 $F_{0.05} = 3.982$. 因此可将不同地点相同土地利用下的相对土壤流失率进行平均, 得到北京山区不同土地利用的平均相对土壤流失率 (表 3). 由表 3 可看出, 农地的相对土壤流失率都比非农地高. 在非农地土地利用类型中, 荒草地、人工草地和林地的相对土壤流失率无显著差异. 人工草地的平均相对土壤流失率为 0.071 , 荒草地的相对土壤流失率为 0.064 , 林地的平均相对土壤流失率为 0.053 .

2.2 水土保持效益分析

不同土地利用的相对土壤流失率是以坡耕地玉米的土壤侵蚀量为基准值而得出的. 但土壤侵蚀预报模型中所用的土地利用水土保持效益值 P 是在坡度、土壤等其他影响因素都相同的情况下, 该土地利用下的土壤侵蚀量与裸露地土壤侵蚀量的比值. 它反映了不同土地利用保土效果的好坏, 其值越大, 则侵蚀愈强烈, 保土效果越差. 为了能将本试验分析结果应用于土壤侵蚀预报模型中, 本文参照了国内外的土壤保持效益研究成果, 将本分析结果转化成对应于裸地的水土保持效益值. 在 USLE 中, 美国传统耕作方式下, 玉米 5 个生长季节的平均水土保持效益值在不同产量水平下 (产量从高到低) 分别为 0.410 , 0.468 , 0.530 和 0.626 , 平均为 0.510 ^[5]. 林素兰等^[16]根据我国辽北低山丘陵区坡耕地资料, 得到坡耕地玉米的水土保持效益值为 0.470 . 两者计算值较为一致. 因此, 本文采用坡耕地玉米的水土保持效益值为 0.470 , 其他土地利用的水土保持效益值为该基准值和相对土壤流失率的乘积, 即为: $0.470 \times E_i$, 计算结果见表 2. 相对于平均后不同土地利用下相对土壤流失率的水土保持效益值见表 3.

表2 不同土地利用下的相对土壤流失率

类型	土地利用	小区号	坡向	土壤	坡度/(°)	相对于坡耕地 玉米的土壤 流失率 E	水土保持 效益值 P	
中山区 房山蒲洼	耕地	玉米(坡耕地)	4	半阴半阳	棕壤	11.0	1.000	0.470
		玉米(坡耕地)	6	阴	棕壤	23.0	1.000	0.470
		玉米(窄梯田)	3	半阴半阳	棕壤	11.0	0.070	0.033
	荒草地	自然坡	2	阴	棕壤	15.0	0.015	0.007
		自然坡	8	半阴半阳	棕壤	20.0	0.062	0.029
		自然坡	10	阴	棕壤	22.0	0.017	0.008
	人工草地	草地(水平沟垄)	9	阴	棕壤	22.0	0.008	0.004
		林地(小水平条)	5	阴	棕壤	23.0	0.169	0.079
	林地(大水平条)	7	半阴半阳	棕壤	20.0	0.024	0.011	
低山区 怀柔东台沟	耕地	黄豆(坡耕地)	2	阳	黄壤土	23.0	1.582	0.744
		玉米(坡耕地)	3	阳	黄砂土	33.2	1.000	0.470
		玉米(梯田)	4	阳	黄砂土	33.2	0.231	0.109
	荒草地	自然坡	1	阳	黄壤土	23.0	0.191	0.090
		自然坡	5	阳	黄砂土	27.7	0.029	0.014
		自然坡	7	阳	黄砂土	26.2	0.004	0.002
		自然坡	9	阴	黄壤土	20.5	0.001	0.001
	林地	洋槐(鱼鳞坑)	6	阳	黄砂土	27.7	0.025	0.012
		洋槐(大水平条)	8	阳	黄砂土	26.2	0.046	0.022
		洋槐(鱼鳞坑)	10	阴	黄壤土	20.5	0.036	0.017
丘陵区 密云石匣	耕地	玉米(陡坡开荒)	1	阳	粗骨褐土	16.8	1.000	0.470
		玉米(陡坡开荒)	18	阳	粗骨褐土	3.8	1.000	0.470
		玉米(梯田)	17	阳	粗骨褐土	3.8	0.304	0.143
		豆科(免耕)	20	半阳	粗骨褐土	6.0	0.596	0.280
	荒草地	自然坡	5	半阳	粗骨褐土	14.6	0.100	0.047
		自然坡	8	阴	粗骨褐土	27.0	0.118	0.055
		自然坡	13	半阴	粗骨褐土	18.9	0.007	0.003
		自然坡	19	半阳	粗骨褐土	6.0	0.155	0.073
	人工草地	沙打旺(小水平条)	9	阴	粗骨褐土	27.0	0.133	0.063
		栗树(大水平条)	2	阳	粗骨褐土	16.8	0.045	0.021
		栗树(大水平条, 土埂)	3	阳	粗骨褐土	16.8	0.071	0.033
		山楂(大水平条)	6	半阴	粗骨褐土	11.6	0.104	0.049
		山楂(大水平条, 土埂草)	7	半阴	粗骨褐土	9.6	0.033	0.016
		栗树(小水平条)	16	半阴	粗骨褐土	19.0	0.011	0.005
		刺槐(鱼鳞坑)	10	阴	粗骨褐土	27.0	0.086	0.040
林地	油松、刺槐(鱼鳞坑)	12	半阴	粗骨褐土	17.2	0.019	0.009	
	刺槐(鱼鳞坑)	15	半阴	粗骨褐土	19.0	0.014	0.007	

表3 不同土地利用的水土保持效益值

	坡耕地 (玉米)	免耕 (玉米)	梯田 (玉米)	人工 草地	荒草地	林 地		
						小水平条	大水平条	鱼鳞坑
E	1	0.596	0.202	0.071	0.064	0.090	0.054	0.036
P	0.470	0.280	0.095	0.033	0.030	0.042	0.025	0.017

3 结论

经过以上研究分析, 可以得如下结论:

在显著水平为 0.05 时, 荒草地和林地的水土保持效益在中山区、低山区和丘陵区无显著差异。

人工草地、荒草地和林地有显著的水土保持效益, 但它们三者的水土保持效益并无显著差别。人工草地、荒草地、小水平条林地、大水平条林地和鱼鳞坑林地水土保持效益值依次为 0.033, 0.030, 0.042, 0.025 和 0.017。本研究结果可为土壤侵蚀

模型提供预报参数, 为水土保持规划, 环境治理和评估提供依据。

参 考 文 献

- 1 王文明, 等. 北京市农业资源与区划图集. 北京: 测绘出版社, 1986
- 2 Hudson N W. Soil Conservation. Iowa City: Iowa State University Press, 1995
- 3 水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准. 中华人民共和国水利部发布, 北京: 中国水利水电出版社, 1997
- 4 Smith D D. Interpretation of soil conservation data for field use. *Agricultural Engineering*, 1941, 22: 173
- 5 Wischmeier W H, et al. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *USDA Agricultural Handbook*, 1965, 282
- 6 Martinez-Casanovas. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedes-Anoia vineyard region(NE Spain). *Soil and Tillage Research*, 2000, 57(1): 101
- 7 Kosmas C, et al. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*, 1997, 29(1): 45
- 8 Boubakari M, et al. Contour grass strips for soil erosion control on steep lands: A laboratory evaluation. *Soil Use and Management*, 1999, 15(1): 21
- 9 江忠善, 等. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(1): 1
- 10 侯喜禄, 等. 不同植被类型小区的径流泥沙观测分析. *水土保持通报*, 1985, 6: 35
- 11 Zingg A W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering*, 1940, 21(2): 59
- 12 Smith D D, et al. Estimating soil losses from field areas of claypan. *Soil Sci Soc Proc*, 1947, 12: 485
- 13 Wischmeier W H, et al. Predicting rainfall erosion losses. *USDA Agricultural Handbook*, 1978, 537
- 14 McCool D K, et al. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the ASAE*, 1987, 30(5): 1387
- 15 Liu B Y, et al. Slope gradient effects on soil loss for slopes. *Transactions of the ASAE*, 1994, 37(6): 1835
- 16 林素兰, 等. 辽北低山丘陵区坡耕地土壤流失方程的建立. *土壤通报*, 1997, 28(6): 251