

黄土高原坡耕地苜蓿产量及水土流失地形分异模拟 ——以延安燕沟流域为例

杨 波^{1,2}, 徐 勇¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 退耕还林还草是目前黄土高原整治生态环境和控制水土流失的主体政策。为使生态退耕政策得到有效落实, 本文基于 WIN-YIELD 软件, 以延安燕沟流域为例, 利用 2006 年延安站的逐日气象数据和燕沟流域地貌、土壤及土地利用等资料, 模拟分析了不同地形高程、坡度和坡向条件下坡耕地种植苜蓿的秸秆干物质产量、水土流失量及其地形分异特征。结果表明: 在黄土高原, 地形坡度是影响苜蓿秸秆干物质产量和泥沙流失的重要因素, 苜蓿秸秆产量模拟值随地形坡度的增大而减小, 泥沙流失的模拟值随地形坡度的增大而增大; 地形高程 1000 m 以下的地域种植苜蓿其产量明显高于 1000 m 以上的地域, 坡耕地苜蓿产生径流和泥沙随地形高程的变化不显著; 地形坡向对苜蓿秸秆产量和水土流失量的影响不大。

关 键 词: 苜蓿; 坡耕地; 水土流失; 地形分异模拟; 黄土高原

1 引言

黄土高原是我国人地关系矛盾极为尖锐的地区之一。严重的水土流失引起土地退化和生态环境的恶化, 给经济建设和社会发展带来了极大危害。黄土高原先天脆弱的自然生态系统与人类长期不适当的活动叠加导致的水土流失和生态环境恶化问题一直受到有关政府部门及学术机构的普遍关注^[1-5]。20 世纪 70 年代以来, 随着黄河下游断流现象的出现以及断流时间、断流河长的持续增加^[6-7], 许多学者认识到作为黄河下游地区生态屏障的黄土高原生态环境恢复的重要性, 认为退耕坡地应是黄土高原水土流失控制和生态环境恢复的关键着力点^[8-13]。苜蓿作为黄土高原坡耕地退耕后的主要饲草作物具有较高的生产力, 它的秸秆作为牲畜的饲料具有很高的经济价值, 同时在保水减沙方面又具有较高的生态价值^[14-15]。为使生态退耕政策^[16-17]在黄土高原得到有效的贯彻落实, 本文利用 WIN-YIELD 软件, 以延安燕沟流域为例, 通过对不同地形条件下坡耕地苜蓿秸秆干物质产量和水土流失量的模拟, 以揭示坡耕地苜蓿秸秆产量和水土流失与地形条件之间的关系, 以期对黄土高原的生态退

耕决策提供一些科学依据。

2 研究地域、软件简介及数据来源

2.1 研究地域

燕沟流域位于 36°28'N~36°32'N, 109°20'E~109°35'E, 延安市城南郊, 属于典型的黄土丘陵沟壑区。流域东南高、西北低, 海拔 986~1425 m。主沟长 8.6 km, 流域面积约 48 km²。流域地形坡度构成以陡坡地为主^[18], 坡度大于 25°占 51.91%, 15°~25°占 28.75%, 15°以下占 19.34%。气候具有明显的由半湿润向半干旱过渡特征, 多年平均气温 9.8℃, 多年平均降雨量 558.4 mm。土壤以黄绵土(沙性黄土)为主, 占 90%以上, 基本处于半熟化状态, 土壤肥力低下^[19]。据实测资料, 1998 年燕沟流域降水量达到 567.8 mm, 河道常流水流量为 0.0025 m³/s, 年径流总量为 37.83 万 m³, 其中洪水径流量占 79.3%, 1998 年洪水期泥沙总量为 133950 t, 输沙模数为 2856t/(km²·a)^[20]; 2007 年燕沟流域降水量为 662.6 mm, 年径流总量为 53.7 万 m³, 其中洪水径流量占 9.56%, 洪水期泥沙总量为 1556.587 t, 输沙模数为 33.12 t/(km²·a)。

收稿日期: 2010-01; 修订日期: 2010-03。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771086); 国家科技支撑计划项目(2006BAD09B10); 中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05-01)。

作者简介: 杨波(1982-), 男, 辽宁新民人, 博士生。主要从事人地关系机理模拟和 GIS 技术应用等领域的研究工作。

E-mail: yangb.08b@igsnr.ac.cn

通讯作者: 徐勇(1964-), 男, 陕西榆林人, 博士, 研究员。E-mail: xuy@igsnr.ac.cn

按已定型的土地利用格局,燕沟流域农业用地总面积为 4269.78 hm², 占土地总面积 92.48%, 其中, 耕地占 18.44%, 园地占 15.15%, 林地占 49.14%, 草地占 17.27%。由于林草植被尚未完全恢复, 与林草有密切关系的养羊等牧业仍处于限制阶段, 有限的养羊业仍以舍饲为主, 舍饲畜牧业的饲草主要为人工苜蓿和玉米、谷子等农作物秸秆。

2.2 WIN-YIELD 简介

WIN-YIELD 软件是由中国科学院地理科学与资源研究所和加拿大多伦多大学针对黄土高原地区研制的对作物产量、水土流失等进行结果计算和过程模拟的综合模拟软件。这一综合考虑作物类型、作物生长过程中的气象、土壤、地形等要素的软件由作物产量和水沙模拟两组系列模型构成。其中模拟模型的说明及初始化数据文件界面^[21-22]需要输入的参数及数据项可查阅相关文献^[23]。

应用 WIN-YIELD 软件对黄土高原地区的作物产量及水土流失量进行模拟分析是研究坡耕地退耕的有效方法, 有学者对坡耕地粮食作物产量及水土流失情况进行了较多的研究^[23-25], 但对苜蓿所作模拟分析较少。根据黄土高原地区的实测研究^[26], 苜蓿产量在种植后的前 5 年表现相对稳定, 之后, 随着苜蓿生长年限的延长, 易导致深层土壤趋于干燥化, 人工草地衰退^[27]。因此一般会适当采取降低种植密度和缩短种植年限等农业技术措施来调控苜蓿地的土壤水分。考虑到这一情况, WIN-YIELD 软件对苜蓿模拟的经验模型进行有针对性的修正。

2.3 数据来源及参数设定

燕沟流域坡耕地苜蓿秸秆产量及水土流失模拟涉及到的数据主要包括基本参数数据、气象数据、作物数据和地块单元数据。其中基本参数数据包括流域经纬度、耕地保水参数、土壤水分参数、作物敏感度系数、作物根系生长率等。气象数据为 2006 年延安气象站(距燕沟流域中心点的直线距离约 5 km)逐日平均气温、降水、降水历时、云量、平均相对湿度、最小相对湿度、白天和夜间风速 8 个指标, 用于分析地块单元湿度、温度、热量、降水状况对作物生长的影响以及分析降雨强度和土壤水分状况对土壤侵蚀过程的影响。作物数据主要用于考虑各种作物类型在不同地块单元水热条件下的生长状况。地块单元主要以反映地形高程、坡度和坡向的变化为主旨设计数据文件。出于与粮食作物水土流失地形分异结果进行对比的考虑, 本文在设置

地块单元数据文件时借鉴了已发表成果文献的方法^[23-25]: ①基于地形高程变化的地块单元数据文件。按地形坡度 10°、15°、25°设计 3 个基于高程变化的文件, 各文件按地形高程间隔 50 m 增加 1 个地块单元, 在 800~1400 m 之间共设计了 13 个地块单元, 各地块单元的其他参数为面积 1 hm², 地形坡向 180°(即正南向), 土壤属性为沙性黄土, 地貌类型为梯田, 土地利用类型为耕地。②基于地形坡度变化的地块单元数据文件。按地形坡度间隔 2.5°增加 1 个地块单元, 在 0°~30°之间共设计了 13 个地块单元, 各地块单元的其他参数为面积 1 hm², 地形高程 1100 m、地形坡向 180°(即正南向), 土壤属性为沙性黄土, 地貌类型为梯田, 土地利用类型为耕地。③基于地形坡向变化的地块单元数据文件。地形坡向由正北向开始按顺时针方向增加, 每间隔 22.5°增加 1 个地块单元, 在 0°~360°之间共设计了 16 个地块单元, 各地块单元的其他参数为面积 1 hm², 地形高程 1100 m, 地形坡度 15°, 土壤属性为沙性黄土, 地貌类型为梯田, 土地利用类型为耕地。

3 苜蓿秸秆产量模拟结果分析

3.1 苜蓿秸秆产量随地形高程的变化

2006 年燕沟流域坡度分别为 10°、15°和 25°时, 坡耕地苜蓿秸秆干物质产量的模拟值随地形高程的变化趋势(图 1)显示: 在 800~1000 m 之间, 梯田苜蓿的作物秸秆干物质产量随高程的增加呈缓慢上升趋势, 在 1000~1050 m 之间突然下降, 此后, 秸秆产量又呈现出了缓慢上升的趋势。在 800 m 时, 坡度为 10°、15°和 25°的坡耕地苜蓿的秸秆干物质产量分别为 5124 kg/hm²、5049 kg/hm²和 4724 kg/hm²; 到高程 1000 m 时, 分别上升为 5153 kg/hm²、5095 kg/hm²和 4780 kg/hm², 上升幅度分别达到 0.57%、0.91%和 1.19%; 在高程 1050 m 时, 又分别下降为 4570 kg/hm²、4506 kg/hm²和 4213 kg/hm², 相对于 1000 m 处, 下降幅度分别为 11.31%、11.56%和 11.86%; 到 1400 m 时, 分别上升到 4622 kg/hm²、4538 kg/hm²和 4308 kg/hm², 相对于高程 1050 m 处, 分别上升了 1.14%、1.71%和 2.25%。从总体上看, 地形高程变化对苜蓿秸秆干物质产量有一定的影响, 在高程 1000~1050 m 存在一个相对质变点。

3.2 苜蓿秸秆产量随地形坡度的变化

从 2006 年燕沟流域坡耕地苜蓿秸秆干物质产量在地形高程为 1100 m 且坡向为正南向条件下随地形坡度变化的模拟计算结果可以看出 (图 2), 燕沟流域坡耕地苜蓿秸秆干物质产量随地形坡度的增大在持续下降。地形坡度为 0°时, 苜蓿秸秆干物质产量的模拟值为 4986 kg/hm²; 当地形坡度增大到 30°时, 模拟值下降到 4359 kg/hm², 相对于 0°时的下降幅度达到 12.58%。即从总体上看, 地形坡度变化对苜蓿秸秆干物质产量的影响较大。

3.3 苜蓿秸秆产量随地形坡向的变化

2006 年燕沟流域坡耕地苜蓿秸秆干物质产量 (地形高程为 1100 m, 地形坡度为 15°) 随地形坡向的变化而不断变化 (图 3): 随着坡向从正北方向 (即 0°) 向正南方向 (即 180°) 变化, 苜蓿秸秆产量模拟值先减小, 在 90°时达到最小, 然后逐渐增大, 在正南向附近达到最大值; 之后随着坡向增大, 苜蓿秸秆产量模拟值逐渐减小, 在 270°时达到最小, 然后模拟值又逐渐略有增加。2006 年坡耕地苜蓿秸秆干物质产量的模拟值最小值为 4845 kg/hm²; 坡向为 180°即正南方向附近的秸秆产量模拟值最大, 为 4865 kg/hm², 较最小值大 0.41%, 说明地形坡向对坡耕地苜蓿的秸秆干物质产量几乎无实质性影响。

4 种植苜蓿水土流失模拟结果分析

2006 年燕沟流域 10°、15°和 25°坡耕地种植苜蓿情况下产生径流、泥沙随地形高程变化的模拟计算结果表明, 地形高程变化对坡地苜蓿产生径流和泥沙量的影响极小。无论地形高程如何变化, 10°坡耕地苜蓿产生的径流量和侵蚀模数总是维持在大约 11.965 mm 和 1128 t/(km²·a) 左右; 而 15°坡耕地和 25°坡耕地情况下的模拟结果则分别为 11.967 mm、1246 t/(km²·a) 和 11.97 mm、1685 t/(km²·a)。

2006 年燕沟流域坡耕地种植苜蓿导致的径流和泥沙侵蚀随地形坡度变化的模拟结果见图 4。图 4a 显示, 随着地形坡度的增大, 径流量呈现微弱增加的趋势。坡度在 0°时, 径流量模拟值为 11.964 mm; 坡度为 30°时, 模拟值为 11.973 mm, 比坡度为 0°时仅增加 0.08%。表明坡度变化对坡耕地苜蓿产生径流的影响不显著。但从图 4b 可以看出, 侵蚀模数随坡度的增大而增加的趋势更加明显。坡度在 0°~5°之间, 土壤侵蚀模数为 1031 t/(km²·a); 在 7.5°~

10°之间, 土壤侵蚀模数为 1128 t/(km²·a); 在 12.5°~15°之间, 侵蚀模数为 1246 t/(km²·a); 在 17.5°~20°之间, 侵蚀模数为 1441 t/(km²·a); 在 22.5°~25°之间, 侵蚀模数为 1685 t/(km²·a); 当坡度增大到 30°时, 侵蚀模数达到 1735 t/(km²·a), 比 0°时增加

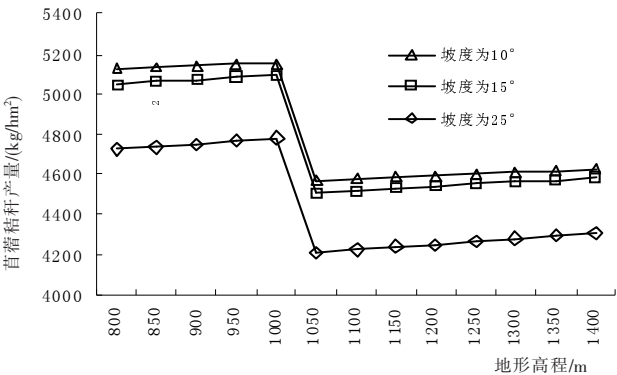


图 1 2006 年燕沟流域不同坡度坡耕地苜蓿秸秆产量随地形高程变化

Fig.1 Changes of alfalfa straw yields with the topographic height in the Yangou Basin in 2006

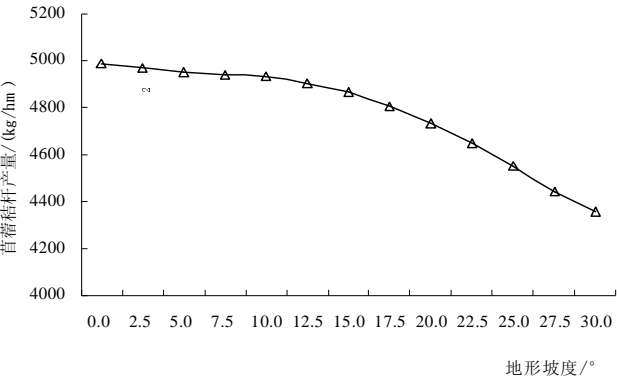


图 2 2006 年燕沟流域坡耕地苜蓿秸秆产量随地形坡度变化
Fig.2 Changes of alfalfa straw yields with topographic gradient in the Yangou Basin in 2006

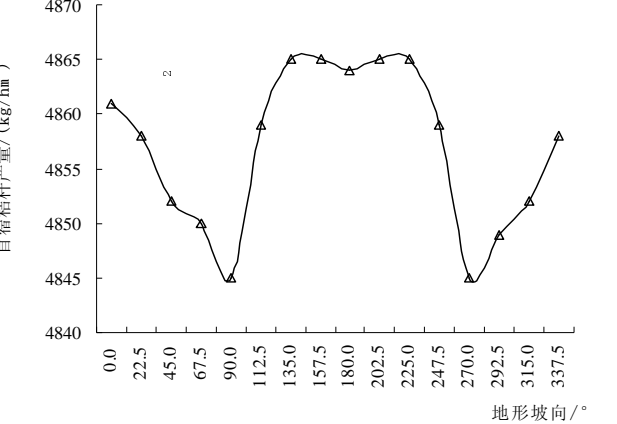


图 3 2006 年燕沟流域坡耕地苜蓿秸秆产量随地形坡向变化
Fig.3 Changes of alfalfa straw yields with the topographic slope aspect in the Yangou Basin in 2006

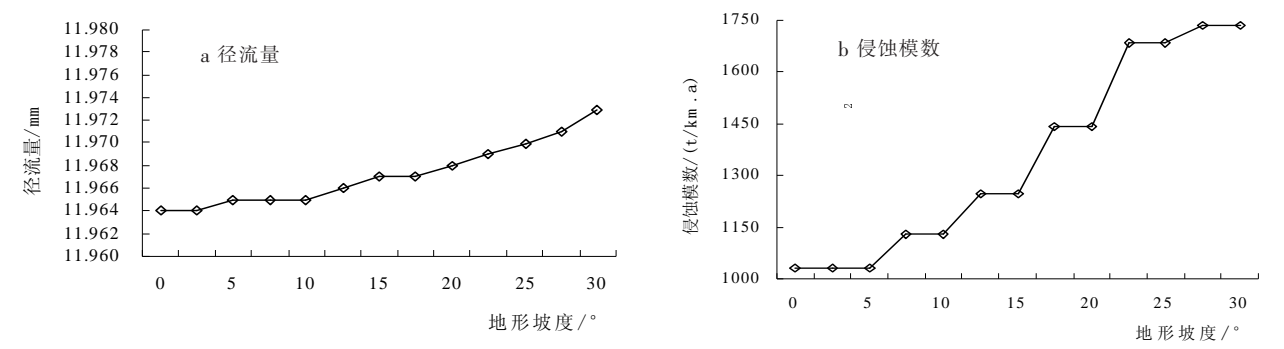


图4 2006年燕沟流域坡耕地苜蓿产生径流及侵蚀模数随地形坡度变化

Fig.4 The change of runoff and sediment load with terrain gradient on the slope farmland of alfalfa of the Yangou Basin in 2006

68.28%，即坡度每增加 1°，侵蚀模数增加 23.47 t/(km²·a)。坡耕地种植苜蓿情况下土壤侵蚀模数随地形坡度变化所呈现出的上述阶梯性特点可能是由模拟模型参数设置引起的,事实上,其变化应该是连续的、渐变的。总体上看,地形坡度对坡耕地种植苜蓿产生泥沙有重要影响,随地形坡度增大,土壤侵蚀模数在逐渐增大。

2006 年燕沟流域高程 1100 m、坡度 15°时种植苜蓿情况下产生径流、泥沙随地形坡向变化的模拟计算结果表明,坡耕地种植苜蓿产生径流和泥沙受地形坡向的影响极小。随着地形坡向的变化,种植苜蓿产生的径流量大致维持在 11.965~11.967 mm 之间,正南向模拟值略大于北向;侵蚀模数大致为 1246 t/(km²·a),变化幅度极小。

5 结论

地形坡度对燕沟流域苜蓿秸秆干物质产量有着重要影响。地形坡度越大,苜蓿秸秆干物质的产量越低,2006 年燕沟流域在坡度为 30°时的秸秆干物质产量较 0°时下降 12.58%。地形坡向对苜蓿秸秆干物质的产量的影响程度较小,基本特点是南向附近略大。

从苜蓿秸秆干物质产量随地形高程变化的特点看,高程 1000 m 左右存在一个产量相对质变点,即高程 1000 m 以下的地域种植苜蓿其产量明显高于 1000 m 以上的地域。出现这种现象的原因在于黄土丘陵区地形主体部分位于高程 1000 m 以下,而高出 1000 m 部分大都属于相对孤立的梁、峁、丘等。这些梁峁丘在不同方向风的作用下,土壤水分含量会明显偏低,进而导致苜蓿秸秆产量下降。

地形坡度对坡耕地苜蓿产生泥沙有重要影响,

总体趋势是产生的泥沙量随地形坡度的增大而增大。地形坡度对坡耕地苜蓿产生径流的影响程度较小,这与坡耕地种植粮食作物有着显著区别^[21-23]。地形高程及坡向变化对坡耕地苜蓿产生径流和泥沙几乎无实质影响。

参考文献

[1] 许炯心. 黄土高原生态环境建设的若干问题与研究需求. 水土保持研究, 2000, 7(2): 10-13.

[2] 景可. 黄土高原中部生态农业建设探讨. 地理研究, 1999, 18(增刊): 51-56.

[3] 周德翼, 杨海娟. 黄土高原治理中中央、地方、农民间的博弈分析. 水土保持通报, 2002, 22(3): 35-38.

[4] Lu C H, van Ittersum M K, Rabbinge R. A scenario exploration of strategic land use options for the Loess Plateau in northern China. Agricultural Systems, 2004, 79 (2): 145-170.

[5] Lu C H, van Ittersum M K. A trade-off analysis of policy objectives for Ansai, the Loess Plateau of China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 102 (3): 235-246.

[6] 钱征寒, 倪晋仁, 薛安. 黄河断流严重程度分级与判别方法. 地理学报, 2001, 56(6): 691-699.

[7] 刘昌明, 成立. 黄河干流下游断流的序列分析. 地理学报, 2000, 55(3): 257-264.

[8] 唐克丽, 张科利, 雷阿林. 黄土丘陵区退耕上限坡度的研究论证. 科学通报, 1998, 43(2): 200-203.

[9] 胡世雄, 靳长兴. 坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与实验研究. 地理学报, 1999, 54(4): 347-356.

[10] 蔡强国, 陆兆熊, 王贵平, 等. 黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型. 地理学报, 1996, 51(2): 108-117.

[11] 陈利顶, 傅伯杰, Messing Ingmar. 黄土丘陵沟壑区典型小流域土地持续利用案例研究. 地理研究, 2001, 20(6): 713-722.

[12] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响: 以延安羊圈沟为例. 地理学报, 1999, 54(3): 241–246.

[13] 许炯心. 黄河上中游产水产沙系统与下游河道沉积的耦合关系. 地理学报, 1997, 52(5): 421–429.

[14] 刘亚柏, 储国良, 丁剑英, 等. 丘陵坡地种植紫花苜蓿的生态、经济效益与前景分析. 江苏农业科学, 2001(5): 48–49.

[15] 李蕾, 刘黎明, 谢花林. 退耕还林还草工程的土壤保持效益及其生态经济价值评估: 以固原市原州区为例. 水土保持学报, 2004, 18(1): 161–163.

[16] 田均良, 刘普灵, 张翼. 治理水土流失再造山川秀美延安: 对中尺度生态环境建设中落实朱总理指示的认识和思考. 水土保持研究, 2000, 7(2): 4–9.

[17] 彭文英, 张科利, 李双才. 黄土高原退耕还林(草)紧迫性地域分级论证. 自然资源学报, 2002, 17(4): 438–443.

[18] 徐勇, 田均良, 刘普灵. 黄土丘陵区“梯田退耕”生态重建规划方法: 以燕沟流域为例. 自然资源学报, 2004, 19(5): 637–645.

[19] 徐勇, Sidle R C. 黄土丘陵区燕沟流域土地利用变化与优化调控. 地理学报, 2001, 56(6): 681–710.

[20] 琚彤军, 刘普灵, 郑世清, 等. 燕儿沟流域泥沙监测初报. 水土保持研究, 2000, 7(2): 176–178.

[21] 刘高焕, 朱会义, 蔡强国, 等. 小流域综合管理信息系统集成研究. 地理研究, 2002, 21(1): 25–33.

[22] 中国科学院地理资源所, 加拿大多伦多大学. 小流域水土保持综合管理信息系统用户手册. 2001: 27–45.

[23] 徐勇, 田均良, 刘普灵, 等. 黄土高原坡耕地水土流失地形分异模拟. 水土保持学报, 2005, 19(5): 18–25.

[24] 徐勇, 甘国辉, 王志强. 基于 WIN-YIELD 软件的黄土丘陵区作物产量地形分异模拟. 农业工程学报, 2005, 21(7): 61–64.

[25] 徐勇, 杨波, 刘国彬, 等. 黄土高原作物产量及水土流失地形分异模拟. 地理学报, 2008, 63(11): 1218–1226.

[26] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效益. 土壤学报, 2002, 39(3): 404–411.

[27] 陈兵, 李军, 李小芳. 黄土高原南部旱源地苜蓿水分生产潜力模拟研究. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 31–35.

Topographic Differentiation Simulation of Alfalfa Yield and Soil and Water Loss in the Loess Plateau

YANG Bo^{1,2}, XU Yong¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: De-farming slope farmland has been an effective measure in recent years for the improvement of the eco-environment and the mitigation of soil and water loss in the Loess Plateau. This paper, taking the Yangou Basin as a case study and using the day-by-day meteorological data from Yan'an station in 2006, simulated and analyzed the quantitative relation between alfalfa straw yield, soil and water loss and topographic condition with the aid of WIN-YIELD software. The results show that: a) Topographic gradient has important influences on straw yield and sediment loss in the Loess Plateau. The bigger the gradient is, the lower the straw yield and the more sediment loss will be. b) The straw yield, when the alfalfa is planted below an elevation of 1000 m, is significantly higher than that over 1000 m. Changes of soil and water losses with topographic height on slope farmland are not significant. c) Topographic slope aspect has little effect on the straw yield and soil and water loss.

Key words: alfalfa; slope farmland; soil and water loss; simulation of topographic differentiation; the Loess Plateau

本文引用格式:
杨波, 徐勇. 黄土高原坡耕地苜蓿产量及水土流失地形分异模拟. 地理科学进展, 2010, 29(5): 530–534.