

# 基于 W N - Y I E L D 软件的黄土丘陵区作物产量地形分异模拟

徐 勇, 甘国辉, 王志强

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 退耕还林是目前黄土丘陵区整治生态环境和控制水土流失的主体政策。为提高退耕政策贯彻落实的科学性, 该文基于 W N - Y I E L D 软件, 利用 2002 年延安气象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, 通过对玉米、马铃薯、高粱、大豆和豌豆等作物产量随地形高程、坡度和坡向变化的模拟, 以揭示作物产量与地形条件的关系。研究发现: 地形坡度对作物的产量有着重要影响, 地形坡度越大, 作物的产量越低; 地形高程除对马铃薯有一定影响外, 对其它作物产量的影响不大; 地形坡向对不同作物产量的影响普遍较微弱。

关键词: 作物产量; 地形分异; W N - Y I E L D 软件; 黄土丘陵区

中图分类号: F323

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)07-0061-04

徐 勇, 甘国辉, 王志强 基于 W N - Y I E L D 软件的黄土丘陵区作物产量地形分异模拟[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 61-64

Xu Yong, Gan Guohui, Wang Zhiqiang Topographic differentiation simulation of crop yield based on W N - Y I E L D software in the loess hilly-gully region[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7): 61- 64 (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

黄土丘陵区位于吕梁山以西、六盘山以东, 渭北旱塬以北、河曲- 吴旗- 海原一线以南, 包括晋西、陕北、陇东和宁南 55 个县、市、区, 土地面积  $12.45 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是黄土高原乃至全国水土流失最严重、农村居民生活最贫困的区域之一。多年来, 国家、各级地方政府及有关国际机构一直十分重视和关注其严重恶化的生态环境问题和居民贫困问题<sup>[1,2]</sup>, 先后开展了大规模的综合考察和专题规划研究, 尤其是在小流域示范研究方面取得了许多有价值的成果<sup>[3-7]</sup>。但从总体上看, 多年的努力仍未改变生态环境恶化的局面, 至今仍有相当数量的农民在贫困线上徘徊。从“九五”开始, 特别是中央针对黄土高原综合治理而提出“退耕还林(草)、封山绿化、个体承包、以粮代赈”的指示精神以来, 黄土丘陵区掀起了空前的退耕热潮<sup>[8,9]</sup>。为使生态退耕政策在黄土丘陵区得到有效的贯彻落实, 本文利用 W N - Y I E L D 软件, 以延安燕沟流域为例, 通过对主要农作物产量随地形高程、坡度和坡向变化的模拟, 揭示作物产量与地形条件之间的关系, 以期为黄土丘陵区的生态退耕规划提供一些科学决策依据。

## 1 W N - Y I E L D 软件及其模型基础

W N - Y I E L D 软件是在综合考虑作物类型、作物生长过程中的光温、降水、蒸发、空气湿度、风速、土壤类型及地形等多种因素基础上对不同地块的作物产量、农田水文特征、泥沙流失等进行结果计算和过程模拟的综合

模拟软件。该软件是在加拿大国际开发署(CDA)的资助下, 由加拿大多伦多大学和中国科学院地理科学与资源研究所在应用瓦赫宁根(Wageningen)大学有关作物产量模拟研究成果的基础上, 专门针对黄土高原水土流失与种植业发展问题, 从 20 世纪 80 年代末开始, 经过前后两期合作研究, 于 2000 年完成和推出。W N - Y I E L D 软件运行所需的参数和数据文件被组织在一个称为 yield init 的初始化数据文件界面下。初始化数据文件界面<sup>[5,10]</sup>需要输入的参数、数据文件及其数据项见表 1。输出文件为作物产量文件、农田水文特征文件和泥沙信息文件。软件的输入、输出文件均为文本格式(.txt)。

W N - Y I E L D 软件的运行是通过一系列作物产量及水沙模拟模型完成的, 本文的研究重点在于探讨作物产量与地形条件之间的关系, 故关于模型的介绍仅限于作物产量模型。W N - Y I E L D 软件中的作物产量模型是在瓦赫宁根作物生产力机理模型的基础上结合其它相关模型和黄土高原的实际情况经进一步拓展、关联和修订而形成的, 是由一系列的机理模型、半机理模型和经验模型组成的。其主要模型<sup>[10-12]</sup>如下:

1) 作物产量的经验模型(Doo renbos 和 Kassam, 1979 年)

$$1 - (Y_{act}/Y_{max}) = K_y (1 - (ET_{act}/ET_{max}))$$

式中  $Y_{act}$ ——作物预测产量;  $Y_{max}$ ——作物最大产量;  $K_y$ ——经验敏感系数;  $ET_{act}$ ——实际蒸发量;  $ET_{max}$ ——最大可能蒸发量。

2) 简化的产量 ~ 水分关系模型(Wageningen 方法)

$$Y_o = F \times y_o + (1 - F) \times y_c$$

其中  $F = (R_{sm}ax - 0.5R_s)/0.8$

式中  $F$ ——与云量有关的系数;  $Y_o$ ——作物物质累积量;  $y_o$ ——作物在阴天的物质累积速率;  $y_c$ ——作物在晴天的物质累积速率;  $R_{sm}ax$ ——晴天作物可吸

收稿日期: 2004-09-22 修订日期: 2005-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40371051); 中国科学院知识创新方向项目(KZCX3-SW-421)

作者简介: 徐 勇(1964-), 男, 陕西榆林人, 研究员, 主要从事农业与乡村发展科研工作。北京市安定门外大屯路甲 11 号 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: yongxu@sina.com



收的最大短波辐射;  $R_s$ ——作物实际吸收的短波辐射。

### 3) 气候对作物的影响模型

$$CE = ET_{max} / VPD$$

式中  $CE$ ——气候对作物生长的影响系数;  
 $VPD$ ——水气压差。

### 4) 作物的气候调节系数方程

$$K = Y_o \times CE$$

式中  $K$ ——作物的气候调节系数; 其它同上。

### 5) 蒸发力计算模型(Penman 公式)

$$ETO = C \times [W \times R_n + (1 - W) \times F(U) \times VPD]$$

其中  $F(U) = 0.27 \times (1 + U/100)$

式中  $ETO$ ——蒸发力;  $VPD$ ——水气压差;  $C$ ——白天/夜晚的调节系数;  $F(U)$ ——风因子的调节系数;  $U$ ——风因子;  $R_n$ ——太阳净辐射;  $W$ ——温度和纬度的调节系数。

### 6) 不同作物的蒸发力计算公式

$$ET_{max} = K_c \times ETO$$

式中  $ET_{max}$ 、 $K_c$ 、 $ETO$  同上。

表 1 W N-YIELD 软件初始界面需要输入的参数、数据文件及其数据项

Table 1 Parameters, data files and data items required to be inputted into W N-YIELD software initial interface

输入参数	气象数据文件	降水数据文件	地块单元数据文件	作物数据文件
流域名称	一年的天次 <sup>1)</sup>	一年的天次	地块单元编码	地块单元编码
经纬度	日均温度/	某日的降雨量/mm	地块单元的面积/m <sup>2</sup>	地块单元种植作物种数
耕地保水参数	日平均相对湿度/%	日降雨历时/m in	地块单元高程/m	作物代码 <sup>5)</sup>
土壤水分参数	日最小相对湿度/%		地块单元坡度/(°)	
地下水埋深	每天的云量/%		地块单元坡向/(°)	
作物敏感度系数	每天白天风速/m · s <sup>-1</sup>		地块单元土壤属性 <sup>2)</sup>	
作物生长期及天数	每天夜间风速/m · s <sup>-1</sup>		地块单元地貌类型 <sup>3)</sup>	
作物根系生长率			地块单元土地利用属性 <sup>4)</sup>	

注: 1) 一年的天次: 1~ 365/366; 2) 地块单元土壤属性: 11 为沙性黄土; 12 为黏性黄土; 13 为黏沙黄土; 3) 地块单元的地貌类型: 1 为阶地或梯田; 2 为坡地; 3 为沟坡; 4 为沟底; 4) 地块单元的土地利用属性: 分为耕地 1、林地 2、弃耕地 3 等; 5) 作物代码: 1 小麦; 2 玉米; 3 马铃薯; 4 苜蓿; 5 高粱; 6 大豆; 7 豌豆。

## 2 研究区域及数据来源

### 2.1 研究区域

燕沟流域位于 36°28'00"N ~ 36°32'00"N, 109°20'00"E ~ 109°35'00"E, 沟口距延安市 3 km, 属延河二级支流, 主沟长 8.6 km, 呈东南—西北流向, 流域面积约 48 km<sup>2</sup>。流域东南高、西北低, 海拔在 986~ 1425 m 之间。主沟比降为 2.41‰, 沟壑密度 4.8 km/km<sup>2</sup>, 属于典型的黄土丘陵沟壑区。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℃, 无霜期约 170 d, 大于 10℃积温 3268℃, 多年平均降雨量 558.4 mm。天然植被为次生梢林, 破坏严重, 人工林主要由刺槐、杨树以及柠条等灌丛组成。土壤以黄绵土(沙性黄土)为主<sup>[13]</sup>, 占 90% 以上, 基本处于半熟化状态, 肥力低下, 有机质含量为 0.96~ 1.88 g/kg, 全氮 0.464 g/kg, 速效磷 4.2 mg/kg。据 1998 年实测资料<sup>[14]</sup>, 燕沟河道常流水流量为 0.0025 m<sup>3</sup>/s, 年径流总量为 37.83 万 m<sup>3</sup>, 其中洪水径流量占 79.3%。1998 年沟口泥沙总量为 133950 t, 流域输沙模数为 2856 t/(km<sup>2</sup> · a)。流域有 14 个行政村和一个隶属于柳林街道的沟口区。14 个行政村 2003 年底总人口 3133 人, 人口密度为 67.8 人/km<sup>2</sup>。农村经济以大农业为主体, 农林牧并举。2003 年农村居民人均收入为 1968 元, 农村经济收入主要来源于种植业和苹果业, 种植业主要以玉米和马铃薯为主, 另有少量的高粱、谷子、大豆和豌豆。

### 2.2 数据来源及参数设定

燕沟流域作物产量模拟涉及到的数据和参数主要包括气象数据、作物数据、地块单元数据以及土壤属性

参数、地貌类型参数、土地利用类型参数等。气象数据为 2002 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。模拟作物为玉米、马铃薯、高粱、大豆和豌豆。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。

1) 基于地形高程变化的地块单元数据文件。按地形高程每间隔 50 m 增加一个地块单元, 在 950~ 1400 m 之间共设计了 10 个地块单元, 各地块单元的其它参数为面积 1 hm<sup>2</sup>、地形坡度 0°、地形坡向 180°(即正南向)、土壤属性参数 11(沙性黄土)、地貌类型参数 1(梯田)、土地利用类型参数 1(耕地)。

2) 基于地形坡度变化的地块单元数据文件。按地形坡度每间隔 2.5°增加一个地块单元, 在 0~ 30°之间共设计了 13 个地块单元, 各地块单元的其它参数为面积 1 hm<sup>2</sup>、地形高程 1100 m、地形坡向 180°(即正南向)、土壤属性参数 11(沙性黄土)、地貌类型参数 2(坡地)、土地利用类型参数 1(耕地)。

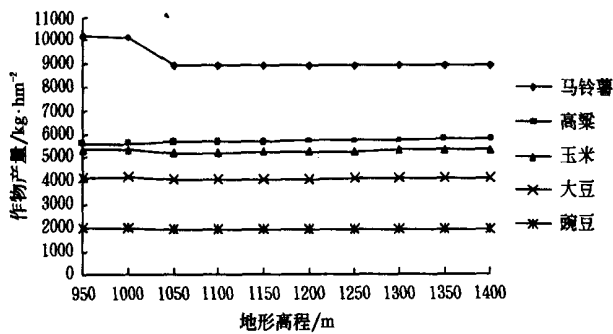
3) 基于地形坡向变化的地块单元数据文件。地形坡向由正北开始按顺时针方向增加, 每间隔 22.5°增加一个地块单元, 在 0~ 360°之间共设计了 16 个地块单元, 各地块单元的其它参数为面积 1 hm<sup>2</sup>、地形高程 1100 m、地形坡度 15°、土壤属性参数 11(沙性黄土)、地貌类型参数 2(坡地)、土地利用类型参数 1(耕地)。

## 3 结果与分析

### 3.1 作物产量随地形高程的变化

根据 2002 年燕沟流域梯田玉米和马铃薯的单产调

查数据<sup>[9]</sup>, 梯田玉米的实际单产量多在 5250~ 5850 kg/hm<sup>2</sup>之间, 梯田马铃薯的实际单产量多为 9000~ 11250 kg/hm<sup>2</sup>; 另据 1998 年梯田地膜玉米丰产示范结果(位于流域内的赵庄村, 梯田高程约 1000 m), 地膜玉米单产量达 8142 kg/hm<sup>2</sup>, 被作为对照的梯田露地玉米单产量为 5523 kg/hm<sup>2</sup>。从梯田玉米、马铃薯产量模拟值与实际调查数据的对比看, 可以认为梯田作物产量的模拟值与实际情况是比较吻合的。图 1 是 2002 年燕沟流域在梯田地种植不同作物产量模拟值随地形高程变化的情况。燕沟流域种植于梯田的不同作物, 其产量模拟值随地形高程的变化具有以下基本特点。



注: 地形坡度 0°、坡向 180°(正南向)、土壤属性参数 11(沙性黄土)

图 1 2002 年燕沟流域梯田作物产量随地形高程变化

Fig. 1 Crop yield changes with terrain altitude above sea level in Yangou Basin in 2002

1) 在地形高程相同的情况下, 不同作物的产量模拟值之间存在着巨大的差异。高者如马铃薯, 其产量模拟值可达 8921~ 10173 kg/hm<sup>2</sup>, 低者如豌豆, 模拟值仅为 1932~ 1976 kg/hm<sup>2</sup>, 马铃薯是豌豆的 4.6 倍多; 其它 3 种作物产量模拟值的情况是高粱为 5610~ 5801 kg/hm<sup>2</sup>, 玉米为 5204~ 5352 kg/hm<sup>2</sup>, 大豆为 4083~ 4167 kg/hm<sup>2</sup>。

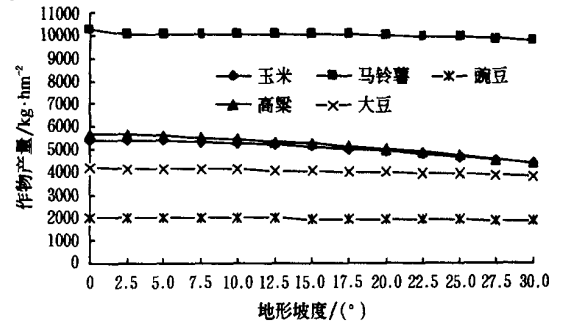
2) 随着地形高程的增加, 不同作物的产量模拟值呈现出不同的变化趋势。玉米、马铃薯、大豆和豌豆 4 种作物产量模拟值的变化存在着波动起伏, 而高粱模拟值的变化呈缓慢且持续增加趋势。在地形高程 950~ 1400 m 之间, 玉米、大豆和豌豆 3 种作物产量模拟值的波动趋势是一致的, 都呈现出上升(950~ 1000 m)、快速下降(1000~ 1050 m)、再缓慢持续上升(1050~ 1400 m)的波动过程。马铃薯产量模拟值总的变化趋势是以下降为主, 但在下降过程中存在两处明显的突变点, 一处出现在 1000~ 1050 m 之间, 即产量模拟值从 1000 m 的 10154 kg/hm<sup>2</sup> 快速下降到了 1050 m 的 8947 kg/hm<sup>2</sup>; 另一处出现在 1200~ 1250 m 之间, 即产量模拟值从 1200 m 的 8921 kg/hm<sup>2</sup> 上升到了 1250 m 的 8963 kg/hm<sup>2</sup>。

3) 对于同一种作物而言, 除马铃薯外, 地形高程变化对其它作物产量模拟值的影响不大。马铃薯的最高产量模拟值为 10173 kg/hm<sup>2</sup>, 出现在海拔 950 m 处; 最低值为 8921 kg/hm<sup>2</sup>, 出现在海拔 1200 m 处, 最低值是最高值的 87.69%, 表明马铃薯适宜种植的海拔高程在 1000 m 以下。其它作物产量模拟最高值与最低值之间

的差异情况分别为玉米 2.77%、高粱 3.29%、大豆 2.02%、豌豆 2.23%。

### 3.2 作物产量随地形坡度的变化

图 2 反映的是 2002 年燕沟流域坡地不同作物产量在地形高程为 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。燕沟流域种植于坡耕地的不同作物, 其产量模拟值随地形坡度增大呈现出以下一些基本特点。



注: 地形高程 1100 m、坡向 180°(正南向)、土壤属性参数 11(沙性黄土)

图 2 2002 年燕沟流域坡地作物产量随地形坡度变化

Fig. 2 Crops yield changes with topographic slope gradient in Yangou Basin in 2002

1) 随着地形坡度的增加, 5 种作物的产量模拟值都呈下降趋势。地形坡度为 0 时, 玉米、马铃薯、高粱、大豆和豌豆的产量模拟值分别为 5425、10250、5673、4174 和 1992 kg/hm<sup>2</sup>; 当地形坡度增大到 30 时, 它们的产量模拟值分别下降为 4405、9823、4407、3825 和 1871 kg/hm<sup>2</sup>。

2) 随着地形坡度的增大, 不同作物产量模拟值的下降幅度存在着显著的差异。在地形坡度 0~ 30 之间, 产量模拟值下降幅度最大的作物是高粱和玉米, 坡度为 30 时的产量模拟值分别较 0 时下降 22.32% 和 18.8%; 其它 3 种作物下降幅度相对较小, 大豆、豌豆和马铃薯的产量模拟值下降幅度依次为 8.36%、6.07% 和 4.17%。

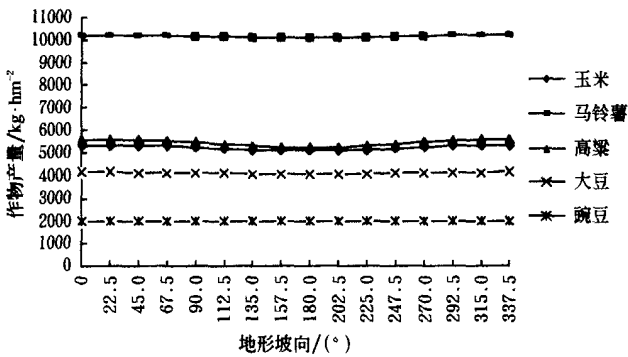
3) 从不同作物产量模拟值随地形坡度增大的下降过程看, 玉米、高粱和大豆表现为持续下降, 而马铃薯和豌豆存在微弱的波动现象。马铃薯在 0~ 2.5 和 20~ 30 两个区间, 产量模拟值下降幅度相对较大, 分别达到了 1.92% 和 2.0%, 而在 2.5~ 20 之间产量模拟值相对较为稳定。

4) 总体来看, 地形坡度对作物产量的影响较大, 地形坡度越大, 作物的产量越低; 不同作物对地形坡度变化具有不同的敏感性, 如果将单位坡度增加引起的作物产量模拟值变化的百分比定义为作物产量对地形坡度变化的敏感度, 则不同作物对地形坡度变化的敏感度依次为高粱 0.744%、玉米 0.627%、大豆 0.279%、豌豆 0.202%、马铃薯 0.139%。

### 3.3 作物产量随地形坡向的变化

图 3 显示的是 2002 年燕沟流域坡耕地在地形高程为 1100 m 且地形坡度为 15 条件下, 5 种作物的产量随

地形坡向变化的模拟计算结果。坡耕地不同作物的产量模拟值随地形坡向变化的基本特点是：从正北向开始顺时针随着地形坡向的增大，模拟值在逐渐减小，到正南向即 180 时模拟值达到最小，之后随地形坡向的继续增大，模拟值又开始逐渐变大。正北向，即地形坡向为 0 或 360 时，玉米、马铃薯、高粱、大豆和豌豆的产量模拟值分别为 5315、10177、5612、4146 和 1966 kg/hm<sup>2</sup>；正南向，即地形坡向 180 时，其产量模拟值分别下降为 5104、10041、5244、4048 和 1952 kg/hm<sup>2</sup>，相对于正北向其下降幅度分别为 3.97%、1.34%、6.56%、2.36% 和 0.71%。说明地形坡向对坡耕地作物的产量有一定影响，总的说来，除高粱外，对其它作物的影响幅度不大。



注：地形高程 1100m、坡度 15°、土壤属性参数 11(沙性黄土)

图 3 2002 年燕沟流域坡地作物产量随地形坡向变化

Fig 3 Crops yield changes with topographic slope aspect in Yangou Basin in 2002

#### 4 结论

应用 W N-Y IELD 软件，通过对 2002 年燕沟流域不同地形条件下种植玉米、马铃薯、高粱、大豆和豌豆等作物的产量模拟发现：

- 1) 燕沟流域适宜种植的作物依次为马铃薯、高粱、玉米和 大豆。豌豆因产量较低而不宜大面积种植。
- 2) 地形坡度对作物的产量有着重要影响。地形坡度越大，作物的产量越低，其中高粱和玉米是对地形坡度变化极敏感 的两种作物。

3) 地形高程除对马铃薯有一定影响外，对其它作物产量的影响不大。马铃薯的适宜种植高程在海拔 1000 m 以下。

4) 地形坡向对不同作物产量的影响普遍较微弱。

#### [参 考 文 献]

- [1] 中国科学院水利部水土保持研究所主编 黄土丘陵区水土保持型生态农业研究[M] 陕西:天则出版社,1990:1-25
- [2] 中国科学院水利部水土保持研究所主编 黄土高原小流域综合治理与发展[M] 北京:科学技术文献出版社,1992:3-17.
- [3] 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[J] 地理学报,1999,54(3):241-246
- [4] 陈浩 黄土丘陵沟壑区人类活动对流域系统侵蚀、输移和沉积的影响[J] 地理研究,2001,20(1):68-74
- [5] 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[J] 地理研究,2002,21(1):25-33
- [6] Li Xiaojian, Jim Peterson, Liu Gangjun, et al Assessing regional sustainability: the case of land use and land cover change in the middle Yiluo catchment of the Yellow River Basin[J] Applied Geography, 2001, 21(1): 87-106
- [7] 陈利顶,傅伯杰,Ingmar Messing 黄土丘陵沟壑区典型小流域土地持续利用案例研究[J] 地理研究,2001,20(6):713-722
- [8] 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[J] 水土保持研究,2000,7(2):4-9
- [9] 田均良,梁一民,刘普灵 黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[M] 郑州:黄河水利出版社,2003:243-269
- [10] 中国科学院地理资源所和加拿大多伦多大学 小流域水土保持综合管理信息系统[Z] 2001:27-45
- [11] 徐勇 农业生产力模型研究进展述评[J] 地理研究,1999,18(增刊):157-163
- [12] 谢高地,章予舒,齐文虎 农业资源高效利用评价模型与决策支持[M] 北京:科学出版社,2002:186-193
- [13] 徐勇, Roy C. Sidle 黄土丘陵区燕沟流域土地利用变化与优化调控[J] 地理学报,2001,56(6):681-710
- [14] 琚彤军,刘普灵,郑世清,等 燕儿沟流域泥沙监测初报[J] 水土保持研究,2000,7(2):176-178

## Topographic differentiation simulation of crop yield based on W IN-Y IELD software in the loess hilly-gully region

Xu Yong, Gan Guohui, Wang Zhiqiang

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract** Returning farmland to forest is the principal policy presently for improving eco-environment and controlling soil and water losses in the loess hilly-gully region. In order to provide the foundation for the policies to be usefully put in practice, the quantitative relationship between crop yield and topographic conditions was analyzed according to W N-Y IELD software, the meteorologic data of Yan'an weather station in 2002 and the physiognomy, soil, land use in Yangou Basin. The changes of crop yields such as corn, potato, broomcorn, soja and pea with terrain altitude, topographic slope and slope aspect were simulated. The results show that topographic slope gradient has an important influence on crop yield. The bigger the slope gradient, the lower the crop yield. And the impact of terrain altitude on crop yield was slight except for the yield of potatoes, the impacts of slope aspect was slight.

**Key words:** crop yield; topographic differentiation; W N-Y IELD software; loess hilly-gully region