

# 陕北安塞县马家沟流域近 20 a 来土地利用变化分析

陈凤娟<sup>1</sup>, 张晓萍<sup>1,2</sup>, 付艳玲<sup>1</sup>, 吴艳<sup>1</sup>, 万龙<sup>1</sup>, 刘国彬<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**黄土高原土地不合理利用是土壤侵蚀和水土流失的根本原因。以安塞县马家沟流域为例, 采用 1990 年第一次全国土地利用调查图件, 经过实地考察, 获取 2008 年土地利用数据, 分析了近 20 a 来流域土地利用的变化趋势及类型间的转化情况。结果表明, 马家沟流域 1990—2008 年农耕地类面积呈显著减少趋势, 变化面积占流域面积比例为 11.88%, 同时草地类面积也减少了 1.58%。林地类面积呈显著增加趋势, 增加面积比例为 11.61%, 园地、居民地及工矿用地类面积也增加了 1.73% 和 0.01%。流域农林草结构由 1990 年的 3:1:6 变为 2008 年的 2:2:6。变化流向以草地变为林地, 坡耕地类变为草地, 坡耕地类变为林地, 农耕地变为园地为主要特征。近 20 a 间变化速率最快的地类主要是林地类、园地类和农耕地类, 分别是 8.06%, 2.41%, -2.43%。近 20 a 来流域林地类面积虽有增加, 但人工生态系统的特征十分突出, 良好自然生态系统的稳定性和持续性比较欠缺。1999 年以来国家退耕还林还草政策的实施, 以及农民经营方式的转变是林地和园地面积极增加的主要原因。

**关键词:** 土地利用; 马家沟流域; 陕北地区; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0244-05

中图分类号: F301.24

## Land Use Change of Majiagou Catchment in Ansai County, Northern Shaanxi Province in Recent 20 Years

CHEN Feng-juan<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-ping<sup>1,2</sup>, FU Yan-ling<sup>1</sup>, WU Yan<sup>1</sup>, WAN Long<sup>1</sup>, LIU Guo-bin<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Irrational land use is the major force of the severe soil erosion and loss occurred in the Loess Plateau. Taking Majiagou catchment in Ansai county as an example, the characteristics and trends of land use/cover change were analyzed based on the first national land use survey maps in 1990 (obtained from the Bureau of Landuse Survery of Ansai County) and the 2008 land use map (mapped by field survey). In ArcGIS, two types of land use maps were overlaid and the dynamic changes were analyzed. The results show that, from 1990 to 2008, farmland and grassland decreased by 11.88% and 1.58% of the total area of the catchment, respectively. At the same time, forest, orchard and residential lands increased by 11.61%, 1.73% and 0.01% of the catchment area, respectively. The areal ratio of farmland, forest and grassland was changed from 3:1:6 to 2:2:6 during this period. The major transferring patterns among the land use system are grassland to forest, farmland to grassland, farmland to forest, and farmland to orchard. Forest, orchard and farmland have relatively high changing rates of 8.06%, 2.41%, -2.43%, respectively. Although the forestry area has increased over the past 20 years, it remains as an artificial ecosystem with the nature of instability and non-sustainability. The deployment of the national policy of "Grain for Green" since 1999 and the substitution of farmers' operating strategies can be contributed to the increase of forest and orchard areas in the studied region.

**Keywords:** land use; Majagou catchment; Northern Shaanxi Province; the Loess Plateau

收稿日期: 2010-03-22

修回日期: 2010-08-16

资助项目: 中国科学院西部行动计划(2期)项目“黄土高原退耕还林(草)环境效应与效益评价”(KZCX2-XB2-05-03)

作者简介: 陈凤娟(1984—), 女(汉族), 福建省漳州市人, 在读硕士, 主要从事土地利用/覆盖景观格局变化及其环境效应研究。E-mail: chen-fengjuanvc@126.com。

通信作者: 张晓萍(1971—), 女(汉族), 河南省焦作市人, 博士, 研究员, 主要从事土地利用/覆盖变化及其环境效应研究。E-mail: zhangxp@ms.iswc.ac.cn。

土地利用/覆被变化是引起区域环境变化的关键要素<sup>[1]</sup>,也是全球环境变化的重要组成部分和主要原因之一<sup>[2]</sup>。人类通过对与土地有关的自然资源的利用活动,改变着地球陆地表面的覆被状况,其环境影响不仅局限于当地,而是通过对区域水、土资源和生物多样性的改变深刻影响到了全球的气候波动和碳循环<sup>[3]</sup>。黄土高原是世界上水土流失最严重的地区之一,其原因在于长期存在的不合理的土地利用<sup>[4]</sup>,对林草地表覆被的破坏,使侵蚀速率和侵蚀量成百上千倍地增加,引起环境的一系列反应<sup>[5]</sup>,严重影响和制约了社会经济的可持续发展<sup>[6]</sup>。进行土地利用结构调整和恢复林草覆被成为黄土高原生态环境建设的主要内容<sup>[7]</sup>。其现状、动态过程及其植被结构、格局等内容均是土地利用/覆被及其环境效应相关研究的基础。自 1999 年国家开始在陕西、四川、甘肃 3 省率先启动退耕还林政策始,至今已有 10 a 之久,有很多学者基于遥感影像对黄土高原植被恢复现状及演变效果进行了研究<sup>[8-9]</sup>,但是从典型流域解剖土地利用变化的分析还比较欠缺。

本文以陕北黄土高原地区安塞县马家沟流域为研究区,以 1990 年土地利用数据为基础,2008 年 12 月组织课题组人员,参考 2007 年 SPOT 2.5 m 遥感影像进行实地调查,获取 2008 年土地利用图件。用 ArcGIS 软件进行配准和叠加,从而进行土地利用时空变化分析,并简要分析其影响因素,为相关部门提供决策依据。

## 1 研究区概况

马家沟流域濒临安塞县城,系延河流域一级支流,位于黄土丘陵沟壑区腹地,其地形地貌及土地利用变化情况具有很强的代表性。流域面积 73.83 km<sup>2</sup>,主沟道长 17.5 km,沟道平均比降 6.5%。沟壑密度 4.5 km/km<sup>2</sup>。成土母质多为第四纪黄土,以黄绵土为主要土类,第三纪红土在流域沟谷坡脚零星出露。中温带大陆性半干旱季风气候,多年平均降雨量为 500 mm,近 80%集中在 6—9 月,多年平均气温 8.8℃,蒸发能力大于 1 000 mm。属森林草原植被地带,广大梁峁坡顶部及阳坡等显域环境分布着以草本植物为主的植被,而在阴坡、沟坡底部水分比较集中的地方分布着以乔木或灌木为主的植被。石油、天然气等资源有大量储藏。

马家沟流域包含 5 个行政村 22 个自然村,总人口 4 294 人,其中农业人口 3 521 人,人口密度 58 人/km<sup>2</sup>,人口自然增长率 13.0%。根据课题组人员对农

户经济抽样调查结果,2008 年农民年人均纯收入 4 000 元,高于陕西省平均水平(2 645 元)。农户温饱问题基本解决,仅有少数农户生活入不敷出。外出务工和种植业是农户两大收入来源<sup>[10]</sup>。

## 2 数据来源及分析方法

### 2.1 数据来源及处理方法

1990 年马家沟流域土地利用图由安塞县土地局提供,系全国第一次土地利用调查成果。以 2007 年 SPOT 2.5 m 分辨率遥感影像为参考信息。2008 年 12 月对全流域进行了土地利用实地调查,直接在 1990 年土地利用图上进行填图,获得 2008 年数据,确保两期图形比例尺和精度一致。

在 ArcGIS 9.2 软件支持下,保证图形精度和投影一致,对两期土地利用面积进行统计并计算两期土地利用图的转移矩阵,分析土地利用类型的数量及结构转换。

### 2.2 土地利用分类系统

参照陕西省土地利用分类系统,结合 1990 年土地利用分类特征,按照土地的利用方式属性,将其简要分为 7 大类(见表 1)。

表 1 马家沟流域土地利用分类

1 级类别	2 级类别	土地利用类型
生产性用地	农耕地	水浇地、菜园和旱地等
	园地	苹果园、枣园、葡萄园等
	林地	乔木林、灌木林、疏林地等
	草地	天然草地、人工草地和未成林造林地
非生产性用地	居民及工矿	居民生活用地和用于工业生产等的土地
	水域	河流、水库、坑塘和滩涂
	未利用土地	主要指裸岩石砾地

注:实际调查中发现未成林造林地树木矮小,郁闭度低,成活率不高,故归其为草地。

## 3 结果与分析

### 3.1 马家沟流域土地利用类型面积统计

安塞县马家沟流域 1990 年和 2008 年土地利用状况如附图 7 所示,各利用类型的面积统计如表 2 所示。

由附图 7,表 2 可知,马家沟流域 1990—2008 年农耕地和草地类面积呈减少趋势,其变化面积占流域面积比例分别为 11.88% 和 1.58%。林地、园地、居民及工矿用地类面积为增加趋势,变化比例分别为 11.61%,1.73% 和 0.01%。

表 2 马家沟流域土地利用类型面积统计

统计项目		农耕地类	园地类	林地类	草地类	居民及工矿	水域	未利用地类
1990 年	面积/km <sup>2</sup>	20.03	3.10	5.91	43.08	1.03	0.59	0.08
	占流域比例/%	27.13	4.20	8.01	58.35	1.40	0.80	0.12
2008 年	面积/km <sup>2</sup>	11.26	4.45	14.49	41.91	1.04	0.59	0.08
	占流域比例/%	15.25	6.03	19.62	56.77	1.41	0.80	0.12
变化趋势	面积/km <sup>2</sup>	-8.77	1.35	8.58	-1.17	0.01	0	0
	占流域比例/%	-11.88	1.83	11.61	-1.58	0.01	0	0

注:趋势一栏中正值为增加,负值为减少。

马家沟流域 1990 年各利用类型中以草地面积最大,为 43.08 km<sup>2</sup>,占流域面积 1/2 以上(58.35%)。其次为农耕地类,包括水浇地、菜园和旱地,面积 20.03 km<sup>2</sup>(27.13%),以流域中游平缓塌地上成片分布为主,但在支毛沟沟头梁岭顶及梁岭坡上坡旱地也广为分布。然后是林地类,面积为 5.91 km<sup>2</sup>(8.01%),流域沟道阴坡零星分布。其它依次为园地类、居民点及工矿用地类、水域用地类及未利用地类,面积分别为 3.10, 1.03, 0.59, 0.08 km<sup>2</sup>,共占流域面积 6.51%。

马家沟流域 2008 年草地面积虽略有减小,但在各利用类型中其面积仍为最大,占流域面积 1/2 以上,为 41.91 km<sup>2</sup>(56.77%)(见附图 7,表 2)。林业用地类面积大幅度增加,成为面积第 2 的用地类,为 14.49 km<sup>2</sup>(19.62%)。下游主沟两岸支毛沟及梁岭坡和梁岭顶几乎全为林地覆盖,上中游林地面积也有明显增加。农耕地类面积退居第 3,为 11.26 km<sup>2</sup>(15.25%),主要是由于散布全流域的坡旱地减少所致,剩余农耕地更加集中在中游平缓塌地。园地类面积略有增加,为 4.45 km<sup>2</sup>,占流域面积的 6.03%,以主沟道为轴线,中游阳坡分布为主。其它依次为居民点及工矿用地类、水域用地类及未利用地类,面积共 1.72 km<sup>2</sup>,共占流域面积比例为 2.33%。

1990 年马家沟流域农、林、草 3 大地类用地面积结构比例约为 3:1:6。2008 年虽林地面积增加,农耕地面积减少,其农、林、草用地面积结构比例变为 2:2:6,但草地面积仍占有绝对的优势。这是由马家沟流域所在内陆半干旱气候和森林草原植被地带特征所决定的。

### 3.2 马家沟流域土地利用变化图谱分析

地学信息图谱是地图学发展的集成与趋势<sup>[11]</sup>,能够直观表达不同时期土地利用格局变化。在 GIS 技术支持下,建立马家沟土地利用变化图谱如附图 8 所示。从附图 8 中能够很清晰看出各类型土地利用变化的空间分布特征。

马家沟流域 1990—2008 年土地利用主要类型间的变化流向如表 3 所示。

表 3 马家沟流域 1990—2008 年土地利用类型变化流向

利用类型		农耕地类	园地类	林地类	草地类	居民及工矿	总计
农耕地类	面积/km <sup>2</sup>	10.61	1.23	1.75	6.43	0.01	20.03
	比例/%	52.97	6.16	8.73	32.10	0.05	100
园地类	面积/km <sup>2</sup>	0.25	2.69	0.10	0.05	0	3.10
	比例/%	8.14	86.8	3.36	1.69	0	100
林地类	面积/km <sup>2</sup>	0	0	5.91	0	0	5.91
	比例/%	0	0	100	0	0	100
草地类	面积/km <sup>2</sup>	0.41	0.52	6.73	35.42	0	43.08
	比例/%	0.94	1.22	15.61	82.23	0	100
居民及工矿类	面积/km <sup>2</sup>	0	0	0	0	1.03	1.03
	比例/%	0	0	0	0	100	100
面积总计/km <sup>2</sup>		11.26	4.45	14.49	41.91	1.04	73.15

注:由于水域和未利用地面积不变,该节中不统计,故统计面积为 73.15 km<sup>2</sup>。

由附图 8 可知,1990 年用地发生变化的“源”地类以农耕地、园地和草地类为主,而 2008 年由于利用方向变化而导致的“受”地类则有农耕地、园地、林地、草地以及居民地及工矿用地。

由表 3 两时期各利用类型间的变化矩阵可知,1990 年农耕地的 52.97% 仍保持为农耕地,其它耕地的主要变化流向有如下几种。(1) 约 32.1% 的农耕地面积转变为 2008 年的草地。调查得知,在国家退耕还林政策驱使下,坡耕地甚至梁岭坡上的梯田停止耕种沦为荒草地,鱼鳞坑整齐地栽植树苗,但林相不好,成活率低,实际状态为覆盖度较高的蒿草地。(2) 约 8.73% 的面积变为林地,突出表现在沟口附近梁岭坡顶的速生刺槐林,覆被较好,冠层下灌木层极少,草被覆盖度较高。沟口行政村隶属于安塞县真武洞区,县政府将这部分土地规划为旅游观光及市民休闲区,因此有大片林地存在,显示出人工生态系统特征。(3) 6.16% 的面积变为园地,主要发生在流域中游。另有少部分濒临沟道耕地被规划为居民地,或梁岭坡顶耕地由于开采石油变为工矿用地。

1990 年园地的 86.8% 仍为园地种植,其它主要变化如下。(1) 约 8.14% 的面积转化为农耕地。为

满足农民的生产需求,政府出资在沟道两岸平缓地修建了梯田,水系上修建了小型淤地坝,增大了基本农田面积,位于流域中、上游支沟上。(2) 分别有 3.36% 和 1.69% 的面积转化为林地和草地。部分海拔较高的梁峁坡上的果园,由于生长不良,经济效益差,在退耕还林各项补贴政策驱使下,转化为林、草地。

1990 年林地基本没有变化,而草地除有 82.23% 的比例仍保留为草地覆盖外,约 15.6% 的面积变为林地,约 2.16% 的面积转化为农耕地和园地。由附图 7 可以明显看出,流域下游沟道两岸草地几乎都已转化为了林地,在中游一些地势较缓和比较适合果树生长的地方转化为农耕地和园地。正由于在荒(草)地上植树造林,才导致了草地类的负增长。

综合上述分析可知,马家沟流域 1990—2008 年土地利用类型变化流向以草地变为林地(6.73 km<sup>2</sup>),坡耕地类变为草地(6.43 km<sup>2</sup>),坡耕地类变为林地(1.75 km<sup>2</sup>),农耕地变为园地(1.23 km<sup>2</sup>)为主要特征。调查中发现,林地类树种单一,缺少自然生态系统物种多样性及良性演替迹象,人工生态系统特征突出。

### 3.3 土地利用变化速率

为比较各利用类型的变化量及程度,采用了变化速率的概念<sup>[12]</sup>,即每种土地利用类型的平均年变化面积百分比,公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中:K——每个土地利用类型平均年变化面积百分比;U<sub>a</sub>——时段初各利用类型面积;U<sub>b</sub>——时段末各利用类型面积;T——时段长。计算结果如表 4 所示。

表 4 马家沟流域 1990—2008 年各土地利用类型变化率

变化情况	农耕地类	园地类	林地类	草地类	居民及工矿
变化面积/km <sup>2</sup>	-8.77	+1.35	+8.58	-1.17	+0.01
变化速率/%	-2.43	+2.41	+8.06	-0.15	+0.05

注:“+”表示增加,“-”表示减少。

由表 4 可知,马家沟流域 1990—2008 年间变化速度最快的为林地类,平均每年变化速率为 8.06%。其次为农耕地类,变化速率为 -2.43%,园地类为 2.41%,草地类为 -0.15%,居民点及工矿用地呈 0.05% 的速率在增加。

农户的经济行为直接影响着土地利用的方式与变化趋势<sup>[13-15]</sup>。由农户调查结果知道,1999 年,开始

实施的“以粮代赈、个体承包”的退耕还林还草政策,得到当地政府和群众的积极响应,林草地的变化最为明显。随着产业结构的调整与优化,农民的单一种植转为果园、苗圃和养殖等多种经营方式。根据实地情况,将一部分农耕地改为园地,主要种植苹果。所以农业用地为负增长,而林地和园地都为正增长。另外一个很重要的现象,剩余农村劳动力到附近城镇从事工业、建筑业、交通运输业、商业等活动<sup>[16]</sup>,也直接促成了土地利用方式的变化。

## 4 结论

采用安塞县马家沟流域 1990 年全国第一次土地利用调查成果,参考相关遥感影像,通过实地勘察,获取 2008 年土地利用数据,分析了该流域近 20 a 来土地利用的变化情况。

(1) 近 20 a 来,马家沟流域 1990—2008 年农耕地呈显著减少趋势,减少面积占流域比例为 11.9%;草地类面积也减少了 1.58%;林地类面积呈显著增加趋势,增加面积占流域比例为 11.61%;园地、居民点及工矿用地类面积也分别增加了 1.73% 和 0.01%。农、林、草 3 大用地类型的结构比例分别由 1990 年的 3:1:6 变为 2008 年的 2:2:6。

(2) 马家沟流域 1990—2008 年土地利用类型变化流向以草地变为林地(6.73 km<sup>2</sup>)、坡耕地类变为草地(6.43 km<sup>2</sup>)、坡耕地类变为林地(1.75 km<sup>2</sup>)、农耕地变为园地(1.23 km<sup>2</sup>)为主要特征。但调查表明,林地的人工生态系统特征突出,缺少自然生态系统物种多样性及良性演替迹象。

(3) 近 20 a 来,马家沟流域土地变化最快的是林地类,平均每年以 8.06% 的速率增长,园地类则以 2.41% 的速率增加,另有居民点及工矿用地以 0.05% 的速率增长。减少的地类有农耕地类,变化速率为 2.43%,草地类也呈微弱减少趋势,速率为 0.15%。主要是由国家退耕政策的实施,以及相应农民产业结构的调整与优化直接引起的结果。

马家沟流域近 20 a 来土地利用/覆被的变化情况,与前人基于遥感影像在大尺度上的分析结果基本一致<sup>[8]</sup>。本文通过流域尺度的研究,不仅获取了利用类型的数量变化信息,通过实地调查,还掌握了其分布格局特征,虽然对其驱动因素有所了解,但在研究深度上尚显不足,有待进一步加强研究。

致谢:参加调查的人员中还有孟庆香、于占辉、王春梅、王琦、牛亮、文浩帆等,对他们的辛勤工作一并表示感谢!

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘军会,高吉喜,耿斌,等. 北方农牧交错带土地利用及景观格局变化特征[J]. 环境科学研究,2007,20(5):148-154.
- [2] 陈百明,刘新卫,杨红. LUCC 研究的最新进展评述[J]. 地理科学进展,2003,22(1):22-29.
- [3] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(6):553-558.
- [4] 巨仁,张文孝,郭扶国. 黄土高原土地资源及其优化利用[M]//杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价. 北京:科学出版社,1991:16-26.
- [5] 唐克丽,王斌科. 人类加速侵蚀的演变和强度[M]//叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究. 济南:山东科学技术出版社,1994:78-83.
- [6] 江晓波,马泽忠,曾文蓉,等. 三峡地区土地利用/土地覆被变化及其驱动力分析[J]. 水土保持学报,2004,18(4):108-112.
- [7] 张晓萍,董冰让,李锐,等. 黄河中游河龙区间土地利用与林地覆被格局变化研究[J]. 水土保持学报,2007,21(5):163-166.
- [8] 杨胜天,刘昌明,孙睿. 近 20 年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. 地理学报,2002,57(6):679-684.
- [9] 梁伟,李滚,杨勤科. 黄河中游多沙粗沙区土地利用格局变化分析[J]. 中国水土保持科学,2009,7(3):52-58.
- [10] 刘国彬. 安塞县马家沟流域水土保持综合治理设计报告[R]. 陕西 杨凌:中国科学院水利部水土保持研究所,2009.
- [11] 廖克著. 现代地图学[M]. 北京:科学出版社,2003:288-293.
- [12] 朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报,2003,58(5):643-650.
- [13] 吕昌河,程量. 土地利用变化与生态服务功能冲突[J]. 干旱区研究,2007,24(3):302-306.
- [14] 张海龙,蒋建军,解修平,等. 近 25 年来西安地区土地利用变化及驱动力研究[J]. 资源科学,2006,28(4):71-77.
- [15] 霍艳杰,卫海燕,薛亮,等. 基于指数分析法的西安市土地利用变化及驱动力研究[J]. 国土资源遥感,2009(2):49-53.
- [16] 刘志超,杨改河,杜英,等. 退耕还林(草)对黄土丘陵沟壑区农民经济生活影响的分析[J]. 水土保持研究,2008,15(1):169-175.

(上接第 148 页)

- [2] Wang Y R, Kang S Z, Li F S, et al. Saline water irrigation scheduling through a crop-water-salinity production function and a soil-water-salinity dynamic model [J]. *Pedosphere*, 2007,17(3):303-317.
- [3] Ould Ahmed B A, Yamamoto T, Rasiah V, et al. The impact of saline water irrigation management options in a dune sand on available soil water and its salinity [J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 88:63-72.
- [4] 陈效民,白冰,黄德安. 黄河三角洲海水灌溉对土壤盐碱化和导水率的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(2):50-53.
- [5] 乔玉辉,宇振荣. 河北省曲周盐渍化地区微咸水灌溉对土壤环境效应的影响[J]. 农业工程学报,2003,19(2):75-79.
- [6] 刘钰, Fernando R M, Pereira L S. 微型蒸发器田间实测麦田与裸地土面蒸发强度的试验研究[J]. 水利学报,1999,30(6):45-49.
- [7] 孙景生,康绍忠,王景雷. 沟灌夏玉米棵间土壤蒸发规律的试验研究[J]. 农业工程学报,2005,21(11):20-24.
- [8] 胡继超,张佳宝,冯杰. 蒸散的测定和模拟计算研究进展[J]. 土壤,2004,36(5):492-497.
- [9] 武金慧,李占斌. 水面蒸发研究进展与展望[J]. 水利与建筑工程学报,2007,5(3):46-50.
- [10] 中国石油天然气总公司塔里木石油勘探开发指挥部. 塔里木沙漠石油公路[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
- [11] 贾运岗,张富仓,李培岭. 大田滴灌条件下土壤水分运移规律的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2007,26(6):15-18.
- [12] Fernández J E, Moreno F, Murillo J M, et al. Evaluating the effectiveness of hydrophobic polymer for conserving water and reducing weed infection in a sandy loam soil[J]. *Agricultural Water management*, 2001, 51:29-51.
- [13] 耿玉清,王保平. 森林地表枯枝落叶层涵养水源作用的研究[J]. 北京林业大学学报,2000, 22(5):49-52.
- [14] 王改玲,郝明德,李仲谨. 不同覆盖物和蒸发抑制剂对土壤蒸发影响的研究初报[J]. 水土保持研究,2003,10(1):133-136.