

## 水分平衡基础上的小流域水土保持林配置模式探讨

魏天兴, 朱金兆, 张建军, 毕华兴, 朱清科

(北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**就山西西南部黄土残塬沟壑与丘陵沟壑区小流域水土保持林体系配置问题进行探讨。在遵循以小流域为设计对象单元, 针对水土流失影响因子因害设防, 层层设防的防护林体系配置的理论基础上, 提出从林地和流域的水分平衡出发, 小流域防护林体系应采取合理的配置模式、促进天然植被恢复与人工造林促进植被恢复形成合理的林分结构, 防护林体系应基于小流域的水分生态环境合理分布, 在不同地貌部位的合理配置应遵循不同立地可承载生物量的极限值, 适度造林, 作到林水平衡, 达到合理的植物配置模式和稳定林分结构, 形成良性的水文生态环境, 保证水土保持功能持续稳定。研究地区试验流域在森林覆盖率达到 34 % 时, 分布合理, 侵蚀沟在封育状况好时, 均可达到产流量小于允许侵蚀量。疏林地、林草间作林地、带状绿篱、未破坏的天然灌木和天然草地, 稀疏林地就能够使产沙量小于允许值, 并且林地具有较好的水分状况。

**关键词:**黄土高原; 水土保持; 水分平衡; 小流域; 防护林

**中图分类号:** S157.433

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2007)01-0179-05

## Protective Forest System at Small Watershed in the Gullied-hilly Loess Area Based on Water Balance on the Loess Plateau

WEI Tian-xing, ZHU Jin-zhao, ZHANG Jian-jun, BI Hua-xing, ZHU Qing-ke

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The research is about the protection forest in the small watershed scale in the gullied-hilly loess area on Loess Plateau. The result puts forward arrangement pattern of protective forest system that is based on soil and water conservation function and water balance. Basing on prevent erosions, layer upon layer fortify direction idea, put forward deploying pattern of fence forests systems. Takes the fathering pattern of integration of combination of forestlands and grasses, closing-up hillsides to facilitate afforestation and manual plantation, the pattern of integration of biology and engineering. The principle is adept trees for site conditions and the water balance of forestland. Appropriate forest density and vegetation coverage is the important basis and artificial control measures for spatial arrangement and design of stable stand structure of protection forest systems. The experiments show the results in the Southwest Shanxi Province on the Loess Plateau. For the watershed scale, the sediment yield is less than the permission amount if the forest coverage is more than 34 % and good statue in the small watershed. For the hill-slope scale, the sediment yield is less than the permission amount in the shrub land, nature grassland, sparsely forestland, mixed forest and grassland.

**Key words:** Loess Plateau; soil and water conservation; water balance; watershed; protection forest

黄土区水土保持林体系建设应以防治水土流失, 改善地区生态环境为主要目标。国内外关于流域水土保持和防护林研究取得了很好的成果<sup>[1~9]</sup>。本文作者长期从事黄土高原水土流失区水土流失规律、防护林植被、防护林效益评价与林地水分平衡的研究<sup>[6,8,10,12,17,18,23,25]</sup>。本文在此基础上, 就小流域防护林配置和林分结构设计中的水分平衡问题作进一步的分析和探讨, 期待有助于流域防护林建设。

### 1 黄土高原小流域水土保持林体系水分平衡研究回顾

随着环境问题日益受到重视, 国际上提出防护林体系的问题, 发展生态林业、社会林业、可持续林业以及把林业纳入到全人类社会整体发展中考虑。世界各国尤其是发达国家, 重视防护林体系建设与流域治理、流域水土资源利用的密切

\* 收稿日期: 2006-01-12

**基金项目:** 973 项目课题“流域生态水文过程的尺度效应与转换方法(2002CB111503)”；教育部留学回国人员科研启动基金“黄土区小流域防护林空间分布格局影响流域径流和泥沙产量的研究”；“九五”国家科技攻关专题(96-07-01-01)；“十五”国家重点科技攻关专题“黄河中游黄土丘陵沟壑区(吉县)退耕还林还草区水土保持型植被建设综合技术与示范(2001BA510B0101)”的部分内容

**作者简介:** 魏天兴(1969-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 侵蚀与泥沙运动, 防护林与森林水文; 责任作者: 朱金兆(1944-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 防护林营造与效益评价, 林业生态工程。

关系。最早开始山区流域治理的德国、意大利、法国、南斯拉夫、瑞典等国提出以恢复森林为中心的山区流域治理。美国学者认为应把改善水文状况,防治山洪及泥石流与合理开发水、土、林等自然资源结合起来,日本的治山治水也是综合治理的思想,前苏联提出流域治理的综合措施体系<sup>[21]</sup>。在生态林业工程建设与生态环境综合治理方面,德国、法国、日本、美国等国家发展了水土流失控制的工程措施和快速的工程绿化技术,致力于形成以森林为主的流域治理森林工程体系。日本提出搞活流域林业的基本方针和政策,以发挥森林机能在流域中的作用,提出建立流域林业。德国提出山区小流域治理中分不同地貌及流域不同区域建设不同植被。全球范围内以中小流域为单位,研究森林水文效益及其环境效益。重视植被的作用,贯彻模仿接近和再造自然景观的思想在流域治理中备受关注<sup>[11]</sup>。

中国的防护林建设与流域治理也是密切结合的。几十年防护林的建设和研究,从治沙防沙开始,发展到今天的区域生态环境保护与开发相结合,是一个不断探索而且富有成效的过程。从 20 世纪 50 年代开始,国内开展了黄土高原防护林体系建设和综合治理试验研究,有显著的成果和成功的经验。形成多种模式的治理模式,目前代表性的水土保持治理模式为防线模式、生态经济带模式、多元小生态系统模式、全方位综合治理模式、水土保持型生态农业结构模式等多种模式<sup>[20]</sup>。提出了以小流域或区域为单元,按照地貌部位,因害设防,多林种的流域水土保持林体系,沟坡兼治,生物与工程措施相结合的综合治理原则。并在防护林体系的研究方面取得了很多理论和技术的突破。

由于区域地理条件和水分供应条件的限制,人工造林恢复植被提高森林覆盖率减少流域出境径流,从较长时间尺度来看,随着黄土高原生态环境建设的发展,降水利用率进一步提高,虽然增强了区内水文小循环量,对流域水循环产生一定的不利影响,对于入黄径流量的影响是不容忽视的。水土保持工程措施和乔灌林地在这个过程中无疑是一个重要的影响因素,甚至影响到了黄河的断流问题<sup>[9]</sup>。同时黄土区降水资源短缺,地下水埋藏很深,在干旱季节和年份,土壤水分供应严重不足,使人工造林和自然植被恢复遇到极大的困难,水土保持林体系建设受到严重影响。

从林分尺度上研究成果表明,森林植被消耗深层土壤水分势必造成深层水分亏缺。在陕北黄土丘陵区宜川对 25 年生的人工油松林土壤水分定期观测表明,黄土丘陵半湿润区人工油松林的土壤含水量较低,土壤水分通常处于干燥水平<sup>[8]</sup>。这种水分亏缺极难恢复,且易造成土壤干旱化和林分生产越来越低。在同类地区山西省吉县的人工刺槐和油松林地的水分平衡研究,有类似的结果<sup>[10,18,23]</sup>。

因此,尤其要特别重视水的问题。在黄土高原水土流失治理的思路,应该正确处理流域治理与水的关系。黄土高原小流域的治水要采取理水减沙、疏水减沙的措施,不要采取堵的办法,植被建设是治理水土流失的关键措施。在植被恢复的技术层面,特别要正确认识与处理好防护林和水的关系问题,必须遵循自然生态规律,因害设防,因地制宜。

应针对黄土丘陵沟壑区水土流失的特点,以水沙运行的流域为单元,分析小流域泥沙来源,针对土壤流失和泥沙来源特点提出防护林体系建设模式,作到因害设防,因地制宜,滤水减沙,合理配置防护林体系。发挥防护林体系在小流域治理中的优势,避免不切实际的森林面积过大和修建拦砂坝等工程措施带来的减少流域径流所引起的负面影响。从林分和小流域两个尺度上,研究水分与林分的相互关系,提

出的水土保持林的配置和经营理论,其中防护林体系生态稳定性和持续性研究是重要的研究内容。

## 2 基于水分平衡的小流域水土保持林体系配置的理论思路

依据关于林地水分平衡和林水关系的研究成果,根据水分平衡原则,提出以下配置思路。

### 2.1 合理的流域植被空间配置

降水是黄土区农林牧业发展的(天然)水分供给的唯一来源,充分合理利用降水资源发展水土保持型生态农业,营造农地防护林,建立林草植被是发展生产、改善生态环境的必要措施。同时,降水也是引起侵蚀的主要动力和影响因子,对降水的利用是防护林体系配置的关键。小流域不同地貌部位对降水的利用将影响流域水分循环和水土保持工作的开展,对流域农林牧业发展有直接影响。充分认识降水资源的价值,合理利用降水是小流域防护林体系配置的重要原则。

水土保持措施包括植被措施、工程措施和田间耕作措施,是对土壤流失区下垫面性质的综合改造,具有防治水土流失和改善生态环境的重要作用。防护林体系配置结合水土保持工程改善和协调小流域水分生态环境。在相似的土壤水分带内,坡面工程和营造林草植被等防护措施改变了下垫面的性质(坡度、土壤性质、地面糙度等)。工程措施通过对地形改造而缩短径流线,通过提供入渗和减小径流等加强就地入渗,从而使土壤含水量显著提高。防护措施会影响土壤水的静态分布和动态过程。防护措施与土壤水分的相互作用是水土保持研究内容之一,也是全球变化和水文研究的热点。土壤水是水土流失区生态农业建设的重要物质基础,对于干旱的黄土高原尤其如此,如防护林体系工程需要考虑土壤的湿润状况,土壤水分状况是决定林草植被成活率、保存率及其生产力的关键因素<sup>[13,14]</sup>。研究不同的防护林体系配置模式、不同植被措施和林分结构与土壤水的相互关系,作好防护林措施的合理布局和配置。在防止土壤侵蚀的前提下,合理配置防护林体系,改善区域生态环境,使得小流域的水分生态环境良性循环。

植被的分布有一定的规律,必须符合其生存的自然环境,就是通常说的立地类型。在黄土区,由于坡面、侵蚀沟头、沟坡、沟道的热量、水分、养分供应的差异,其植被种类和生长状况有显著差异。在黄土高原地区,热量充足,光热因素可不予考虑。水肥因素成为防护林体系配置中考虑的两个生态因子。研究表明,在黄土地区,地形因素(地形部位与坡向)是影响土壤水分的主导因素<sup>[8,12~17]</sup>。由于立地类型不同,同一种植被在不同立地上生长也有差异。对于一定的立地类型,植被的盖度(或密度)取决于土壤养分和水分供应情况。

必须考虑在水分条件满足供应的情况下,土地可承载植被的最大的生物量。为发挥不同立地条件下植被的防护效益,应该合理配置不同立地条件下的植被。包括植被种类、植被覆盖度。

因此,根据水分分布规律配置林种(包括草木),就不再是各个流域地貌部位全面造林。黄土区小流域的水土保持林建设并不是要流域全面造林,而是根据防护需要因地制宜配置防护林,同时重视生态自然恢复方式。根据水分供需平衡原理设计小流域水土保持林的空间布局<sup>[16~25]</sup>,形成水土保持对位配置的防护林分布格局。

### 2.2 合理的森林覆盖率

从防治土壤侵蚀的角度来看,小流域的森林覆盖率应该

达到一定的量值,而且植被有相应的盖度。但是黄土区森林因其显著拦蓄径流作用,蓄积水分又难以转化为地下水,因而具有减少林地出境总径流量的作用<sup>[9]</sup>,长期来看,对于水分循环的有显著的影响,也会影响本流域的水分生态环境,区域水资源的过度消耗会产生环境不利的影响,直接影响着入黄河流量的问题。因此,研究小流域合理的森林布局、适宜的森林覆盖率、增加小流域水源涵养能力,保证防护功能的持续提高。研究适宜的流域森林覆盖率,使流域森林年蒸散量应该小于或等于年降水量,协调黄土区水与森林覆盖率的关系的问题。在山西西南部黄土丘陵沟壑区的研究表明,当流域森林分布合理,覆盖率达到 33 % 时,就可以达到流域侵蚀产沙量小于允许侵蚀量的目的。

### 2.3 合理的林分类型

防护林体系发挥高效的水土保持功能除了上述合理的空间配置外,还必须达到林分结构的设计要求,以保证林木的正常生长,发挥更好的生态效益。而黄土区影响林木生长的限制性因子是土壤水分,对林地土壤水分供耗关系的分析,是防护林体系在小流域空间配置和稳定林分结构设计的又一根本依据。

从水分平衡角度来看,天然林地水分供耗平衡,生长状况良好。对山西省吉县黄土区的天然林和人工刺槐、油松林地的土壤含水量研究表明,天然次生林林地土壤对降雨的干湿季节改变最大,土壤水分变化更趋合理,林地水源涵养作用明显。与人工植被相比,黄土区许多天然植被在生长良好状况下,其土壤自然含水量仍然较高<sup>[8,22]</sup>。生长于同样立地条件的人工幼林,由于林木尚小,树木生长消耗水分不多,整地工程还能集聚部分雨水,所以土壤水分条件较好。而 28 年生阴坡人工刺槐则因密度大,林木蒸腾耗水量大,枯枝落叶层破坏难以起到涵养水源的作用,致使其林下土壤最为干燥。而天然林由于相对适宜的密度、良好的草灌及枯落物层覆被,形成良好的林地土壤水分环境<sup>[25]</sup>。在陕西黄龙山天然林与人工林地的研究结果有类似态势<sup>[22]</sup>。

在对黄土区的植被水土保持功能研究表明,包括灌木在内的不同树种的水土保持功能都强。在无人为破坏的情况下,草本植物的稀疏林分的水土保持功能也很强,没有土壤侵蚀危害。因此在小流域水土保持林体系建设中,要注重天然植被的保护和自然恢复。同时在植被恢复过程中,实施模拟天然植被结构恢复的思路。正确处理天然林植被恢复与人工造林植被恢复的关系。

### 2.4 合理的植被盖度和生物量

要根据水分供耗平衡原理设计水土保持林的林分结构<sup>[16~25]</sup>,形成稳定林分结构。

对林分因子综合分析表明,林草地的生物量越高,林草地平均土壤含水量越低。因为林草地有较高生物量时,需要从土壤中吸取较多的水分,从而使土壤含水量降低。由于降水量供应有限,半湿润黄土地区生长季降水量为 500 mm 左右,而且分布不均,多是暴雨,产生径流以洪水形式排入下游,补给土壤的水量有限,使得在少少年林草地土壤水分供耗矛盾突出。

整地工程措施在提高土壤蓄水量,提高林草成活率、保存率和植被生产力中起到显著作用<sup>[9]</sup>。尽管如此,由于多数深根系高生产力人工植被耗水力强,耗水量大,导致土壤水分干枯,即土壤含水量接近凋萎湿度,从而出现黄土高原的“小老树”、“三低林”、甚至“小老草”及“土壤干化”现象<sup>[15,23]</sup>。不同林分因林分密度、林分生物量、林分郁闭度、草本生物量和盖度等不同,因此其防止土壤侵蚀的功能不

同。对郁闭度、林分密度、林木生物量、草本重量、枯落物重量、草本盖度、坡位、坡度等因子,与土壤侵蚀量进行多元回归分析,林地枯落物、草本重量越大,林地平均土壤流失量越小,而且有较高生物量的林地有显著的防止土壤流失功能但是林地生物量越高,林地土壤水分越低,更容易产生水分亏缺。因此,植被建设应该遵循水量平衡原则,林分覆盖度应根据水分供应配置,造成水分消耗过度<sup>[15,16,22~25]</sup>。营造防护林时,应根据水分供应,设计合理的林分结构和适宜的林分密度,使林分形成良好的水文生态环境,并适时间伐,加强抚育管理,及时合理抚育,通过林草间作、林粮间作、林果间作培肥林地土壤,调整林分密度<sup>[12~18,22~25]</sup>。以保证林地有足够的水分供林木生长利用,防止林地土壤干化。

在防护林林草植被的规划和结构设计中,对于不同立地和不同种类的植被都需要确定其合理的生物量值。调查表明<sup>[8,25]</sup>,山西省吉县黄土区坡面分布的天然次生林主要是灌木,灌丛主要出现在阴坡、半阴坡,形成较为稳定的群丛。如虎榛子、沙棘、黄刺玫、绣线菊等灌丛。虎榛子的生物量范围为 6.6 ~ 49.66 t/hm<sup>2</sup>,其中地上生物量为 2.6 ~ 30.74 t/hm<sup>2</sup>,沙棘林地 3.26 ~ 8.33 t/hm<sup>2</sup>,林地土壤流失轻微,几乎无侵蚀现象。

在黄土区阳坡植被以草本为主,主要是白草和蒿类,形成盖度在 0.5 左右的植物群丛虎榛子、沙棘形成单种群,有零星山桃、山杏等分布,在无人为破坏情况下,林地侵蚀轻微。

从山西省吉县黄土区红旗林场刺槐、油松来看,黄土坡面上,人工乔木林的生物量范围,阴坡为 18.38 ~ 112.69 t/hm<sup>2</sup>;阳坡为 28.64 ~ 109.42 t/hm<sup>2</sup>;半阳坡为 61.37 t/hm<sup>2</sup>;半阴坡 2.80 ~ 143.60 t/hm<sup>2</sup><sup>[8,25]</sup>。生长状况正常,均具有较强的水土保持功能。研究表明,植被生物量达到 14.51 t/hm<sup>2</sup> 就可以起到防止水土流失的作用。同时采用林草间作的试验表明,林带的防护效果也很明显,同样可以达到防护效果。带状林分实际上是属于径流林业,林带不仅利用了其上方来水,同时有拦蓄了上方径流冲刷的泥沙。从径流小区资料分析,造林密度为 1 666 株/hm<sup>2</sup> 和 1 111 株/hm<sup>2</sup> 时,土壤流失量分别为 242 t/km<sup>2</sup> 和 259 t/km<sup>2</sup>,均具有较好的效果,水土保持效果无明显差异。当然径流小区的水分状况是密度小的林分要好一些。

因此,建议在水分较差的干旱阳坡应采用植被自然恢复、林草带或疏林的方式,既可以保证土壤水分状况正常,同样达到较好的防护效果。

## 3 小流域水分空间分布规律

本文以山西省吉县黄土区为例,研究小流域水土保持林体系建设模式。山西吉县属于半湿润暖温带森林植物区<sup>[8,25]</sup>,黄土残塬沟壑区面积为 806 km<sup>2</sup>,黄土丘陵沟壑区面积为 305 km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。

小流域土壤水分空间分布规律。在山西省吉县的研究表明,地形因素(地形部位与坡向)是影响土壤水分的主导因素,土壤水分状况可以主要由地形因素来直观地加以表达,根据地形划分立地条件类型。见表 1,对各立地条件类型间土壤水分差异显著情况进行比较分级,得出春旱时期(4 - 6 月)1 m 深土层的平均土层厚度等级表,来代表研究地段黄土母质上的土壤水分状况等级。多重比较得到的土壤水分状况等级主要是按地形因素(地形部位及坡向)划分的。而土地利用状况对土壤水分影响较小,这与回归分析结果基本一致<sup>[4,17]</sup>。在流域防护林体系建设中以这个作为基础,配置

个地貌部位的林种,设计林分结构。

表 1 晋西黄土区黄土母质土壤水分状况分级表

土壤水分状况等级	命名	立地条件类型	春旱时期(4~6月)	相当于土壤含水率/%
			1 m 深土层平均水层厚/mm	
湿润型		沟底	270.6	20.8
半湿润型		沟坡坡脚	185.0~220.0	14.2~16.9
		阴坡耕地		
半干旱型		阴坡、草坡或林灌地	145.0~185.0	12.1~14.2
		半阴坡、草坡或林灌林及耕地		
		塬面		
干旱极干旱型		阴沟坡草灌地	100~145.0	8.3~12.1
		半阳坡草坡、耕地、林灌地		
		梁顶坡草坡、耕地、林灌地		
		阳坡、草坡、耕地、林灌地		
		阳沟坡草坡		

4 配置模式

根据水土流失主要决定于水、土、坡、植被等因子的原理分析,除防护林体系作为防治水土流失的植被因子和黄土本身均一性外,小流域水土流失发生发展的规律主要决定于降雨和地形。因此,对降雨和地形所形成小流域坡面径流和集中股流而产生的土壤侵蚀分析,这是防护林体系在小流域空间配置的基本依据。黄土区小流域水土保持林体系配置以

表 2 黄土残塬沟壑与丘陵沟壑区防护林体系配置模式

区域	地貌部位	坡度/°	防护林体系配置模式	林分结构特征	功能作用
塬面	塬区	0~5	道路防护林、农田防护林、农林复合经营、地埂防护林	乔木防护林带	防风、护路、护埂
	塬边		蓄水池、防护林	乔灌防护林带	分散径流、防冲刷
	塬坡		塬坡防护林	乔灌草复合防蚀林	减少地表径流、减少侵蚀
梁峁坡面	缓坡	5~15	梯田、隔坡梯田、隔坡水平沟等农地防护林	隔坡坡面防蚀林、等高绿篱林带	护埂、防蚀
	缓坡	15~25	隔坡水平沟农林复合经营、等高条带状防护林	隔坡坡面防蚀林、等高绿篱林带	减少地表径流、减少侵蚀
	陡坡	25~35	林草复合带	乔灌草带状配置天然灌草被恢复	涵养水源、减少径流、减少侵蚀
		>35	封禁、适当稀植乔灌木	乔木品字状配置、灌木带状种植、天然草	固定沟坡
	沟沿		沟沿乔灌防护林	乔灌草防护林带	防止沟头前进
沟谷沟道	侵蚀	沟头	封禁、防护林	乔灌草复合	护坡、防止沟头加深
	切沟	沟道	封禁、塌积土造林、乔灌木复合	乔灌草复合	防冲、拦淤滤水
	冲沟	沟坡	封禁、人工造林	乔灌草复合	护坡防蚀
	支沟	沟道	乔灌草密植、生物谷坊、土谷坊、干石谷坊	乔灌草复合、编柳谷坊、插柳谷坊	防蚀、拦沙、滤水
	主沟沟底	窄沟道	防冲拦淤滤水、生物防蚀、生物谷坊、土谷坊	乔灌草复合	防冲拦淤滤水林
		宽沟道平坦型	防冲拦淤滤水林、沟口淤地坝	乔灌草复合	防冲拦沙

梁峁坡面中部或坡度 15~25 的坡面建立农林牧复合经营。梁峁坡下部或 25 以上的坡面建立林草间作带,林牧复合经营,陡坡上进行牧荒坡改良,土壤水分自平衡。梁峁坡地治理以推广草、粮等高间作,水平沟种植、隔坡梯田等水土保持耕作法为主体退耕还林还草,建设牧草和灌木为主体的生态保护治理开发。

侵蚀沟是产生泥沙的主要来源地,对于侵蚀沟的沟坡和沟道的防护林建设,以侵蚀沟为单元,采取乔灌草、异龄复层,自然恢复与人工促进的治理模式。拦沙滤水生物篱、生物埂防治侵蚀沟头前进防止沟床继续下切和沟岸扩张,拦截

参考文献:

[1] 高志义. 试论“三北”生态经济型防护林体系[J]. 应用生态学报, 1991, 2 (4): 373 - 378.

[2] 关君蔚. 我国防护林的林种和体系[A]. 见: 中国林学会. 长江中上游防护林建设论文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1991.

[3] 陈永宗, 景可, 蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[4] 孙立达, 孙保平, 等. 黄家二岔小流域水土流失规律及其防护林体系[A]. 见: 黄土高原小流域综合治理与发展[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 237 - 309.

最大限度地发挥其水土保持功能为目标,为了实现该目标,小流域中防护林体系的空间配置必须与小流域水土流失发生发展的动态规律相匹配,作到因害设防、层层设防。

各地貌部位侵蚀情况,调查结果如下:

残塬面以侵蚀轻微,在允许侵蚀量范围之内。梁峁坡上部以面蚀、细沟侵蚀为主,根据坡度分别采取治理措施,控制面蚀特别是坡耕地细沟、浅沟侵蚀和侵蚀沟发展。梁峁坡中部细沟侵蚀为主,以防止坡耕地细沟、浅沟侵蚀和侵蚀沟发育发展为主。梁峁坡下部以沟蚀为主,以防止沟蚀为主。

沟沿防止崩塌、沟头前进。侵蚀沟(切沟、冲沟)应控制股流对沟道加深,沟坡沟蚀。沟道易受暴雨径流冲刷,以拦沙滤水为主。

根据对影响因子坡度与坡长的研究以及泥沙来源的研究<sup>[25]</sup>,结合水分平衡原则。在这里提到了农林复合经营,主要考虑到一些暂时难以退耕的农地的防护问题,同时作为一种经营模式在某种程度上也有重要的价值。

将黄土丘陵区(残塬沟壑区)水土保持措施的配置模式可归结为:坡面梯层结构,农林牧复合经营,沟底拦沙、滤水、固土配置模式类型<sup>[12~16, 25]</sup>。配置模式见表 2。

综上所述,根据不同地貌部位和坡度的水土流失特点和土壤水分状况,对于流域防护林体系提出如下的配置模式。

在塬面和分水岭、梁峁坡面上部坡度小于 15 的坡面建立高标准梯田,或隔坡梯田,营造梯田防护林。

坡面未能全部拦蓄的径流和泥沙,根据沟道中阴湿的特点,可营造沟底防冲林。在支沟溪线上建造土柳谷坊。在主沟上选择有利的部位,配置淤地坝,拦沙造地,扩大耕地面积。在窄型沟道,建设拦沙滤水生物篱、生物谷坊、固沟拦沙生物坝。对于宽沟底(平坦型),建立防冲拦淤滤水模式,流域出口修建淤地坝。在河流两岸或小流域的山川地或沟坝地,以粮食和经济林为主体治理开发。

从植被恢复技术上讲,应在防治水土流失的前提下,区域适度造林,确定合理的植被结构。

- [5] 朱显谟. 黄土高原地区农业持续发展必由之路——三论黄土高原地区国土整治 28 字方略[J]. 世界科技研究与发展, 1998, 20 (4): 63 - 65.
- [6] 朱金兆. 昕水河流域生态经济型防护林体系分布及其主要功能[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18 (supp): 120 - 124.
- [7] 高志义. 水土保持林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994.
- [8] 孙立达. 朱金兆. 水土保持林体系效益研究与评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [9] 李玉山. 黄土高原开发治理与黄河断流的关系[J]. 水土保持通报, 1997, 17(6): 41 - 45.
- [10] 吉县志编委会. 吉县志[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [11] T Marunati, Cary J Brierley, Novel A Trustrum, et al. Source-to-sink sedimentary cascades in Pacific rim geo-systems [M]. Matsumoto Sabo Work Office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan, 2001. 1 - 10.
- [12] 余新晓, 张建军, 朱金兆. 黄土区防护林体系生态系统土壤水分条件的分析与评价[J]. 林业科学, 1996, 32(4): 289 - 297.
- [13] 邹年根, 罗伟祥. 黄土高原造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998. 75 - 80, 90 - 92.
- [14] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [15] 孙长忠, 等. 黄土高原人工植被与土壤水分环境相互关系研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 7 - 14.
- [16] 吴钦孝, 等. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 100 - 105.
- [17] 朱金兆. 山西吉县黄土残塬沟壑区刺槐数量化立地指数表的编制及其在造林立地类型划分中的应用[J]. 北京林学院学报, 1982, (3): 116 - 121.
- [18] 余新晓. 土壤水文动力学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [19] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [20] 赵诚信, 常德茂, 李建牢, 等. 黄土高原不同类型区水土保持综合治理模式研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(4): 25 - 30.
- [21] 王礼先. 林业与山区流域治理[A]. 见: 森林与环境 - 中国高级专家研讨会文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 147 - 152.
- [22] 穆兴民, 等. 黄土高原水土保持措施对土壤水分的影响[J]. 土壤侵蚀学报与水土保持学报, 1999, 5(4): 39 - 44.
- [23] 魏天兴, 朱金兆, 等. 黄土区人工林地水分供耗关系特点与林分生产力研究[J]. 土壤侵蚀学报与水土保持学报, 1999, 5(4): 45 - 51.
- [24] 王斌瑞, 王百田, 等. 黄土高原径流林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [25] 朱金兆, 魏天兴, 张学培. 基于水分平衡的黄土区防护林体系高效空间配置[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5~6): 5 - 13.

(上接第 178 页)

## 2.5 结果分析

(1) 经过 LINGO8.0 的运算, 上述优化结构可获得净产值 2,099,028 元。

(2) 种植业结构: 种植业结构经过优化后, 青贮玉米、谷子、土豆调整为零, 玉米、胡麻、芸芥、蔬菜、菇棚效益最高, 因此调整的幅度较大, 都有所增加。玉米由  $641.9 \text{ hm}^2$  增加到了  $951.65 \text{ hm}^2$ , 不仅为家畜提供大量饲料, 而且经济效益最高, 更重要的是调整了作物的用水时间和比例, 增加秋粮的比例可使地下水的利用更加科学化。多需水作物小麦种植面积由  $28.7 \text{ hm}^2$  调整为  $13.3 \text{ hm}^2$ , 通过种植饲料和经济作物可达到节水的效果。胡麻、芸芥的面积也有所增加, 可解决人的食用油, 还可促进油料加工业的发展, 同时又能解决家畜蛋白质饲料的不足。豆类产量较低, 主要是以套种的形式进行生产, 因此对豆类种植面积由  $121.6 \text{ hm}^2$  调整为  $68.4 \text{ hm}^2$ 。瓜菜的经济价值在种植业中产值最高, 种植面积由  $119 \text{ hm}^2$  增加到  $133.3 \text{ hm}^2$  将获得最大的经济效益。

(3) 畜牧业结构: 优化后养猪数量变动不大, 一方面满足群众的日常生活需要, 另外可以为农作物提供有机肥料; 随

参考文献:

- [1] 何勤, 姜学杰, 蒋道德, 等. 四川丘陵区耕地种植业结构的优化模式探讨[J]. 西南农业学报, 2004, 17(3): 229 - 304.
- [2] 陈玉香, 周道玮, 张玉芬, 等. 东北农牧交错带农业生态系统结构优化生产模式[J]. 东北工程学报, 2004, 20(2): 205 - 254.
- [3] 刘刚才, 王小丹, 胡先才, 等. 西藏康马县涅如藏布河谷种植业结构的优化模式[J]. 山地学报, 2004, 22(1): 54 - 58.
- [4] 秦建成, 高明. 河西灌区三元种植结构研究——以张掖市为例[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(4): 315 - 318.
- [5] 王素娟, 姚加飞. LINDO 在工程实际中的运用[J]. 重庆邮电学院学报, 2001, 133 - 135.
- [6] 罗昱辉, 叶艳妹. 多目标规划的 LINDO 求解方法[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(2): 108 - 110.
- [7] 谢金星, 薛毅. 优化建模与 LINDO/LINGO 软件[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [8] 覃虹桥, 罗佑新. LINGO7.0 软件包及其在机械优化设计中的应用[J]. 机床与液压, 2004, (5): 140 - 142.

着农业机械化的发展, 大家畜的数量有所减少; 羊的数量由 8 161 只增加到 8 500 只。

(4) 通过对该地区的种植业结构的优化, 使该地区的农业生态系统内部的种植业、养殖业协调发展, 生态系统的结构趋于合理, 整体效益明显提高, 将会取得较高的经济效益、良好生态效益及社会效益。

## 3 讨论

(1) LINGO 软件是著名的专业优化软件, 其功能强大、计算结果准确, 与其它有优化功能的非专业软件相比, 具有明显的优势。实例证明: 用 LINGO8.0 解决线性规划问题, 计算速度快, 计算结果可靠, 与 LINDO 软件相比, 它能获得同样的结果, 但速度更快, 使用更为简单。

(2) LINGO 软件操作简单, 易学易用, 在国外运筹学类的教科书中也被广泛用作教学软件。因此, 在用线性规划对种植业结构进行优化时应该把 LINGO 作为首选软件。在农业系统工程计算中 LINGO 软件值得大力推广。