

薪炭林结构优化及效益模拟

汪有科 周泽生 李立傅 左杨光

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘要

根据黄土高原水土流失的特点,本文采用了生态和经济两个目标函数,应用系统优化理论及系统动力学原理,对宁夏西吉县黄土丘陵区薪炭林的产量,水土保持及经济效益进行了动态模拟分析。

关键词 薪炭林 效益 系统优化

水土流失和燃料奇缺是黄土高原生态环境恶化的两大特征,也是制约该区农村经济发展和人民生活改善的重要原因。因此要改变这一地区的面貌,就必须结合水土保持,发展和营造水土保持薪炭林。建立水土保持型薪炭林,首先是选择优良的树草种,按不同立地条件类型进行合理配置,使两个目标函数值达最高,同时还要考虑造林长短期效益问题。为此,我们首次利用系统优化理论和系统动力学原理,对西吉县黄土丘陵区水土保持薪炭林树草种进行了优化组合,并对成林后的产薪、水保经济效益进行了动态仿真分析。

结构优化采用线性规划模型,效益预测应用系统动态仿真模拟,两个模型均在 IBM-PC 计算机上运行。现将西吉县黄土丘陵区水保薪炭林结构及效益动态模拟研究的结果报告如下:

1 基本情况

西吉县是宁夏回族自治区固原行署所属县之一,地理位置界于北纬 $35^{\circ}35' \sim 36^{\circ}14'$,东经 $105^{\circ}20' \sim 106^{\circ}04'$,东西分别与固原县和甘肃静宁县接壤,南与隆德县、甘肃会宁县、北与海原县毗邻。

该县黄土丘陵区总面积 $2\,020.67\text{km}^2$,占全县总面积的 64.31%,农业人口 204 162 人,人口密度 101 人/ km^2 。

本区气候属中温带,半湿润向半干旱过渡的中间类型,处于大陆性季风气候的边缘。夏季短且温凉,春季温差较大,秋季降温迅速;年均气温 $4^{\circ}\text{C} \sim 6^{\circ}\text{C}$,无霜期仅 130~140 天;年均降水量 300~500mm,时空分布不均,年际和季节降水量变异大,冬干,夏旱春夏连旱时常发生。一般年景,7、8、9 三个月的降水量占全年降水量的 60% 以上,干燥度在 1.22~1.55 之间。年平均日照 2 322.3h。

由于长期进行单一粮食经营,土地利用不合理,导致植被稀少,水土流失严重,生态

环境恶化。全县人均土地面积 14 亩,但沟壑纵横,土壤瘠薄,生产力低下,致使人缺口粮畜缺草,锅下缺柴地缺肥,长期处于“越穷越垦,越垦越穷”的恶性循环中。每年农户缺柴 4 个多月,只好上山割蒿草,扫茅衣、刮草皮、挖草根。1981 年调查,全县农村刮草皮挖草根破坏山地植被约 408 万亩(次),82%的草原产草量仅为 19~40.5kg/亩,相当于 50 年代的 1/3,从而影响了农牧业生产的发展和人民生活水平的提高。

据现有勘探资料,西吉县没有常规能源资源。农村可供利用的能源主要是生物质能资源。太阳能、风能、沼气、小水电都因成本过高和当地自然条件所限,目前不易推广。黄土丘陵区是全县缺能最严重的区。在林业区划中该区被列为重点发展“水土保持”三料“林区”。据 1985 年调查,该区生物质能源耗费中,畜粪占 38.4%;草类 26.9%;薪柴 11.4%,因此,大力发展水保薪炭林,是解决该区农村能源短缺的有效途径并占有十分重要的地位。

2 薪炭林(草)结构优化

根据对该县黄土丘陵区的造林立地条件类型(见表 1)和树草种的生长调查,初步选出沙打旺、草木樨、紫花苜蓿、沙棘、柠条、沙柳、山桃、柽柳、紫穗槐 9 个树草种进行优化配置,并根据系统工程原理,运用线性规划的数学方法试求最佳结构模式。

线性规划的一般形式为:

$$Max Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

$$\text{满足 } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i (i=1, 2, \dots, m)$$

$$X_j \geq 0 (j=1, 2, \dots, n)$$

设树草种在不同立地条件下的面积为 x_{ij} (见表 1)。根据各树草种的适宜性、土地资

表 1 西吉县黄土丘陵区造林立地条件类型和树草种配置

立地	阳坡	阴坡	陡坡	梁峁	河滩	沟壑	荒山
沙打旺	X_1	X_2	X_3	X_4		X_6	X_8
草木樨	X_7	X_8	X_9	X_{10}		X_{11}	X_{12}
苜蓿	X_{13}	X_{14}					
沙棘	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{21}
柠条	X_{22}	X_{23}	X_{24}				X_{25}
沙柳	X_{26}	X_{27}					X_{28}
山毛桃	X_{29}	X_{30}	X_{31}			X_{32}	X_{33}
柽柳					X_{34}		
紫穗槐					X_{35}		
面积(亩)	126702	107515	12838	10293	4005	5298	83510

注:图中变量为不同立地类型中各树草种配置的面积

源的限制、经济发展的需要及生态环境的要求,该线性规划的约束条件为:

各类造林土地资源面积约束:

$$(1) X_1 + X_7 + X_{13} + X_{15} + X_{22} + X_{26} + X_{29} = 126702$$

$$(2) X_2 + X_8 + X_{14} + X_{16} + X_{23} + X_{27} + X_{30} = 107\ 515$$

$$(3) X_2 + X_9 + X_{17} + X_{24} + X_{31} = 12\ 838$$

$$(4) X_4 + X_{10} + X_{18} = 10\ 293$$

$$(5) X_{19} + X_{34} + X_{35} = 4\ 005$$

$$(6) X_5 + X_{11} + X_{20} + X_{32} = 5\ 298$$

$$(7) X_6 + X_{12} + X_{21} + X_{25} + X_{28} + X_{33} = 83\ 510$$

考虑新材产量,近期和长期效益,试区树草种应满足:

$$(8) X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = 87\ 000$$

$$(9) X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} > 29\ 000$$

$$(10) X_{13} + X_{14} = 58\ 200$$

$$(11) X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} = 87\ 000$$

$$(12) X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} \geq 17\ 500$$

$$(13) X_{26} + X_{27} + X_{28} = 22\ 000$$

$$(14) X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} = 17\ 000$$

$$(15) X_{34} = 2\ 000$$

$$(16) X_{35} \geq 2\ 000$$

退耕地成林较快,树种比例应大些,但为了减少退耕地水土流失,要求在退耕地实行草灌混交的树草种应满足下述条件:

$$(17) X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq 6\ 000$$

$$(18) X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq 2\ 000$$

$$(19) X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} \geq 60\ 000$$

$$(20) X_{22} + X_{23} + X_{24} \geq 10\ 000$$

$$(21) X_{26} + X_{27} \leq 15\ 000$$

$$(22) X_{29} + X_{30} + X_{31} \leq 18\ 000$$

按薪炭林带状混交比例,草灌约占各一半,则有:

$$(23) X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \\ = 174\ 600$$

$$(24) X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} \\ + X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 175\ 525$$

具有经济价值的树种产量应满足(单位: 100kg)

$$(25) 2.0X_{26} + 2.1X_{27} + 4.9X_{28} + 2.3X_{34} + X_{35} \geq 50\ 000$$

$$(26) 1.2X_{29} + 0.9X_{30} + 0.8X_{31} + X_{32} + 1.1X_{33} \geq 13\ 000$$

$$(27) 0.5X_{15} + 0.6X_{16} + 0.45X_{17} + 0.55X_{18} + 0.7X_{19} + 0.6X_{20} + 0.65X_{21} \geq 40\ 000$$

按造林立地条件、荒山造林成活、成林较难,应考虑适当增加薪炭草的比重,树草种分布要求:

$$(28) X_5 \geq 5\ 000$$

$$(29) X_6 + X_8 \leq 27\ 000$$

$$(30) X_{11} \geq 1\ 000$$

$$(31) X_{11} + X_{12} \leq 10\ 000$$

$$(32) X_{20} \geq 5\ 000$$

$$(33) X_{20} + X_{21} \leq 27\ 000$$

$$(34) X_{25} \geq 2\ 000$$

$$(35) X_{28} \leq 7\ 000$$

$$(36) X_{32} + X_{33} \geq 3\ 000$$

目标函数,薪柴生产量最高(100kg)

$$\begin{aligned} \text{Max}z = & 6.2X_1 + 7.5X_2 + 5.2X_3 + 6.2X_4 + 5.2X_5 + 6.8X_6 + 9.3X_7 + 10X_8 + 8.6X_9 + 9X_{10} \\ & + 8.6X_{11} + 9X_{12} + 4X_{13} + 5X_{14} + 2.1X_{15} + 2.5X_{16} + 1.9X_{17} + 2X_{18} + 2.1X_{19} \\ & + 1.9X_{20} + 2X_{21} + 1.7X_{22} + 1.8X_{23} + 1.4X_{24} + 1.6X_{25} + 2X_{26} + 2.1X_{27} + 1.9X_{28} \\ & + 1.8X_{29} + 1.8X_{30} + 1.6X_{31} + 1.5X_{32} + 1.7X_{33} + 2.3X_{34} + X_{35} \end{aligned}$$

该模型用 Lando 软件,在 IBM-PC 计算机上运算结果得:

$$\begin{aligned} X_1 &= 60\ 000 \text{ 亩} & X_5 &= 500 \text{ 亩} & X_6 &= 26\ 500 \text{ 亩} & X_8 &= 6\ 562 \text{ 亩} \\ X_9 &= 12\ 838 \text{ 亩} & X_{11} &= 1\ 000 \text{ 亩} & X_{12} &= 9\ 000 \text{ 亩} & X_{13} &= 28\ 652 \text{ 亩} \\ X_{14} &= 29\ 548 \text{ 亩} & X_{16} &= 70\ 455 \text{ 亩} & X_{18} &= 10\ 257 \text{ 亩} & X_{20} &= 3\ 798 \text{ 亩} \\ X_{21} &= 2\ 490 \text{ 亩} & X_{22} &= 10\ 000 \text{ 亩} & X_{25} &= 35\ 520 \text{ 亩} & X_{26} &= 14\ 050 \text{ 亩} \\ X_{27} &= 949 \text{ 亩} & X_{28} &= 7\ 000 \text{ 亩} & X_{29} &= 14\ 000 \text{ 亩} & X_{33} &= 3\ 000 \text{ 亩} \\ X_{34} &= 2\ 000 \text{ 亩} & X_{35} &= 2\ 005 \text{ 亩} \end{aligned}$$

由运算结果可看出,薪炭草的发展面积为 174 600 亩,占薪炭林草总面积的 49.87%。其中沙打旺 87 000 亩主要分布在阳坡、沟壑及荒山;苜蓿 58 200 亩,主要分布在阳坡和阴坡;草木樨 29 400 亩,主要分布在阴坡、陡坡、沟壑及荒山;新炭灌木林的发展面积为 175 524 亩,占薪炭林草总面积的 50.13%。其中沙棘是 87 000 亩,主要分布在阴坡。梁荆、沟壑和荒山;柠条 45 520 亩,主要分布在阳坡和荒山;沙柳 21 999 亩,主要分布在阳坡、阴坡及荒山;山桃 17 000 亩,主要分布在阳坡和荒山;怪柳 2 000 亩,主要分布在河滩;紫穗槐 2 005 亩,主要分布在河滩。

树草种按上述模型布设,该区在正常年份可获 143 987t 薪炭柴草(干重)。每人每年按 1t 柴草计,可满足 143 987 人的年生活用能。按该区目前 18.933 万人计算,能满足 76% 的生活用能。这种林草混交优化模型每公顷产薪量达 6 168kg,较一般薪炭林其产量提高 3 倍左右。

3 薪炭林(草)效益的动态仿真模拟

3.1 薪炭林(草)SD 模型

发展薪炭林,既要满足该区农村燃料的要求,又要考虑水土保持效益,因之,它是一个生态系统。在半干旱的黄土丘陵区营造薪炭林,由于树种生长缓慢,水土保持效益周期较长(一般 4~6 年),而薪炭林的生产力也随着林龄的增长不断提高;但是,农村燃料的需求也将随着人口的增长不断增加,因此,薪炭林生态系统总体功能也是一个动态变化过程,拟用系统动力学方法建立 SD 模型,研究该生态系统的效益及动态变化规律,并预测它们的发展趋势。

根据上述树草种优化结构的配置方案,我们选择乔木(防护、用材林)、灌木(薪炭林)、人工草(薪炭草)的面积、薪柴量及有关变量作为研究对象,按照系统内部的因果反锁关系构造了薪炭林(草)生态经济系统流图。

在此基础上,建立该系统的SD(System Dynamics)模型,用DYNAMO语言编计算机程序。该模型包括8个状态变量,16个流率变量、17个辅助变量和30个参数。其主要方程是:

3.1.1 总人口

$$L \quad POP, K = POP, J + POR \cdot K \times DT$$

$$R \quad POR \cdot KL = POP \cdot K \times TABHL(TAB_1, Time \cdot K, 1985, 2030, 15) / 100$$

$$T \quad TAB_1 = 19.6, 14, 13, 12$$

式中:

POR——人口增长率,是时间变量的表函数。

3.1.2 草地面积和产量

$$L \quad GRAS \cdot K = GRAS \cdot J + (GR_1 \cdot JK - GR_2 \cdot JK) \times DT$$

$$R \quad GR_1 \cdot KL = GRAS \cdot K \times CLIP(PP, P_1, GRAS \cdot K, 23.3)$$

$$R \quad GR_2 \cdot KL = GRAS \cdot K / 7$$

$$A \quad COR_2 \cdot K = 1400 \times GRAS \cdot K \times 0.5 \times 10$$

式中:

GRAS, COR₂——分别为种草面积和产草量;

PP, P₁——分别为种草增长率和减少率。

3.1.3 灌木林面积及产量

$$L \quad FORA \cdot K = FORA \cdot J + (FR_1 \cdot JK - FR_2 \cdot JK) \times DT$$

$$R \quad FR_1 \cdot KL = FORA \cdot K \times CLIP(PP, P_2 \cdot K, FORA \cdot K, 24.3)$$

$$R \quad FR_2 \cdot KL = FORA \cdot K / 100$$

$$L \quad FORG \cdot K = FORG \cdot J + (FOR_1 \cdot JK - FOR_2 \cdot JK) \times DT$$

$$R \quad FOR_1 \cdot KL = 180 \times FORA \cdot K \times 10$$

$$R \quad FOR_2 \cdot KL = FORG \cdot K / 20$$

$$A \quad COR_3 \cdot K = FOR_2 \cdot JK \times 0.65$$

式中:

FORA, FORG——分别为灌木面积和薪材量;

FOR₁, FOR₂——分别为灌木年生长量和采伐量;

COR₃——为灌木燃料年产量。

3.1.4 乔木林面积和产薪量

$$L \quad FORB \cdot K = FORB \cdot J + (FR_3 \cdot JK - FR_4 \cdot JK) \times DT$$

$$R \quad FR_3 \cdot KL = FORB \cdot K \times CLIP(PP, P_3 \cdot K, FORB \cdot K, 22.71)$$

$$R \quad FR_4 \cdot KL = FOR_4 \cdot JK / 0.96$$

$$L \quad FORM \cdot K = FORM \cdot I + (FOR_3 \cdot JK - FOR_4 \cdot JK) \times DT$$

$$R \quad FOR_3 \cdot KL = 0.08 \times FORB \cdot K$$

$$R \quad FOR_4 \cdot KL = FORM \cdot K / 50$$

$$A \quad COR_4 \cdot K = (100 \times FOR_4 \cdot JK + 50 \times FORB \cdot K) \times 10 \times 0.65$$

式中:

FORB, FORM——分别为乔木林面积和木材蓄积量;

FOR₃, FOR₄——分别为乔木年生长量和采伐量;

COR₄——乔木燃料年产量。

3.1.5 燃料总量和人均燃料

$$A \quad COR \cdot K = COR_1 \cdot K + COR_2 \cdot K + COR_3 \cdot K + COR_4 \cdot K + COR_5 \cdot K$$

$$A \quad PCOR = COR \cdot K / (POP \cdot K \times 10000)$$

式中:

COR, PCOR——分别为燃料总量和人均燃料。

3.1.6 土壤流失量

$$L \quad SOIL \cdot K = SOIL \cdot J + (SOR_1 \cdot JK - SOR_2 \cdot JK) \times DT$$

$$R \quad SOR_2 \cdot KL = 1.4 \times GR_2 \cdot JK + 1.5 \times FR_2 \cdot JK + 1.6 \times FR_4$$

$$R \quad SOR_3 \cdot KL = 1.9 \times GR_1 \cdot JK + 1.95 \times FR_1 \cdot JK + 1.85 \times FR_2 \cdot JK$$

$$L \quad GRA_2 \cdot K \times (1 - 0.13)$$

式中:

GR₂, FR₂, FR₄——分别为草地、灌木、乔木林减少面积;

GR₁, FR₁, FR₃——分别为草地、灌木、乔木林增加面积。

3.2 仿真结果分析

这个仿真结果曾在 IBM-PC/XT 计算机上进行多次重复运行仿真步长为 1 年, 仿真初始时间是 1985 年, 终止时间是 2030 年, 从仿真结果选择了三种发展方案动态比较 (见表 2)。

方案 I。1986—2010 年, 每年以 2~3 万亩的速度发展薪炭草, 最高达 18.038 万亩; 2015—2030 年是薪炭草发展速度与自然衰败速度持平阶段。薪炭灌木林是一直持续不断发展, 到 2030 年最高值达 22.737 万亩。人口发展按目前的增长速度, 并作适当控制 (三个方案中人口发展速度相同)。以达到荒坡面积迅速减少, 土壤流失减轻的作用。到 2010 年以后土壤流失量可控制在 2 790t~1 680t/km²·a。荒坡面积接近零值。燃料总量稳定增长, 2025 年达最高值 (308 200t), 人均燃料到 2000 年可翻一番, 以后人均可保持在 837~992kg/a, 需求量按每年人均 1 000kg 计, 人工薪炭林 (草) 到 2000 年以后可满足 84%~99% 的用量。从而可大大改善原来的生活用能结构, 节约大量畜粪和秸秆还田还牧, 促进农牧业的发展和人民生活水平的提高。林草产值稳步发展, 由 1985 年的 4 571 000 元增加到 20 532 000 元。以达到能源、生态、经济的综合效益。

方案 II。薪炭草在 1990—2030 年期间呈均匀增长趋势, 最多发展为 17.354 万亩; 薪炭灌木林在 1990—2010 年间快速发展, 2010 年后停止发展, 呈保持状态、乔木林 1995 年以前为快速发展阶段, 1995 年以后停止发展。这个方案使薪炭林 (草) 产值、土壤流失及荒坡面积的变化同方案 I 很相近, 但总燃料量增加较慢, 赶不上人口发展的速度, 造成人均燃料量到 2030 年才能达到 835kg/a。

方案 II。薪炭草的发展和方案 I 相似,薪炭灌木林的发展与方案 II 相同,乔木的发展与方案 I 一样。在这种情况下,人均燃料量介于方案 I 和方案 II 之间,产值及保土效益也没超出方案 I、II。

从表 2 中可看出,薪炭草的产量是薪炭灌木林产量的数倍,乃至 10 倍,它起着举足轻重的作用。因此,该区解决燃料问题必须重视人工薪炭草的发展。本研究是以解决燃料

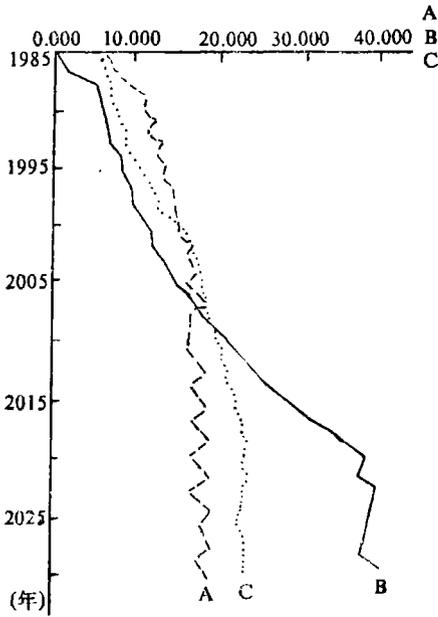


图1 方案 I 的草、灌、乔发展面积动态变化

注: A——为草面积(单位: 万亩)
B——为灌木面积(单位: 万亩)
C——为乔木面积(单位: 万亩)

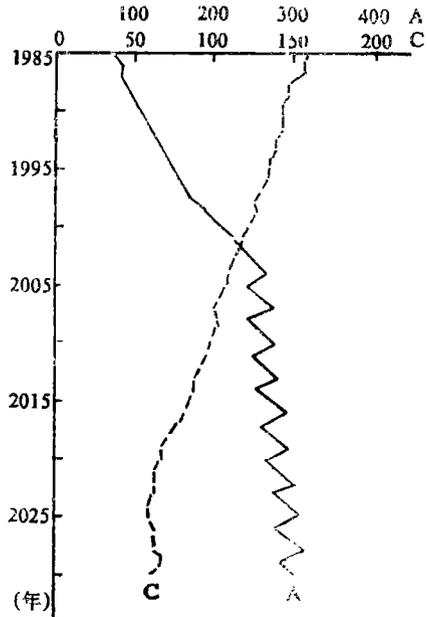


图2 方案 I 的效益动态变化趋势

注: A——为总燃料量(单位: 10⁴t)
C——为土壤流失量(单位: 10⁴t)

和控制土壤流失为目的,所以从上述三个方案的对比中,我们认为方案 I 最为合理,可作为西吉黄土丘陵区薪炭林(草)发展的模式。方案 I 中的乔、灌、草结构发展趋势及其效益(见图①,②)。

参 考 文 献

- [1] 张汉雄. 通渭县农牧业结构优化动态仿真模型的探讨. 水土保持通报, 1987(3)
- [2] 胡玉奎. 系统动力学. 中国科技咨询服务中心预测开发公司, 1984年
- [3] 席少霖等. 最优化计算方法. 上海科学技术出版社, 1983年
- [4] Dent JB, Blackie MJ. 农业系统仿真. 粟文辉等译. 农业出版社, 1984年
- [5] 陈锡康等. 经济数学方法与模型. 中国财政经济出版社, 1982年

(下转第130页)

参 考 文 献

- [1] 杨维权,刘兰亭,林鸿洲.多元统计分析.高等教育出版社,1989;209~226
 [2] 阳含熙,卢泽愚.植物生态学的数量分类方法.科学出版社,1983;232~251
 [3] 袁志发等.模糊数学在农林上的应用.天则出版社,1989,127~138
 [4] 傅左,周泽生等.黄土高原能源林植物选择的研究之二——主要能源林植物水分状况及其抗旱性比较.水土保持学报,1989年;8(3):91~96

THE QUANTITATIVE ANALYSIS FOR THE CHOICE INDEXES FOR SPECIES OF FUEL WOOD

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation under
 the Chinese Academy of Science and Ministry of Water
 Conservancy YangLing·Shaanxi·712100)

Abstract

This paper chose six charactic indexes, yield, fuel value, water potential, tissue water content, ratio of free water to bound water and natural saturation deficit, according to the charactersitic that fuel wood plants should have higher and drought resistance. After comparing each charactic indexes, eight fine species were selected by using of quantitative analysis technique, They are Hippophae rhamnoides Linn., Sophora vicifolia Hance., Amygdalus davidiana(carr) Franch., Caragana inlelmadia Kuang el H. C. Fu., Astragalus adsurgens Pall., Melilotus suaveolens Ledeb., Medicago sativa L. and Onobrychis viciaefolia Scop.

Key words fuel wood choice of species quantitative analysis

(上接第123页)

THE STRUCTURE OPTIMIZATION AND BENEFIT THE SIMULATION FOR THE FUEL FORESTS

Wang YuKe Zhou Zesheng Li Li Fu Zuo Yang Guang

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation,
 Academia Sinica and the Ministry of Water Conservancy
 Yangling·Shaanxi·712100)

Abstract

Based on the characteristics of water and soil loss on the loess plateau, We considered two objective functions on economics and ecology, using systematic optimization theory and systematic dynamic principles, and optimized the tree species combination of fuel forest on the loess hill region of XiJi county. The dynamic simulation of fuel yield, water and soil conservation effects and economic benefits were also analysed.

Key words fuel forest benefit systematic optimization