

黄土丘陵沟壑区乔灌草植物空间优化配置 以甘肃省定西地区为例

郑海峰¹, 陈利顶^{1*}, 于洪波²

(1 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2 甘肃省林业科学研究所, 兰州 730020)

摘要: 黄土丘陵沟壑区水土流失的影响因素有气候、植被、土壤、地形等, 而乔灌草植物在空间上的不合理配置是造成该区水土流失严重的主要原因之一。本文选择研究区内限制植物生长与分布的 4 个关键环境因子(高程、坡度、坡向和降雨量), 利用多属性决策分析(MG-DA)的方法, 探讨乔灌草植物在空间上的优化配置, 将整个研究区划分为 5 类乔灌草植物空间优化配置主模式和 18 类乔灌草植物空间优化配置子模式; 同时, 应用 GIS 聚类分析与统计分析方法, 对所划分的乔灌草植物空间优化配置模式进行空间布局分析。结果显示: 农民赖以生存的经济林/农林复合配置模式和农田/庭院经济配置模式是研究区的主要配置模式, 占配置模式总面积的 76.02%。

关键词: 黄土丘陵沟壑区; 决策指标; 多属性决策分析; GIS; 空间优化配置模式

文章编号: 1000-0585(2007)01-0101-09

1 引言

黄土丘陵沟壑区具有地表破碎、沟壑密度大、植被覆盖率低和水土流失严重等特点^[1]。甘肃省定西地区属于典型的黄土丘陵沟壑区, 由于人类长期过度开发利用水土资源, 大面积自然植被遭到破坏, 导致水土流失加剧, 生态环境恶化, 是我国水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区之一^[2, 3]。从上世纪 60 年代开始, 国家相继开展了重点科技攻关对该区进行生态环境治理研究, 从以单纯水土保持措施的生态环境治理研究, 到生态效益、经济效益和社会效益相结合的综合治理研究, 取得了大量的研究成果^[4~9]。然而黄土丘陵沟壑区的水土流失治理是一个长期的过程, 尚有许多新的课题需要进一步深入研究。众多研究表明^[10~14], 造成黄土丘陵沟壑区水土流失严重的主要原因是不合理的土地利用结构。因此, 在空间上如何合理地调整土地利用结构, 如何对乔灌草植物和水土保持措施进行合理的配置, 是该区亟待解决的关键问题。乔灌草植物的空间优化配置是植被建设的核心内容, 不仅要解决乔木、灌木和草本植物空间分布与搭配比例的问题, 而且也关系到物种选择和植被的经济效益。目前大多文献主要研究应用模型分析植物物种的选择及其空间分布^[15~17]、气候因素对乔灌草植物空间配置的影响^[18~22]、特定地区自然植被的恢复与

收稿日期: 2006-04-10; 修订日期: 2006-09-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(40321101; 90502007); 国家十五科技攻关项目(2004BA606A-3)

作者简介: 郑海峰(1979), 男, 山西宁武人, 在读博士生。主要从事景观格局与生态过程研究。

E-mail: zhf02@msn.com, 电话: 010-62849520

* 通讯作者: 陈利顶(1965), 男, 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: liding@rcees.ac.cn

演替^[23~25], 为黄土高原乔灌木植物的空间优化配置提供了重要的科学依据。然而, 上述研究很少从植被的地带性与非地带性分布、社会经济条件来综合分析乔灌木植物的空间配置。

在大尺度区域, 乔灌木植物的空间优化配置是一个复杂的问题, 既要遵循自然植被的地带性分布规律, 又要充分考虑不同地形部位的小气候分异规律; 既要取得水土保持的生态效益, 又要取得满足当地人民生活的经济效益。多属性决策分析 (MDCA) 是解决此类问题的有效方法, 它帮助决策者对已掌握的信息进行组织和分析, 综合考虑不同属性的各个指标的作用, 制定出一种或多种优化方案, 从而避免重大决策失误^[26]。GIS 因具有强大的处理、管理和空间分析的能力, 近年来, 国内外许多政府部门和科研单位将其广泛应用于解决空间决策问题的复杂性^[27, 28]。将多属性决策分析与 GIS 相结合是解决乔灌木植物空间优化配置的有力手段。

本文从生态学的角度出发, 在考虑生态效益和经济效益的基础上, 结合以往有关黄土高原水土流失治理的研究成果, 征询多年从事黄土高原生态环境建设的专家, 利用决策分析与 GIS 对甘肃省定西地区乔灌木植物的空间优化配置进行了初步探讨。其目的不仅在于寻求一种解决乔灌木植物空间优化配置的方法, 更重要的是应用这种方法促进黄土丘陵沟壑区土地资源的合理利用, 实现乔灌木植物的 适地 优化配置。

2 数据来源与研究方法

2.1 乔灌木植物空间优化配置的总体构架

以乔灌木植物空间优化配置为出发点 (图 1), 依据空间特征数据和专题特征数据, 通过 GIS 和多属性决策分析 (MCDA) 完成。构架的核心是建立乔灌木植物优化配置决策表和生成各属性的栅格数据叠加图, 并应用 GIS 将其进行耦合, 实现乔灌木植物的空间优化配置。

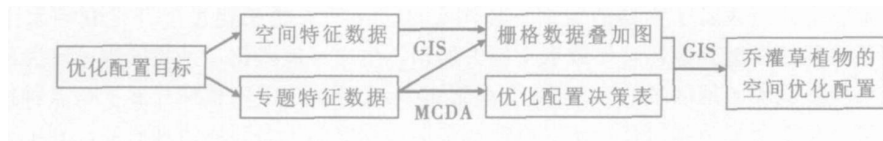


图 1 乔灌木植物空间优化配置的构建框架

Fig 1 The framework of spatial allocation of tree, shrub and herb plants

2.2 数据来源

空间特征数据来源于全国 1:25 万地形数据库; 专题特征数据来源于全国 1:25 万地形数据库、甘肃省定西地区 7 个县及其周边邻近 19 个气象监测站 1951~2004 年的气象数据、六五至十五期间黄土丘陵沟壑区水土流失治理和生态环境建设的研究成果、专家知识 (即有关专家为决策指标分类和建立决策表所提供的宝贵意见) 和相关研究文献^[29~31]。

2.3 决策分析的原则与步骤

乔灌木植物空间优化配置的决策分析涉及地学、生态学等学科的知识, 遵循的基本原则有: (1) 区域性原则: 根据研究区的自然环境特点, 确定合理的评价指标与决策分析; (2) 生态因子限制性原则: 充分考虑植物物种和植被类型对生态因子的适应性, 对决策评价因子进行科学地分级; (3) 综合性原则: 综合分析各种生态因子对乔灌木植物配置的影响。

响, 并考虑乔灌木植物配置的生态效益和经济效益; (4) 科学性原则: 决策分析建立在客观的环境条件、多年科研成果和专家知识的基础之上。

决策分析的步骤分为识别问题、设计目标、选择决策指标及指标分级、建立决策表和确定优化配置模式。

2.4 空间配置

实现乔灌木植物的空间配置有以下几个步骤: (1) 由全国 1:25 万地形数据库生成研究区的 DEM (数字高程模型), 利用 DEM 生成坡度、坡向、高程图 (分级图); (2) 根据多个气象监测站的降雨数据, 应用 Kriging 空间插值法对点属性数据进行插值分析, 生成降雨分布图; (3) 将坡度图、坡向图、高程图和降雨分布图进行叠加, 生成综合属性数据图; (4) 依照多属性决策分析建立的决策表, 通过决策结构语句 (约束条件) 对综合属性数据图进行聚类分析, 最终实现乔灌木植物在空间上的配置。属性数据的基本单元均为 100m × 100m 的栅格单元, 属性数据图采用统一坐标系统和投影系统。

3 案例分析 甘肃省定西地区

3.1 研究区概况

定西地区位于东经 103°52′ ~ 105°13′、北纬 34°26′ ~ 35°35′, 处于甘肃省中部, 行政区界包括定西县、渭源县、通渭县、岷县、漳县、临洮县和陇西县 7 个县, 土地面积近 2 万平方公里。地貌为典型黄土丘陵沟壑区, 海拔在 1500m ~ 3900m 之间。该区属于暖温带半干旱气候区, 多年平均气温为 6.4℃; 多年平均年降雨量为 474mm, 其 60% ~ 70% 集中在 7 ~ 9 月, 多年平均年蒸发量为多年平均年降雨量的 3 倍。黄绵土是该区的主要土壤类型, 分布范围最广, 且土层较厚。植被属干旱草原植被类型, 天然乔木林较少, 天然植被多以灌草丛为主, 人工植被主要为果园和农作物。

3.2 决策指标的选择

植物生长所依赖的自然环境因子有多种, 如气候 (气温、降雨量、湿润指数)、土壤、地形 (高程、坡度、坡向) 等。从研究区多年的气象数据可知, 7 个县的多年平均温度在 5.3 ~ 9.7℃ 之间, 极端最高温度和极端最低温度分别在 27.9 ~ 31.5℃ 和 -14.5 ~ -21.5℃ 之间, 区域内差别较小; 气候湿润指数在 0.2 ~ 0.48 之间, 均处于半干旱气候区^[32]。研究区域土层深厚, 主要土壤类型单一, 黄绵土占总土地面积的 40% ~ 60%^[33]。因此, 本研究只选择高程、坡度、坡向和降雨量 4 个关键性环境因子作为决策分析指标。

3.3 决策指标分类及植物的生态适宜性

根据专家在该地区多年的考察经验, 将高程分为三个类型, 并将对应的植被类型分别划定为农田/经济林、防护林/经济林和草地/防护林; 《退耕还林条例》规定坡度大于 25° 的土地禁止耕作, 但对坡度 15° 和 25° 之间的土地是否退耕还林存有异议, 我们认为应该退耕, 发展经济林, 但要采取适宜的水土保持措施, 而大于 35° 的极陡坡应采取封育措施, 进行自然恢复; 400mm 等降雨量线是乔木和灌草的分界线, 依此将降雨量分为两类; 坡向按照常规方法分为四类, 分别对应阳生、耐阴和阴生植物。决策指标分类详见图 2。

3.4 建立决策表

决策表的建立需要同时考虑坡度、坡向、高程和降雨量 4 个决策指标, 表 1 展示了决策表的整体构架。依次按降雨量-坡向-坡度-高程的顺序对决策指标进行分类列表, 然后应用决策约束条件和专家知识判定乔灌木植物的空间优化配置模式。

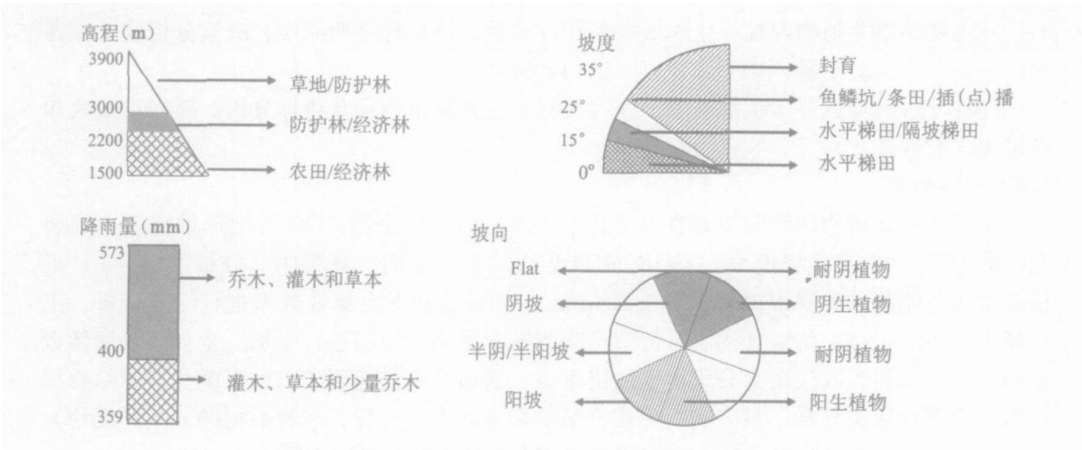


图 2 决策指标分类

Fig 2 Classification of decision variables

3 4 1 决策约束条件 (1) 选择环境条件最好的区域发展农业, 即在坡度小于 15 且高程小于 2200m 的区域均配置为农田/ 庭院经济模式;

(2) 选择环境条件最差的区域进行自然恢复, 即在坡度大于 35 或坡度介于 25 与 35 之间且高程大于 3000m 区域配置为自然恢复模式;

(3) 介于农田/ 庭院经济模式与自然恢复模式之间的区域, 用于发展草地 (天然草地与人工草地)、经济林和生态林。草地配置于坡度较陡、高程较大的区域, 经济林则配置于坡度较缓、高程较小的地区, 而生态林与经济林相比, 则配置于自然环境条件稍差的区域;

(4) 对于 Flat 区域, 在决策分析时, 将此区域按照高程从大到小的顺序依次配置为自然恢复模式、天然草场模式和农田/ 庭院经济配置模式。

(5) 结合植物对坡向的适应性以及各类坡度对应的水土保持措施将各类子模式配置于具体的栅格单元, 详细决策信息可从表 1 中获取。

3 4 2 乔灌草植物空间优化配置模式 (1) I 自然修复模式 自然修复 封育

在封育措施下, 自然修复模式配置于坡度最陡的区域。该区域水土流失严重, 土壤养分与水分条件较差, 适宜于适应性强、抗寒、耐旱, 也耐盐碱的矮小灌木与草本植物生存, 其主要优势种有: 戈壁针茅 (*Stipa gobica*)、灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)、沙东青 (*Ammopiptanthus mongolicus*) 等。

(2) 乔灌草生态防护林空间配置模式

- II1 喜温凉乔灌草生态防护林空间配置模式- 鱼鳞坑/ 插(点) 播
- II2 喜阴冷乔灌草生态防护林空间配置模式- 鱼鳞坑/ 插(点) 播
- II3 耐阴冷乔灌草生态防护林空间配置模式- 鱼鳞坑/ 插(点) 播
- II4 喜温凉乔灌草生态防护林空间配置模式- 条田/ 反坡台
- II5 喜阴冷乔灌草生态防护林空间配置模式- 条田/ 反坡台
- II6 耐阴冷乔灌草生态防护林空间配置模式- 条田/ 反坡台

坡度为零地区的坡向, 用 Flat 表示。

表 1 乔灌木植物空间优化配置决策表

Tab 1 Decision table to determine spatial optimum allocation model of tree, shrub and herb plants

降雨量>400mm				降雨量<400mm			
坡向 Aspect	坡度 Slope	高程 Elevation	空间配 置模式	坡向 Aspect	坡度 Slope	高程 Elevation	空间配 置模式
阳坡	S4		I	阳坡	S4		I
	S3	E3	II 1		S3	E3	III 1
		E2				E2	
		E1				E1	
	S2	E3	II 4		S2	E3	IV 4
		E2				E2	
		E1				E1	
	S1	E3	III 2		S1	E3	III 2
		E2				E2	
		E1				E1	
阴坡	S4		I	阴坡	S4		I
	S3	E3	II 2		S3	E3	III 1
		E2				E2	
		E1				E1	
	S2	E3	II 5		S2	E3	IV 5
		E2				E2	
		E1				E1	
	S1	E3	III 2		S1	E3	III 2
		E2				E2	
		E1				E1	
半阴/半 阳坡	S4		I	半阴/半 阳坡	S4		I
	S3	E3	II 3		S3	E3	III 1
		E2				E2	
		E1				E1	
	S2	E3	II 6		S2	E3	IV 6
		E2				E2	
		E1				E1	
	S1	E3	III 2		S1	E3	III 2
		E2				E2	
		E1				E1	
Flat			I	Flat			I
			III 3				III 3
			V 1				V 2

该模式主要配置于降雨量大于 400mm 且坡度较大的区域，坡度介于 25 与 35 的地区采取鱼鳞坑/条田/插(点)播的水土保持措施，坡度介于 15 与 25 的地区采取条田/反坡台。区域内水分条件相对较好，部分乔木可以生存，但因坡度较大，只适宜发展乔灌木生态防护林，不适宜农事活动。乔木的优势种有：油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.)、云杉 (*Picea asperata*)、侧柏 (*Platycladus orientdis*)，等；灌木的优势种主要有：紫丁香 (*Syringa oblata*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*)，等；草本层优势种有：铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*)、黄背草 (*Themeda japonica*)、本氏针茅 (*Stipa bungeana*)，等。

(3) 灌(乔)草空间配置模式

1 耐旱灌(乔)草生态防护林- 鱼鳞坑/插(点)播/条田/反坡台

2 人工草地

3 天然草地

该模式主要分布在降雨量小于 400mm、坡度较大和降雨量大于 400mm、高程大于 3000m 的区域。区域适宜发展牧草和药材, 主要药材有: 当归 (*Angelica Sinensis*)、红芪 (*Hedysarum polybotrys*)、黄芪 (*Astragalus membranaceus*)、板兰根 (*Baphicacanthus cusia*)。

(4) 经济林/农林复合空间配置模式

- 1 喜温凉经济林/农林复合空间配置模式- 水平梯田/隔坡梯田
- 2 喜阴冷经济林/农林复合空间配置模式- 水平梯田/隔坡梯田
- 3 耐阴冷经济林/农林复合空间配置模式- 水平梯田/隔坡梯田
- 4 喜温耐旱经济林/农林复合空间配置模式- 水平梯田/隔坡梯田
- 5 喜阴耐旱经济林/农林复合空间配置模式- 水平梯田/隔坡梯田
- 6 耐阴耐旱经济林/农林复合空间配置模式- 水平梯田/隔坡梯田

该模式主要配置于坡度较缓、高程较小的区域, 适宜发展农事活动, 但强度要小, 可用于种植经济林, 主要的经济林物种有: 花椒 (*Zanthoxylum bungeanum*)、苹果 (*Malus pumila*)、山杏 (*Prunus sibirica*)、核桃 (*Juglans regia*), 等。

(5) V 农田/庭院经济配置模式

V1 喜温凉农田生态系统- 水平梯田

V2 耐旱农田生态系统- 水平梯田

该模式配置于坡度最缓、高程最小的区域, 区域内水土流失较轻, 适宜发展强度较大的农事活动, 即农田耕作, 主要的栽培作物有: 小麦 (*Triticum aestivum*), 豌豆 (*Pisum sativum*), 马铃薯 (*Solanum tuberosum*), 胡麻 (*Sesamum indicum*), 等。

3.5 空间优化配置模式的分布

参照乔灌草植物空间优化配置决策表, 在 GIS 中利用决策约束条件对由各属性栅格数据叠加生成的综合数据进行聚类分析, 生成乔灌草植物空间优化配置模式分布图 (见图版 3, 图 3)。同时, 应用 Arcview 和统计软件分析各种模式的面积比例关系 (见表 2)。图 3A 表示 5 类主模式在空间上的分布, 从图中可以看出, 经济林/农林复合空间配置模式 (模式) 和农田/庭院经济配置模式 (模式) 分布范围较广, 其所占面积比例分别为 38.95% 和 37.07%, 是该区的主要配置模式。自然修复模式 (模式 I)、乔灌草植物生态防护林配置模式 (模式) 和灌 (乔) 草植物空间配置模式 (模式) 分布范围相对较小, 但这三个配置模式基本都属于生态建设模式, 其所占面积大约为全部模式面积的 25%, 其中自然修复模式 (模式 I) 占 9%, 主要分布于研究区的中西部地区。

图 3B 表示 18 类子模式在空间上的分布, 模式 中各子模式所占面积基本趋于相近 (表 2), 其中耐阴冷乔灌草生态防护林- 鱼鳞坑/插 (点) 播模式 (3) 所占比例最大, 为 1.97%; 在模式 中, 天然草地模式 (3) 的面积最大, 为 1535.19 km², 占总土地面积的 7.83%, 主要分布在比较湿润的南部和中西部地区, 除具有特殊的水土保持作用以外, 也是研究区主要的放牧和药材采集区域; 模式 是面积最大的空间配置模式, 其中耐阴冷经济林/农林复合生态系统- 梯田/隔坡梯田模式 (3) 所占比例最大, 为 18.83%, 主要分布在阴坡以及半阴/半阳坡向; 在模式 V 中, 喜温凉农田生态系统- 水平梯田 (1) 大面积分布于东部和中西部区域, 而耐旱农田生态系统- 水平梯田 (2) 主要分布于最北部的定西县, 该县多年平均年降雨量小于 400mm。

表 2 乔灌木植物空间优化配置模式统计分析

Tab 2 Statistic analysis of spatial optimum allocation models

子模式		1	2	3	4	5	6	总和
主模式	面积(km ²)	1767 04						1767 04
	比例(%)	9 00						9 00
II	面积(km ²)	160 47	140 73	387 28	80 04	103 22	179 03	871 74
	比例(%)	0 82	0 72	1 97	0 41	0 53	0 91	5 36
III	面积(km ²)	51 15	297 45	1535 19				1883 79
	比例(%)	0 27	1 52	7 83				9 62
IV	面积(km ²)	1522 5	1833 82	3695 38	171 89	115 44	308 82	7939 03
	比例(%)	7 76	9 34	18 83	0 86	0 59	1 57	38 95
V	面积(km ²)	5962 39	1312 52					7274 91
	比例(%)	30 38	6 69					37 07

4 结论

本案例研究旨在从较大空间尺度, 应用决策分析与 GIS 相耦合的方法, 结合当地的社会经济条件, 初步探讨乔灌木植物在空间上的优化配置, 主要结论有:

(1) 多属性决策分析综合考虑了植物个体以及植物群落对环境因子的适应性, 排除盲目的人工造林和退耕还林; 合理地扩展自然修复模式, 将大于 15 的坡耕地实施封育, 全部转变为林草地, 减少人类活动对植被的破坏, 降低区域水土流失的风险。

(2) 乔灌木植物空间优化配置坚持生态效益、经济效益和社会效益相结合的原则, 在配置过程中, 充分考虑了经济林(花椒、苹果、山杏、核桃等)模式和药材草地(当归、党参、板兰根等)模式在空间上的合理布局。

(3) 分析结果显示经济林/农林复合空间配置模式和农田/庭院经济配置模式占研究区总面积的 76 02%, 是该区的主要配置模式, 可给当地人民提供必要的农副产品; 其他三类配置模式主要用于生态防护, 占全区面积的 23 98%。

(4) 由于资料获取问题, 研究案例所用 1 25 万的地形数数据库, 比例尺较小, 对乔灌木植物的空间配置精度会产生一定影响; 另一方面, 未考虑建设用地面积, 也会影响模式面积的精确性; 然而, 研究方法是切实可行的, 不会影响乔灌木植物空间优化配置的整体性。

本文虽然从地带性、非地带性以及社会经济的角度综合分析了不同模式的配置问题, 但并没有研究每个子模式中乔灌木植物应该如何搭配, 此问题有待进一步的研究。

参考文献:

[1] 傅伯杰, 陈利顶, 丘扬, 等 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程 北京: 商务印书馆, 2002 1~ 383

[2] 伍光和, 江存远 甘肃省综合自然区划. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1998 1~ 213

[3] 李克让, 曹明奎, 於琨, 等 中国自然生态系统对气候变化的脆弱性评估 地理研究, 2005, 24(5): 653~ 663

[4] 高世铭, 杨封科, 苏永生 陇中黄土丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究 郑州: 黄河水利出版社, 2003 1~ 275

[5] 王海英, 刘桂环, 董锁成 黄土高原丘陵沟壑区小流域生态环境综合治理开发模式研究 以甘肃省定西地区九华沟流域为例 自然资源学报, 2004, 19(2): 207~ 216

- [6] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等 黄土丘陵小流域沟坡水热条件及其生态修复初探 自然资源学报, 2004, 19(2): 183~ 189
- [7] 蔡强国, 王贵平, 陈永宗 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟. 北京: 科学出版社, 1998 1~ 252
- [8] 董锁成, 吴玉萍, 王海英 黄土高原生态脆弱贫困区生态经济发展模式研究 以甘肃省定西地区为例 地理研究, 2003, 22(5): 592~ 600
- [9] 徐勇, 韩国义, 甘国辉 黄土丘陵区生态重建 赈济退耕 及地域分异特征 地理研究, 2002, 21(5): 647~ 655
- [10] 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 以延安市羊圈沟流域为例 地理学报, 1999, 54(3): 241~ 246
- [11] 傅伯杰, 邱扬, 王军 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响 地理学报, 2002, 57(6): 717~ 722
- [12] 王思远, 王光谦, 陈志祥 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系 自然灾害学报, 2005, 14(1): 32~ 37
- [13] Fu B J Soil erosion and its control in the Loess Plateau of China Soil Use and Manage, 1989, 5(2): 76~ 81
- [14] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶, 等 黄土丘陵沟壑区集水区尺度土地利用格局变化的水土流失效应 生态学报, 2004, 24(7): 1358~ 1364
- [15] Arundel S T Using spatial models to establish climatic limiters of plant species distributions Ecological Modelling, 2005, 182: 159~ 181
- [16] Chefaoui R M, Hortal J, Lobo J M Potential distribution modelling, niche characterization and conservation status assessment using GIS tools: a case study of *Iberian Copras* species Biological Conservation, 2005, 112: 327~ 338
- [17] Johnson C J, Seip D R, Boyce M S A quantitative approach to conservation planning: using resource selection functions to map the distribution of mountain caribou at multiple spatial scales Journal of Applied Ecology, 2004, 41: 238~ 251
- [18] Dymond C C, Johnson E A Mapping vegetation spatial patterns from modeled water, temperature and solar radiation gradients ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2002, 57: 69~ 85
- [19] Kang M Y, Dong S K, H X X Ecological regionalization of suitable trees, shrubs and herbage for vegetation restoration in the farming-pastoral zone of northern china Acta Botanica Sinica, 2003, 45: 1157~ 1165
- [20] 许炯心 气候条件对黄土高原水土保持植被结构的影响及其在植被建设中的意义 水土保持学报, 2004, 18(6): 140~ 143
- [21] 许炯心 黄土高原植被-降水关系的临界现象及其在植被建设中的意义 生态学报, 2005, 25(6): 1233~ 1239
- [22] 许炯心 降水-植被耦合关系及其对黄土高原侵蚀的影响 地理学报, 2006, 61(1): 57~ 65
- [23] 李裕元, 邵明安 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化 生态学报, 2004, 24(2): 252~ 260
- [24] 王国梁, 刘国彬, 侯喜禄 黄土高原丘陵沟壑区植被恢复重建后的物种多样性研究 山地学报, 2002, 2(2): 182~ 187
- [25] 陈云明, 梁一民, 程积民 黄土高原林草植被建设的地带性特征 植物生态学报, 2002, 26(3): 339~ 345
- [26] Laaribi A, Chevallier J J, Martel J M A spatial decision aid: a multicriterion evaluation approach Computer, Environment and Urban Systems, 1996, 20: 351~ 366
- [27] Joerin F, Theriault M, Musy A Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment International Journal of Geographical Information Sciences, 2001, 15: 153~ 174
- [28] 邬伦, 刘瑜, 张晶, 等 地理信息系统-原理、方法和应用 北京: 科学出版社, 2002 217~ 250
- [29] 朱金兆, 魏天兴, 张学培 基于水分平衡的黄土区小流域防护林体系高效空间配置 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 5~ 13
- [30] 梁一民, 陈云明 论黄土高原造林的适地适树与适地适林 水土保持通报, 2004, 24(3): 69~ 72
- [31] 李嘉钰, 于洪波 甘肃黄土高原立地分类与适地适树 北京: 北京科学技术出版社, 1990 1~ 196
- [32] 王菱, 谢贤群, 李运生, 等 中国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿带界线的变化 地理研究, 2004, 23(1): 45~ 54
- [33] 全国土壤普查办公室 中国土壤 北京: 中国农业出版社, 1995 1~ 739

Spatial allocation of tree, shrub and herb plants in hilly area of the Loess Plateau: a case study of Dingxi, Gansu Province

ZHENG Hai-feng¹, CHEN Li-ding^{1*}, YU Hong-bo²

(1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology,

Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 10085, China;

2 Gansu Institute of Forestry Sciences, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Soil and water loss in hilly area of the Loess Plateau is affected by many environmental factors, such as climate, vegetation, soil, terrain and so on. Severe soil and water loss is also blamed to irrational land-use pattern and infeasible spatial allocation of tree, shrub and herb plants. How to adjust land use structure and how to distribute tree, shrub and herb plants over space is imperative in the Loess Plateau. In present study, four key ecological factors affecting the growth and distribution of plants were chosen, including elevation, slope degree, slope aspect and precipitation, and then a decision table was established for spatial optimum allocation of plant species. The study area was divided into five main groups and eighteen sub-groups based on multi-criterion decision analysis (MCDA) and GIS. In addition, by using cluster analysis and area statistical analysis in GIS, the main and sub-groups were distributed to specific spatial cells, and the area of each group was calculated.

This article presents the following viewpoints and conclusions:

(1) In order to avoid blindfold artificial plantations and grain-for-green projects, adaptability of species and plant communities to the four ecological factors was analyzed through MCDA and experts knowledge.

(2) Under the condition of sticking the principle that the economic benefits, social benefits and ecological benefits are synchronistically improved, economic plants and medicinal plants were allocated to adaptable cells according to their ecological requirements.

(3) The decision table showed that land with a slope of more than 15° to be shifted to forest and grassland. Meanwhile, spatial cells for natural restoration were restricted to the area with slope more than 35°, accounting for 9% of the total study area.

(4) The results indicated that economic forest/agro-forestry ecosystems and the farmland/courtyard-economy ecosystems should be the two major spatial allocation models, covering 76.02% of the whole area. And the other three models covered about 25% of the whole area.

Spatial allocation of plant species is not only beneficial to eco-environmental improvement, but also useful to regional planning in agriculture.

Key words: hilly-gully area in Loess Plateau; decision factors; multi-criterion decision analysis; GIS; spatial optimization allocation models

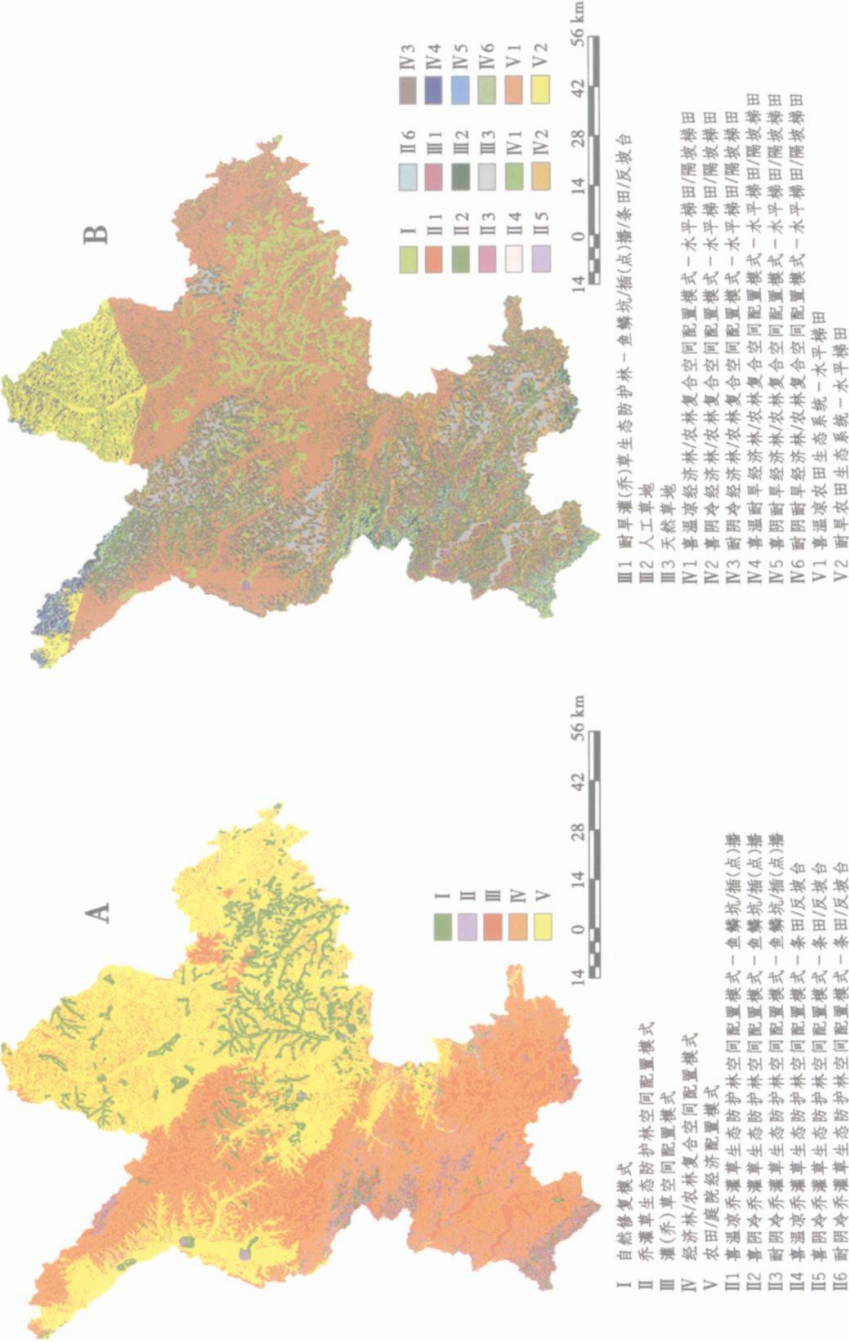


图 3 乔灌草植物空间优化配置模式分布图：A 为主模式分布图，B 为子模式分布图
Fig.3 Spatial distribution of optimum allocation models: A means spatial distribution of the main models; B means spatial distribution of the sub-models