

罗林,周应书,毕宁,等.喀斯特山区药用栽培植物水土流失防治功能的Fuzzy评价[J].中国岩溶,2019,38(6):896-900.
DOI:10.11932/karst20190606

喀斯特山区药用栽培植物水土流失防治功能的Fuzzy评价

罗林¹,周应书²,毕宁²,陈坤浩³

(1. 贵州省毕节市水土保持办公室, 贵州 毕节 551700; 2. 贵州省毕节市林业科学研究所, 贵州 毕节 551700; 3. 贵州工程技术应用学院, 贵州 毕节 551700)

摘要:为了在评价喀斯特山地发展药用植物种植产业化的水土流失防治功能价值,本文在西南喀斯特腹地毕节市七星关区岔河镇足纳村石灰岩发育的黄壤坡地的泥沙侵蚀监测小区,分别栽培种植刺梨、金荞麦、刺梨套种头花蓼、刺梨套种何首乌、刺梨套种金荞麦,通过2016年和2017年两年雨季的监测,发现土壤侵蚀量与植物覆盖度、植物枝叶层厚度呈指数函数关系,与植物根系条数呈直线关系。进一步建立土壤侵蚀量与植物覆盖度、植物枝叶层厚度、植物根系条数的隶属函数,运用Fuzzy评价模型,对调查的20种药用植物的水土保持功能进行评价。结果表明:水土保持防治功能强的植物为刺梨、白芨,较强的植物有川乌、重楼、党参、山慈姑,其他均具有中等水土保持功能,并能按评价结果选择不同强度水土流失地段的药用适宜栽培植物,也较为符合调查区实际。

关键词:药用植物;栽培;水土流失;Fuzzy;评价

中图分类号:S157 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2019)06-0896-05 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

药用植物叶子生长茂盛,覆盖面积大,能减轻雨水对土表的直接冲刷,此外药用植物根系能有效地固结土体,起到良好的水土保持作用。因此,药用种植的产业化不但可以作为新的经济发展增长点来培育、增加岩溶区人们收入,而且在石漠化治理、喀斯特生态环境恢复等方面具有独特的优势。而对药用植物的水土流失防治功能进行科学评价,能够很好地进行栽培种类选择,是发挥这一优势的关键。在植物水土保持功能的评价研究方面已有大量的报道,如朱钟麟等^[1]对蓼草根系采用剖面法扫描法观测根系,从特征上对水土保持功能进行了分析;王甜甜等^[2]在云南滇池流域山地富磷区进行土壤理化性质和径流微小区水样指标的测定,对7种常见植物的水

土保持功能进行比较;李学斌等^[3]对4种草地植物群落采用野外原位实验,从测定枯落物层的降雨截留、抑制土壤水分发、防止风蚀进行了水土保持功能评价;赵雪乔等^[4]运用室内茎叶浸泡法、静水崩析法、双环刀法测定12种地被植物茎叶截留雨水能力、土壤抗蚀性和渗透性进行了水土保持功能评价;周萍文等^[5]对果树或草本植物植物篱的水土保持功能进行了调查和分析。但是,在药用植物水土保持研究上大部分局限在效益评价方面,如魏玉君等^[6]对药用植物冬凌草进行保持水土效益的研究,苏孝良等^[7]喀斯特石漠化地区种植金银花的生态与经济效益进行调查分析。本文针对这些研究存在的局限性,对药用植物与面蚀关系进行小区监测,分析侵蚀量与药用植物特征指标的回归关系,建立药用植物水土保持

资助项目:国家科技支撑计划课题(2015BAI05B04)

第一作者简介:罗林(1962—),男,研究员,主要从事生态与水土保持研究。E-mail:bjdqsbb@163.com。

通信作者:周应书(1961—),女,研究员,主要从事林业科学研究与技术推广。E-mail:bjdqlks@163.com。

收稿日期:2018-03-16

功能Fuzzy隶属函数的基础上,在地处西南喀斯特山区腹地的毕节市七星关、大方、黔西、金沙、织金、纳雍、威宁、赫章等8个(区)对栽培的20种药用栽培植物开展样地调查,按调查的植物特征指标对水土保持功能进行Fuzzy评价。以Fuzzy评价评价价值系统的划分出植物水土保持功能的强弱,为喀斯特山区药用植物水土流失、石漠化治理与经济开发的优化配置和栽培植物优选供依据。达到以生态建设促进药材产业开发,产业开发加快生态建设的目的。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区地处滇黔桂连片喀斯特腹地,滇东高原向黔中山低山丘陵过渡的斜坡地带的贵州西北部,地处东经105°36′~106°43′,北纬26°21′~27°46′之间,土地面积26 853 km²。区域内海拔457~2 900 m,从东向西分布有低山、低中山、中山、高中山和高原等5种地貌,其中山地、丘陵占总土地面积的93%。分布岩性有石灰岩、砂页岩、泥岩等。土壤有黄壤、黄棕壤、石灰土、紫色土、水稻土、粗骨土。气候属亚热带季风气候,平均温度在10~15℃之间,多年平均降雨量849~1 399 mm,平均径流系数为0.47,水土流失面积10 343 km²,侵蚀模数3 789 t·km⁻²·a⁻¹。研究区域内喀斯特发育区总土地面积为19 693 km²,其中石漠化面积5 727 km²,潜在石漠化面积5 392 km²。药用植物栽培已成为当地农民群众改善生态环境、脱贫致富的一个重要产业。

1.2 土壤侵蚀监测

为获得药用植物覆盖度和枝叶层厚度水土保持功能的Fuzzy评价隶属函数,2016年5月在地处西南喀斯特腹地的毕节市七星关区岔河镇足纳村石灰岩发育的黄壤坡地上(坡度16°),建立5个长10 m,宽5 m,分别种植刺梨(*Rosa roxburghii*)、金荞麦(*Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara)、刺梨套种头花蓼(*Polygonum capitatum* Buch. -Ham. ex D. Don)、刺梨套种何首乌(*Polygonum Multiflorum* Thunb.)、刺梨套种金荞麦等五个植物覆盖度不同的泥沙侵蚀监测小区,安放翻斗式雨量计一台进行雨量观测。在每个小区下设置1 m³集水池。在每场雨停止后,对每一径流小区纵向与横向按50 cm之间隔作交叉点,调查总点数与植物覆盖点数量得出覆盖率;按纵向每隔1 m量测枝叶层厚度。在各小区水池中用卷尺量测水的高度,

同时用搅拌工具充分搅拌池子浑水,用取水器在池深一半中间处取水,装入样瓶中,采用烘干法测定含沙量,推算出各个小区的泥沙侵蚀量。2016年10月按纵向每隔1 m选择所量测枝叶的各株植物,用取土环刀沿根系外围取出,统计出长度在2 cm以上的主根和一级侧根数量,2017年3月在取出量测枝叶植物处补植同种植物,5至9月继续开展监测,10月同样取出按纵向每隔1 m所量测枝叶的各株植物,统计长度在2 cm以上的主根和一级侧根数量。

1.3 药用植物调查

为了对栽培的药用植物进行水土流失功能的Fuzzy评价,在2016年和2017年的7~9月,对地处喀斯特腹地的毕节市七星关、大方、黔西、金沙、织金、纳雍、威宁、赫章等8个(区)栽培的每一种药用植物,选择样地按相互垂直的交叉对角线,在每条对角线按50 cm的间隔,选择50个点,两条对角线共100个点,垂直观察每个点药用植物、地被植物覆盖情况,统计出覆盖率。在样方内选取与调查的植物平均高(长)最接近的三株药用植物,用取土环刀沿根系外围取出,在进行土壤取样后,用卷尺量测根幅宽(根幅垂直两个方向的平均宽)、根系条数。枝叶层厚度是按样方交叉对角线,在每条对角线按每隔250 cm,选择10个点,样方两条对角线共20个点,用卷尺量其厚度,算出平均值。共调查样地96个。

1.4 Fuzzy评价模型

植物的水土防治功能包括枝叶对雨水的截留、拦蓄,根系对土壤的固结、改良。设*i*种药用植物枝叶覆盖度、厚度通过对雨水截留的水土流失防治功能隶属度分别为 u_{i-1} 、 u_{i-2} ,根系通过对土壤固结的水土流失防治功能隶属度为 u_{i3} ,组成药用植物的水土流失防治功能的Fuzzy矩阵为:

$$\tilde{U} = \begin{pmatrix} u_{1-1} & u_{2-1} & u_{3-1} & \cdots & u_{20-1} \\ u_{1-2} & u_{2-2} & u_{3-2} & \cdots & u_{20-2} \\ u_{1-3} & u_{2-3} & u_{3-3} & \cdots & u_{20-3} \end{pmatrix} \quad (1)$$

药用植物枝叶覆盖度、厚度、根系水土流失防治功能的重要权数组成的向量为:

$$\tilde{A} = (a_1 \ a_2 \ a_3) \quad (2)$$

则各药用植物水土保持功能的综合性评价结果为^[8]:

$$\tilde{S} = \tilde{A} \cdot \tilde{U} = (s_1 \ s_2 \ s_3 \ \cdots \ s_{20}) \quad (3)$$

2 结果和分析

2.1 药用植物泥沙监测的水土流失防治功能的隶属函数

2016年6月至2017年6月对药用植物泥沙监测小区对每次降雨对植物覆盖度、枝叶层厚度、侵蚀的泥沙所进行的调查,将每次调查的植物覆盖度、根系条数进行平均,5个小区的植物平均覆盖度在43.0%~76.5%之间,总平均值为65.8%;枝叶层平均厚度63.8~133.5 cm之间,总平均值为95.8 cm;根

系条数按2次调查平均值,5个小区的平均值在33.8~39.9条之间,总平均值为37.4条。调查的每次降雨量在6.3~43.7 mm之间,总降雨量1 241.39 mm;各小区集水池水深在3.0~56.5 mm之间,总水深28 736.3 mm;对每个小区侵蚀量进行汇总,在25.50~242.00 kg之间,平均值为103.50 kg。将五个小区侵蚀量换算成 hm^2 侵蚀量后,与植物覆盖度、植物枝叶层厚度、根系条数的关系进行回归拟合。结果表明,侵蚀量与植物覆盖度、植物枝叶层厚度可用指数函数进行拟合(表1),而与植物根系条数可用线性函数进行拟合(表1)^[9]。

表1 侵蚀量与药用植物特征指标的回归关系式

Table 1 Regression relationship between erosion quantity and characteristic index of medicinal plants

关系	回归关系式	相关指数检验
侵蚀量与植物覆盖度	$E=242.605e^{-0.042C}$	$r=0.974>r_{0.01}=0.959$
侵蚀量与植物枝叶层厚度	$E=148.184e^{-0.024T}$	$r=0.885>r_{0.05}=0.878$
侵蚀量与植物根系条数	$E=32.133+0.055N$	$r=0.811>r_{0.10}=0.805$

从表1中侵蚀量(E)与植物覆盖度(C)、植物枝叶层厚度(T)的隶属均呈指数函数关系,与植物根系条数(N)呈直线关系,确定药用植物枝叶覆盖度水土流失防治功能的隶属函数:

$$u(C)=e^C/e \quad (4)$$

药用植物枝叶层厚度水土流失防治功能的隶属函数为:

$$u(T)=e^{0.01T}/e \quad (5)$$

药用植物根系条数水土流失防治功能的隶属函数为:

$$u(N)=(N-5)/40 \quad (6)$$

2.2 药用植物特征指标分析

药用植物覆盖度、枝叶层厚度、根系条数的平均样地调查结果表2。对表2中各种药用植物的植物覆盖度、枝叶层厚度、根系条数进行单因素方差分析,各种植物之间的这三项指标的平均值均具有极显著差异,其中根系条数最显著,其次为覆盖度和枝叶层厚度,结果见表3^[9]。各种植物的根系条数差异很大,而覆盖度和枝叶层厚度差异相对较小。

2.3 药用植物水土流失防治功能的Fuzzy评价

将表2的各种药用植物的样地调查平均结果,代入以上相应的隶属函数,得出各种药用植物对水土

流失防治功能的隶属度见表4。对表1侵蚀量与药用植物覆盖度、枝叶层厚度、根系条数的三个回归关系式的相关系数进行归一化处理,并结合药用植物土壤泥沙侵蚀小区的现场监测印象进行调整,赋予植物覆盖度、枝叶层厚度、根系条数水土流失防治功能的权重分别为0.40、0.33、0.27,组成Fuzzy权重向量:

$$\tilde{A}=(0.40 \quad 0.33 \quad 0.27)$$

将表4隶属度组成Fuzzy矩阵 $\tilde{U}$,按 $\tilde{S}=\tilde{A} \cdot \tilde{U}$ 进行合成运算,则得出各种药用植物水土保持防治功能的评价结果,按其排序为:刺梨0.794,白芨0.757,川乌0.685,重楼0.677,党参0.660,山慈姑0.652,桔梗0.617,当归0.617,苦参0.611,金银花0.597,白芷0.573,前胡0.566,云木香0.557,葛根0.554,续断0.554,穿心莲0.536,太子参0.534,草乌0.530,何首乌0.512,金铁锁0.492。水土保持防治功能的强弱按评价值0.30~0.45为较弱,0.45~0.65为中等,0.65~0.75为较强,0.75~0.85为强,0.85以上为很强;则水土保持防治功能强的植物为刺梨、白芨,防治功能较强的植物有川乌、重楼、党参、山慈姑,防治功能中等的植物有桔梗、当归、苦参、金银花、白芷、白芷、前胡、云木香、葛根、续断、穿心莲、太子参、草乌、何首乌、金铁锁。即所调查的大部分药

表 2 药用植物特征指标的样地调查平均结果

Table 2 Average results of characteristic indexes of medicinal plants from investigation at the sample site

植物种类	植物覆盖 度/%	枝叶层厚度/ cm	根系条数/条
前胡	76.7	46.3	13.3
桔梗	79.0	61.2	15.2
党参	67.6	86.6	17.1
太子参	82.7	16.7	13.0
金银花	70.4	52.6	19.0
草乌	80.0	43.3	7.3
白芨	73.0	48.7	42.7
山慈姑	83.0	59.7	19.0
重楼	71.7	17.0	39.3
续断	61.3	67.1	11.6
刺梨	77.2	69.0	39.7
金铁锁	64.0	15.0	15.7
当归	84.7	45.0	17.3
川乌	76.3	65.0	25.3
穿心莲	74.0	25.0	15.7
白芷	77.3	50.0	13.0
何首乌	75.0	19.0	13.0
云木香	87.0	25.0	12.3
苦参	83.3	54.3	14.3
葛根	78.0	45.0	11.3

表 3 药用植物特征指标的方差分析结果

Table 3 Variance analysis results of medicinal plant characteristic indexes

特征指标	F 值	F _{0.01}
植物覆盖度	6.842 5	2.197 5
植物枝叶层厚度	2.996 0	2.197 5
植物根系条数	96.729 6	2.197 5

用植物都具有中等水土保持防治功能,少部分具有强的水土保持功能,这也是西南喀斯特山区药用植物的水土保持功能特征。

3 讨论和结论

西南喀斯特山区域一般都是人多地少、人地矛盾突出地区。因此,水土流失与石漠化治理措施必须与提高当地经济收入、改善生活环境相结合,达到人口、经济与生态的协调发展,才是恢复生态的根本。而药用植物在恢复生态,提高经济效益方面具

表 4 药用植物特征指标防治水土流失的隶属度

Table 4 Membership degrees of medicinal plant characteristic indexes in mitigation of soil and water loss

植物种类	枝叶覆盖度	枝叶厚度	根系条数
前胡	0.792	0.585	0.208
桔梗	0.811	0.678	0.254
党参	0.723	0.874	0.303
太子参	0.841	0.435	0.200
金银花	0.744	0.622	0.350
草乌	0.819	0.567	0.058
白芨	0.763	0.598	0.942
山慈姑	0.844	0.668	0.350
重楼	0.753	0.436	0.858
续断	0.679	0.720	0.165
刺梨	0.796	0.733	0.867
金铁锁	0.698	0.427	0.267
当归	0.858	0.577	0.308
川乌	0.789	0.705	0.508
穿心莲	0.771	0.472	0.267
白芷	0.797	0.607	0.200
何首乌	0.779	0.445	0.200
云木香	0.878	0.472	0.183
苦参	0.846	0.633	0.233
葛根	0.803	0.577	0.158

有独特优势,研究区内各乡(镇)结合水土流失与石漠化治理积极发展这一产业。而对药用植物栽培的选择原则既要具有经济优势,又要发挥水土保持优势,因此要对药用植物进行科学评价。本文从径流小区监测得出侵蚀量与植物特征的回归关系式出发,建立 Fuzzy 评价模型,对研究区样地调查的药用植物水土保持功能进行评价。从评价的结果看,调查区域栽培的大部分药用植物具有中等水土保持功能,其中水土保持防治功能评价价值最高的是刺梨和白芨,最低的是金铁锁。

水土保持药用植物的选择除了考虑植物药用价值和市场外,可参考水土保持功能评价结果确定不同强度水土流失地段的栽培植物,达到经济与生态共赢的目的。根据在研究区域主要药用栽培植物的调查,得出土壤强度流失以上地段的适宜药用植物为刺梨、白芨,强度流失地段适宜植物为川乌、党参、重楼、山慈姑,中度流失地段适宜植物为金银花、桔梗、当归、苦参、前胡、续断、白芷、云木香、葛根、穿心莲、太子参、草乌、何首乌,轻度流失地段适宜植物为

金铁锁。对于防治功能中等的大部分药用植物要根据其生物生态学特性,和其他植物进行配置,提高其水土保持功能或栽培价值,取得更高的效益;也可作为其他水土保持措施的辅助措施,增强水土流失治理的效能。

通过径流小区监测得出侵蚀量与植物特征指标的回归关系式,再根据关系式建立隶属函数,运用 Fuzzy 评价模型,对调查的 20 种药用植物进行水土保持功能评价,从而使部分药用植物水土保持功能的径流小区监测结果得以扩展到多种药用植物,对其水土保持功能进行评价,能按评价结果选择不同强度水土流失地段的适宜栽培植物。直观上看,评价结果比较切合实际,如水土保持功能最强的刺梨和白芨,已成为研究区水土流失和石漠化严重区域农户根据多年经验选择的主栽种类。

参考文献

- [1] 朱钟麟,卿明福,刘定辉,等. 蓼草根系特征及蓼草经济植物埂的水土保持功能[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 164-167.
- [2] 王甜甜,付登高,阎凯,等. 滇池流域山地富磷区常见植物的水土保持功能比较[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3): 67-71.
- [3] 李学斌,吴秀玲,陈林,等. 荒漠草原 4 种主要植物群落枯落物层水土保持功能[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 189-193, 244.
- [4] 赵雪乔,袁小环. 12 种林下地被植物水土保持功能研究[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 66-69.
- [5] 周萍文,安邦,张信宝,等. 植物固结地埂的水土保持功能探析[J]. 人民长江, 2012, 43(7): 81-84.
- [6] 魏玉君,贺德留,魏玉玲,等. 药用植物冬凌草保持水土效益的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 24-27.
- [7] 苏孝良,于东平,高武国,等. 喀斯特石漠化地区种植金银花的生态与经济效益[J]. 贵州林业科技, 2005, 33(1): 50-54.
- [8] 袁嘉祖. 模糊数学及其在林业中的应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988.
- [9] 北京林学院. 数理统计[M]. 北京: 中国林业出版社, 1980.

Fuzzy evaluation of mitigating soil and water loss by cultivation of medicinal plants in karst mountainous areas

LUO Lin¹, ZHOU Yingshu², BI Ning², CHEN Kunhao³

(1. Water and Soil Conservation Office of Bijie City, Guizhou Province, Bijie, Guizhou 551700, China; 2. Institute of Forestry Science, Bijie City, Guizhou Province, Bijie, Guizhou 551700, China; 3. Guizhou Institute of Engineering Science, Bijie, Guizhou 551700, China)

Abstract This paper evaluates the role of medicinal plants in mitigation of soil and water loss in karst mountainous areas. The data are from a test site where 20 kinds of medical plants were cultivated, including *Rosa roxburghii* Tratt, *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara, *Rosa roxburghii* Tratt intercropped with *Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex D. Don, *Rosa roxburghii* Tratt intercropped with *Fallopia multiflora* (Thunb.) Harald, and *Rosa roxburghii* Tratt intercropped with *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara. Regression analysis of monitoring data in raining seasons of 2016 and 2017 shows that the amount of soil erosion has an exponential relationship with plant coverage and the thickness of plant branches and leaves, and a linear relationship with the number of plant roots. In terms of the fuzzy evaluation model, the plants that can contribute to soil and water conservation are *Rosa roxburghii* Tratt and *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f., followed by *Aconitum carmichaeli* Debx., *Prais polyphylla* Smith var. *yunnanensis* (Franch.) Hand.-Mazz, *Codonopsis tangshen* Oliv, and *Pleione yunnanensis* Rolfe. Other plants play a medium role in water and soil conservation. These results would help choose suitable medical plants to cultivate in the areas with varied degrees of soil and water loss.

Key words medicinal plant, cultivation, soil and water loss, Fuzzy, evaluation

(编辑 张玲)