

# 基于 GIS 的退耕还草专家系统的研制与开发

孙 娟<sup>1,2</sup>, 蒋文兰<sup>1,3</sup>, 陈全功<sup>4</sup>, 秦来寿<sup>5</sup>, 王珈谊<sup>6</sup>

(1 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; 2 西南农业大学动物科技学院, 重庆 400716;  
3 甘肃省农牧厅, 兰州 730020; 4 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020; 5 甘肃省  
土肥站, 兰州 730020; 6 兰州高博计算机信息工程有限公司, 兰州 730020)

**摘 要:** 适宜草种的选择在退耕还草决策中起着重要作用, 依据牧草生物学特性和牧草与诸气象因子之间的关系确定牧草的适宜分布区间能够为退耕还草工作提供决策支持。该研究利用地理信息系统(Geographic Information System, GIS)和牧草生长适宜度模型相结合, 采用模糊逻辑推理机制开发了退耕还草决策支持系统, 用户可以查询到甘肃省任意一点的气象信息、土壤信息和草原类型, 咨询到适宜种植的牧草品种及其栽培管理技术, 系统还将 22 种牧草的适应性分布成图。样本运行结果表明, 系统具有较好的决策功能, 可以为甘肃省的退耕还草工作提供决策支持。

**关键词:** GIS; 退耕还草决策支持系统; 牧草适宜性; 层次分析; 模糊逻辑推理

中图分类号: S283

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)02-0259-05

## 0 引 言

我国西部地区地处欧亚大陆腹地, 占全国陆地面积的 56%, 人口占全国人口的 20%, 是我国主要大江、大河的发源地, 是野生动物资源的宝库, 有浩瀚的大漠, 有辽阔的草原, 是我国生态保护的天然屏障。然而, 由于人类不合理的活动使生态环境遭到严重破坏而日趋脆弱, 土地退化、荒漠化加剧, 水土流失严重, 水生态平衡失调, 江河断流, 湖泊萎缩, 地下水位下降, 林草植被覆盖率降低, 天然草地面积质量和功能明显下降, 而植被破坏是造成生态环境破坏的关键所在。据有关部门统计, 在注入长江、黄河的泥沙量中 50%~60% 来自坡耕地,  $5 \sim 10$  的坡耕地流失水土  $1\ 358\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,  $10 \sim 15$  流失水土  $2\ 670\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 25 以上达到  $5\ 542\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。同时, 不少地方由于长期陡坡开垦, 土壤流失非常严重, 随着土壤层变薄, 养分减少, 不仅植被难以恢复, 而且农业生产也因此受到影响<sup>[1]</sup>。因此, 必须对西部的坡耕地实行退耕还林还草, 宜林则林, 宜草则草, 增加地表植被覆盖率。一般认为, 当年降水量在 400 mm 以下, 或大于 0 的年积温在 1 500 以下, 树木就难以成活, 在这种情况下, 只能退耕还草<sup>[2]</sup>。干旱是西北地区甘肃省的明显气候特征, 绝大部分地区平均年降雨量都在 400 mm 以下, 宜于退耕还草。

目前, 西部地区所需的草种大多依赖国外进口或国内其他地区引进, 由于栽培环境与草种原产地有差异, 常有良种牧草比非良种牧草表现还要差的情况<sup>[3]</sup>。因此, 良种不是绝对的, 与环境协调发展的才是好草种。考虑生态适应性, 选择适宜立地条件的草种是搞好退耕还草工作的前提和保障。

牧草品种选择主要是涉及生态数据, 而大多数生态数据和生态关联知识都是不精确、不确定和模糊的, 都

难以定量描述, 过于强调数学模型的精确性是难以用于实践的。然而, 模糊推理可以用自然语言描述和推理‘软’生态知识<sup>[4]</sup>, 如气象因子对牧草生长的影响、病虫害发生程度、土壤肥力等模糊性事实知识, 但在究竟如何确立某一具体立地条件的牧草品种问题仍然没有确定的方法。GIS 是基于计算机软件、硬件、数据的集成, 具有对空间和属性数据输入、存储、显示、查询、分析输出等功能的信息系统。先进的 GIS 还可以实现决策辅助支持、智能化和网络化管理功能<sup>[5]</sup>。将专家系统(Expert System, ES)或决策支持系统和 GIS 结合起来, 可以使 ES 决策过程纳入地理信息, 利用 GIS 的分析结果, 提高 ES 决策的科学性; 同时, 通过 GIS 发布 ES 的决策结果, 可以增强直观性, 并为进步的定位实施打下基础<sup>[6]</sup>。本实验以甘肃省为研究区域, 采用牧草生长适宜度模型、层次分析和模糊推理, 结合 GIS 技术建立了退耕还草决策支持系统, 旨在为甘肃省合理的退耕还草之草种选择工作提供依据。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验材料

1) 资料收集: 基于产生式知识规则的决策支持系统首先需要获取足够的领域知识<sup>[7]</sup>。因此, 在建造退耕还草决策支持系统之前, 利用 2 年时间收集了各草种生态因子的数据和甘肃省各县市乡环境资源数据, 重点搜集了牧草对生长环境的要求即气象因子数据, 数据的采集和组织均按草种的自然属性加以区别, 并在专家们的指导下形成知识规则并建库, 用于推理。收集了图片: 甘肃省卫星相片, 地形坡向、坡度图, 海拔数字高程, 水文、耕地和土壤分布图。

2) 数据库建立: 将搜集到的数据建立了气象数据库, 各草种的生物形态学库、生物习性库、栽培技术库等。其中, 气象数据库中包括对区域适宜性的影响因素——年均温、年降雨量、年积温、日照时数、无霜期、相对湿度和各牧草生物学特性中描述因素——年降雨量、年积温、无霜期、绝对高温、绝对低温、海拔共 9 个因子。

收稿日期: 2003-08-05 修订日期: 2003-09-20

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2001AA 115250)

作者简介: 孙 娟(1976-), 女(汉), 内蒙古赤峰人, 博士生, 从事草业生态科学研究。兰州市 甘肃农业大学草业学院, 730070

### 1.2 研究方法

采用ARC/INFO 地理信息系统软件作为空间数据管理工具,使用VB 和VC 开发环境,采用层次分析法<sup>[8-10]</sup>确定因子权重,采用牧草生长适宜度模型和模糊逻辑推理机制进行推理,利用牧草生物学特性和甘肃省气象因子等为甘肃省退耕还草工作提供决策支持。

1) 层次分析(AHP):是为解决实际需要与科学决策方法之间早已存在的“供需矛盾”,寻求能交融进行定性分析与定量分析的全新决策方法。它是一种模拟人脑决策思维过程,擅长于解决多层次、多因素、多指标、多准则的复杂系统,特别是难以定量描述的系统决策问题的综合决策分析方法。本实验用于确定年降水量, 0 的年积温,无霜期,海拔,极端最高温度,极端最低温度 6 个气象因子之间的权重值,用于加权模糊逻辑推理。

2) 加权模糊逻辑推理:是通过权重值和真度值进行拟合判断推理的,它主要针对的是草业科学领域特殊的复杂性和模糊性知识,如,积温对牧草生长发育的影响,海拔对牧草产量和品种的影响等难以用一个界定的界限来精确描述和判断的知识。“加权模糊逻辑”的模糊产生式规则<sup>[11]</sup>的一般形式为:  $P \leftarrow Q, CF, \tau$ , 其右部一般表示一组前提或条件,左部表示若干结论或动作,前提  $Q$  和结论  $P$  都可以是模糊的,  $CF \in [0, 1]$  称为规则的置信度,  $\tau$  是规则被满足的阈值。规则的含义是“如果前提  $Q$  在某种程度上被满足则可以一定真度推出结论  $P$  (或执行动作  $P$ ), 规则可信度为  $CF$ ”。在模糊产生式系统中,规则的匹配过程不应该是“完全精确地相同”,而是应该定义某种意义的“模糊匹配”。现有的草业科学的知识、信息多处于不完全情况,因此,采用加权模糊逻辑推理方法,通过计算前提条件的真度:  $T =$

$(Weight_i) * (Confidence_i)$ , 及确定规则的阈值  $\tau$ , 再将拟合牧草与具体立地条件的所得的总真度值与阈值  $\tau$  比较得出决策方案,确定当地是否适宜种植该种牧草。

各因子间权重值 ( $Weight_i$ ) 的确定由  $T = (Weight_i) * (Confidence_i)$ , 系统获取真度  $T$  之前,必须要计算规则中各因子的权重值 ( $Weight_i$ ), 系统根据实际知识获取的情况和草业科学的学科研究现状,用层次分析(AHP) 决策来计算 0 的年积温( $\theta$ ), 年降水量( $P$ ), 无霜期( $D$ ), 海拔( $E$ ), 极端最低温度( $L$ ), 极端最高温度( $H$ ) 6 个因子之间的权重值, 算法如下:

$$C = (c_{ij})_{n \times n} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$u_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$u_i = \sqrt[n]{u_i}$$

$$W_i = \frac{u_i}{\sum_{j=1}^n u_j}$$

$$\overline{W} = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(AW)_i / nW_i]$$

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

$$CR = CI / RI$$

式中  $C$ ——判断矩阵;  $W_i$ ——各因子的权重值;  $CI$ ——一致性指标,判断矩阵偏离一致性的度量;  $CR$ ——一致性比率;  $RI$ ——平均随机一致性指标值,据专家经验,在西北地区上述 6 因子之间的矩阵如表 1。

表 1 6 因子之间的判断矩阵

Table 1 Judgement matrix for six factors

$A_k$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$
$B_1$	1	1/3	1/3	3	1/3	3
$B_2$	3	1	1/3	3	1/3	3
$B_3$	3	3	1	3	1/5	5
$B_4$	1/3	1/3	1/3	1	1/3	3
$B_5$	3	3	3	3	1	3
$B_6$	1/3	1/3	1/5	1/3	1/3	1

表中  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$  分别表示最高温度, 降水量, 无霜期, 海拔, 积温和最低温度;  $A_k$  的值 1, 3, 5 分别表示两个因素同样重要, 稍微重要和明显重要。  $B_1$  对  $B_1$  是同一事物, 同等重要, 赋值为 1, 则  $B_{11}$  为 1;  $B_2$  与  $B_1$  比较, 降水量对牧草的影响要稍微重要于最高温度, 因此,  $B_{21}$  赋值为 3, 相应的  $B_{12}$  赋值为 1/3, 同样办法, 给  $B_{ij}$  和  $B_{ji}$  赋予数值, 构成如表 1 的判断矩阵。

由公式得到各因子权重值:  $Weight_\theta = 0.3$ ,  $Weight_P = 0.2$ ,  $Weight_D = 0.2$ ,  $Weight_A = 0.1$ ,  $Weight_H = 0.1$ ,  $Weight_L = 0.1$ , 各条件因子的总真度值为:  $T = 0.3T_\theta + 0.2T_P + 0.2T_D + 0.1T_E + 0.1T_H + 0.1T_L$ 。各条件因子真度值  $T_\theta, T_P, T_D, T_E, T_H$  和  $T_L$  采用模糊逻辑方法计算, 根据调查与实验结果和对系统的调试, 将  $T$  的阈值  $\tau$  确定为 0.7。即若  $T > \tau = 0.7$ , 系统则认为该牧草满足条件, 否则, 系统认为不满足条件。

3) 牧草生长适宜度模型: 也称气候因子对牧草生长发育匹配的程度, 是针对牧草生长过程中不同的生育阶段, 对气候生态因子有着质和量的不同要求, 而气候生态因子在时间和空间上的变化很难与这些要求相匹配的客观事实而建立的, 用以判断某地的气候生态因子对牧草生长适宜程度。牟新待等<sup>[12]</sup> 研究发现, 在西北干旱地区, 对牧草生长作用较大的气候因子: 有光照 ( $I$ ), 年平均气温 ( $T$ ), 相对湿度 ( $R$ ), 0 的积温 ( $\theta$ ), 年降水量 ( $P$ ), 无霜期 ( $D$ ) 6 个生态因子, 建立了气候因子对牧草生长的  $S$  的隶属函数和生长适宜度模型如下:

$$S = \mu_{S_x}(I, T, R, \theta, P, D)$$

$$= 0.10\mu_{S_I}(I) + 0.20\mu_{S_T}(T) + 0.10\mu_{S_R}(R) + 0.20\mu_{S_\theta}(\theta) + 0.30\mu_{S_P}(P) + 0.10\mu_{S_D}(D)$$

式中加权值  $a_i$  是根据各生态因子对牧草生长的作用大小而定,  $a_i = 1$ 。各气候因子的隶属函数分别为: 光照因子  $I$  (小时/天) 适宜度, 其隶属函数为: 当  $I < 6$  或  $I > 18$  时,  $S_I = \mu_{S_I}(I) = 0$ ; 当  $6 \leq I \leq 18$  时,  $S_I = \mu_{S_I}(I) = 1 - (I - 12) / 2 / 40$ ; 年平均气温  $T$  ( ) 适宜度, 其隶属函数为: 当  $T < 0$  或  $T > 50$  时,  $S_T = \mu_{S_T}(T) = 0$ ;

当  $0 < T < 20$  时,  $S_T = \mu_{S_T}(T) = 1/4 + (T)2/800$ ;

当  $20 < T < 50$  时,  $S_T = \mu_{S_T}(T) = 1 - (T - 30)2/400$

相对湿度因子  $R$  (%) 适宜度, 其隶属函数为:

当  $0 < R < 40$  时,  $S_R = \mu_{S_R}(R) = 0$ ;

当  $40 < R < 100$  时,  $S_R = \mu_{S_R}(R) = 1 - (R - 70)2/900$

大于  $0$  年积温 ( $\theta$ ) 的适宜度, 其隶属函数为:

当  $0 < \theta < 2300$  时,  $S_\theta = \mu_{S_\theta}(\theta) = 0$ ;

当  $2300 < \theta < 3700$  时,  $S_\theta = \mu_{S_\theta}(\theta) = 1 - (\theta - 2300)/3000$

当  $\theta > 3700$  时,  $S_\theta = \mu_{S_\theta}(\theta) = 1$

年降水量因子  $P$  (mm) 适宜度, 其隶属函数为:

当  $P > 500$  时,  $S_P = \mu_{S_P}(P) = 1$ ;

当  $200 < P < 500$  时,  $S_P = \mu_{S_P}(P) = (P - 200)/300$ ;

当  $P < 200$  时,  $S_P = \mu_{S_P}(P) = 0$

无霜期因子  $D$  (天) 适宜度, 其隶属函数为:

当  $D > 180$  时,  $S_D = \mu_{S_D}(D) = 1$ ;

当  $60 < D < 180$  时,  $S_D = \mu_{S_D}(D) = (D - 60)/150$ ;

当  $D < 60$  时,  $S_D = \mu_{S_D}(D) = 0$

4) 常见牧草生长的气候适宜度区间计算: 由于牧草生长的气候适宜度是用以判断某地的气候生态因子对牧草生长适宜程度, 一般来讲, 它是个静态值, 而不同的牧草的生物学特征是动态的, 譬如, 紫花苜蓿和中华羊茅对气候环境的要求差之千里, 如何判断某地适宜种植哪些牧草和某种牧草可以生长在哪些地方呢? 这就要求将动态的牧草因子与静态的环境因子进行真值  $T$  拟和计算, 即模糊逻辑推理中的真值计算。当判断某一具体地点适宜种植哪些牧草时, 只需计算出在该点的气象条件下, 将各牧草生物学特性中描述因素——年降雨量、年积温、无霜期、绝对高温、绝对低温、海拔依据模糊逻辑推理与该地相应的因素进行真值计算, 结果大于等于  $0.7$  的, 系统认为能够种植; 当判断某种牧草适宜在那些地方生长时, 即计算牧草的适宜度范围, 只要计算该种牧草在哪些地点的  $T$  真值符合条件, 这些地点牧草生长适宜度值的模糊子集即是该种牧草的适宜度区间, 例如, 紫花苜蓿的适宜度范围是  $0.42 \sim 0.76$ , 就是指在牧草生长的气候适宜度为  $0.42 \sim 0.76$  之间的地点的上述 6 项因子与紫花苜蓿拟合的真值  $T$  均大于  $0.7$ , 范围的大小与牧草的生物学特性有关。通过计算得出甘肃省常见的 22 种牧草的适宜度区间如表 2。

## 2 系统的结构与推理决策

### 2.1 系统的结构

采用牧草生长适宜度模型、层次分析和模糊逻辑推理开发的基于 GIS 的退耕还草决策支持系统如图 1。

表 2 22 种常见牧草的生长适宜度区间

Table 2 Range of growth adaptability for 22 forges species

牧草名称	适宜度范围	牧草名称	适宜度范围	牧草名称	适宜度范围
紫花苜蓿	0.42~0.76	箭舌豌豆	0.37~0.72	红豆草	0.39~0.51
草木樨	0.42~0.72	沙打旺	0.37~0.71	中间锦鸡儿	0.37~0.70
柠条锦鸡儿	0.38~0.64	中华羊茅	0.30~0.46	草高粱	0.48~0.72
芫菁	0.30~0.68	燕麦	0.32~0.76	猫尾草	0.42~0.54
垂穗披碱草	0.20~0.68	细枝岩黄芪	0.38~0.64	草谷子	0.39~0.51
老芒麦	0.20~0.68	白沙蒿	0.38~0.64	红三叶	0.65~0.76
扁穗冰草	0.37~0.71	无芒雀麦	0.30~0.62	毛苕子	0.42~0.64
多年生黑麦草	0.65~0.76				

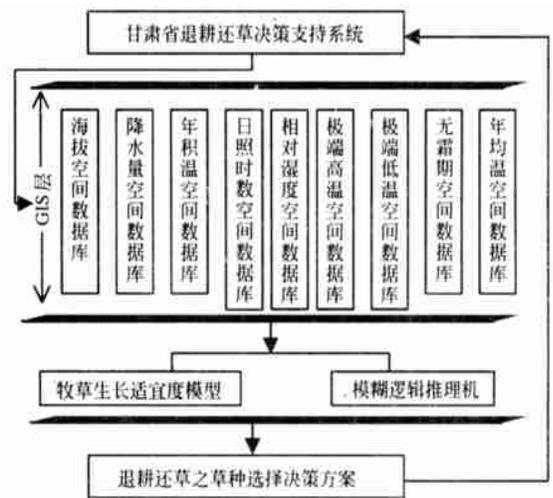


图 1 GIS 支持的甘肃省退耕还草决策支持系统的结构

Fig. 11 Structure of the GIS-based decision support system

利用 GIS 技术和草业生态学理论建立研究区海拔数字高程模型、多年平均降水量、积温、日照时数相对湿度等 9 个空间数据库, 采用层次分析方法建立了牧草生长适宜度模型和模糊逻辑推理机。根据不同区域的自然环境提出退耕土地适宜的利用方向。当用户点击任意一点时, 系统将调用 9 个层面的空间数据库通过牧草生长适宜度模型的计算和模糊逻辑推理机的推理, 得出此点适宜种植的牧草, 并提供各牧草的栽培管理技术和常见病虫害防治技术, 如图 2~ 5 所示; 系统还可以提供 22 种常见牧草在甘肃省的生态适宜性分布图 (如图 6)。

### 2.2 推理决策

系统根据用户选择的点的气象因子值, 结合牧草生长适宜度模型, 采用模糊逻辑推理机制为用户推荐退耕后适宜种植的牧草品种, 并提供相应的牧草栽培管理等技术支持。以紫花苜蓿为例, 咨询过程如图 4。

## 3 结果与讨论

通过层次分析、牧草生长适宜度模型和模糊逻辑推理建立了甘肃省退耕还草决策支持系统, 系统可以回答如下的问题: 1) 在哪里, 任意点的地理位置 (经纬度) 和省、地、县、乡的行政隶属关系; 2) 是什么, 任意点的环境



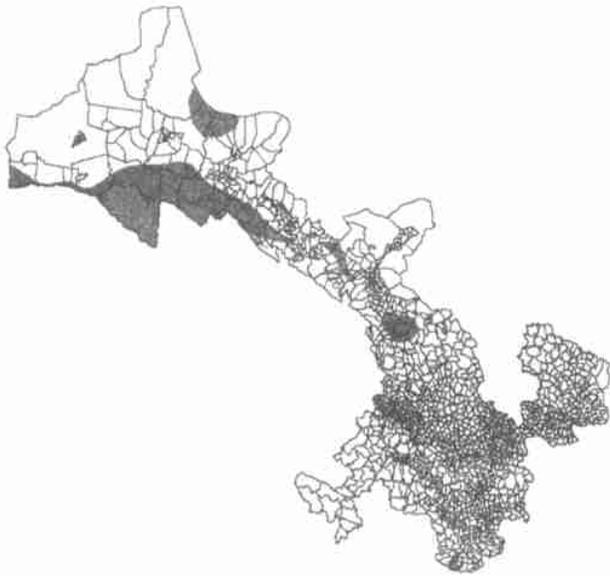


图6 紫花苜蓿生态适宜性分布图

Fig. 6 Ecological adaptability distributing map of alfalfa

利用GIS技术结合气象条件确定适宜牧草品种是一种实现从非生物条件到生物推断的转变,为了寻找这一转变的结合点,本研究通过建立甘肃省包含9个气象因子的空间数据库,利用牧草生长适宜度(需使用光照,年平均气温,相对湿度,0的积温,年降水量,无霜期六个生态因子)来确定某地的适宜生物生长的程度;通过层次分析和模糊逻辑推理(需使用0的积温,年降水量,无霜期,海拔,极端低温,极端高温6个生态因子)来确定某地适宜种植的牧草和牧草的生态适宜区间,二者结合实现了从非生物条件推断生物生长的转变,提高了智能化程度。

致谢:在开发过程中得到甘肃农业大学草业学院牟新待教授的大力支持,在此表示诚挚的谢意。

## [参 考 文 献]

- [1] 马超飞, 马建文, 哈斯巴干, 等. 基于RS和GIS的岷江流域退耕还林还草的初步研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 20-24
- [2] 王劲峰. 中国自然灾害影像评价方法研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993
- [3] 甘肃省科学技术厅. 退耕还草与草地农业技术[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 2001
- [4] Loyce C, Rellier J P, Meynard J M. Management planning for winter wheat with multiple objectives (1: ) The BETHA system [J]. Agricultural Systems, 2002, 72(1): 9-31.
- [5] 焦险峰, 杨联欢, 贾文. 县级农业资源管理信息系统建设——GIS方法应用[J]. 农业工程学报, 1997, 13(增刊): 227-231
- [6] 陈立平, 赵春江, 刘学馨, 等. 精确农业智能决策支持平台的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 145-148
- [7] Kwon O B, Lee K C. Mining linear programming models from databases using means ends analysis and artificial neural network [J]. Expert Systems with Application, 2002, 22(1): 39-50
- [8] Arbel A, Y E O r g l e r. An Application of the AHP to Bank Strategic Planning: The Mergers and Acquisitions Process. European Journal of Operational Research. 1990, 48, 27-37.
- [9] Bagranoff N A. Using an analytic hierarchy approach to design internal control system [J]. Journal of Accounting and EDP, 1989, 4, 37-41.
- [10] Moutinho L. The use of the analytic hierarchy process (AHP) in goal assessment: the case of professional services companies [J]. Journal of Professional Services Marketing, 1993, 8, 97-114
- [11] 赵春江, 杨宝祝, 李爱平, 等. 高技术通讯[M]. 北京: 高技术通讯出版社, 2000, 10(增): 11-13(21).
- [12] 牟新待. 草原系统工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997, 76-78

## GIS-based decision support system of returning cultivated lands into grasslands

Sun Juan<sup>1,2</sup>, Jiang Wenlan<sup>1,3</sup>, Chen Quangong<sup>4</sup>, Qin Laishou<sup>5</sup>, Wang Jiayi<sup>6</sup>

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Animal Science College, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China; 3. Agricultural and Husbandry Department of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 4. Pasture Technology College, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 5. Soil and Fertilizer Station of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 6. Lanzhou Gaobo Computer Information Technology Limited Company, Lanzhou 730020, China)

**Abstract** Forage species selection plays a prominent role in the process of returning cultivated lands back into grasslands, and determination of adaptive distributing range for forage species according to their biological characteristics together with their surroundings provides basis for decision support for the work. Therefore, this study aims to develop a GIS-based decision support system to help managers to make decision on how to deal with the returned cultivated lands. Combining GIS and forage adaptability model into the system, fuzzy logic was used in the reasoning mechanism. Users can get climate data, soil information and grassland class, and refer the adaptive forage species and their planting and managing technology for the target site as well. In addition, the system also provides adaptability distributing map of 22 forage species. The results show that the decision support system is very helpful for the related manager due to its good decision making ability.

**Key words:** GIS; forage selection decision support system; forage adaptability model; analytic hierarchy process; fuzzy logic reasoning