

模糊规划在中草药材种植效益问题的应用研究

冯德鸿^{1,2}

¹三峡大学理学院数学系, 湖北 宜昌

²三峡数学研究中心, 湖北 宜昌

收稿日期: 2023年6月25日; 录用日期: 2023年7月19日; 发布日期: 2023年7月28日

摘要

应用模糊数学规划模型和计算方法, 结合甘肃省定西市陇西县种植药材的主要乡镇实际数据, 研究县级种植域内: 如何最优调整中药材种植结构, 分配土地资源, 实现种植资源的合理配置, 制定了柔性种植计划, 提高了中草药材种植效益, 找出满意可行解, 最后应用GIS数据分析可视化技术直观展示了刚性规划与模糊柔性规划的预期效益对比结果, 其中对模糊优化计算结果的分析很具启发性。

关键词

线性规划, 模糊线性规划, 隶属函数, 地理信息系统

Research on the Application of Fuzzy Programming in the Benefit of Planting Chinese Herbal Medicine

Dehong Feng^{1,2}

¹Department of Mathematics, School of Science, China Three Gorges University, Yichang Hubei

²Three Gorges Mathematical Research Center, Yichang Hubei

Received: Jun. 25th, 2023; accepted: Jul. 19th, 2023; published: Jul. 28th, 2023

Abstract

Using the fuzzy mathematical programming model and calculation method, combined with the actual data of the main towns planting medicinal materials in Longxi County, Dingxi City, Gansu

文章引用: 冯德鸿. 模糊规划在中草药材种植效益问题的应用研究[J]. 应用数学进展, 2023, 12(7): 3486-3493.

DOI: 10.12677/aam.2023.127346

Province, the county planting domain was studied: How to optimally adjust the planting structure of Chinese medicinal materials, allocate land resources, realize the reasonable allocation of planting resources, develop a flexible planting plan, improve the planting benefits of Chinese medicinal materials, find out the satisfactory feasible solution, and finally use GIS data analysis and visualization technology to visually demonstrate the expected benefit comparison results of rigid programming and fuzzy flexible programming. The analysis of the results of fuzzy optimization is very enlightening.

Keywords

Linear Programming, Fuzzy Linear Programming, Membership Function, GIS

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

种植中草药材, 如何提高种植效益, 目前国内外对该问题的研究主要包括如下三方面。首先是全局产业链结构优化方向[1] [2], 提出上游的中草药材种植业、中游的中草药材企业加工业、以及下游的制药企业, 在国家宏观整体调控政策下, 优化全局产业结构, 提高各自效益, 尤其是上游的种植业, 提出观点: 调整中草药材种植结构, 种植适宜当地环境, 产量高、品质优、经济效益好的中药材, 实现资源的合理配置; 其次是林药(如树林下种植中草药材)种植模式研究方向[3] [4] [5] [6], 应用生态学原理和生态经济规律, 以社会、经济、生态综合效益为指标, 结合系统工程方法和现代科学技术, 因地制宜地设计、布局、生产和管理中药农业生产的发展模式; 第三方面则是从微观角度的研究方向[7], 提出掌握生产技术、购买优良种子、种苗, 这是成功种植药材的三要素。

本文研究属于第一方面, 应用模糊数学规划模型和计算方法, 从宏观上研究某种植域内: 如何调整中药材种植结构、分配土地资源, 实现种植资源的合理配置、提高中草药材种植效益、找出满意可行解, 并应用 GIS 直观展现了模糊柔性种植计划执行方案。

2. 模糊线性规划模型

模糊线性规划模型描述如下[8] [9]

目标函数 $\max Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i$ 简写成 $\max Z = CX$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n a_{1i} x_i \leq b_1 \\ \sum_{i=1}^n a_{2i} x_i \leq b_2 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n a_{mi} x_i \leq b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \quad \text{简写成} \quad \text{s.t.} \begin{cases} AX \leq b \\ X \geq 0 \end{cases}$$

其中“ \leq ”表示某种弹性约束，意指“近似小于等于”，约束条件是由 m 个模糊集表达的，对每个约束

$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_j$ 对应有一个模糊子集 D_i ，其隶属函数为

$$D_i(x) = f_i\left(\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j\right) = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \\ 1 - \frac{1}{d_i}\left(\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - b_i\right) & b_i < \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i + d_i \\ 0 & \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j > b_i + d_i \end{cases}$$

其中 d_i 是决策者适当选择的弹性参数指标， $d_i \geq 0 (i=1,2,\dots,m)$ ，设 $\underline{D} = D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_m$ 为对应约束条件的模糊约束集，模糊线性规划模型的解法步骤如下：

1) 先求普通线性规划 $\max Z = CX$ ， $AX \leq b$ ， $X \geq 0$ 的最大值 Z_0 及 $\max Z = CX$ ， $AX \leq b + d$ ， $X \geq 0$ 的最大值 $Z_0 + d_0$ 。其中 $b + d = (b_1 + d_1, b_2 + d_2, \dots, b_m + d_m)^T$ ， Z_0 是严格遵守约束条件 $AX \leq b$ (隶属度 $\underline{D}(x)=1$) 下目标函数的最大值； $Z_0 + d_0$ 是当约束条件放松到 $AX \leq b + d$ (隶属度 $\underline{D}(x)=0$) 下的目标函数最大值。

2) 构造模糊目标集 \underline{M} ，其隶属函数

$$\underline{M}(x) = g\left(\sum_{j=1}^n c_j x_j\right) = \begin{cases} 0 & \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq Z_0 \\ \frac{1}{d_0}\left(\sum_{j=1}^n c_j x_j - Z_0\right) & Z_0 < \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq Z_0 + d_0 \\ 1 & \sum_{j=1}^n c_j x_j > Z_0 + d_0 \end{cases}$$

当 $\underline{D}(x)=1$ 时 $\underline{M}(x)=0$ ，要使目标值大于 Z_0 必须降低 $\underline{D}(x)$ ，为兼顾模糊约束集 \underline{D} 和模糊目标集 \underline{M} ，采用模糊前判决取交集运算 $\underline{D}_F = \underline{D} \cap \underline{M}$ ，并采取最大隶属原则求最优解 x^* 使得满意度达最大。

3) 原问题归结为求解普通线性规划问题[9] [10] [11]

$$\begin{aligned} & \max \lambda \\ & \text{s.t.} \begin{cases} 1 - \frac{1}{d_i}\left(\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - b_i\right) \geq \lambda, i=1,2,\dots,m \\ \frac{1}{d_0}\left(\sum_{j=1}^n c_j x_j - Z_0\right) \geq \lambda \\ 0 \leq \lambda \leq 1, x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

约束条件进一步化简得到

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + d_i\lambda \leq b_i + d_i, i=1,\dots,m \\ \sum_{j=1}^n c_j x_j - d_0\lambda \geq Z_0 \\ 0 \leq \lambda \leq 1 \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases}$$

求出最优解 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, \lambda)$, 则最优点 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, 目标函数值为 $Z^* = \sum_{j=1}^n c_j x_j^*$ 。

3. 模糊规划模型结合算例求解

算例来源于甘肃省定西市陇西县农业局[12], 主要中草药材品种如党参, 黄芪, 黄芩, 柴胡, 款冬花等基本数据如表 1, 主要中草药材种植地如福星镇, 碧岩镇, 首阳镇, 宏伟镇, 菜子镇等主要基本种植数据如表 2。

Table 1. Planting data of main medicinal materials

表 1. 主要药材种植数据

药材品种	种植面积限额(亩)	亩种植成本(元)	净收益(元/亩)	年均亩产量(公斤/亩)
党参	85000	4060.00	8273	827.30
黄芪	77500	3660.00	3914.75	782.98
黄芩	50000	3760.00	3654.84	609.14
柴胡	25000	2460.00	7359.6	245.32
款冬花	22500	3900.00	7132.5	237.75

Table 2. Data of main villages and towns where medicinal materials are planted (WGS84 coordinate system)

表 2. 药材种植的主要乡镇数据(WGS84 坐标系统)

地区	经度	纬度	可耕种药材地(亩)	可分配的成本(万元)	追加 5% 补贴(万元)
福星镇	104.57660707	35.18115150	100000	41000	2050
碧岩镇	104.38475192	35.02732362	30000	12000	600
首阳镇	104.47150900	35.05157541	78000	27500	1375
宏伟镇	104.80554747	35.31519773	28000	6900	345
菜子镇	104.45929643	34.96137413	52000	19560	978

3.1. 模糊建模原则

县农业局为调整中草药材种植结构, 实现资源的合理配置, 提高中草药材种植技术含量, 鼓励全县种植农户积极探索科技种植技术, 综合考虑净收益和年均亩产量各自占比等因素, 对各乡镇追加 5% 的种植补贴(即弹性指标)。

3.2. 模糊规划建模

变量设置如下: 设在福星镇种植党参、黄芪、黄芩、柴胡、款冬花的面积分别为 X_{11} , X_{12} , X_{13} , X_{14} , X_{15} 亩; 在碧岩镇种植党参、黄芪、黄芩、柴胡、款冬花的面积分别为 X_{21} , X_{22} , X_{23} , X_{24} , X_{25} 亩; 在首阳镇种植党参、黄芪、黄芩、柴胡、款冬花的面积分别为 X_{31} , X_{32} , X_{33} , X_{34} , X_{35} 亩; 在宏伟镇种植党参、黄芪、黄芩、柴胡、款冬花的面积分别为 X_{41} , X_{42} , X_{43} , X_{44} , X_{45} 亩; 在菜子镇种植党参、黄芪、黄芩、柴胡、款冬花的面积分别为 X_{51} , X_{52} , X_{53} , X_{54} , X_{55} 亩。

模糊种植规划模型

目标函数

$$\begin{aligned}\max Z = & 8273(X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51}) + 3914.75(X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52}) \\ & + 3654.84(X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53}) + 7359.6(X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54}) \\ & + 7132.5(X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55})\end{aligned}$$

各镇土地资源约束

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} \leq 100000$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} \leq 30000$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} \leq 78000$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} \leq 28000$$

$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} \leq 52000$$

种植成本约束

$$4060X_{11} + 3660X_{12} + 3760X_{13} + 2460X_{14} + 3900X_{15} \leq 410000000$$

$$4060X_{21} + 3660X_{22} + 3760X_{23} + 2460X_{24} + 3900X_{25} \leq 120000000$$

$$4060X_{31} + 3660X_{32} + 3760X_{33} + 2460X_{34} + 3900X_{35} \leq 275000000$$

$$4060X_{41} + 3660X_{42} + 3760X_{43} + 2460X_{44} + 3900X_{45} \leq 690000000$$

$$4060X_{51} + 3660X_{52} + 3760X_{53} + 2460X_{54} + 3900X_{55} \leq 1956000000$$

种植各类药材的面积约束

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} \leq 85000$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} \leq 77500$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} \leq 50000$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} \leq 25000$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} \leq 22500$$

3.3. 模糊规划模型求解步骤

第 1 步, 解普通线性规划 $\max Z = CX$, $AX \leq b$, $X \geq 0$ 的最大值 Z_0 , 应用 LINGO 编程计算结果如表 3, $Z_0 = 1523313000$ 。

第 2 步, 解普通线性规划 $\max Z = CX$, $AX \leq b + d$, $X \geq 0$ 的最大值 $Z_0 + d_0$, 其他约束条件不变, 种植成本约束为

$$4060X_{11} + 3660X_{12} + 3760X_{13} + 2460X_{14} + 3900X_{15} \leq 410000000 + 205000000$$

$$4060X_{21} + 3660X_{22} + 3760X_{23} + 2460X_{24} + 3900X_{25} \leq 120000000 + 60000000$$

$$4060X_{31} + 3660X_{32} + 3760X_{33} + 2460X_{34} + 3900X_{35} \leq 275000000 + 137500000$$

$$4060X_{41} + 3660X_{42} + 3760X_{43} + 2460X_{44} + 3900X_{45} \leq 690000000 + 34500000$$

$$4060X_{51} + 3660X_{52} + 3760X_{53} + 2460X_{54} + 3900X_{55} \leq 1956000000 + 97800000$$

计算结果如表 3, $Z_0 + d_0 = 1533811000$, $d_0 = 10498000$ 。

第 3 步, 解普通线性规划, 目标函数 $\max \lambda$, 各乡镇土地资源约束和种植各类药材的面积约束不变,

种植成本满意度约束

$$(4060X_{11} + 3660X_{12} + 3760X_{13} + 2460X_{14} + 3900X_{15}) + 20500000\lambda \leq 41000000 + 20500000$$

$$(4060X_{21} + 3660X_{22} + 3760X_{23} + 2460X_{24} + 3900X_{25}) + 6000000\lambda \leq 12000000 + 6000000$$

$$(4060X_{31} + 3660X_{32} + 3760X_{33} + 2460X_{34} + 3900X_{35}) + 13750000\lambda \leq 27500000 + 13750000$$

$$(4060X_{41} + 3660X_{42} + 3760X_{43} + 2460X_{44} + 3900X_{45}) + 3450000\lambda \leq 69000000 + 3450000$$

$$(4060X_{51} + 3660X_{52} + 3760X_{53} + 2460X_{54} + 3900X_{55}) + 9780000\lambda \leq 195600000 + 9780000$$

目标函数满意度约束

$$\begin{aligned} & 8273(X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51}) + 3914.75(X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52}) \\ & + 3654.84(X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53}) + 7359.6(X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54}) \\ & + 7132.5(X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55}) - 10498000\lambda \geq 1523313000 \end{aligned}$$

满意度约束 $0 \leq \lambda \leq 1$ 。

模糊优化计算结果 $\lambda = 0.71$ ，各乡镇药材种植面积如表 3，总产值 $Z = 1678710000$ 元。

Table 3. Results of fuzzy optimization calculation before and after the subsidy for the planting of medicinal materials in various villages and towns (Unit: mu)

表 3. 各乡镇药材种植补贴前后及模糊优化计算结果(单位: 亩)

药材品种		党参	黄芪	黄芩	柴胡	款冬花	预期效益(元)
福星镇	前	85000	0	0	0	15000	810192500
	后	78892	0	0	0	21108	803225950
	F	85000	0	13268	0	1732	764052506
碧岩镇	前	0	0	3191	0	0	11664382
	后	0	0	0	7317	0	53850730
	F	0	0	0	5583	0	41090008
首阳镇	前	0	75137	0	0	0	294141044
	后	6108	63625	8267	0	0	329823553
	F	0	67521	4669	5810	0	324150692
宏伟镇	前	0	2363	182	24254	0	188417073
	后	0	13875	0	8808	0	119139976
	F	0	9979	0	13607	0	139208641
菜子镇	前	0	0	43754	746	7500	218898465
	后	0	0	41733	8875	1392	227771159
	F	0	0	31232	0	20768	262274088

应用 ArcGIS 地理信息系统数据分析可视化技术[13] [14]，对表 3 的 Excel 文件生成 ArcGIS 认可的 shp 地图文件，可直观展示出陇西县种植药材的主要乡镇补贴后刚性规划与模糊柔性规划预期效益比较，如下图 1。

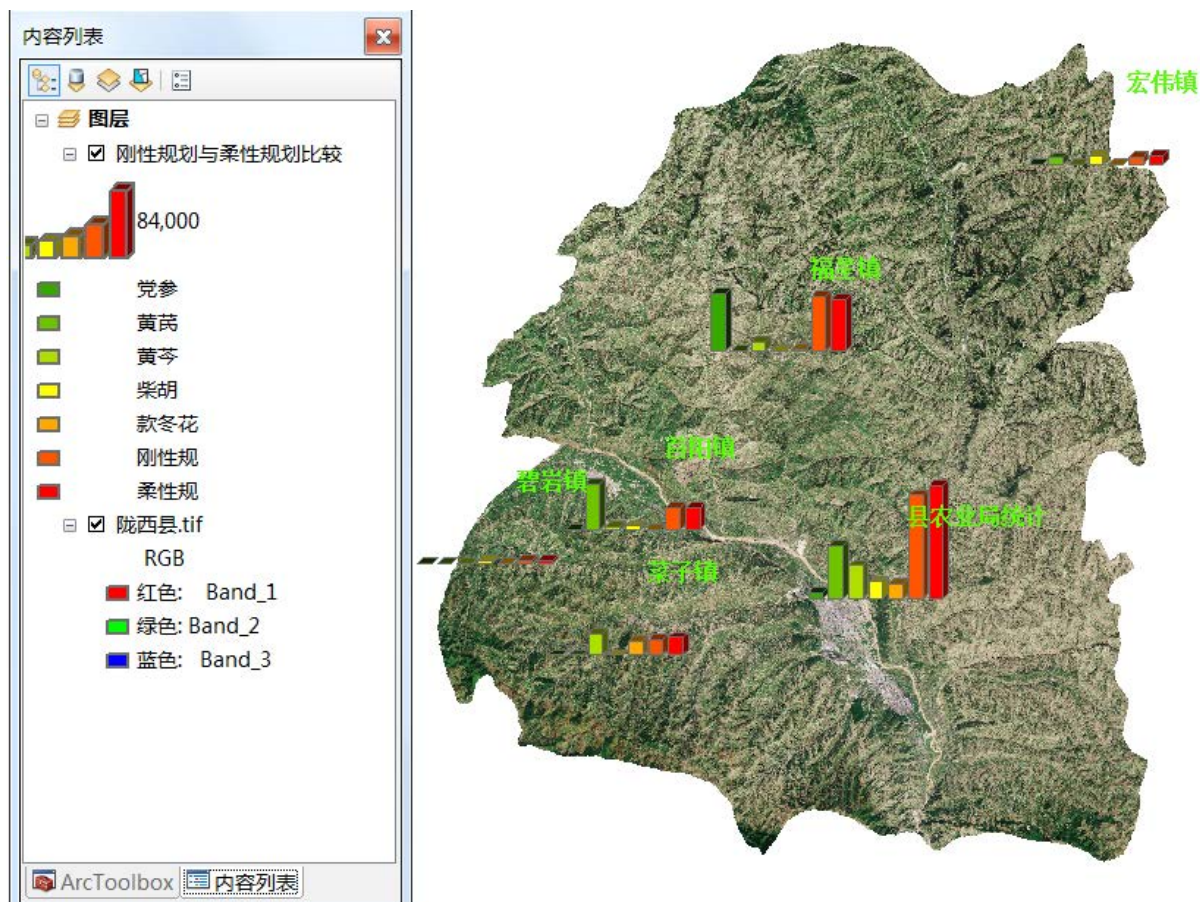


Figure 1. Comparison of expected benefits between rigid planning and fuzzy flexible planning of main villages and towns for planting medicinal materials in Longxi County

图 1. 陇西县药材种植主要乡镇的刚性规划与模糊柔性规划预期效益比较

4. 结果分析与建议

从各乡镇药材种植补贴前、补贴后及模糊优化计算结果表 3 和 GIS 数据分析可视化图 1 可看出：福星镇的效益略有所下降，说明了模糊规划的目标与期望产生的效益是矛盾的：

1) 福星镇补贴前后都种植党参和款冬花，经模糊规划：种植党参的面积不变，大幅减少了款冬花的种植面积，相反大幅新增加了黄芩的种植面积。福星镇经模糊规划的效益与刚性规划相比略有所下降，这与党参、黄芩的亩种植成本、净收益的比例(投入产出比率低)相关。

碧岩镇、首阳镇、宏伟镇和菜子镇收益大幅度增加，说明了模糊规划的目标与期望产生的效益是一致的：

2) 碧岩镇补贴前只种植黄芩，补贴后经模糊规划：放弃了种植黄芩，大幅改种柴胡，虽然与刚性规划比效益有所下降，但种植柴胡的面积降低了。所以获得非常好的效益，这与柴胡的亩种植成本、净收益的比例(投入产出比率高)相关。

3) 首阳镇补贴前只种植黄芪，补贴后经模糊规划：放弃了党参的种植，黄芩的种植面积也减少近半，略增加了黄芪的种植面积，大幅新增加了柴胡的种植面积，虽然与刚性规划相比基本持平，但与补贴前刚性规划相比较，获得可观的效益。

4) 宏伟镇补贴后经模糊规划：放弃了微小的黄芩的种植，减少了黄芪的种植面积，同时大幅增加种

植柴胡的面积。宏伟镇的效益与补贴后刚性规划相比，同样获得可观的效益。

5) 菜子镇补贴前种植黄芩、柴胡和款冬花，补贴后经模糊规划：放弃了柴胡的种植，并且略微减少了黄芩的种植面积，大幅增加了款冬花的种植面积，同样也获得可观的效益，这与款冬花的亩种植成本、净收益的比例(投入产出比率高)相关。

建议县农业局药材种植技术部门加大科技攻关力度，研究如何提高党参、黄芩的投入产出比率。

总之从全县整体研究结果表明：模糊柔性规划后的总效益(167871 万元)要比刚性规划的总效益(153381.1 万元)更满意更可行。

致 谢

感谢甘肃省定西市陇西县农业局的资助。

基金项目

湖北省教育厅重点项目(D20221201)资助。

参考文献

- [1] 晋小军, 任应宗, 唐文文, 等. 甘肃主产大宗中药材产业链经济效益比较分析[J]. 甘肃农业, 2013, 21(13): 24-29.
- [2] He, M.H. and Shi, J.H. (2021) Circulation Traceability System of Chinese Herbal Medicine Supply Chain Based on Internet of Things Agricultural Sensor. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, **30**, Article ID: 100518. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100518>
- [3] Chandler, J.L. and McGraw, J.B. (2015) Variable Effects of Timber Harvest on the Survival, Growth, and Reproduction of American Ginseng (*Panax quinquefolius* L.). *Forest Ecology and Management*, **344**, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.007>
- [4] 陈慧玲, 张新叶, 孙庐山, 等. 湖北省杨树林下药材种植技术及效益分析[J]. 湖北林业科技, 2015, 44(1): 9-12.
- [5] 密余华. 林下药材种植存在的问题及发展对策[J]. 北京农业, 2015, 18(43): 52.
- [6] 郭兰萍, 吕朝耕, 王红阳, 等. 中药生态农业与几种相关现代农业及 GAP 的关系[J]. 中国现代中药, 2018, 20(10): 1179.
- [7] 王忠民. 种药材如何获得好效益[J]. 四川农业科技, 2007, 3(1): 33-34.
- [8] 杨伦标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 第二版. 广州: 华南理工大学出版社, 2000: 382-390.
- [9] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 第四版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013: 222-234.
- [10] 艾景军, 刘大有, 等. Fuzzy 线性规划饲料配方模型的建立与应用[J]. 电子学报, 2001, 29(11): 1568-1570.
- [11] 冯德鸿. 模糊集约生产计划与订货批量方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2003.
- [12] 冯德鸿, 党学凤. 基于 GIS 规划模型的药材种植效益问题研究——以甘肃省定西市陇西县为例[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(23): 21-22, 47.
- [13] 牟乃夏, 刘文宝, 王海银, 戴洪磊. ArcGIS10 地理信息系统教程从初学到精通[M]. 北京: 测绘出版社, 2012: 203-216.
- [14] 欧阳霞辉. ArcGIS 地理信息系统大全[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 244-253.