

专题报道

“粮经饲”种植结构优化方法与对弈式操作策略*

梁启章, 齐清文[※], 姜莉莉, 梁 迅

(中国科学院地理科学与资源研究所/资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘要:【目的】优先推动“粮经饲”作物种植结构优化, 促进农业供给侧结构性改革, 可加快培育农业农村发展新动能, 实现乡村振兴战略。【方法】关键在于查清种植业分区特色与种植现状, 总结好当地专家和经营者经验与知识, 充分挖掘农田作物适宜性潜力, 科学预测市场供需与经济期望, 采用多目标评估方法, 开发对弈式智能化操作平台。【结果】推广应用基于种植业时空大数据的对弈式智能化软件平台, 可产生区域种植结构优化方案, 达到稳定粮食生产, 提升经济作物效益以及尽可能多地扩大饲料作物种植面积, 以支持或扩大养殖业, 发展加工业和服务业, 延伸农村产业链, 实现乡镇振兴目标。【结论】多目标评价方法与对弈式智能化操作策略, 适用于种植业结构优化或农业供给侧结构改革等多目标问题, 平台运行过程中发挥决策者的主导作用, 能够确保结构优化规划方案的科学性与可行性。

关键词: 供给侧结构; 种植结构; 多目标评价方法; 对弈式操作策略

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20190209

0 引言

2015年底中央农村工作会议首次提出:“加强农业供给侧结构性改革, 真正形成结构合理、保障有力的农产品有效供给”^[1]; 2017年“一号文件”进一步明确“稳粮、优经、扩饲, 优先构建粮经饲协调发展的三元种植结构”, 稳定粮食生产基础上, 加快提升经济作物效益, 大力发展养殖业, 延伸农村产业链, 开创农村富裕之路^[2]; 2019年“一号文件”再次确定了农业供给侧结构改革成为乡村振兴战略中重要措施之一。3年多来, 国务院与各省市自治区采取了多种举措, 加快了北方农牧交错带种植结构调整, 期望逐步形成以养带种、牧林农复合、草果菜结合的种植结构; 黑龙江已经实现了“一减七增”, 玉米调减 128.13 万 hm^2 , 水稻、大豆、小麦、马铃薯、杂粮杂豆、经济作物和饲料饲草作物有所增加; 山东省着眼于沿海半岛农业优势, 优先调整种植业结构, 把小麦和玉米这两季轮作的种植结构变为小麦和一些杂粮、大豆、花生、薯类、蔬菜轮作的方式, 打造

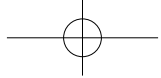
收稿日期: 2019-01-05

第一作者简介: 梁启章 (1940—), 研究员。研究方向: 地图学、GIS 与农业信息化。Email: article@163.com

※ 通信作者简介: 齐清文 (1963—), 博士、研究员。研究方向: 地图学、GIS 的理论、方法和技术。

Email: qiqw@igsnrr.ac.cn

* 基金项目: 中国科学院现代农业示范与区域创新集群计划项目子课题“基于 GIS 的精准农业辅助决策与可视化协同指挥调度系统研发”(CXJQ12010402)



2019年4月

粮食兼顾、农牧结合、循环发展的新型种植结构，布局农村产业链建设方案，同时加快海上粮仓建设，实现现代渔业园区、海洋牧场、远洋渔业、深海养殖、冷链物流等重点工程建设，寻找新的农业经济增长点；山西省积极主动推进农作物种植结构调整，划定粮食生产功能区，引导农户在非优势区域调减普通玉米种植面积，适当发展杂粮、马铃薯、中药材、青贮玉米等其他高效益农作物，同时调整 20 万 hm^2 耕地用于种草，建设一批规模化的优质高产多年生人工牧草地，旨在推进全省生态畜牧业建设，逐步实现草畜平衡；贵州省发挥山地小气候的特点和优势，把 33.33 hm^2 以上坝区结构调整落实到具体的地块、品种、资金、龙头企业、合作社等要素上，运用大数据手段推进产销精准对接，确保今年农业结构调整取得更大成效等等。

推动种植结构优化绝不只是几个统计数据的调整，唯有坚持数字农业方向，充分发挥各地区资源优势，精准地把握各地区农田作物类型空间布局与发展潜力，才能实现真正的结构优化布局落地。文章基于中国科学院农业项目办公室组织的“农业专家决策支持系统”研究成果^[3]，以蒙自县种植业结构优化规划为案例，重点论述了“粮经饲”种植结构优化方法中的资源保障、限制因子与期望目标的科学预测，具体分析了多目标评估方法与对弈操作策略优势，详细介绍了种植结构优化的通用模式与关键技术，首次发表了涉及“多目标方法”的 11 个对弈操作界面，提供了可借鉴的对弈操作界面设计范式。

1 中国种植业分区特色

我国种植业分布范围广阔，南北跨越纬度范围为北纬 16~52°，气候带跨越热带、亚热带、温带、寒温带、寒带，从东部平原到西部高原农业高差达到 5 000 m 以上。中国农作物品种多样闻名世界，其中粮食作物包括：小麦、水稻、玉米、燕麦、黑麦、大麦、谷子、高粱、青稞、藜麦等；经济作物包括：棉花、油料、糖料、烟叶、麻类以及桑、橡胶、咖啡、可可、胡椒、椰子、油棕、香蕉、龙眼、荔枝、菠萝和特种药材等；饲料作物包括：玉米、谷类、豆类、叶菜类、根茎类、瓜类、水生等以及牧草（含人工与天然草地）^[4]。

中国多民族农耕文化经历了长期的环境适应与种植演变，培育了世界上最多种植品种，形成了符合当地自然条件与消费习惯的种植特色^[5]，例如：东北春小麦、大豆、甜菜、亚麻、向日葵等；北部高原牧草、杂粮、干鲜果等；华北冬小麦、玉米、甘薯、大豆、棉花、花生、烤烟、芝麻等；长江中下游稻、棉、油、桑、茶等；南方丘陵双季稻、茶、柑桔等；华南双季稻、橡胶、甘蔗等；川陕盆地稻、玉米、薯类、柑桔、桑等；云贵高原稻、玉米、烟、油菜等；西北绿洲麦、棉、甜菜、葡萄等；青藏高原青稞、小麦、油菜等。上述区域种植特色与优势应该成为粮经饲种植结构优化工作前提。

2 耕地作物适宜性与可利用资源

不同类型的种植业分区，伴随着多种农田作物类型，其中作物品种、布局、产量或

产值等数据，既是提升种植业效益的基础资源，也是种植结构优化的限制因子。在有条件情况下，可充分利用当地的耕地类型与作物分布地图，汇总某个区域的农田类型、面积与土壤特性；或采用作物生长期内的卫星影像识别方法，获取前 3 年农作物种植品种、分布、面积等数据，包括复种组合模式。

2.1 耕地作物适宜性

耕地作物适宜性综合了耕地与作物优化组合，每个地区具有不同的优化组合模式。以实验地区蒙自县为例：耕地分为“田”与“地”两大类，“田”又以海拔 1 600 m 为界分为坝区田与山区田，“地”的情况比较复杂，以海拔 1 400 m、1 600 m、1 800 m 为界限，将地分为以下 4 类：地 (<1 400 m)、地 (1 400~1 600 m)、地 (1 600~1 800 m)、地 (>1 800 m)。为满足种植结构改革需求，首先确定参与种植结构调整的当地 6 种主要作物：水稻、玉米、小麦、烤烟、甘蔗、花生，而后基于农田适宜性作物和农田等级，可以汇总出不同耕地上作物历年产量、产值与投入产值比，从而可获得不同作物的最大推广面积数据。最终划分的 10 种耕地作物类型如下。

- (1) 坝区田，适宜坝区稻 + 冬玉米或麦（二熟制）；
- (2) 坝区田，适宜稻（双季稻）；
- (3) 山区田 (>1 600 m)，适宜冬玉米；
- (4) 山区田 (>1 600 m)，适宜山区杂交稻 + 山区常规稻（双季稻）；
- (5) 坝区地，适宜甘蔗 + 坝区烤烟 + 坝区杂交玉米 + 坝区地麦 + 坝区常规玉米 + 花生；
- (6) 山区地 (<1 600 m)，适宜坝区杂交玉米 + 坝区常规玉米 + 甘蔗 + 花生；
- (7) 山区地 (<1 600 m)，适宜坝区烤烟 + 甘蔗 + 花生；
- (8) 山区地 (<1 400 m)，适宜甘蔗；
- (9) 山区地 (<1 600 m)，适宜甘蔗 + 坝区地麦；
- (10) 山区地 (1 600~1 800 m)，适宜常规玉米 + 杂交玉米 + 麦 + 烤烟。

通常情况下，可利用当地已有的农田作物类型图，采用 GIS 数字化方法，获取当地耕地作物类型数据，或者采用高分辨率卫星影像与实地调查相结合方法，制作耕地作物类型数字地图。

2.2 农作物种植现状

为了预测未来优势农作物发展目标，通常需要获取前三年的农作物种植及其投入产出历史数据，包括农作物分布与播种面积，以及投入 / 产出数据等，以便建立农作物种植现状数据库。

2.3 可利用资源预测

发展种植业必须具有耕地、水、农业资料与劳动力等资源以及提升经济作物效益的最佳品种可供量，适宜当地的优质饲料作物品种与适宜种植面积等，各种资源构成了结构优化的限制条件。图 1 展示出蒙自县可利用耕地资源、水资源、肥料品种与数量以及主要作物种子等限制因素。其它可供农资还可包括：自留种子、农药、燃料、农机、人工等，均为结构优化的制约因子。

2019年4月

资源及投入配置 (1997 年)				返回
资源基数来源		投入基数年份		
单位 (亩)	基数值	规划值	单位 (吨)	基数值
总耕地	1095715	1095715	化肥可供量	55129
坝区田	170115	170115	磷铵	13269
山区田	18975	18975	普钙	16000
坝区地(<1400米)	335567	335567	硝铵	9000
坝区地(<1600米)	138729	138729	尿素	3388
山区地(<1800米)	321269	321269	硅钙	300
山区地(>1800米)	111060	111060	钾肥	2172
水可供量(万方)	9030	9030	复合肥	6000
			农家肥	337000
规划年种子公司供种量				
杂交稻种用量	128.0	128.0	杂交玉米用种量	51.9
小麦良种用量	45.2	45.2		

图 1 蒙自县可利用耕地资源、水资源、肥料与种子

Fig.1 Available cultivated land resources, water resources, fertilizer and seeds in Mengzi county

3 结构优化期望与目标预测

粮食供需平衡与经济期望必然是种植结构优化的重要目标或前提，继续保持粮食作物多样性也是实现中国粮食安全的重要措施之一^[4]。符合当地实情与未来愿景的期望预测值，将成为多目标结构优化的重要目标或限制条件。

3.1 人口增长与粮食供需预测

稳定粮食产量，达到供需基本平衡，属于三元结构优化的首要目标。粮食需求取决于人口增长与经济期望。粮食需求通常包括：人均口粮、饲料用粮、工业用粮、种子用粮、国家粮（国家粮食基地）、储备粮（地方储备）或市场粮（外地粮）等。图 2 展示了基于人口与 GDP 预测的粮食需求预测界面，该操作的后台存储了前三年（最少）人口、GDP 以及粮食产量数据库，并依此模拟出 3 年变化曲线。

粮食需求分析		粮食储备安全预警	下一页
预测年份	1997	规划单位	全县
人均用粮(公斤)	300	饲料生产用粮(吨)	4900
居民用粮总消费(吨)	73415	其他工商业用粮(吨)	6500
种子用量(吨)	710	上缴国家粮(吨)	8000
现有及新增储备粮(吨)	0	粮食需求总量(吨)	93525
97年人口数	302000	97年GDP(万元)	86500
近期人口平均增长率(%)	9.1	近期GDP平均增长率(%)	7.9
计划人口增长率(%)	10.0	计划GDP增长率(%)	8.3
总人口及农业人口	302000	GDP预测(万元)	86500

图 2 人口增长、经济期望与粮食需求预测模块界面

Fig.2 Interface of population growth, economic expectation and food demand prediction module

3.2 农作物投入产出预测

每种作物的投入产出水平成为种植业经济效益关键因素。农作物种植田间投入品通常包括种子、肥料、水、农药、燃料、人工、管理等。图 3（水稻界面）展示了 667 m²

水稻（杂交稻、常规稻）的投入产出数据。通过选择作物名称（左侧上方）可获得其余作物投入产出数据。本操作均基于不同作物投入产出模型，该模型总结了当地农民的种植经验或知识，符合实际情况十分重要。

单产分析	水稻			返回
	杂交稻	杂交稻(>1600)	山区常规稻	其它作物
亩施碳铵(公斤/亩)	60	40	40	水稻
亩施普钙(公斤/亩)	0	0	0	
亩用种量(公斤/亩)	1.5	1.3	7.5	
亩农药费用(元/亩)	10	10	10	
亩用工(人/亩)	15	9	9	
亩灌溉用水(立米/亩)	180	100	0	
科技管理水平	0.8	0.7	0.7	
平均单产(公斤/亩)	310	173	69	
亩投入(元/亩)	253	104	119	
产投比(%)	171.6	234.4	81.6	

图 3 蒙自县不同作物投入产出预测

Fig.3 Prediction of input and output of different crops in Mengzi county

3.3 产品与田间投入品单价预测

农产品与田间投入品单价，包括国家价格与市场价格两大类，所有价格均会逐年发生变化，成为影响着经济效益期望的重要因素。田间投入品主要包括：肥料、人工、灌溉、薄膜；农产品分为产品与种子种苗两类，产品如：稻谷、玉米、小麦、甘蔗、烤烟、花生、石榴、葡萄、枇杷、红枣等，这些农产品均需配备相应的种子或种苗。田间投入品与产品（含种子或种苗）的单价会随着市场供需变化或产品质量而变化。图 4 展示了蒙自县种植业投入品与产品的年际单价，可根据权威单位发布的价格进行修改。该操作的后台存储了多年价格数据，并依此模拟出价格变化曲线。

单价调整 (1997)年			返回
碳铵(元/公斤)	0.66	普钙(元/公斤)	0.48
硝酸(元/公斤)	1.88	尿素(元/公斤)	2
硅钙(元/公斤)	0.2	钾肥(元/公斤)	2.4
复合肥(元/公斤)	1.04	复合肥(石榴)(元/公斤)	2.4
农家肥(元/公斤)	0.1	灌溉(元/立米)	0.05
用工(元/人)	15	薄膜(元/公斤)	10
产品 种子(种苗)			
杂交稻(元/公斤)	1.4	杂交稻(元/公斤)	17
常规稻(元/公斤)	1.4	常规稻(元/公斤)	2
杂交玉米(元/公斤)	1.35	杂交玉米(元/公斤)	8
常规玉米(元/公斤)	1.35	常规玉米(元/公斤)	2
小麦(元/公斤)	0.99	小麦(元/公斤)	3.2
烤烟(元/公斤)	12	烤烟(元/公斤)	6
甘蔗(元/公斤)	0.23	甘蔗(元/公斤)	0.23
花生(元/公斤)	3.23	花生(元/公斤)	6
石榴(元/公斤)	1.6	石榴枝条(元/根)	0.3
葡萄(元/公斤)	4.5	葡萄(元/根)	10
枇杷(元/公斤)	10	枇杷(元/棵)	5
红枣(元/公斤)	10	红枣(元/棵)	5

图 4 蒙自县种植业投入品与产品单价

Fig.4 Planting inputs and product unit price in Mengzi county

2019年4月

3.4 科技创新增产 / 增效分析

科技创新必然是种植业增产增效的关键措施之一，新技术、新品种、新产品将成为增产或增效的重要源泉，通常体现在优良品种、新型肥料、智能植保、精准种植、精准灌溉、智能农机等产生的推广面积，增产或增效效果。图 5 展示了蒙自县种植业不同品种的科技措施增产效果模拟界面。

图 5 蒙自县种植业科技措施增产效果模拟

Fig.5 Stimulation effect of planting technology measures in Mengzi county

4 多目标决策方法与空间布局

优化种植结构，方案的好坏将采用多个标准进行综合评价。鉴于不同作物在不同耕地类型上的投入 / 产出效益不同，不同作物可能种植面积受到适宜性限制以及不同投入方案的限制等等，如何决定粮经饲作物用地优化方案，即决策变量，涉及寻求多个目标最优化，并会受到多种条件制约，从而成为一个十分复杂，也是一个典型的多标准评价问题，参与运算因子更多，包括人口、耕地、水、粮作、经作、饲料、农资、科技、投入、收入、价格等可量化因子，还会涉及地方特色与习俗以及主管人员知识与经验等非量化因子。总之，构建符合实情的多目标决策模型十分重要也较为复杂。

4.1 一般过程

图 6 展示了结构优化的一般过程，其中“税收分析”乃是反映了取消农业税之前的重要目标。种植结构优化规划的重要思路概括如下。

(1) 满足实际需要，符合客观规律

面向最终用户，需要同当地领导进行详细而深入的讨论，同时又要符合客观规律，即符合当地的资源环境与社会经济文化发展的实际情况。

(2) 摸清家底（资源、环境、现状）

对于任何一个农业区域，搞清家底是进行结构优化基础，必须通过多种方法了解情况，例如通过 GIS 获取当地的自然资源与环境条件，及其现有利用的空间分布特征与精确数据，或可利用资源卫星影像获取相关耕地作物种植现状数据。

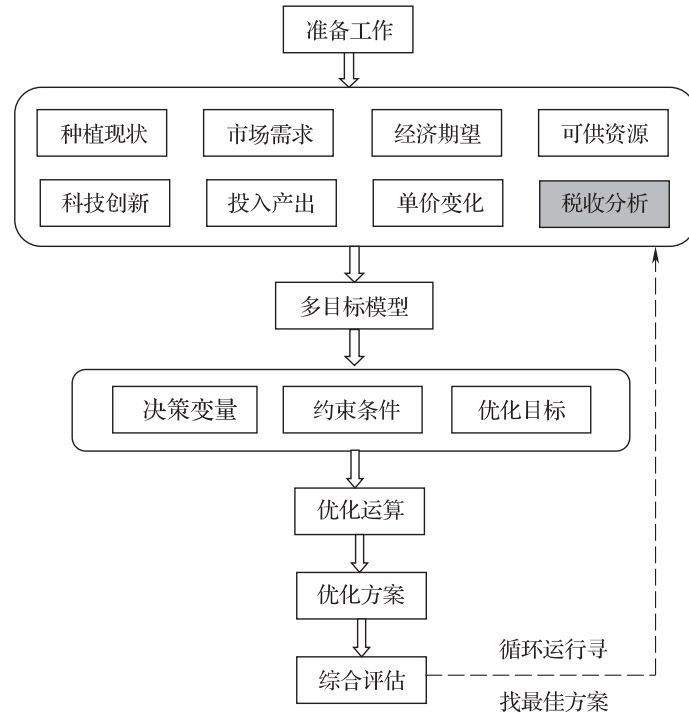


图 6 蒙自县种植结构优化一般过程

Fig.6 General process of planting structure optimization in Mengzi county

(3) 总结经验（当地专家，外地专家）

单产模型，或投入 / 产出模型，成为决策成败的关键，为此必须充分利用当地农业专家与领导的经验与知识。他们具有长时间的种植经验与科学实验，能准确描绘出作物的投入产出关系，也只有这样得出的单产模型才真正适合当地的实际情况。这远比用任何经典公式给出的单产模型都更能解决实际问题。

(4) 便于人机交互，决策人员参与运算过程

应满足用户理解计算机系统完成多目标决策的复杂过程，不适宜采用通常的人机交互界面与模型运算的黑盒子模式。为此，采用国际上通行的对弈式智能操作策略，将每一个决策对象及其决策过程设计成一系列棋局，决策人员可以一目了然地看清每一步棋局中的各种变量与结果，从而确保决策者能够亲自参与到决策过程中来，并永远处于模型运算的主导地位，从而保证了决策人员的智慧与计算机系统的最佳融合。

4.2 多目标决策模型

多目标决策方法现已广泛地应用于工艺设计、配方配比以及水资源、能源、环境、人口、教育、经济等管理领域。多目标决策模型的核心技术在于科学设定：决策变量、决策目标与限制条件^[6]。

(1) 变量的选取

三元种植结构优化改革方案，实际上就是寻找满足限制条件与达到期望目标的各种

2019年4月

作物的适宜性播种面积，及其在不同耕地类型上的空间布局，涉及不同作物的投入产出效益以及作物复种（时间分布）及田间布局（空间分布）等因子。例如，根据蒙自县的实际情况，确定了参与结构调整的当地6种主要作物：水稻、玉米、小麦、烤烟、甘蔗、花生，同时依据不同作物的适宜性划分了以下10种耕地作物类型（详见2.1），研究的决策变量就是回答10种耕地作物类型的发展规模及其空间布局。

(2) 目标与权重设定

图7显示了蒙自县种植业结构优化中需要用户确定6个目标期望值与权重，即总产值、总投入、总收入、产投比、人均收入、农特税收的期望值及其权重。某些具体目标因地制宜，例如养殖业收入最大化，经济作物收益最大化等等，均需包含在设定的目标中。所谓权重是指用户对各个目标的重视程度，期望值是用户希望达到的目标值。

	预计值	期望值	权重	(1--10)
种植业总产值(百万元)	315.1	315.1	1	◀ ▶
种植业总投入(百万元)	197.6	197.6	1	◀ ▶
种植业总收入(百万元)	117.5	117.5	1	◀ ▶
种植业产投比(%)	159	159	1	◀ ▶
种植业人均收入(元)	480	480	1	◀ ▶
种植业农特税收(百万元)	55.0	55.0	1	◀ ▶

图7 蒙自县种植结构优化目标与权重

Fig.7 Objective and weight of planting structure optimization in Mengzi county

(3) 约束条件设定

种植结构优化决策一定会受到多种不可改变的客观条件限制，例如粮食供需平衡，可利用耕地总面积，同一播种期内总播面积不得超过耕地面积，种子、肥料、水、人工、燃料、农机等农资可供量上限等。例如，蒙自县除了粮食生产指标以外，各类耕地、水、肥料等农业资源都有所限制，烤烟、甘蔗播种面积属于上级的指令计划，适宜性面积将控制着作物种植规模等等。例如，蒙自县的总耕地面积是7.304 78万/hm²（土地详查数据），考察了复种及作物种植适宜性影响后，设定了下列约束条件：①（坝区稻+冬玉米+坝区田麦）/2<坝区田；②甘蔗+（坝区烤烟+坝区杂交玉米+坝区地麦+坝区常规玉米+花生）/2<坝区地；③坝稻<坝区田；④山区杂交稻+山区常规稻<坝区田；⑤冬玉米<田<1 600 m；⑥坝区杂交玉米+坝区常规玉米+甘蔗+花生<地<1 600 m；⑦坝区烤烟+甘蔗+花生<地<1 600 m；⑧甘蔗<地<1 400 m；⑨甘蔗+坝区地麦<地<1 600 m；⑩山区常规玉米+山区杂交玉米+山区地麦+山区烤烟<山区地。

4.3 多目标规划与综合评价方法

(1) 线性规划方法

线性规划是用来处理线性目标函数和线性约束条件的最优化方法。在系统优化及经营管理中常有两类问题：一类是给出一定的人力、物力、财力条件下，如何合理利用它们完成最多的任务或得到最大的效益；另一类是在完成预定目标的过程中如何以最少的人力、物力、财力等资源去实现目标，线性规划是解决这两类问题应用最为普遍的方法。

(2) 多目标规划方法

多目标方法允许在处理多个目标时，采用加权的方法将多目标转化为单目标来进行处理，从而成为解决线性规划方法无法解决的各种约束条件互相矛盾、各种目标之间重要程度不同的多目标决策问题的有效工具，具有相当大的灵活性，给予决策者较大的分析、选择与调整余地，当初次模型运算结果不满意时，可返回到多目标模型阶段实施多种调整：①互换目标和约束条件的位置；②改变约束条件等级；③改变所追求目标权重。如此的多目标规划建模调整功能，有利于数值计算和传统分析有效地结合，方便于不同角度评价^[7]。

(3) 规划方案综合评判模型

一般情况下，用户只需输入每个目标的期望值、权重，系统将经过运算给出一个决策方案。用户每次修改目标期望值、权重或者约束条件后，也可很快得到一个规划方案(图 8)。系统提供了方案比较功能，详细列出了各方案的总产值、总投入、总收入、产投比、人均收入、农特税收。用户可综合考虑各个因素(资源、粮食需求、期望值)从而选出既不超过资源总可供量，又符合决策者想法的规划方案。

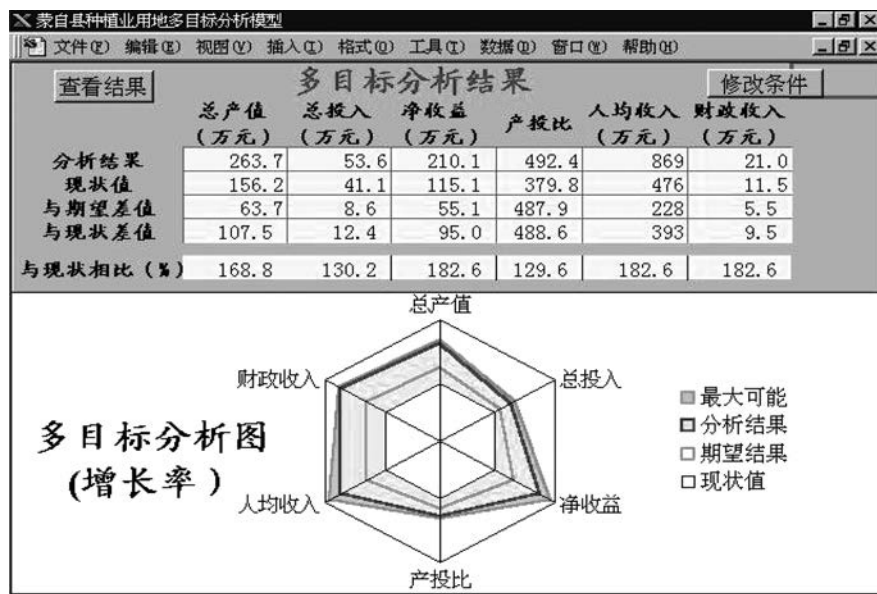


图 8 蒙自县种植业结构优化结果

Fig.8 Optimization results of planting structure in Mengzi county

2019年4月

综合评判模型计算出各个方案接近期望目标程度，并用以决定选择的最终方案^[8]。例如蒙自县种植业规划 / 计划方案的综合评判模型表达为：

$$a1 \times (a2/a3)^3 \times (a3-a2)/a2 + b1 \times (b3/b2)^3 \times (b2-b3)/b2 + c1 \times (c2/c3)^3 \times (c3-c2)/c2 + d1 \times (d2/d3)^3 \times (d3-d2)/d2 + e1 \times (e2/e3)^3 \times (e3-e2)/e2 + f1 \times (f2/f3)^3 \times (f3-f2)/f2 \quad (1)$$

式(1)中：a、b、c、d、e、f分别代表总产值、总投入、总收入、产投比、农特税收以及农民人均种植业收入；1、2、3分别表示权重、期望值以及分析值。

4.4 规划方案空间布局

多目标决策方法处理量化因子所产生的方案，常以数据方式呈现(图9、图10、图11)，这些数据方案必须完成空间处理后才能落地，成为最有可能付诸实施的方案。

(1) 规划优化方案

图9展示了蒙自县种植业主要作物播种面积规划，图10展示了对应的作物播种面积变化(有增有减)，图11展示了蒙自县主要作物投入产出汇总结果。如果决策者不满意这些规划方案及其带来的变化，则可返回到多目标决策模型(图6)，由决策者完成限制条件与目标权重调整，进入新一轮决策运算产生新方案，这样的循环往复直至达到满意的决策方案，并进入最终规划数据的空间布局落地。

(2) 规划方案落地

蒙自县的种植业结构优化方案中标识了山区稻、坝区稻等(图9)，隐含了规划方案的空间分布，并没有完全落地，在实施时一定会遇到困难。最佳方法应该借助GIS平台完成耕地作物类型图的修改，才能确保规划方案精确落地与顺利实施。

多目标方案选择		返回		<input checked="" type="radio"/> 详查值 <input type="radio"/> 统计值		确定规划播面(亩)		保存		方案比较	
		方案值	规划值			方案值	规划值				
1	杂交稻播面	162959	162959	杂交稻(>1600)播面	25	25					
2											
3	山区常规稻播面	13193	13193	冬玉米播面	34659	34659					
4											
5	坝区杂交玉米播面	107761	107761	山区杂交玉米播面	53072	53072					
6											
7	坝区常规玉米播面	106312	106312	山区常规玉米播面	112223	112223					
8											
	田麦播面	0	0	坝地麦播面	196885	196885					
	山地麦播面	56935	56935	坝区烤烟播面	210702	210702					
	山区烤烟播面	123414	123414	甘蔗播面	115387	115387					
	花生播面	14031	14031	其他作物播面							

图9 蒙自县作物种植面积规划方案

Fig.9 Planning scheme of crop planting area in Mengzi county



图 10 蒙自县作物种植面积变化

Fig.10 Changes of crop planting area in Mengzi county

总产分析 (打印)	1997 年 全县主要作物投入产出汇总						
	总计	粮食合计	水稻	玉米	小麦	经济作物合计	烤烟
碳铵施用量(吨)	17972	13356	10306	3050	0	4615	0
普钙施用量(吨)	15958	2703	0	2703	0	12462	11769
硝铵施用量(吨)	8828	912	0	912	0	7916	2724
尿素施用量(吨)	1034	0	0	0	0	0	0
硅钙施用量(吨)	231	0	0	0	0	231	0
钾肥施用量(吨)	2127	0	0	0	0	2127	1896
复合肥施用量(吨)	5865	0	0	0	0	5237	5237
农家肥施用量(吨)	346234	0	0	0	0	309433	309433
种子总用量(吨\干株)	120424	3497	343	615	2538	115505	20
农药总费用(万元)	2286	310	176	83	51	1764	1671
总用工(万人)	3709	656	256	309	90	2969	2715
总灌淤水(万立方米)	8973	3245	2934	312	0	5284	668
平均单产(公斤/亩)			292	67	35		35
亩投入(元/亩)			243	63	19		206
计划面积(亩)	1328169	844023	176178	414026	253820	463533	334115
总产量(吨)		88087.56	51427.99	27761.92	8897.65	251280.68	11682.68

图 11 蒙自县主要作物投入产出汇总

Fig.11 Summary of input and output of main crops in Mengzi county

5 对弈式智能操作策略

对弈策略来自于计算机下棋 (Play Chess) 软件开发和界面设计方法, 这种软件继承并发展了“人机交互”的优点^[9]。传统的“人机交互”实现了一对一的输入/返回结果, 但是, 用户在一个界面上不能观察到解决一个问题的全局, 即一个问题的所有输入和输出不能显示在一个界面上。对弈下棋式软件显示出每一步棋局, 人们在与计算机下棋时可以通观全局来决定自己的走法, 即确定变量值。显然, 这种对弈方法更有利于发挥决

2019年4月

策者智慧与经验。

5.1 面向用户的对弈界面

将结构优化全程分解为一系列对弈操作，每一个操作设计成一个棋局^[8]，自变量与应变量一览无遗，依靠置于后台的运算模型和数据，确保决策者（下棋者）总揽全局，充分运用智慧与经验，选择自变量，判断模型运算结果。如此人机对弈，可以反复进行直至满意结果，体现了定量与定性决策的完整结合。对弈操作中的每一个对弈界面均标示了决策问题，和相应的对弈操作，一系列的对弈界面组成了整个对弈系统。蒙自县种植业结构优化与年度计划系统中提供的对弈界面主要有以下几方面。

（1）需求分析，提供了人口、劳动力预测以及粮食、油料、棉花、蔬菜和肉类等主要农产品需求预测模型和对弈界面；

（2）资源配置，提供了土地、水、气候和生物资源以及农用物资（化肥、农药等）可配置规模的对弈界面；

（3）单产分析、科技增产、播面调整和效益计算模型的对弈界面；

（4）单价调整，提供了种子、产品、化肥、农药等系统中需要的单价调整对弈操作；

（5）多目标评价运算，产生给定的变量、目标和约束条件下评价结果；

（6）评价结果的综合评估。

对弈操作策略担当了总调度的角色，这种对弈操作可以循环地发生，从而可以获得多个决策方案，依靠综合评判模型帮助用户获得最佳决策方案。

5.2 面向系统的模型

多目标决策模型，包括预测模型、单产模型、科技增产增效模型、综合评判模型等，俗称面向系统的模型，可以随时提供使用。决策者通过对弈界面查询模型的物理意义，并能看到运行结果。但是，模型系统总是面向系统设计的，即模型与对弈操作相连接。用户不必知道所使用模型的内部结构，但允许用户参与模型建立，例如，农作物投入/产出模型，用户可以提供自己的知识与经验以完成模型建立。

5.3 非量化因子参与结构优化

粮经饲种植结构优化是个复杂系统，影响因素多，其中很多决策因子无法定量表示，例如风俗习惯、社会生态、政策法规、全局利益、期望目标、决策者经验等，如果完全忽略，势必影响决策方案可行性。对易操作策略实现了结构优化过程与决策专家知识、规则以及数学计算方法等有机地组合在系统的各个对弈操作中，采用循环往复运行机制，允许用户改变所追求的多个目标的关注程度以及各约束条件之间的紧张程度等，从而提供了非量化因子参与结构优化机会，体现出决策人员始终处于优化过程的主导角色地位^[10]。

6 结论与展望

全国或区域的粮经饲种植结构优化工作，已经成为加快农业供给侧结构改革的先导，以及实施乡村振兴战略的重要措施之一。该文提供的基本经验包括：（1）“种植结构优化”

属于多目标问题；（2）基于当地实情确定决策变量、决策目标与限制条件，创建多目标决策模型；（3）对弈式智能操作策略，确保决策者的主导地位与决策方案的可行性。

面临中国十大农区的三元种植结构优化改革的繁重任务，专业队伍应该开展深入调查研究，一方面充分掌握已有的耕地资源、作物品种、土地利用等现状与特色，同时要摸清各地区人口与经济发展现状，建立相应的资源环境数据库系统，开展科学预测，确定符合当地实情的优化目标、限制条件和决策变量，提出符合新形势新要求总体设计方案，加快组织软件开发人员完成“基于种植业时空大数据与多目标方法的对弈式智能化操作平台”，必须取得试点区域的有效成果后再推广应用于更多地区，从而可为完成各地粮经饲种植结构优化，推进农业供给侧结构改革，加快建设现代农业与振兴乡镇做出贡献。

参考文献

- [1] 中共中央国务院. 关于深入推进农业供给侧结构性改革—加快培育农业农村发展新动能的若干意见, 2016.
- [2] 农业信息中心. 推动我国粮经饲三元种植结构协调发展的建议. 农民日报, 2016.
- [3] 梁启章. 农业专家决策支撑系统. 北京: 中国科学技术出版社, 2000.
- [4] 李松梧. 保持农作物品种多样性是确保粮食安全的重要途径. 中国粮食经济, 2007(11): 51.
- [5] 朱忠玉. 我国农业自然资源分区特点与种植业布局. 资源科学, 1992, 14(6): 1~66.
- [6] 颜昌宙, 卓俊玲, 姜霞. 多目标决策分析模型在湖泊生态工程规划中的应用. 环境科学研究, 2003, 16(4): 59~62.
- [7] 公茂果, 焦李成, 杨咚咚, 等. 进化多目标优化算法研究. 软件学报, 2009, 20(2): 271~289.
- [8] 宋晓莉, 余静, 孙海传. 模糊综合评价法在风险评估中的应用. 信息安全, 2000, 2(13): 71~74.
- [9] 李叔玲, 张恒源. 中国象棋对弈软件设计. 软件, 2012, 33(12): 22~25.
- [10] 冯莉. 非量化与量化的统一: 科学发展观落实过程中的共生生态. 经济研究导刊, 2009(7): 171~173.

Optimization method of planting structure of “grain & economic & feed crop” and playing chess operation strategy of software platform

Liang Qizhang, Qi Qingwen^{*}, Jiang Lili, Liang Xun

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS/State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Beijing 100081, China)

Abstract: [**Purpose**] It has become one of the major measures to accelerate the cultivation of new drivers of agricultural and rural development and realize the strategy of rural revitalization to give priority to the optimization of the tripartite structure of “grain, economy and fodder” and promote the supply-side structural reform of agriculture. [**Method**] The key is to find out the characteristics and structure of planting in different regions, summarize the experience and knowledge of local experts and operators, fully tap the suitability potential of farmland crops, scientifically predict market supply and demand and economic expectations, adopt multi-objective evaluation method, and develop intelligent gaming operation platform.

2019年4月

[**Result**] Application based on the planting big data in time and space and the intelligent game type operation platform can produce regional planting structure optimization scheme, meet the stable grain production and improve benefit of economic crop, and expand the forage crop acreage as much as possible to support expanding aquaculture, processing industry and service industry development, extending rural industry chain and promote the rural revitalization.

[**Conclusion**] The multi-objective evaluation method and intelligent gaming operation strategy are applicable to the multi-objective problems such as planting industry structure optimization or agricultural supply-side structure reform. In the process of platform operation, the leading role of decision makers can ensure the scientificity and feasibility of structural optimization planning scheme.

Key words: the supply-side structural; plantation structure; multi-objective evaluation method; operation strategy of playing chess

欢迎订阅《中国农业信息》

《中国农业信息》(双月刊)由农业农村部主管,中国农学会农业信息分会、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所共同主办,是我国目前全方位传播和刊载国内外农业遥感/农业信息科学领域的信息获取、处理、分析和应用服务的理论、技术、系统集成、标准规范等方面最新进展和成果,促进学术交流以及农业信息学科关键技术与产品的创新研发、集成推广和应用示范的综合性科学技术期刊。

主要刊登农业遥感、农业传感器、农业信息智能处理、精准农业/智慧农业、农业监测预警与信息服务系统、农业物联网、智能装备与控制、虚拟农业、人工智能、信息技术标准等方向学科热点领域的最新、最重要的理论研究和应用成果。主要栏目有:农业遥感、智慧农业、综合研究、农业信息技术、农业物联网、专题报道等。目前被中国知网(CNKI)、万方数据、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库等多家数据库收录。

《中国农业信息》为国内外公开发行的刊物,开本为16开,彩色四封,读者范围广,影响面大,全国各地邮局均有订阅。每双月25号出版,定价为25.00元/册,150元/年。

邮局汇款

收 款 人:《中国农业信息》编辑部

地 址:北京市海淀区中关村南大街12号中国农科院资源所区划楼315

邮 编:100081

银行汇款

开 户 行:农行北京北下关支行

行 号:103100005063

账 号:11050601040011896

单位名称:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

电 话:(010)82109628 82109632

传 真:(010)82109628 82109632

E m a i l : nyxxbjb@caas.cn

邮发代号:2-733

投稿网址:www.cjarrp.com