

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.05.020

张静文, 吴文娟. 提高农作物产量的农业配水规划数学模型 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(5): 234-241.

# 提高农作物产量的农业配水规划数学模型

张静文<sup>1</sup>, 吴文娟<sup>2</sup>

1. 重庆科创职业学院 基础教学部, 重庆 永川 402160;

2. 天津师范大学 计算机与信息工程学院, 天津 300387

**摘要:** 为解决农业水资源分配中的不确定性问题, 准确分配农业水资源, 以实现更加科学、合理和高效的水资源利用为目的, 探讨基于多目标整数规划数学模型的含不确定性农业水资源配水方法。先建立不确定性作物水分生产函数, 利用该不确定性作物水分生产函数描述农作物生长不同阶段需水量与农作物产量的关系, 再依据该关系和多目标整数规划数学模型为基础, 建立农作物生育期多目标整数规划配水数学模型, 并运用粒子群算法优化求解农作物生育期多目标整数规划配水数学模型后, 得到含不确定性农业水资源配水结果。实验结果表明: 该方法可有效运用不确定性作物水分生产函数描述农作物需水量与产量的关系, 并可在不同阶段为不同种类农作物进行水资源配水, 有效提升农作物经济效益和品质, 应用效果较为显著。

**关键词:** 多目标; 数学模型; 不确定性; 农业水资源;

配水方法; 粒子群算法

中图分类号: TV213

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2025)05-0234-08

## A Mathematical Model of Agricultural Water Distribution Planning for Improving Crop Yield

ZHANG Jingwen<sup>1</sup>, WU Wenjuan<sup>2</sup>

1. Basic Teaching Department, Chongqing College of Science and Creation, Yongchuan Chongqing 402160, China;

2. College of Computer and Information Engineering, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

**Abstract:** To address the uncertainty issues in agricultural water resource allocation, accurately allocate agricultural water resources, and achieve more scientific, rational, and efficient water resource utilization, a multi-objective integer programming mathematical model based uncertain agricultural water resource allocation method is studied. This method firstly establishes an uncertain crop water production function, and uses this uncertain crop water production function to describe the relationship between water demand and crop yield at different stages of crop growth. Based on this relationship and a multi-objective integer pro-

收稿日期: 2024-04-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(61403271)。

作者简介: 张静文, 副教授, 主要从事数学建模分析、数学优化算法分析及理学研究。

gramming mathematical model, a multi-objective integer programming water distribution mathematical model for crop growth period is established. The Particle Swarm Optimization algorithm is used to optimize the multi-objective integer programming water distribution mathematical model for crop growth period, and the results of agricultural water resource allocation with uncertainty are obtained. The experimental results show that this method can effectively use the uncertain crop water production function to describe the relationship between crop water demand and yield, and can allocate water resources for different types of crops in different growth stages to effectively improve the economic benefits and quality of crops. It showed significant application effects.

**Key words:** multi-objective; mathematical models; uncertainty; agricultural water resources; water distribution method; Particle Swarm Optimization algorithm

在人口增长和农业活动的持续扩展下, 水资源供应变得日益紧张, 不确定性也随之增加。这种不确定性主要来自降雨量波动、地下水位下降、水质变化以及农业用水需求动态调整等多方面因素<sup>[1-2]</sup>。因此, 如何在这种不确定性背景下有效地配置农业水资源, 成为当前亟待解决的问题。

目前已有许多学者研究农业水资源配水方法, 如李莱等<sup>[3]</sup>提出灌区农业水资源多层多目标调控方法, 使用定量方式描述区域水资源波动区间, 并在该基础上建立不同农作物在不同时段需水量配置模型, 再通过模糊数学规划方式求解该配置模型后, 实现区域水资源配水。但水资源状况、农作物生长状况及气候条件等都是实时变化的, 该方法更多地关注静态或固定时段内的水资源配置, 对于实时变化的响应和动态调整能力存在不足, 导致其水资源配水效果不佳。Zehtabian 等<sup>[4]</sup>针对伊朗 Gavkhouni 流域水资源管理存在的问题开展了深入分析和探讨。首先, 通过 6 个阶段的水资源管理模型开发, 全面调查该地区的资源和用水情况, 并采用水利工程和水文工程方法计算环境流量, 进而应用于水资源综合管理方法中。其次, 根据 2041 年结束时期的 7 种可能管理场景, 采用多准则决策方法对这些场景进行排序, 并应用最佳管理方案。尽管该研究考虑了环境流量影响, 但在处理其他不确定性因素(如气候变化、降水波动等)方面仍存在不足之处。刘静等<sup>[5]</sup>提出水土资源优化配置方法, 依据水资源刚性约束条件, 建立涵盖农业水资源需求要素的水土资源优化模型, 并运用该模型实现水土资源分配。水资源刚性约束条件虽然强调了水资源的稀缺性和重要性, 但其设定往往基于宏观政策导向或历史数据, 无法完全反映实时水资源状况和变化。因此, 基于这些约束条件建立的优化模型在某些情况下与实际情况存在偏差。徐淑琴等<sup>[6]</sup>提出动态规划模型的水资源分配方法, 以农业灌溉区单位面积最大经济效益作为水资源配水的动态规划目标, 建立目标函数后在遗传算法中引入镜像算法对其实施改进处理, 并运用该反复求解目标函数得到水资源配水结果。但水资源状况、作物生长状况及市场需求等都是实时变化的, 如果模型无法根据这些实时变化进行动态调整, 那么其配水结果就不够准确。多目标整数规划数学模型是一种用于解决多个相互冲突或相关目标下最优决策问题的数学工具, 考虑了决策变量的整数特性, 并寻求在多个目标函数之间达到平衡的最优解。该模型通过定义目标函数向量和约束条件, 将实际问题转化为数学形式进行求解<sup>[7-8]</sup>。这种模型在资源分配、生产调度等领域被广泛应用, 帮助决策者实现多个目标的综合优化。

当前, 农业配水主要考虑固定时段下的水资源配置方法, 尽管考虑了季节性流量大小, 但因缺少农业灌溉环境的整体数据信息, 包括实时降水动态、地下水水位变化等, 导致面对突发性降水时缺少实时监控, 无法有效做出应对处理。本文以多目标整数规划数学模型为基础, 研究基于多目标整数规划数学模型的含不确定性农业水资源配水方法, 为水资源合理利用提供一种有效手段。

## 1 含不确定性农业水资源配水方法

### 1.1 不确定性作物水分生产函数构建

在对农业水资源进行配水时, 由于不同植物生长周期长度差异显著, 直接导致了它们对水资源需求的

不同。例如,一些作物生长迅速,短时间内需要大量水分;而另一些作物则生长缓慢,水分需求相对平稳<sup>[9]</sup>。这种生长周期的差异使得农业水资源配水含有不确定性。为了更加准确地实现农业水资源配水,本文构建不确定性作物水分生产函数,获取农业水资源配水区域不同农作物的需水量。

影响农作物生长的因素众多,包括养分、空气、水分及热量等,这些因素均具有不可替代性和相同的重要性,其与农作物产量之间的关系函数如公式(1)所示。

$$Y = f(X) \quad (1)$$

式中:  $Y$  表示农作物单位面积产量;  $X$  表示影响农作物的生长因素集合,  $f(X)$  表示影响农作物生长因素的对应法则。

在公式(1)内,许多因素是无法控制或者无法计量的,本文在此仅考虑农作物需水量因素,建立需水量与农作物产量关系函数,即  $X$  为需水量,其单位为  $\text{m}^3/667 \text{ m}^2$ 。同时,农作物产量与其全生育期内总腾发量也存在关联关系,在农作物生长周期内总腾发量越高<sup>[10]</sup>,则需水量也越大。考虑到农作物总腾发量,则农作物产量与需水量之间在全生育期内水分生产函数如公式(2)所示。

$$Y_1 = \mu_1 X + \mu_2 \quad (2)$$

式中:  $Y_1$  表示农作物产量与需水量之间在全生育期的水分生产函数;  $\mu_1$ 、 $\mu_2$  均表示基于农作物产量和需水量数据确定的经验系数。

通过求解公式(2),即可得到农作物不同生育期内的需水量  $X$ ,为后续建立农作物水资源配水模型提供不确定性需水量数值。

## 1.2 农作物生育期多目标整数规划配水数学模型

作物生长所需水分数量以及水分对作物产量的影响都受到数据不确定性干扰。农业水资源配水的目的是使农作物经济效益最大化和农作物品质达到最优,因此以这两个目标作为农作物生育期配水模型的目标函数,基于多目标整数规划数学模型,建立农作物生育期多目标整数规划配水数学模型,在优化配水效果的同时,最大程度避免不确定性的影响。考虑到农业水资源的不确定性,将得到的农作物产量与需水量之间关系函数引入到目标函数中,建立农作物生育期多目标整数规划配水数学模型。

### 1.2.1 农作物经济效益最大化目标函数

令  $Q_i$  表示第  $i$  种农作物种植面积;  $P_i$  为第  $i$  种农作物价格;  $\Theta_{ij}$  表示第  $i$  种农作物生育阶段为  $j$  时农作物实际腾发量;  $P_{effij}$  表示第  $i$  种农作物生育阶段为  $j$  的当前有效降水量;  $d_{ijk}$  表示第  $i$  种农作物生育阶段为  $j$  时第  $k$  种灌溉方式的亏缺灌溉程度。则农作物经济效益最大化目标函数  $\max f_1$  如公式(3)所示。

$$\begin{aligned} \max f_1 = & \max \sum_{i=1}^I Q_i P_i Y_{i\max} \prod_{j=1}^n \prod_{k=1}^K \left( \frac{\Theta_{ij} - (\Theta_{ij} - P_{effij}) d_{ijk} \varphi_{ijk}}{\Theta_{ij}} \right)^{\lambda_j} - \\ & \lambda \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Q_i \left( 10 \frac{\Theta_{ij} - (\Theta_{ij} - P_{effij}) d_{ijk} \varphi_{ijk}}{\eta} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $I$ 、 $J$  分别表示农作物种类总数和生长阶段集合;  $Y_{i\max}$  表示考虑不确定性时第  $i$  种农作物在充分灌溉条件下的最大产量;  $\varphi_{ijk}$  表示二进制变量;  $k$  表示灌溉方式,描述第  $i$  种农作物在第  $j$  个阶段是否采用第  $k$  种灌溉方式,数值为 0 表示采用,数值为 1 表示不采用;  $\lambda_j$  表示生育阶段为  $j$  时农作物缺水敏感系数;  $\eta$  表示灌溉水利用系数;  $K$  表示灌溉方式集合;  $\lambda$  表示农业种植区当地水资源价格。

### 1.2.2 农作物品质最优目标函数

令  $\max f_2$  表示农作物品质最优目标函数,  $Z_i$  表示充分水分灌溉条件下的第  $i$  种农作物品质指标,则目标函数如公式(4)所示。

$$\max f_2 = \max \sum_{i=1}^I Z_i + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Z_i \beta_j \left( \varphi_{ijk} - \frac{\Theta_{ij} - (\Theta_{ij} - P_{effij}) d_{ijk} \varphi_{ijk}}{\Theta_{ij}} \right) \quad (4)$$

式中:  $\beta_j$  表示农业灌溉区第  $j$  个阶段水分亏缺敏感指数。

由公式(3)、公式(4) 组成农作物生育期多目标整数规划配水数学模型  $F$ , 该模型的表达如公式(5) 所示。

$$F = \max f_1 + \max f_2 \quad (5)$$

设置农作物生育期多目标整数规划配水数学模型的约束条件如下:

#### (1) 粮食安全约束

在对农业水资源配水时, 要保障农作物产粮的安全性<sup>[11]</sup>, 即保障每个区域农作物产量均满足最低需求, 则粮食安全约束条件为:

$$Q_i Y_{i\max} \prod_{j=1}^n \prod_{k=1}^K \left( \frac{\Theta_{ij} - (\Theta_{ij} - P_{effij}) d_{ijk} \varphi_{ijk}}{\Theta_{ij}} \right)^{\lambda_j} \geq D_i \quad (6)$$

式中:  $D_i$  表示第  $i$  种农作物的种植需求量。

#### (2) 可用水量约束

在某个农业种植区域内, 其水资源的配水量不可高于该地区供给农作物的可用水量<sup>[12-13]</sup>, 其约束条件如公式(7) 所示。

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Q_i \left( 10 \frac{\Theta_{ij} - (\Theta_{ij} - P_{effij}) d_{ijk} \varphi_{ijk}}{\eta} \right) \leq N_i \quad (7)$$

式中:  $N_i$  表示第  $i$  种农作物的可用水量。

#### (3) 亏缺灌溉选项约束

在农作物种植区域和农作物相同的生长阶段内, 其灌溉方式仅为 1 种, 则有:

$$\sum_{k=1}^K \varphi_{ijk} \leq 1 \quad (8)$$

依据公式(6) — 公式(8), 求解农作物生育期多目标整数规划配水数学模型, 即可得到不确定性农业水资源配水结果。

### 1.3 基于粒子群算法的农作物生育期多目标整数规划配水数学模型求解

粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)<sup>[14]</sup> 对于不确定性较强的问题有较好的鲁棒性和适应性, 能够针对农作物生长期涉及的不确定性因素进行有效的搜索和优化, 以满足多样化水资源利用目标。因此, 运用 PSO 算法求解农作物生育期多目标整数规划配水数学模型, 其详细求解过程如下:

将公式(5) 作为待优化求解目标, 依据粮食安全、可用水量、亏缺灌溉选项 3 项约束条件, 完善数学模型的精准度。其中, 设置粮食安全约束, 明确粮食安全的量化目标, 如目标地区粮食自给率、粮食总产量等, 通过设置农作物产量的下限, 确保在任何配水方案下总产量都不低于设定的粮食安全阈值; 设置可用水量约束, 通过明确目标地区每个时段可用水量, 设置上限限制配水量, 并根据实时变化的可用水量数据形成趋近理论上最优且在实际中可行的配水方案; 设置亏缺灌溉选项约束, 根据作物类型、生长阶段和土壤条件等因素, 考虑作物对水分亏缺的敏感程度, 确定不同时段允许的最大灌溉亏缺量或灌溉水量的下限, 动态调整亏缺灌溉阈值, 以实现作物生长过程中能够科学控制灌溉量, 提高水资源利用效率。将农作物生育期多目标整数规划配水数学模型的可行解映射到维度为  $U$  的空间内, 在  $U$  维空间内的每一个粒子均代表一个农作物生育期多目标整数规划配水数学模型的可行解, 由  $C_m = (c_{m1}, c_{m2}, \dots, c_{mn})$  表示, 其中  $n$  为可行解数量。对  $U$  维空间内农作物生育期多目标整数规划

配水数学模型可行解进行编码处理，如公式(9)所示。

$$\mathbf{Particle} = \begin{pmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \cdots & c_{mn} \end{pmatrix}$$

(9)

式中： $\mathbf{Particle}$  表示编码后的多目标整数规划配水数学模型可行解矩阵。

设置多目标整数规划配水数学模型可行解的进化速度，令  $\Gamma_1(t)$ 、 $\Gamma_2(t)$  表示互相独立的随机函数，取值区间为  $0 \sim 1$ ， $\bar{\omega}$  表示惯性权值，则可行解进化速度如公式(10)所示。

$$v_{ab}(t+1) = \bar{\omega}v_{ab}(t) + [\varphi_1\Gamma_1(t) - \varphi_1\Gamma_1(t)c_{mn}(t)] + [\varphi_2\Gamma_2(t) - \varphi_2\Gamma_2(t)c_{mn}(t)]$$

(10)

式中： $v_{ab}(t+1)$  表示在第  $b$  个维度内，第  $a$  个多目标整数规划配水数学模型可行解迭代步数为  $t+1$  时的进化速度； $v_{ab}(t)$  表示在第  $b$  个维度内，第  $a$  个多目标整数规划配水数学模型可行解迭代步数为  $t$  时的进化速度； $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  均表示可行解运动加速常数； $c_{mn}(t)$  表示迭代步数为  $t$  时的编码后的多目标整数规划配水数学模型可行解。

公式(10) 内的惯性权值计算如公式(11) 所示。

$$\bar{\omega} = \bar{\omega}_{start} - \frac{1 - t\bar{\omega}_{end}}{T}$$

(11)

式中： $\bar{\omega}_{start}$ 、 $\bar{\omega}_{end}$  分别表示初始权值和迭代次数最大时的权值； $T$  表示最大迭代次数。

将公式(11) 代入到公式(10) 内，则多目标整数规划配水数学模型可行解的进化计算  $c_{mn}(t+1)$  如公式(12) 所示。

$$c_{mn}(t+1) = c_{mn}(t) + v_{mn}(t+1)$$

(12)

多目标整数规划配水数学模型可行解在进化过程中运用适应度函数，在变量定义域内取出  $n$  个初始可行解，通过多次迭代得出灌溉效率  $S$  和需水量极值  $B$  来评估每个多目标整数规划配水数学模型可行解的性能或优劣程度<sup>[15-17]</sup>，并指导其他多目标整数规划配水数学模型可行解的移动和搜索方向。适应度函数  $h$  如公式(13) 所示。

$$h = \frac{SB}{R(c)}$$

(13)

式中： $R(c)$  表示当前参数优化可行解粒子种群的个体最优解。

在上述运算过程中，当多目标整数规划配水数学模型可行解的适应度满足预设阈值，或当前运算步数满足最大迭代次数后，输出空间内个体最优或全局最优位置对应的可行解，即为多目标整数规划配水数学模型输出的含不确定性农业水资源配水结果。

2 实验分析

以某市农业种植区域作为实验对象，该区域种植植物为油菜、生菜、菌菇、白菜、水稻、玉米、大豆以及苹果、葡萄等，种类丰富。灌溉类型包括浇灌、喷淋和滴灌，不同农作物需水量存在较大差异。使用本文方法对该农业种植区域的水资源进行配水，农作物的经济效益最大化、品质最优。该农业种植区域实景如图 1 所示。



图 1 农业种植区域实景

设定 PSO 算法的相关参数为：群体大小 50；最大迭代次数 100；惯性权重 0.7；学习因子 2.0；最大速度限制 5.0。

计算农作物产量与需水量之间的关系是建立农作物生育期多目标整数规划配水数学模型的基础，分别以水稻和生菜作为实验对象，给出两种农作物需水量与产量之间的关系，结果如表 1 所示。

表 1 水稻和生菜需水量与产量的关系

| 水稻                                              |                                             | 生菜                                              |                                             |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 需水量数值/( $\text{m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ ) | 产量/( $\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ ) | 需水量数值/( $\text{m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ ) | 产量/( $\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ ) |
| 186.23                                          | 229.17                                      | 0.24                                            | 233.69                                      |
| 227.27                                          | 311.24                                      | 0.36                                            | 417.58                                      |
| 262.13                                          | 369.58                                      | 0.47                                            | 609.47                                      |
| 305.09                                          | 403.06                                      | 0.52                                            | 899.25                                      |
| 311.27                                          | 428.96                                      | 0.59                                            | 1004.59                                     |
| 336.58                                          | 454.82                                      | 0.81                                            | 1366.47                                     |
| 346.73                                          | 497.41                                      | 0.99                                            | 1598.63                                     |
| 359.24                                          | 506.99                                      | 1.12                                            | 1504.17                                     |
| 386.69                                          | 523.84                                      | 1.25                                            | 1496.24                                     |
| 413.28                                          | 487.51                                      | 1.36                                            | 1303.69                                     |
| 432.19                                          | 451.74                                      | 1.44                                            | 966.87                                      |
| 456.88                                          | 411.08                                      | 1.58                                            | 859.64                                      |

分析表 1 可知，水稻和生菜需水量与产量之间并非简单的线性关系，而是呈现出抛物线状的变化趋势。以生菜为例，当每  $667 \text{ m}^2$  的需水量处于较低水平，如需水量为  $0.24 \text{ m}^3$  时，其  $667 \text{ m}^2$  产量仅为 233.69 kg，表明水分不足限制了生长。然而，随着需水量逐步增加，生菜产量也相应提升，体现了水分对作物生长的重要性。但值得注意的是，当需水量超过  $1.12 \text{ m}^3/667 \text{ m}^2$  这一阈值后，生菜  $667 \text{ m}^2$  产量开始呈现出下降趋势，暗示了过量的水分对作物生长同样不利，可能导致根系受损或其他生长问题。通过本文方法，得以有效揭示这种关系，为后续农业水资源配置提供了宝贵的数据支撑和决策依据。

以油菜、生菜、菌菇、白菜、水稻、玉米、大豆作为实验对象，使用本文方法对其进行水资源配水，结果如表 2 所示。

表 2 农作物水资源配水结果

$\text{m}^3 \cdot 667 \text{ m}^{-2}$

| 农作物种类 | 生长阶段   |        |        |
|-------|--------|--------|--------|
|       | 苗期     | 生长期    | 成熟期    |
| 油菜    | 0.08   | 0.17   | 0.24   |
| 生菜    | 0.36   | 0.41   | 0.25   |
| 菌菇    | 0.19   | 0.16   | 0.11   |
| 白菜    | 0.24   | 0.26   | 0.06   |
| 水稻    | 188.17 | 309.44 | 287.56 |
| 玉米    | 96.84  | 288.74 | 133.52 |
| 大豆    | 87.88  | 201.49 | 154.47 |

分析表 2 可知，不同种类农作物在其生长过程中对水资源的需求呈现出显著的差异，这种差异不仅体现在不同农作物之间，更体现在同一农作物不同生长阶段中，表明在进行农业水资源分配时必须充分考虑到农作物的种类及其当前的生长阶段。幸运的是通过本文方法可以精确地依据这些要素来为农作物进行水资源分配，不仅能够满足各种农作物在生长过程中的实际需求，更能有效保障农作物的生长品质，从而实现农业生产的可持续发展。

以农作物经济效益作为衡量本文方法应用效果的指标，测试不同类型农作物通过本文方法进行水资源配水后经济效益变化情况，测试结果如图 2 所示。

分析图 2 可知,不同种类的农作物在采用本文方法进行水资源配水后,均实现了经济效益的有效提升。这一结果充分说明了本文方法在水资源配水方面具备显著能力,能够根据不同农作物特性和生长需求进行精准水资源分配。这样的配水方式不仅满足了农作物生长需要,还优化了水资源使用效率,从而实现了农业生产的经济效益最大化。这一成果不仅展示了本文方法的实用性和有效性,也为未来农业水资源管理提供了新的思路 and 方向。

以水资源配水后的弃用率作为衡量指标,通过与文献[3]、文献[6]方法进行对比,进一步验证了本文方法对农业水资源的配水能力。在实验过程中设置水资源的弃用率阈值为 3%,测试结果如图 3 所示。

分析图 3 可知,进行农业水资源配水时,水资源的弃用率呈现出一定的波动性。这种状态主要是由于不同种类农作物对水资源的需求存在差异,同时受到气候、土壤含水率等多种因素的影响,农作物对水资源的实际吸收情况与预期存在偏差。然而,尽管存在这些波动,但总体来看本文方法水资源的弃用率始终保持在 1.4%~1.8%,波动范围较小且没有超过预设的 3% 阈值;文献[3]方法的水资源弃用率在 2.3%~3.5%,整体波动范围最大且部分弃用率超过设定阈值;文献[6]方法的水资源弃用率在 2%~2.7%,虽然没有超出设定阈值,但与本文方法相比仍具有较大的波动性。这一结果充分证明了本文方法不仅能够有效实现农业水资源的合理分配,还能够很大程度上减少水资源浪费,提高水资源利用效率,对于推动农业可持续发展,缓解农业水资源紧张问题具有重要意义。

以农作物品质指标作为衡量指标,以 8 个葡萄种植区域作为实验对象,验证本文方法对农业水资源的配水能力,测试结果如图 4 所示。

分析图 4 可知,本文方法应用前实验区域的葡萄品质波动幅度较大,说明实验区域产出的葡萄品质存在较大差异;而运用本文方法对实验区域进行水资源配水后,该区域的葡萄品质在 9.0 上下波动且波动幅度较小。该结果说明本文方法对水资源进行配水后,农作物的品质得到有效提升,进一步证明了本文方法实际应用的有效性。

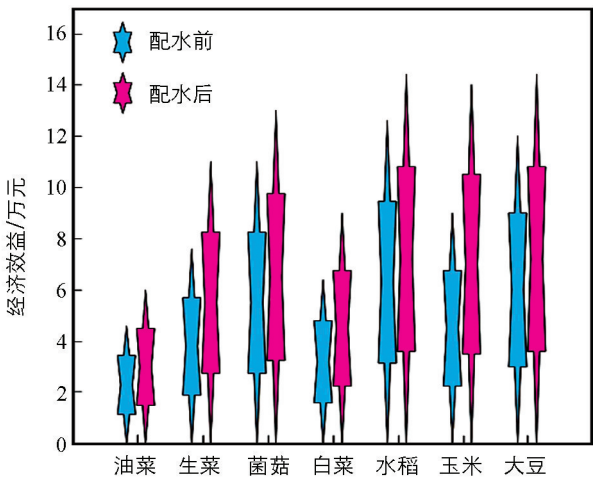


图 2 农作物配水前后经济效益变化

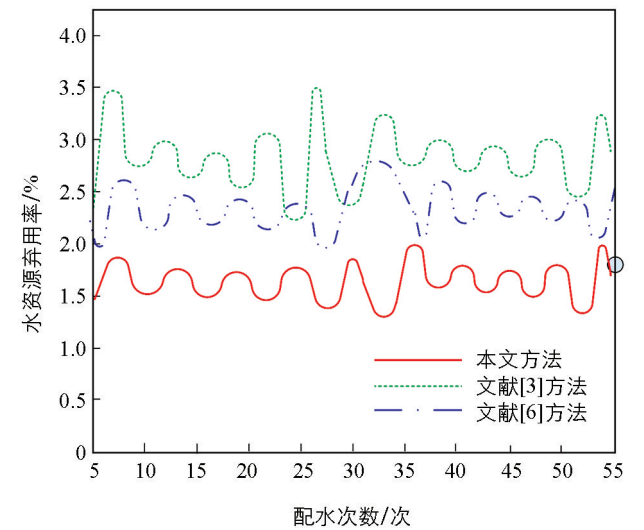


图 3 水资源配水弃用率

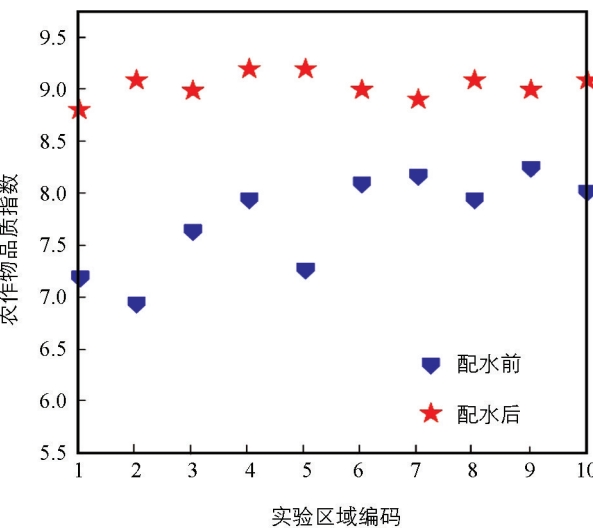


图 4 农作物品质

### 3 结论

基于多目标整数规划数学模型的含不确定性农业水资源配水方法, 不仅提升了水资源分配的精准性和效率, 更在应对复杂多变的水文环境时展现出了强大的适应性。通过整合多元目标, 该方法有效平衡了农业生产经济效益与生态环境的可持续发展。同时, 引入不确定性分析使配水方案更加贴近实际, 减少了因环境变化带来的风险。展望未来, 随着数据科学和智能算法的不断发展, 相信这一方法将进一步完善, 从而为农业水资源管理提供更加科学、更加高效的决策支持, 助力农业可持续发展。

#### 参考文献:

[1] 赵金森, 佟玲, 岳琼, 等. 基于遥感数据的不确定性的农业水资源优化配置研究——以漳河灌区为例 [J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(4): 244-255.

[2] 刘继龙, 吴耀宇, 曹晓强, 等. 三江平原地区农作物水足迹时空演变特征及可持续性利用评价 [J]. 东北农业大学学报, 2023, 54(8): 68-78.

[3] 李莱, 刘武元, 付强, 等. 基于供水不确定性的灌区农业水资源多层多目标协同调控 [J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(8): 20-29.

[4] ZEHTABIAN E, MASOUDI R, YAZDANDOOST F, et al. Investigation of Water Allocation Using Integrated Water Resource Management Approaches in the Zayandehroud River Basin, Iran [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 395: 136339.

[5] 刘静, 梅旭荣, 连煜阳, 等. 黄河流域农业高质量发展中水土资源优化配置研究 [J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(6): 1-14.

[6] 徐淑琴, 徐恩典, 马圣洁. 基于动态规划模型的水资源优化配置——以泰来灌区为例 [J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(4): 70-79.

[7] 向龙, 冯智敏, 刘治骑, 等. 河网区跨界水量分配方法研究 [J]. 水文, 2023, 43(2): 18-23.

[8] 樊镕鑫, 王双银, 王哲, 等. 基于层次分析法的灌区农业水权分配研究 [J]. 水电能源科学, 2022, 40(12): 103-106.

[9] 刘畅, 闫晋阳, 周龙伟, 等. 基于灌溉系统结构和边际效益的田块水权分配方法 [J]. 人民黄河, 2023, 45(8): 16-20.

[10] 常一帆, 沙金霞, 刘彬, 等. 改进蝴蝶优化算法在邯郸市水资源优化配置中的应用 [J]. 水电能源科学, 2023, 41(4): 56-60.

[11] 李俊, 宋松柏, 王小军, 等. 考虑不同利益主体的区域常规与非常规水资源协同配置模型 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2022, 30(1): 50-63.

[12] 朱思峰, 刘程泰. 基于 MOEA/D 算法的衡水市水资源多目标优化配置 [J]. 水电能源科学, 2023, 41(3): 35-38.

[13] 潘月, 杨广, 田浩, 等. 水资源总量约束条件下玛纳斯河灌区水资源优化配置 [J]. 排灌机械工程学报, 2023, 41(10): 1065-1072.

[14] 郭文贤, 郭萍, 潘琦, 等. 基于 Pareto 解集的治沙区非线性分式多目标水土资源优化配置模型 [J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(2): 172-185.

[15] 田桂林, 苏枫, 邹红, 等. 基于天牛群优化算法的灌区渠系配水研究 [J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(7): 96-103.

[16] 胡鑫, 刘招雄. 基于改进启发式搜索算法的区域水资源时空变化特征挖掘方法 [J]. 水力发电, 2022, 48(11): 32-35, 114.

[17] 叶茂, 王鲁, 马志东. 基于 TOPSIS 的改进双层多目标优化算法研究 [J]. 计算机仿真, 2022, 39(12): 403-407.

责任编辑 夏娟

周梦媛