

基于遗传算法的农作物种植策略研究

刘 军, 林旭旭*, 胡登豪, 陈展明

湖南科技学院理学院, 湖南 永州

收稿日期: 2025年5月22日; 录用日期: 2025年6月21日; 发布日期: 2025年6月30日

摘 要

我国作为农业大国, 优化农作物种植策略对农业经济可持续发展具有重要意义。本研究针对产销失衡与不确定性决策场景, 旨在提出有效的种植优化方法。对于产大于销的情况, 通过作物分类与线性规划建模, 实现种植收益最大化。同时, 为应对市场波动风险, 创新性地融合正态分布模型与遗传算法, 构建风险响应决策框架。研究发现, 所构建的动态决策模型能够显著提升种植方案的抗风险能力。本研究成果为制定差异化农业补贴政策、动态调整种植结构提供了量化决策依据, 为乡村农作物种植规划提供有效的理论支持和决策参考。

关键词

产销失衡, 线性规划, 正态分布, 遗传算法

Crop Planting Strategy Based on Genetic Algorithm

Jun Liu, Xuxu Lin*, Denghao Hu, Zhanming Chen

School of Science, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou Hunan

Received: May 22nd, 2025; accepted: Jun. 21st, 2025; published: Jun. 30th, 2025

Abstract

As a major agricultural country, optimizing crop planting strategies holds significant importance for the sustainable development of China's agricultural economy. This study addresses production-marketing imbalance and uncertain decision-making scenarios, aiming to propose effective planting optimization methods. For situations where production exceeds sales, we achieve maximization of planting profits through crop classification and linear programming modeling. Meanwhile, to counter market fluctuation risks, we innovatively integrate normal distribution models with genetic algorithms to

*通讯作者。

文章引用: 刘军, 林旭旭, 胡登豪, 陈展明. 基于遗传算法的农作物种植策略研究[J]. 农业科学, 2025, 15(6): 831-838.
DOI: 10.12677/hjas.2025.156102

construct a risk-responsive decision-making framework. The research demonstrates that the constructed dynamic decision-making model can significantly enhance the risk resistance capability of planting schemes. These findings provide a quantitative decision-making basis for formulating differentiated agricultural subsidy policies and dynamically adjusting planting structures, offering effective theoretical support and decision-making references for rural crop planting planning.

Keywords

Production-Marketing Imbalance, Linear Programming, Normal Distribution, Genetic Algorithm

Copyright © 2025 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

结合中国当下的乡村农业实际发展情况,充分利用有限的耕地资源发展有机农业对促进乡村经济可持续发展具有重大推动作用[1]。耕地种植制度与气候分布格局和自然地理环境紧密相关,不同区域的温度、降水和光照等气候资源的禀赋和匹配程度对该区域的种植结构和作物布局有很大影响[2]。对此,如何去制定合理有效的种植策略,选择合适的农作物种植,以及提高生产效益便具有了重要实际意义。

随着农业发展与信息技术的深度融合,科学研究在农业领域的应用日益广泛。国内外学者对农业种植优化模型展开了深入系统地研究。例如, Majeke 等[3]运用线性规划方法,对固定约束条件下的种植面积进行优化求解,在粮食作物经济效益提升方面取得了显著成果;高叶鹏[4]采用频率计数与回归分析手段,对收集到的结构化农业数据展开分析,进而挖掘出与农作物种植效益紧密相关的关键因素。孙柯楠[5]基于神经网络模型,从多个影响因素出发,提取作物产量的多个因素,依据模型输出结果精准定义相关特征;王艳霜[6]综合运用系统聚类,提炼出不同地区的种植特征、风险,为农业部门制定差异化生产策略提供有力依据。然而,尽管目前在农业种植效益评估与预测方面已开展广泛研究,但对于农作物长期种植策略的系统性建模相对较少,且现有模型在实际应用中的适应性和效果还有待进一步验证。

因此,本文以农作物种植效益及种植环境特征为主要考量因素展开深入分析,旨在构建遗传算法优化模型,对农作物种植策略进行精准评估,助力决策者实现农业资源的精准配置。基于该模型对农作物种植数据展开深度挖掘,针对不同类型农作物制定相应的种植优化策略。同时,本文的创新之处在于:一是在对大量农业数据进行深度剖析与处理的基础上成功建立起遗传算法[7]优化模型,该模型能够充分捕捉农作物种植过程中的复杂关系和不确定性因素;二是模型构建过程严格遵循从观察数据到发现问题、从分析问题到提出假设、从建立模型到验证模型、再到综合分析以及最后的规律总结与推广的科学探索路径,对问题进行全面且系统的研讨;三是通过对模型的层层检验与多维度比较,所构建的遗传算法优化模型具有结构简洁、实用性突出以及可移植性强等显著优势,能够有效满足现代农业种植优化的多样化需求。

2. 相关理论概述

2.1. 遗传算法概述

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一种模拟自然界生物进化过程的优化搜索算法,用于求解复杂优

化问题。遗传算法的基本步骤包括初始化、个体评价、选择运算、交叉运算、变异运算和终止条件判断。在对模型求解过程中，本文将对预期销售量、亩产量等的区间变动，转换为一个正态分布，嵌入至遗传算法的初始化种群当中，以此来模拟在销售量、亩产量波动的情况下求解一个较为合理的方案。以下是遗传算法的具体步骤：

1. 初始化：

设置进化代数计数器 $t=0$ ，设置最大进化代数 T ，随机生成 M 个个体作为初始群体 $P(0)$ 。

2. 个体评价：

计算群体 $P(t)$ 中各个个体的适应度 $f(x_i)$ ，这里的目标函数为：

$$\max \left(\min \left(R_i^t \cdot x_{ij} \cdot c_{ij}^t \right) \cdot Q_i^t - x_{ij} \cdot c_{ij}^t \cdot L_i^t \right)$$

3. 选择运算：

将选择算子作用于群体，选择的目的是把优化的个体直接遗传到下一代或通过配对交叉产生新的个体再遗传到下一代。

选择操作通常基于个体的适应度，个体 i 被选择的概率 $p(i)$ 计算公式为：

$$p_i = \frac{f(x_i)}{\sum_{j=1}^N f(x_j)}$$

其中 N 是种群中个体的总数。

4. 交叉运算：

将交叉算子作用于群体，通过交叉操作将两个个体的部分基因进行交换，生成新的个体。常用的交叉操作有单点交叉、多点交叉等。

5. 变异运算：

将变异算子作用于群体，即对群体中的个体串的某些基因座上的基因值作变动。变异操作可以增加种群的多样性，常用的变异操作有位反转、交换变异等。变异操作的概率 μ 通常是预设的固定值。

6. 终止条件判断：

若 $t=T$ ，则以进化过程中所得到的具有最大适应度个体作为最优解输出，终止计算。终止条件也可以是达到预设的适应度阈值。

2.2. 正态分布

正态分布[8](Normal distribution)，又称为常态分布或高斯分布，通常记作 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ ，其中 μ 正态分布的数学期望(均值)， σ^2 是正态分布的方差。 $\mu=0$ ， $\sigma=1$ 的正态分布被称为标准正态分布。

3. 产销失衡下的农作物种植策略模型

3.1. 问题分析

本文要解决的是基于提高生产效益，减少种植风险角度的农作物种植策略优化问题。结合所给出的耕地和农作物相关数据，在种植数据相对稳定的前提下，某种农作物每季总生产量超出了预期销售量。对此要依据两种不同生产超出部分的处理方式来制定未来七年农作物最优种植方案。为降低模型复杂度，对此我们考虑将农作物划分为粮食作物和蔬菜作物两类。又因为粮食作物中只有水稻种植在水浇地，所以将水稻和蔬菜类同时进行建模求解，而食用菌类只有第二季在普通大棚进行种植，因此

考虑对它作单一处理。在此基础上,分别针对产销失衡两种情况下,考虑建立线性优化模型,以利润最大化为目标建立目标函数,按两种农作物分类来设立不同的约束条件,使用 Python pulp 库求解出最优种植策略。

3.2. 数据预处理

本文数据参照 2024 年高教杯全国大学生数学建模竞赛 C 题的附件,附件 1 给出了某商超经销的 6 个蔬菜品类(花叶类、水生根茎类、茄类、辣椒类、食用菌)的商品信息;附件 2 和附件 3 分别给出了该商超 2020 年 7 月 1 日至 2023 年 6 月 30 日各商品的销售流水明细与批发价格的相关数据;附件 4 给出了各商品近期的损耗率数据。

3.2.1. 农作物分类

根据 3.1 节所述,将数据分成粮食类与蔬菜两类分别建立模型进行求解。其中对于蔬菜类,考虑到水稻的特殊性(利润比较低,但是实际需求量大而且易于保存),决定对水稻进行轮作,蔬菜类将水稻从 1 开始排列(看做蔬菜种类 1),往后是缸豆(看做蔬菜种类 2),刀豆,芸豆等等依次排列直到芹菜,大白菜,白萝卜红萝卜只能第二季种植不做第一季的考虑。而食用菌只能在第二季种植在普通大棚中且食用菌种类较少,故本文对其食用菌类在普通大棚的第二季进行轮作而不进行建模处理。

3.2.2. 预期销售量 R 的确定

假定各种农作物未来的预期销售量、种植成本、亩产量和销售价格相对于 2023 年保持稳定,并且每季种植的农作物在当季销售,所以每种农作物的销售量近似为 2023 年的每种农作物的产量。

各类农作物的预计销售量的总体分布图见图 1,其中小麦的预期销售量最高,而菠菜的预期销售量最低。各类农作物的预期销售量的差别波动较大,这也侧面反映了不同种类农作物生产量的差异性较大。

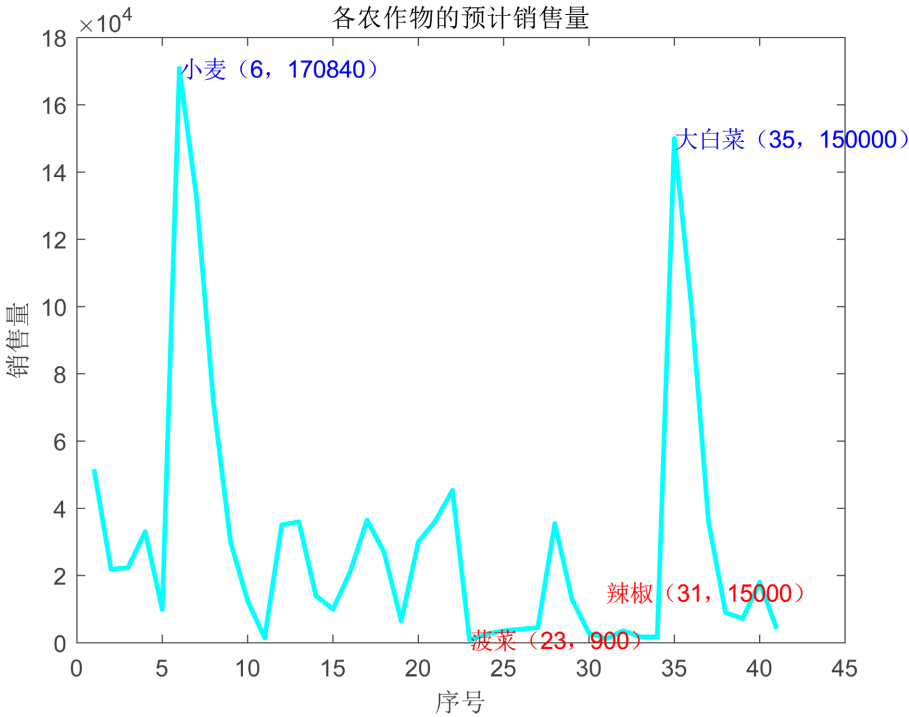


Figure 1. Overall distribution of projected sales for various crops
图 1. 各农作物的预期销售量总体分布图

3.3. 产销失衡下的线性规划模型构建

针对农作物生产量超出预期销售量的问题,在相对稳定的种植条件下,我们将农作物进行分类(详见3.2.1节)。以利润最大化为目标,分别针对两种生产超出部分的处理方式建立线性优化模型,按农作物分类设立约束条件,逐年制定未来七年的最优种植方案,确保在不同处理方式下实现利润最大化。

3.3.1. 目标函数

将作物进行分类并简化处理之后,目标函数一致,只需对于部分约束条件进行调整,以粮食类与蔬菜类的利润最大化为核心目标,针对两种产销失衡情况分别建模:

(1) 情况 1 (超出部分滞销):

$$\max \sum_{i=1}^n [\min(R_i, T_i) \cdot Q_i - T_i \cdot L_i]$$

(2) 情况 2 (超出部分半价销售):

$$\max \sum_{i=1}^n \left[Q_i \cdot \left(\min(R_i, T_i) + \frac{\max(T_i - R_i, 0)}{2} \right) - T_i \cdot L_i \right]$$

上式中, R_i 为第 i 种作物的预期销售量; $T_i = \sum_{j=1}^{26} x_{ij} \cdot c_{ij}$ 为第 i 种作物的总产量; Q_i 为第 i 种作物的销售单价; L_i 为第 i 种作物的亩成本; x_{ij} 为第 i 种作物在第 j 块地的种植亩; c_{ij} 为作物 i 在块地 j 的亩产量。

3.3.2. 约束条件

1. 粮食类

(1) 每地块只能种植一种作物。其表示如下:

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} = 1, \forall j \in \{1, 2, \dots, 26\}$$

其中, $y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 种作物在第 } j \text{ 块耕地上种植} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 种作物不在第 } j \text{ 块耕地上种植} \end{cases}$

(2) 非负约束

$$x_{ij} \geq 0$$

(3) 重茬禁止约束(避免连续种植同一作物):

$$x_{ij}^{(t)} = 0$$

(4) 豆类轮作约束(三年内至少种植一次豆类):

$$\sum_{t=1}^3 \sum_{i \in D} x_{ij}^{(t)} \geq 1, \forall j$$

D 为豆类作物的集合

2. 第一季蔬菜类

为得到第一季蔬菜的数学模型,只需在上述约束条件中增加和修改下述约束:

(1) 作物序号从豇豆到芹菜,这些作物不可在水浇地和普通大棚第二季种植。

其表示如下:

$$\sum_{i=1}^{18} \sum_{j=1}^{24} x_{ij} = 0$$

(2) 大白菜、白萝卜和红萝卜不可以在除水浇地之外的类型土地种植，其表示如下：菌类只能在普通大棚种植，其表示如下：

$$\sum_{i=19}^{21} \sum_{j=9}^{28} x_{ij} = 0$$

(3) 菌类只能在普通大棚种植，其表示如下：

$$\sum_{i=22}^{25} \sum_{j=4}^8 x_{ij} + \sum_{i=22}^{25} \sum_{j=25}^8 x_{ij} = 0$$

(4) D1、D2、D3 已经被种植水稻了，不能够再种植第二季，其表示如下：

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 x_{ij} = 0$$

(5) 在粮食类种植模型的基础上，第一季蔬菜类只需将重茬禁止约束约束条件改为对应前一年已经种植过的对应 (i, j) 即可。

3. 第二季蔬菜类

在第一季蔬菜类种植模型的基础上，第二季只需将重茬禁止约束约束条件改为对应前一年已经种植过的对应 (i, j) 即可，对此不再进行赘述。

3.4. 模型求解

由于目标函数和约束条件都是线性的，是线性规划模型，可通过 python 的库函数 linprog 等方式进行求解。其中粮食类作物最优种植策略利润为 2,480,450.387 元；蔬菜类第一季最优种植策略利润为 1,830,712.554 元，蔬菜类第二季最优种植策略利润为 1,730,070.554；总利润为 6,041,233.48 元，相比于 2023 年总利润(5,542,512.25 元)有所增长。部分粮食类作物在部分地块的种植方案见表 1。

Table 1. Optimal planting plan for selected grain crops in the first season under scenario II
表 1. 情况二下的部分粮食类作物第一季最优种植方案

地块：	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
2024 年	黑豆	黄豆	绿豆	玉米	爬豆	南瓜	黑豆	绿豆	黄豆
2025 年	红薯	玉米	黍子	小麦	南瓜	谷子	荞麦	莜麦	小麦
2026 年	玉米	高粱	红薯	绿豆	黄豆	红豆	小麦	谷子	爬豆
2027 年	黄豆	红豆	黑豆	黄豆	小麦	黄豆	红豆	黄豆	谷子
2028 年	小麦	玉米	小麦	莜麦	谷子	高粱	大麦	南瓜	红豆
2029 年	高粱	小麦	谷子	绿豆	红豆	谷子	小麦	谷子	小麦
2030 年	黑豆	黄豆	红豆	玉米	爬豆	南瓜	黑豆	绿豆	黄豆

4. 考虑随机波动因素的最优种植策略求解

4.1. 问题分析

为综合考虑农作物预期销售量、亩产量、种植成本和销售价格的不确定性，以及气候、市场等因素带来的种植风险，在此基础上制定最优种植方案。首先，假设各不确定性参数(如销售量、亩产量等)服从正态分布，通过建立正态分布模型对这些不确定因素进行随机生成，并确定这些不确定因素的波动范围，

其次通过遗传算法对模型进行优化处理，最后通过模型求解制定出最优种植方案。

4.2. 考虑随机参数的最优种植策略模型建立

4.2.1. 基于农作物随机扰动的参数生成

1. 农作物的销售量模型

设 R_i^t 为第 t 年农作物的销售量，则未来 t 年的销售量可以表示为：

$$R_i^t = R_i^{t-1} \cdot (1 + r_1)$$

上式中， t 取 2024~2030 年， r_1 是销售量年平均增长率，遵循正态分布 $r_1 \sim N_1(\mu, \sigma^2)$ 。其中，小麦玉米类： $\mu = 7.5\%$ ， $\sigma = 1.02\%$ 。其他类别农作物 $\mu = 0$ ， $\sigma \approx 2.57\%$ 。

2. 农作物的亩产量模型

设 C_i^t 为第 t 年某农作物的亩产量，则未来 t 年的销售量可以表示为：

$$C_i^t = C_i^{t-1} \cdot (1 + r_2)$$

r_2 是销售量年平均增长率，遵循正态分布 $r_2 \sim N_2(\mu, \sigma^2)$ 。其中，小麦玉米类： $\mu = 0$ ， $\sigma \approx 5.01\%$ 。

3. 农作物的种植成本模型

设 L_i^t 为第 t 年某农作物的种植成本，则未来 t 年的种植成本可以表示为：

$$L_i^t = L_i^{t-1} \cdot (1 + r_3)$$

r_3 是种植成本年平均增长率，因为农作物的种植成本平均每年增长 5%，所以 $r_3 = 0.05$ 。

4. 农作物销售价格模型

设 Q_i^t 为第 t 年某农作物的销售价格，则未来 t 年的销售价格可以表示为：

$$Q_i^t = Q_i^{t-1} \cdot (1 + r_4)$$

r_4 是销售量年平均增长率，遵循正态分布 $r_4 \sim N_4(\mu, \sigma^2)$ 。其中，粮食类作物： $\mu = 0$ ， $\sigma \approx 0.5\%$ ；蔬菜类作物： $\mu = 0.05$ ， $\sigma \approx 2.57\%$ ；一般食用菌类： $\mu = -0.03$ ， $\sigma \approx 1.53\%$ ；羊肚菌： $\mu = -0.05$ ， $\sigma \approx 0.5\%$ 。

4.2.2. 目标函数

结合以上四个模型，为实现利润最大化，建立以下目标函数：

$$\max \left(\min \left(R_i^t \cdot x_{ij} \cdot c_{ij}^t \right) \cdot Q_i^t - x_{ij} \cdot c_{ij}^t \cdot L_i^t \right)$$

其中， R_i^t 为第 t 年农作物的销售量； x_{ij} 为第 i 种作物在第 j 块地的种植亩数； c_{ij}^t 为第 i 种作物在第 j 块地的亩产量； Q_i^t 为第 i 种作物的销售单价； L_i^t 为第 i 种作物的亩成本。

4.2.3. 约束条件

对于农作物预期销售量、亩产量、种植成本和销售价格的不确定性，以及气候、市场等因素带来的种植风险，依旧将作物进行分类按年处理(同 3.2.1 节)，其约束条件不变，只是对不确定因素建立了基于正态分布的农作物的波动因素模型，故对此不再进行赘述。

4.3. 模型求解

由于上文考虑了正态分布的波动因素，故通过遗传算法使用上述建立的随机扰动的参数随机初始化种群，使用目标函数作为适应度函数，进行求解得到：粮食类作物最优种植策略利润为 2,665,781.987 元，蔬菜类第一季最优种植策略利润为 1,954,407.942 元，蔬菜类第二季最优种植策略利润为 1,835,167.942 元。部分粮食类作物的种植方案见表 2。

Table 2. Planting plan for selected grain crops
表 2. 部分粮食类作物种植方案

地块:	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
2024 年	黑豆	黄豆	绿豆	玉米	爬豆	小麦	黑豆	绿豆	黄豆
2025 年	小麦	玉米	黍子	小麦	南瓜	谷子	荞麦	莜麦	小麦
2026 年	玉米	高粱	红薯	绿豆	黄豆	红豆	小麦	玉米	爬豆
2027 年	黄豆	红豆	黑豆	黄豆	小麦	黄豆	红豆	黄豆	谷子
2028 年	小麦	玉米	小麦	莜麦	谷子	高粱	大麦	小麦	红豆
2029 年	高粱	小麦	谷子	绿豆	红豆	谷子	小麦	谷子	小麦
2030 年	黑豆	黄豆	红豆	玉米	爬豆	小麦	黑豆	绿豆	黄豆

5. 结论

本研究以我国农业产销失衡与市场波动风险为背景，结合遗传算法与正态分布模型，构建了动态农作物种植优化策略框架，为农业资源的高效配置与风险防控提供了科学依据。通过线性规划模型对粮食作物和蔬菜作物分类优化，在产销失衡的两种处理方式(滞销与半价销售)下，总利润提升至 604.12 万元，较 2023 年增长 8.99%，验证了模型在协调种植结构与市场需求、实现收益最大化方面的有效性。进一步融合正态分布模型与遗传算法，构建了考虑销售量、亩产量、成本及价格波动的动态决策框架，模拟结果显示，在随机扰动条件下，粮食类与蔬菜类总利润进一步提升至 645.54 万元，充分体现了模型在不确定性环境中的稳健性与抗风险能力。研究成果可为农业部门制定差异化补贴政策、动态调整种植结构提供量化依据，例如水稻轮作与豆类作物三年种植约束等策略，兼具经济效益与生态可持续性，具有较高的推广价值。本文创新性地将遗传算法与正态分布结合，弥补了传统模型对复杂非线性关系的拟合不足，但未考虑极端气候与政策突变等外部冲击，未来可通过引入更复杂的概率分布(如泊松分布)或集成机器学习方法，进一步提升模型的预测精度与适应性。总体而言，本研究为农作物种植优化提供了兼具理论深度与实践可行性的解决方案，有助于推动农业经济向智能化、可持续化方向发展。

基金项目

大学生科研创新探索项目(2024)备注：无编号；湖南省教育厅科学研究一般项目(22C0542)；永州市指导性科技计划项目(2024 年度)；湖南科技学院科学研究项目(21XKY038)。

参考文献

[1] 白桦. 浅析农作物品种改良与种植业结构调整的途径[J]. 种子科技, 2018, 36(2): 16+18.

[2] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, 等. 基于 NDVI 数据的华北地区耕地物候空间格局[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 552-560.

[3] Majeke, F., Mubvuma, T.M., Makaza, K., et al. (2014) A Linear Programming Approach to Crops and Livestock Enterprises Planning for a Model A2 Farmer in Bindura, Zimbabwe. *International Journal of Management, IT & Engineering (IJMIE)*. https://www.ijmra.us/project%20doc/2014/IJMIE_JANUARY2014/IJMRA-4548.pdf

[4] 高叶鹏. 基于作物需水量的种植结构优化研究[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2022.

[5] 孙柯楠. 基于深度学习的农作物种植结构提取方法研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林建筑大学, 2024.

[6] 王艳霜. 云南玉米区域产量保险风险区划及定价研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南财经大学, 2021.

[7] 刘国鹏. 基于遗传规划算法的农作物抗逆关键基因选择方法研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2022.

[8] 章建荣. 正态分布的实际应用[J]. 高中数理化, 2024(7): 38-40.