

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.04.005

烟株打顶适合度指数模型的构建及应用

李群岭¹, 孙佳照², 陈天才³, 林小兴¹, 梁桂广¹,
冉渝奥², 刘恒⁴, 李力¹

- 广西中烟工业有限责任公司, 南宁 530000;
- 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715;
- 中国烟草总公司 重庆市公司 奉节分公司, 重庆 404600;
- 重庆西农植物保护科技开发有限公司, 重庆 400715

摘要: 烟株打顶是烟叶种植过程中的一个重要环节, 通过对烟株进行打顶, 可人为干预烟株生长过程, 调整烟株营养物质的输送位置, 促进烟叶的生长发育, 从而提高烟叶产量. 通过分析烟株打顶时对应烟叶的生长状况数据, 对打顶后烟株的生长情况进行统计, 探讨影响烟株打顶的关键因素, 构建烟株打顶适合度指数模型, 并采用BP神经网络对烟株打顶模型进行深入研究. 研究表明, 影响烟株打顶的主要因素包括烟株叶片数、花蕾到烟株最上部叶距离及花蕾开放程度. BP神经网络分析模型验证集准确率为78.33%, $R^2=0.82$, $MSE=0.59$. 采用J2EE平台结合Spring框架对烟株打顶适合度指数模型进行应用开发, 经实地验证, 模型在实际生产中的平均吻合度为79.32%. 研究结果为烟株打顶农事操作提供了合理的判断依据, 为烟草种植数字化和管理科学化提供了有力支持.

关键词: 烟株打顶; 影响因素; 指数模型;

应用平台

中图分类号: S499

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2024)04-0032-08

Construction and Application of the Suitability Index Model for Topping Tobacco Plants

LI Qunling¹, SUN Jiazhao², CHEN Tiancai³,
LIN Xiaoxing¹, LIANG Guiguang¹, RAN Yu'ao²,

收稿日期: 2024-06-07

基金项目: 广西中烟工业有限责任公司项目(0633-224042118J00).

作者简介: 李群岭, 硕士, 农艺师, 主要从事烟草生产技术研究.

通信作者: 李力, 助理农艺师.

LIU Heng⁴, LI Li¹

1. China Tobacco Guangxi Industrial Co.Ltd., Nanning 530000, China;

2. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. Fengjie Branch of Chongqing Tobacco Company, Chongqing 404600, China;

4. Chongqing Xinong Plant Protection Technology Development Co.Ltd., Chongqing 400715, China

Abstract: Topping tobacco plants is an important part of the process in cultivation of tobacco. By topping tobacco plants, it is possible to artificially intervene the growth process of tobacco plant, change the delivery destination of nutrients in tobacco plant, and alter the growth and development status of tobacco leaves, thereby increasing the tobacco yield and income for tobacco farmers. This study analyzed the growth status data of tobacco leaves corresponding to tobacco bead topping, statistically analyzed the growth status of tobacco plants after topping, studied the key factors affecting tobacco topping, and constructed a tobacco topping suitability index model. BP neural network was used to study the topping model of tobacco plants. The main factors affecting the topping of tobacco plants have been determined to be the number of leaves, the distance from the flower bud to the topmost leaf of the tobacco plant, and the degree of flower bud opening. The accuracy of the BP neural network analysis model validation set was 78.33%, $R^2 = 0.82$, $MSE = 0.59$. An application for the tobacco topping suitability index model was developed using the J2EE platform Spring framework. According to on-site verification, the average goodness of fit of model in actual production was 79.32%. This study provides a reasonable judgment basis for the agricultural operation of tobacco bead topping, and provides scientific support for the digitization and scientific management of tobacco planting.

Key words: topping of tobacco plants; influencing factors; exponential model; application platform

打顶是烟草生产中实现株型控制、营养调控以及促进优质适产的关键措施之一^[1],在烟株生长过程中通过去除花苞来消除顶端优势,为一种人为地干扰和调控烟株生长的农事行为.打顶可促使烟株根部和烟叶光合作用产生的营养物质在烟株体内进行重新分配,增加营养物质在烟株根系和烟叶中的积累,进而增强根系对营养物质的吸收能力,最终提升烟叶品质^[2].烟株打顶过程对烟株的生长和烟叶的产量具有显著影响.研究表明,打顶的位置不同,可能导致烟株的生长速度、烟叶成长状况及烟株抗病虫能力均呈现出明显的差异,同时这些因素也影响着烟叶的质量和产量.此外,烟株生长的生态环境差异也会改变打顶后烟叶的理化性质^[3-4].

由于烟农流失、老龄化严重等因素,农村劳动力短缺的问题已经严重影响到烟草产业的可持续发展.为了解决这一问题,有必要对烟草打顶这一农事操作的精准性和科学性展开深入研究.一些研究者已经以烟草打顶机械设备为突破口,尝试解决这一难题^[5-6].另外,也有学者对打顶操作识别系统进行了研究^[7].然而,对于影响烟株打顶的关键因素识别以及建立与烟株打顶适宜性相关的模型研究还相对较少.烟株打顶后的生长状况直接影响着烟叶的品质.因此,明晰影响烟株打顶的关键因素,建立相应的打顶指数模型至关重要,这将为烟株打顶决策提供科学依据,同时为烟草种植数字化和管理科学化提供必要的支持.

1 材料与方法

1.1 数据获取

通过检索中国知网、维普、万方和 Web of Science 等数据库文献,对烟草打顶后烟草在田

间生长的农艺性状进行分析. 在渝东北烟草种植基地单元, 通过对烟农、烟草技术人员等一线工作人员进行调查记录, 筛选出影响烟草打顶的关键因素. 同时, 对不同打顶方式和烟株生产情况的研究数据进行统计分析. 在烟株打顶数据采集, 采用平行跳跃法, 选择连续 10 株烟株记录其农艺性状, 每个调查点选取 3 行, 共设定 4 个调查点, 获得 120 组烟株打顶数据, 将这些数据按照随机 75% 和 25% 划分, 用作模型构建的训练数据和验证模型的测试数据.

1.2 分析方法

1.2.1 灰色关联度分析

灰色关联度为模糊数学中一种宏观分析方法, 可以对多组数据之间的关联性进行分析^[8-9]. 本研究中, 将不同入参因子与烟草打顶距离的选择分别看为一个本征性灰色系统, 烟草打顶距离(Y_i)当作该系统的参照序列, 把各种条件参数(X_j)当作该系统的比较序列, 并把不同时间段的烟草打顶距离与气象参数数值作为该序列在第 k 个时间段效果的白化值, 以此进行多序列关系分析:

$$Y_i = \{Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(n)\}$$

$$X_j = \{X_j(1), X_j(2), \dots, X_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, M$$

其中, n 表示不同时间段, M 代表气候参数类数, 经过数据均值化得:

$$y_i = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(n)\}$$

$$x_j = \{x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, M$$

Y_i 与 X_j 在第 k 时间段上的关联系数:

$$r_{ij} = \frac{[\min \min |y_i(k) - x_j(k)| + \rho \max \max |y_i(k) - x_j(k)|]}{[|y_i(k) - x_j(k)| + \rho \max \max |y_i(k) - x_j(k)|]}$$

式中, ρ 为分辨系数, 取值范围在 0~1, 一般取 $\rho=0.8$ [25~27], $\Delta_{ij}(k) = |y_i(k) - x_j(k)|$ 为序列 Y_i 与 X_j 在第 k 点上差的绝对值差; $\min |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 1 级最小差, 表示 Y_i 与 X_j 序列对应点差值中绝对值的最小值; $\max |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 1 级最大差, 其含义表示 Y_i 与 X_j 序列对应点差值中绝对值的最大值. $R(Y_i, X_j) = 1/n \sum r_{ij}(k)$ 即为第 j 种条件参数(X_j)与烟草打顶指数(Y_i)变程之间的关联度, 它的大小反映出不同类型的参数与烟草打顶指数在不同时间范围的相互联系紧密程度. 该方法基于灰色系统理论, 适用于信息不完整的系统分析^[10]. 本研究中数据有缺失值, 因此选用该方法进行研究.

1.2.2 BP 神经网络分析

BP 神经网络(Backpropagation Neural Network)是一种常见的人工神经网络模型, 用于机器学习和模式识别任务, 尤其在分类和回归问题中应用广泛^[11]. BP 神经网络模型由多个神经元层组成, 其中包括输入层、隐藏层和输出层, 每个神经元与前一层和后一层的神经元相互连接^[12]. BP 神经网络的训练是一个迭代过程, 通过最小化损失函数来调整权重, 使模型的预测更加准确. 本研究中迭代次数 1 000 次, 学习率为 0.01, 神经元数量依据模型入参因子数目选择.

1.2.3 烟草打顶指数模型应用系统开发

模型数字平台基于 J2EE 平台, 采用前后端分离模式构建^[13]. 架构集成 RESTApi 开放接口技术, MySQL 关系数据库和 IoTDB 时序数据存储技术, JSON 文档模型配置技术, 模型版本迭代管控技术, Java IOC 模型对象自动装配技术等. 通过创建直观、易用的用户界面, 确保使用者可以快速上手. 应用平台外接前端数据采集设备, 通过 NB-IoT 将数据传回平台进行分析(图 1).

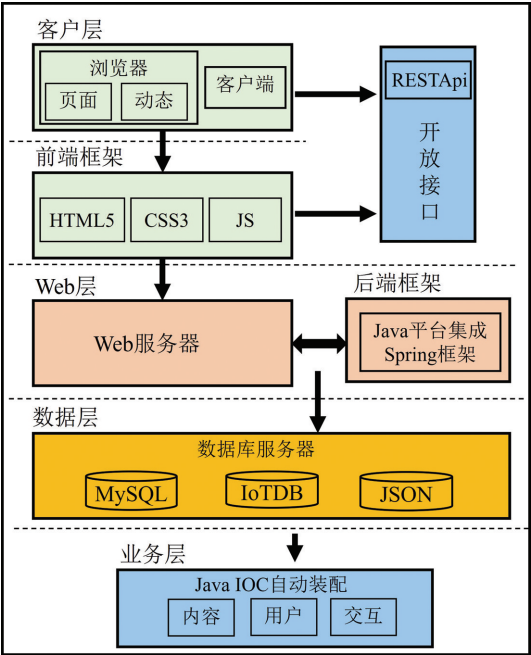


图 1 烟草打顶指数判断系统功能模块结构图

1.3 烟草打顶指数模型验证

烟草品种选择重庆地区广泛种植的“云烟 87”。调查地区位于渝东北地区，该地区地形多山，地势复杂多变，山水交织，属亚热带湿润气候，春夏季湿热，降雨充沛，多雾，年均气温约 18℃。本研究选取该地区内 4 个基地单元(图 2)，涵盖海拔 700~1 200 m。通过设备记录与人工记录相结合方式获取数据，将数据导入应用平台对烟草打顶指数模型准确率进行评估。

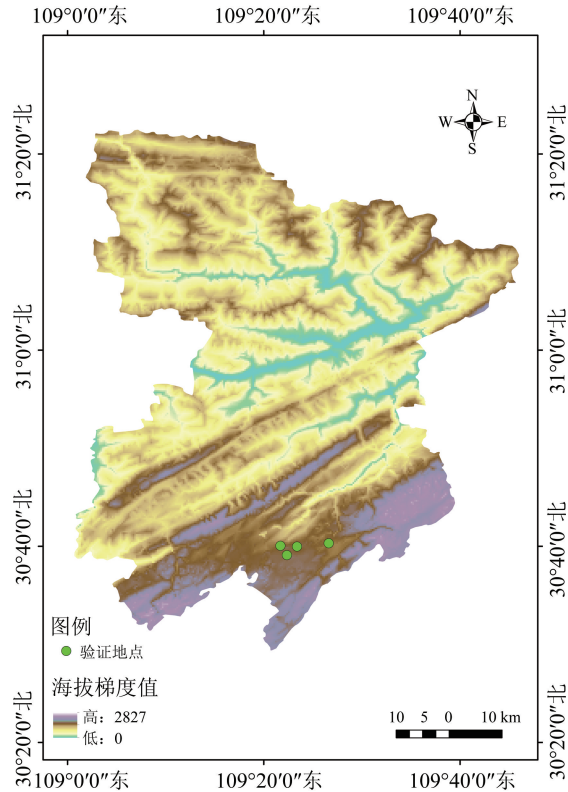


图 2 烟草打顶指数模型验证地点图

2 结果与分析

2.1 影响烟株打顶的相关因素

通过文献梳理及现场调查,筛选出对烟株打顶的关键因子.数据缺失值采用中位数填充处理,数据集中缺失值比例为0.6%,均在 X_4 变量上.查看数据散点图,剔除显著异常离群点,该处理可能会导致模型估计出现偏差.整理出统计中前5位主要影响因子,如表1.

表1 烟株打顶关键影响因素

参数类型	参数名称	参数标识	单位
影响因素	烟株大田生长时间	X_1	d
	烟株有效叶片数	X_2	个
	花蕾到烟株最上部叶距离	X_3	cm
	花蕾开放程度	X_4	%
	烟株高度	X_5	cm

2.2 灰色关联度分析

采用灰色关联度对调查数据进行分析.对原始数据进行处理,消除量纲和数量级差异的影响.计算各个因素序列与参考序列之间的关联系数,对关联系数进行累加或平均处理,得到整体的关联度值, X_1 :0.6724, X_2 :0.8509, X_3 :0.8117, X_4 :0.8706, X_5 :0.5319.采用关联度值在0.8以上因素作为模型入参因子进行研究.

2.3 BP神经网络分析

输入数据进入网络,逐层通过神经元进行加权求和并激活函数处理,直到输出层.根据误差梯度和学习率来更新网络中的权重和偏置.利用误差,通过反向传播算法计算每个权重对误差的贡献.重复前向传播、计算误差、反向传播和权重更新的过程,直到网络达到预定的训练精度或迭代次数.采用该模型对烟株打顶入参因子与打顶指数进行训练,模型实际值与拟合值如图3所示.通过该模型对数据进行预测,在30组测试数据中准确率为78.33%,模型测试集混淆矩阵如图4所示.模型 $R^2=0.82$, $MSE=0.59$,训练集 F_1 分数=0.94,测试集 F_1 分数=0.75.

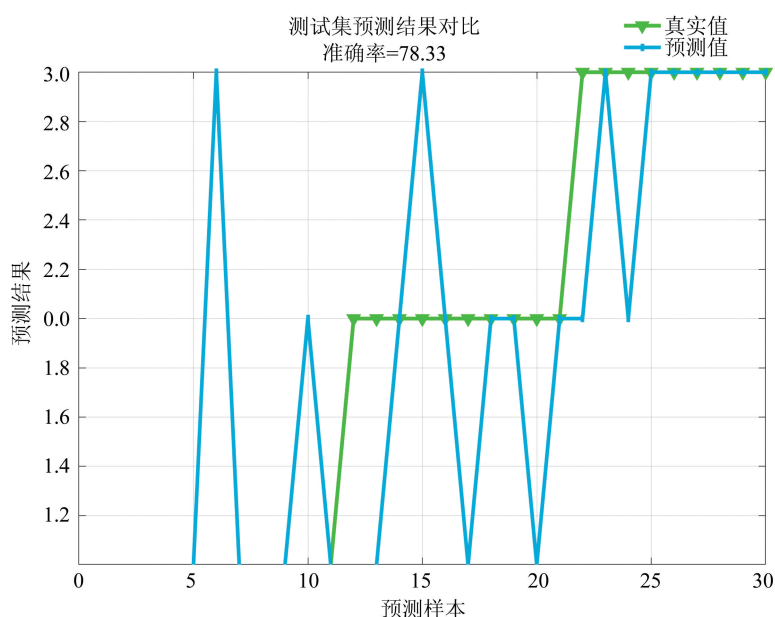


图3 BP神经网络分析方法测试集实际值与预测值之间差异图

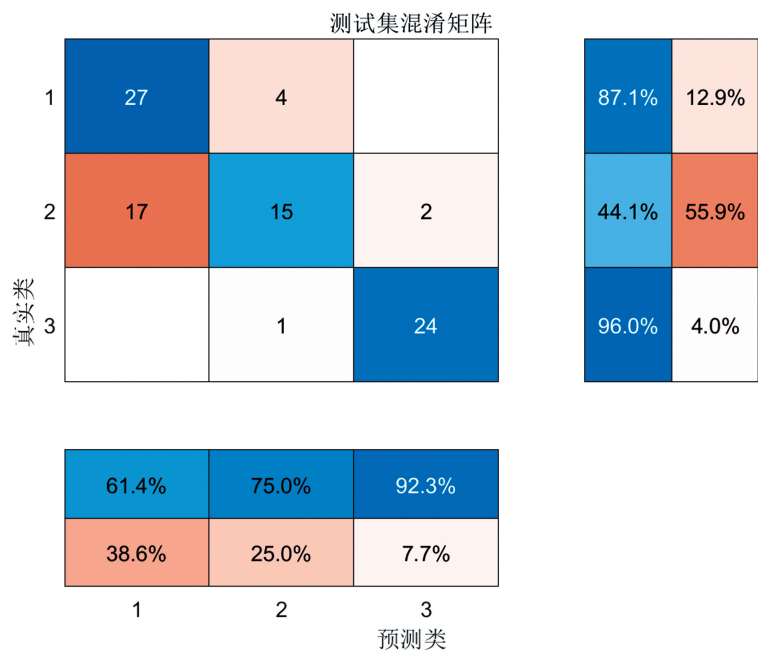


图 4 BP 神经网络分析方法测试集混淆矩阵图

2.4 模型验证及后台运行效果

将模型分别在 4 个烟草种植基地单元进行验证. 每个基地单元选取 3 列, 每列选取 20 株烟株, 将采集数据导入训练好模型进行预测. 预测结果与实际情况进行对比, 模型最高吻合度为 86.26%, 最低吻合度为 71.59%, 平均吻合度为 79.32%. 对烟草打顶指数模型进行系统可视化. 在系统窗口中, 通过输入烟株有效叶片数, 花蕾到烟株最上部叶距离, 花蕾开放程度, 3 个模型入参指标, 通过运算得出结果. 系统展示界面如图 5 所示.

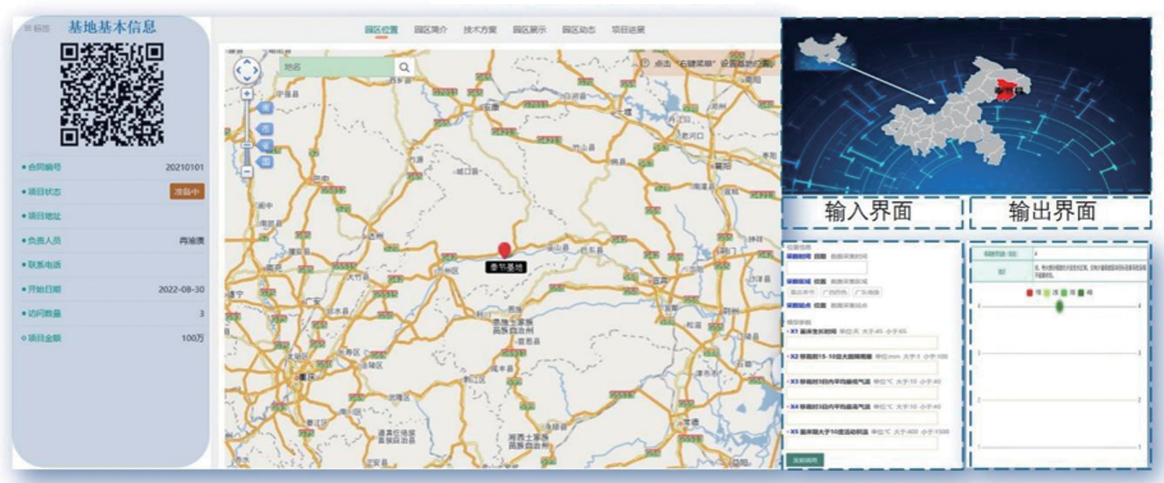


图 5 模型输入与运行界面

3 讨论

烟株打顶作为一项农业技术,目的是控制植株的生长高度,促进分枝,增加叶片数量,提高烟草的产量和质量.打顶可有效削弱顶端优势,有助于将养分更均匀地分配到各个分枝,进而促进烟草植株的均衡生长^[14].传统的打顶农事操作主要依赖于烟农经验来判断烟草生长状况,缺乏科学指导,容易导致烟株打顶判断不准确、操作不规范以及打顶不均匀的问题.研究烟株打顶适合度指数模型具有重要意义,该模型可通过科学方法优化烟草的种植管理,提高产量和品质.同时,建立模型能够模拟打顶对烟株生长的影响,预测不同打顶策略对产量和品质的具体影响,为烟草种植者提供决策支持.此外,模型研究有助于深入了解打顶对烟草生长机制的影响,为烟草栽培技术的发展和改进提供理论支持,推动整个烟草产业的可持续发展.

烟株移栽大田开放式环境时,由于生长在自然环境中,受自然气候条件及人为干预措施的影响,可能导致系统预测误差.打顶指数模型实际操作平均吻合度为79.32%,能在较大程度上指导烟株打顶操作,解决烟株打顶指标判断不明晰、打顶操作不完善的问题.尽管模型的准确率有待进一步提升,本次研究中模型入参因素主要涉及烟株物理性状,而对烟株及土壤内生物活性等因素尚未深入探究,这可能会对烟株打顶生长产生一定影响.打顶通常在烟草生长到一定高度时进行,具体打顶时机和方法根据当地气候、土壤条件的不同而有所调整^[15],本研究以烟草主栽品种“云烟87”为研究对象,研究结果适用于“云烟87”,模型应用过程中需考虑到不同烟草品种之间的差异对结果产生的影响.未来研究可从不同烟草品种之间的差异及不同气候带之间的差异展开,以扩大模型的适用范围和提高其适用性.同时,在模型构建过程中可加入更多优化算法,以提升模型准确性.

本研究对重庆地区烟草打顶指数模型进行了深入研究,通过采用灰色关联度分析,明确了烟株有效叶片数、花蕾到烟株最上部叶距离和花蕾开放程度是影响打顶操作的关键因素;采用机器学习技术建立烟株打顶适合度指数模型,并为用户开发了应用平台,提供了模型系统交互界面.研究结果显示,烟草打顶时机与烟草生长周期密切相关.在烟株生长过程中,进行打顶是一项至关重要的农艺操作,通过消除顶端优势,有助于重新分配烟株内部的养分.这一措施不仅促进了光合产物向叶片的有效转移,还可增加干物质的积累,协调化学成分.利用该模型,结合烟草的生物学特性和生长阶段理论,可实现科学打顶,提高烟叶生产质量.

参考文献:

- [1] 杨锴,贾孟,田荟铃,等.打顶对烤烟根际细菌群落结构和功能的影响[J].西南农业学报,2024,37(3):561-567.
- [2] 王垚,张宸,漆夏燕,等.高海拔烟区移栽时间和育苗措施对烟草生长发育及经济性状的影响[J].植物医生,2021,34(5):30-36.
- [3] 田宗林,喻奇伟,姜超英,等.生态环境和打顶对烟叶烟碱含量杂种优势的影响[J].种子,2021,40(7):104-109.
- [4] 林中麟,石健林,周益.烟草打顶研究进展[J].江西农业学报,2009,21(6):32-36.
- [5] HAMMOND W C. Apparatus for Topping Stalk-type Plants: US. Patent 3695013[P]. 1972-10-3.
- [6] SMITH E L. Devices for Topping Tobacco Plants: US. Patent 3662526[P]. 1972-5-16.

- [7] 耿爱军, 张晓辉, 苗乃树, 等. 3YDX-3 型烟草打顶抑芽机设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 96-101.
- [8] 孙佳照, 张淋, 李子朝, 等. 5 种茶园秋冬季天敌与假眼小绿叶蝉空间关系密切程度的差异[J]. 生态学报, 2021, 41(20): 8297-8307.
- [9] 孙佳照, 吴筱萌, 徐悦, 等. 小贯小绿叶蝉与其主要天敌空间关系研究方法的比较[J]. 植物保护, 2021, 47(5): 190-197.
- [10] WANGZH X. Correlation Analysis of Sequences with Interval Grey Numbers Based on the Kernel and Greyness Degree[J]. Kybernetes, 2013, 42(2): 309-317.
- [11] 李群岭, 李力, 林小兴, 等. 烟苗移栽时间评估模型研究与应用[J]. 植物医学, 2023(6): 54-63.
- [12] YUR Y, ANX M, JINB, et al. Particle Classification Optimization-Based BP Network for Telecommunication Customer Churn Prediction[J]. Neural Computing and Applications, 2018, 29(3): 707-720.
- [13] 吴家菊, 左洪福, 杨永辉, 等. 基于 IETM 的电子训练系统设计[J]. 现代电子技术, 2022, 45(19): 152-160.
- [14] YANGH J, SUF, WANGJ, et al. Comparative Shotgun Proteomic Profiles for Identification of Differentially-Expressed Proteins in Response to Topping in Nicotiana Tabacum Leaves[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2016, 39(1): 13.
- [15] 杨锴, 贾孟, 田荟铃, 等. 打顶对烤烟根际细菌群落结构和功能的影响[J]. 西南农业学报, 2024, 37(3): 561-567.

责任编辑 苏荣艳