

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.06.007

烟苗移栽时间评估模型研究与应用

李群岭¹, 李力¹, 林小兴¹, 梁桂广¹,
周效峰¹, 韦育新¹, 胡亚杰¹, 冯烨君¹,
成鑫², 冉渝澳², 孙佳照²

1. 广西中烟工业有限责任公司, 南宁 530000

2. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715

摘要: 为了使移栽后的烟苗获得最优生长, 从而提高烟草种植的效率 and 产量, 本研究对烟株移栽后的健康状况与移栽时间的关键数据进行分析, 采用多元回归分析、随机森林分析、BP神经网络3种模型对烟苗移栽时间的关键因子进行研究, 寻找烟苗最优移栽时间并分析影响最优移栽时间的关键因素。采用J2EE平台Spring应用框架对模型应用进行开发, 对模型研究结果进行可视化表达。结果表明: 多元回归分析模型精准度为70.58%, 随机森林分析模型精准度为67.82%, BP神经网络分析模型精准度为88.95%。苗床生长时间、移栽前10~15 d大田降雨量、移栽时3 d内平均最低气温、移栽时3 d内平均最高气温、苗床期大于10℃活动积温是影响移栽时间的关键因素。通过采集重庆地区烟草育苗棚生长基地内烟苗移栽相关数据进行模型精准度验证, 3个模型中BP神经网络分析模型精准度最高。本研究为烟苗移栽时间的判定提供合理科学依据, 通过该应用可以提前预判烟株移栽时间, 从而对生产进行指导, 同时也为数字化烟草种植业提供了一个重要的应用实例。

关键词: 烟苗移栽; 关键因素; 模型分析;

应用开发; 移栽时间判定

中图分类号: S572

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)06-0054-10

Research and Application of a Model for Evaluating the Transplantation Time of Tobacco Seedlings

LI Qunling¹, LI Li¹, LIN Xiaoxing¹, LIANG Guiguang¹,
ZHOU Xiaofeng¹, WEI Yuxin¹, HU Yajie¹, FENG Xejun¹,

收稿日期: 2023-11-10

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, 农艺师, 主要从事烟叶生产技术相关方面的研究。

通信作者: 冯烨君, 助理农艺师。

CHENG Xin², RAN Yu'ao², SUN Jiazhao²

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

2. School of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to achieve optimal growth of transplanted tobacco seedlings and improve the cultivation efficiency and yield of tobacco. This study analyzes the key data on the health status after transplantation and transplanting time of tobacco plants. The key factors affecting the transplanting time of tobacco seedlings were studied using three models: multiple regression analysis, random forest analysis, and BP neural network to find the optimal transplanting time for tobacco seedlings and analyze the key factors affecting the optimal transplanting time. Spring application framework of the J2EE platform was employed to develop the mode of application and visualize the research results of the model. The results showed that the accuracy of the multiple regression analysis model, the random forest analysis model and the BP neural network analysis model was 70.58%, 67.82%, and 88.95%, respectively. The key factors affecting the transplanting time are the period time of seedling raising, the rainfall in the field 15~10 days before transplanting, the average lowest temperature and highest temperature within 3 days of transplanting, and the ≥ 10 °C accumulated temperature during the seedling raising. The accuracy of the model was verified by collecting relevant data of tobacco seedling transplanting from the seedling greenhouse of tobacco growth base in Chongqing. The BP neural network analysis model has the highest accuracy among the three models. The study provides a reasonable scientific basis for determining the transplanting time of tobacco seedlings. This application can be used to predict the transplanting time of tobacco plants in advance to guide the production. This study provides an important application example for the digital tobacco planting industry.

Key words: tobacco seedling transplantation; key factors; model analysis; application development; determination of transplanting time

烟草(Tobacco)是一种重要的农业作物,在全球范围内广泛栽培,用于制造香烟、雪茄、烟斗烟以及口腔烟草等烟草制品^[1].烟草产业不仅在全球农业经济中扮演着关键角色,而且可以提供烟碱、烟酰胺等重要化学产品.然而,烟草种植的成功与否往往取决于一系列因素,其中一个关键因素是烟株移栽时间的合理安排.烟株移栽时间是指将烟草幼苗从育苗盘或育苗床上移栽到田地中的时间点,这一过程对烟草的生长、发育和最终的产量有着深远的影响^[2].研究表明,不同的移栽时间可能导致烟株的生存率、生长速度、抗病虫能力、质量和产量存在显著差异^[3].因此,确定最佳的移栽时间对于烟草生长来说至关重要,可以最大程度地提高其收益并减少风险.

然而,确定最佳的烟株移栽时间并不是一项容易的任务,研究表明烟草移栽涉及多种因素影响,如气象因素、育苗环境、育苗时间等^[4],这些因素对于烟草的生长和发育具有重要作用.不同的气象条件可能导致不同的移栽时间最佳化策略,为了解决这一复杂问题,本研究旨在开发一个综合评估的烟株移栽时间模型,以帮助农民更好地选择适合其地区和条件的移栽时间.这一模型将综合考虑多种影响因素,以提供科学依据和决策支持.通过合理安排移栽时间,农民可以最大程度地提高烟草产量和质量,减少生产风险.在本研究中,将在重庆烟草产区广泛收集大量的烟草生长数据和模型入参所需信息,以建立一个基于实际观测数据的移栽时间模型^[5],并开发一个预测最优移栽时间运行平台.首先,将使用数学建模和数据分析技术来研究各种因素之间的关系,以确定最佳的移栽时间策略.然后,将验证模型的准确性和可行性,以确保其在实际农业生产中的有效应用.烟株移栽时间的研究对于提高烟草产业的可持续发展至

关重要,通过开发一个综合的模型,希望为农民提供一个有力的工具,以优化移栽时间,提高产量和质量,从而为全球烟草产业的成功作出贡献。

1 材料与方法

1.1 数据获取

本研究对影响烟草移栽时间的因素进行分析,通过对中国知网、web of science 数据库中的文献进行检索,查阅科研工作者对烟草移栽时间与烟草在大田生长的农艺性状进行分析,对影响移栽时间的因素进行筛选,总结出影响烟草移栽时间的关键因子,将因子以数据形式规范化,进而构建模型。

1.2 分析方法

1.2.1 数据处理

数据处理分为以下步骤:①检查数据格式:检查数据的格式是否正确,比如数值格式、文本格式等.②剔除重复数据:通过查找重复值,识别出数据中的重复记录,并剔除重复数据,以避免对结果产生干扰.③处理数据缺失:检查数据是否存在缺失,如果有缺失值,可以进行删除、插值、替换等处理方式,以保证数据的完整性和一致性.④处理异常值:检查数据是否存在异常值,如果有异常值,需要进行识别和处理.可以采用平均值、中位数等方式进行填充或删除.⑤标准化数据:将数据进行标准化处理,使得数据在同一标度下比较,可以采用归一化、标准化等方式进行处理^[6].

1.2.2 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^[7-9].在本研究中将不同入参因子与烟草移栽时间的选择分别看为一个本征性灰色系统,移栽时间(Y_i)当作该系统的参照序列,把各种气候参数(X_j)当作该系统的比较序列,并把不同时间段的烟草移栽时间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:

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

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:

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

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和1之间,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 序列对应点差值中的最小差; $\max |y_i(k) - x_j(k)|$ 为1级最大差,其含义表示 Y_i 与 X_j 序列对应点差值中的最大差。 $R(Y_i, X_j) = 1/n \sum r_{ij}(k)$ 即为第 j 种气象参数(X_j)与烟草移栽时间(Y_i)变程之间的关联度,它的大小反映出不同类型的气象参数与烟草移栽时间在不同时间范围的相互联系紧密程度。某气象参数与烟草移栽时间变程间 Y_i 关联度值越大,则关系就越密切。

1.2.3 多元回归分析

多元回归分析(Multiple Regression Analysis)是一种统计分析方法,用于研究多个自变量(预测因子)与一个或多个因变量(响应变量)之间的关系^[10]。它是线性回归的扩展,可以更全面

地考虑多个因素对因变量的影响,从而帮助我们理解复杂的现象和预测未来事件。在多元回归中,假设存在一个线性关系,即自变量的线性组合与因变量之间存在某种关联。多元回归的数学表达式如下:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \epsilon.$$

其中, Y 是因变量, β 是截距, $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n$ 是自变量的系数, $X_1, X_2, \cdots, X_n$ 是多个自变量, ϵ 是误差项。多元回归的目标是估计这些系数,以建立最佳拟合模型,使得模型的预测与实际观测值之间的误差最小化。通过最小误差来确定每个项式系数从而获得多元回归式。

1.2.4 随机森林分析

随机森林(Random Forest)是一种集成学习方法。它结合了决策树和集成学习的思想,通过构建多个决策树来提高模型的性能和鲁棒性^[11]。以下是本研究的基本步骤和关键概念。

1)数据准备:收集和准备数据集,确保数据中包含要预测的目标变量和特征。数据预处理包括处理缺失值、特征缩放、编码分类变量等。

2)随机选择样本:随机森林使用自助采样(Bootstrap Sampling)方法从原始数据集中有放回地抽取多个随机样本。这意味着每个样本可以多次出现在不同的子集中。

3)随机选择特征:对于每个决策树的节点,随机选择一部分特征子集,以减少过拟合。这个子集的大小通常是总特征数的平方根。

4)构建决策树:使用选定的样本和特征子集构建决策树。这些决策树可以采用不同的算法,如CART(分类与回归树)。随机森林中包含多个决策树,每个决策树都独立训练。然后,通过投票(分类问题)或平均(回归问题)的方式将它们的预测结果组合在一起,以获得最终的预测。

5)评估模型:使用合适的评估指标,本研究使用 R^2 来评估模型的性能。

1.2.5 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广泛应用^[12]。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^[13]。以下是BP神经网络的主要特点和工作原理。

前馈传播(Feedforward):在BP神经网络中,信息从输入层流向隐藏层,然后再流向输出层,这称为前馈传播。每个连接都有一个权重,它决定了信息在神经元之间传递时的影响力^[14]。

误差反向传播(Backpropagation):BP神经网络使用误差反向传播算法来训练模型。首先,通过将模型的输出与实际值进行比较来计算误差;然后,误差从输出层向隐藏层反向传播,更新每个连接的权重,以减小误差。这个过程一直进行,直到误差足够小或达到预定的训练迭代次数^[15]。

激活函数(Activation Function):每个神经元通常都使用激活函数来确定其输出。常见的激活函数包括Sigmoid, ReLU(Rectified Linear Unit), tanh等^[16]。它们引入了非线性性质,使得神经网络能够模拟更复杂的关系^[17]。

隐藏层:BP神经网络通常包含一个或多个隐藏层,它们用于学习和提取输入数据的特征表示。隐藏层的数量和神经元数量通常是根据具体问题和数据来选择^[18]。

训练和优化: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。常见的优化算法包括梯度下降(Gradient Descent)和其变种,如Adam, RMSProp等^[19]。

1.2.6 烟草移栽时间模型应用系统开发

模型数字平台基于 J2EE 平台, 采用前后端分离模式构建^[20-21]. 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^[22-23]. 本次研究的软件技术组成包括以下几部分.

后端服务: 基于 Java 平台, 集成 Spring 框架提供数据服务;

前端服务: HTML5、CSS3 和 JS 框架;

数据传输: 互联网;

数据采集: 人工采集+物联网设备采集.

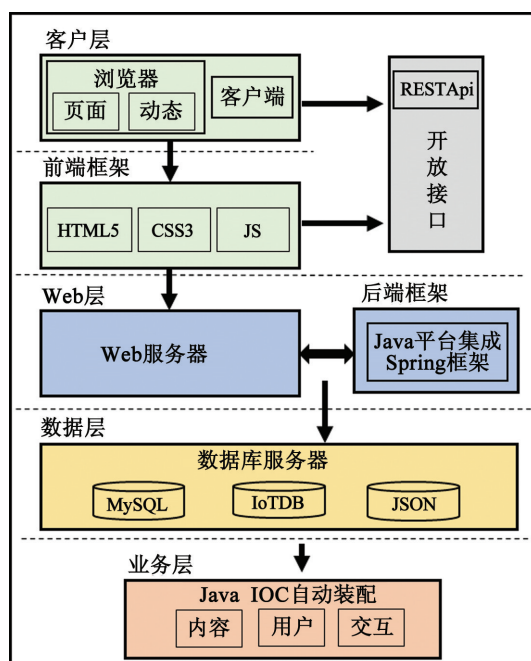


图1 烟草移栽时间判断系统体系结构及功能模块结构

1.3 烟草移栽时间评估模型验证

1.3.1 模型验证的烟草品种与数采基地

烟草品种选择广泛种植于重庆地区的“云烟 87”^[24]. 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. 气候属亚热带湿润气候, 春夏季湿热, 降雨充沛, 多雾天气, 年均气温约 18℃. 本研究选取该地区内 9 个烟草育苗工厂, 通过设备记录与人工记录相结合的方式获取数据. 调查时间为烟草育苗开始至大田团课期结束. 模型验证及应用试点选择重庆市奉节县烟草育苗工厂.

1.3.2 育苗期间数据测量

育苗在苗棚生长的测量与调查是确保烟草种植成功的关键步骤之一. 本研究主要选取苗期高度测量: 使用刻度尺或测量仪器, 定期测量烟苗的高度, 以了解其生长情况. 叶片数量计数: 记录每株烟苗的叶片数量, 以评估其生长状态. 苗床温度监测: 使用温度计监测苗床的温度. 烟苗对温度敏感, 确保温度在适宜范围内有助于健康生长. 湿度测量: 监测苗床的湿度水平, 以确保适度的湿度, 避免过度干燥或潮湿. 土壤 pH 值测试: 测量苗床土壤的 pH 值, 记录土壤酸碱度. 叶面积测量: 使用叶面积仪器或简单的方法, 测量烟苗叶片的总表面积. 光照测量: 监测

苗床的光照水平.

1.3.3 育苗期间数据测量

评估烟苗移栽效果需要对烟株在大田生长状况进行测定. 高度测量: 使用测量仪器或标尺测量烟株的高度, 从根部到叶尖的距离. 叶片数量计数: 记录每株烟株的叶片数量, 以评估生长状态. 叶片面积测量: 使用叶面积仪器测量烟株的叶片总表面积. 根系状况检查: 挖出部分根系, 检查其健康状况和生长情况, 以了解植株的根部发育情况. 叶片颜色和形态观察: 观察叶片的颜色、形态和叶缘是否受损, 以识别任何病害或虫害问题. 土壤样品分析: 定期采集土壤样品, 测量土壤的 pH 值、养分含量和含水量, 以确保提供足够的养分和水分供应. 病虫害监测: 定期检查烟株, 以发现和控制可能的病虫害问题.

2 结果与分析

2.1 烟苗生长分级

移栽时间评估是用来评估植物苗期生长到大田生长状态的一项指标, 因此需要先将语言模式转化为数字表达^[25].

对烟苗移栽最优时间目标进行数字化阐述. 通过移栽后烟苗的生长状况进行分级, 经过调查与烟技员认定分为 4 级^[26].

- 1 级: 最差, 烟田中烟苗出现部分死亡;
- 2 级: 较差, 烟田中部分烟苗出现死亡, 烟苗出现较大范围不健康生长迹象;
- 3 级: 良好, 大部分烟苗在大田生长正常, 仅有少量烟苗出现不健康生长迹象;
- 4 级: 优, 绝大部分烟苗在大田生长正常(95%), 仅有少量烟苗因非目标因素导致呈现不健康状态.

2.2 灰色关联度分析结果

采用灰色关联度对调查数据进行分析, 根据结果筛选出 5 个模型入参因子, 整理至表 1.

表 1 采用灰色关联度筛选模型入参因子结果

参数类型	参数名称	参数标识	记录
入参指标	苗床生长时间(45~65 d)	X1	日历
	移栽前 10~15 d 大田降雨量(mm)	X2	气象仪
	移栽时 3 日内平均最低气温(℃)	X3	温湿度仪
	移栽时 3 日内平均最高气温(℃)	X4	温湿度仪
	苗床期大于 10 ℃ 活动积温(℃)	X5	积温计算

2.3 多元回归分析结果

采用多元回归分析方法进行分析^[27]. 通过灰色关联度筛选出的 5 个因子作为入参变量, 苗移栽最优时间作为输出变量进行分析^[28]. 得到多元回归式为:

$$Y = -4.783\ 6 - 0.003X_1 + 0.037\ 2X_2 + 0.311\ 6X_3 + 0.186\ 9X_4 + 0.000\ 3X_5.$$

准确率为 70.588 2%. 该模型实际值与拟合值如图 2.

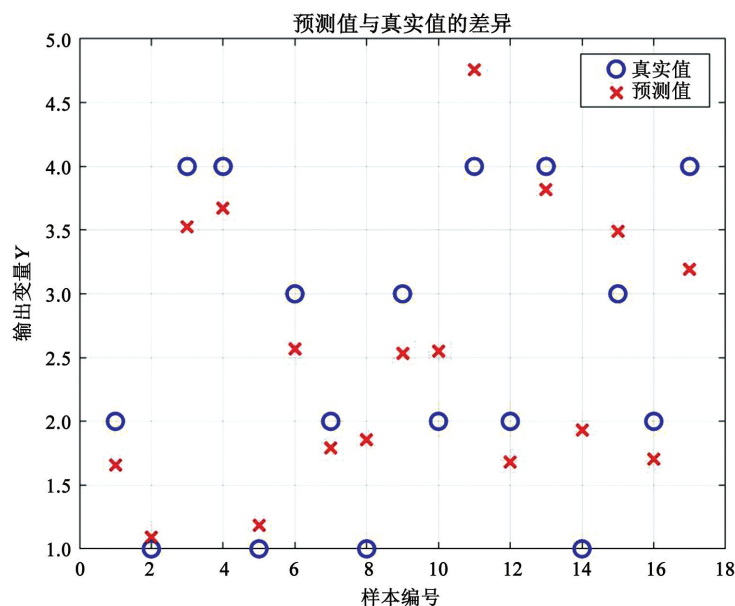


图2 采用多元回归分析得到预测值与实际值的差异

2.4 随机森林分析结果

对选择的5个主要入参因子与烟草移栽时间进行随机森林分析. 通过特征重要性得分排序分析并排除影响度较低的冗余特征, 组成随机森林预测模型的有效特征集合. 将烟草移栽时间界定在45~65 d, 对应移栽后烟株整体长势划分为4个等级. 设置特征矩阵和目标变量, 进行分析. 结果如图3($R^2=0.678\ 2$).

2.5 BP神经网络分析结果

BP神经网络(Backpropagation Neural Network)是一种常用的人工神经网络模型, 用于解决各种机器学习和深度学习任务. 要对BP神经网络的结果进行分析, 通常需要考虑损失函数. 首先, 检查训练过程中的损失函数的变化, 损失函数用于衡量模型预测值与实际值之间的差异, 如果损失函数在训练期间逐渐减小, 这通常是一个良好的迹象, 表明模型正在学习任务. 如果损失函数不断波动或增加, 可能需要调整模型超参数或数据预处理. 该结果损失函数波动趋势平稳, 未出现较大幅度, 说明模型输出稳定. 该模型实际值与拟合值如图3、图4($R^2=0.889\ 5$).

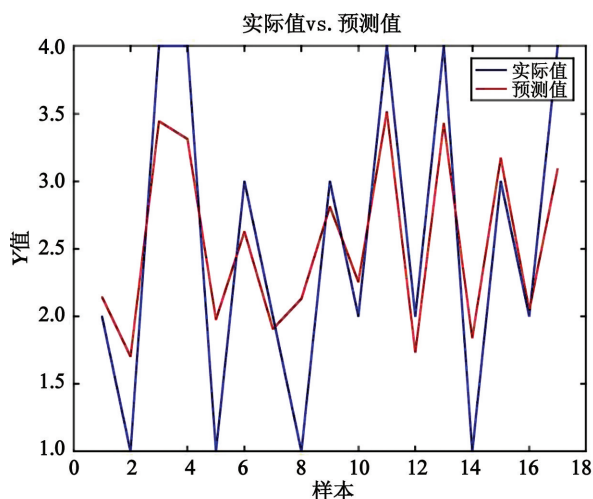


图3 随机森林分析方法实际值与预测值之间差异图

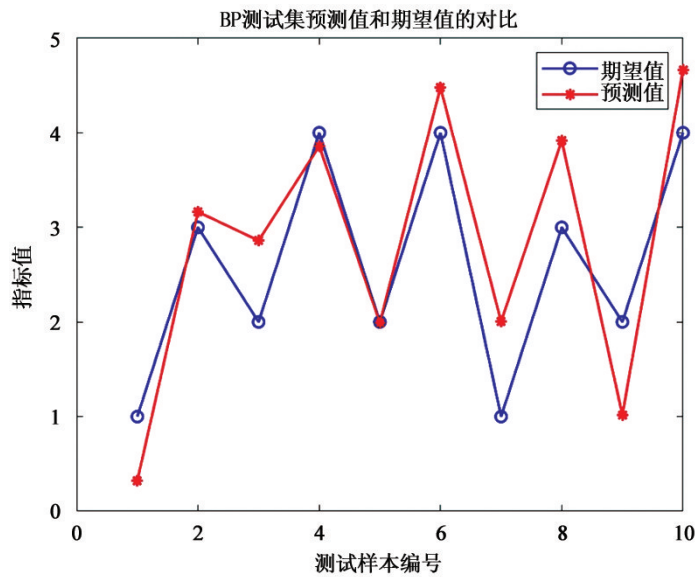


图 4 随机森林分析方法实际值与预测值之间差异图

2.6 模型验证及后台运行效果

将 3 种模型分别在育苗工厂进行验证,准确度最高的模型是采用 BP 神经网络分析模型.将预测结果与实际情况进行对比,模型最高吻合度为 91%,最低吻合度为 79%,平均吻合度为 86%.

可视化是一种有力的分析工具.可以显示模型的预测结果、激活函数的输出、权重矩阵等.这可以帮助更好地理解模型的决策过程.在可视化窗口中,通过输入烟苗在苗床生长时间,烟苗移栽前 10~15 d 大田降雨量,烟苗移栽时 3 d 内平均最低气温,烟苗移栽时 3 d 内平均最高气温,烟苗苗床期大于 10 ℃ 活动积温这 5 个模型入参指标.通过运算得出结果(图 5).



系统界面可显示调用基地基本信息、调用模型时间、烟草移栽时间判定结果、是否进行移栽建议等。

图 5 模型输入与运行界面图

3 结论与讨论

烟草移栽时间的重要性在于它直接影响着烟草的生长、产量和质量. 烟草移栽时间的选择对烟草植株的生长和产量有着重要影响, 选择得当与选择不当都会产生不同的效果. 选择得当的移栽时间可以促进烟株生长, 因为它确保了烟草在适宜的气温和光照条件下开始生根和发育, 同时正确的移栽时间可以增加烟草的产量, 这是因为良好的生长开始可以使植株在生长周期内充分发展, 从而产生更多的叶片和烟草产品.

适时的移栽有助于生长均匀, 减少了叶片损伤和畸形生长的风险, 从而提高了烟草的质量. 选择不当的移栽时间会使得烟株生长受阻, 烟草植株可能会在开始生长时受到不利的气候条件影响, 导致生长受阻, 影响产量. 同时烟株叶片受损, 不适宜的移栽时间可能会导致植株叶片受到霜冻、高温或其他极端天气条件的损害, 从而降低烟草叶片的质量. 移栽时间不合适会导致烟株无法按照其本身最佳生育周期生长, 增加疾病和病虫害风险.

本试验对重庆地区烟草移栽时间进行研究, 通过采用灰色关联度进行分析明确了苗床生长时间、移栽前 10—15 d 大田降雨量、移栽时 3 d 内平均最低气温、移栽时 3 d 内平均最高气温、苗床期大于 10 °C 活动积温是影响移栽时间的关键因素. 依据烟草在不同移栽时间后生长的情况对移栽结果评定做出 4 个等级划分. 采用多元回归分析、随机森林分析、BP 神经网络 3 种模型对烟苗移栽时间进行研究, 结果表明 BP 神经网络的预测结果与实际值最为接近, 多元回归分析次之, 随机森林预测结果与实际值相差最大. 造成该结果的原因主要是 BP 神经网络算法适应性强, 神经网络可以学习和适应各种不同的数据模式和关系, 同时高度并行化处理. 而随机森林常用于分类问题, 在连续变量数据的研究相对较差, 因此其准确率相比较其他模型较低. 在系统应用时, 需气象信息与苗床积温数据作为入参因子, 通过模型运算得出烟株移栽时间评估等级, 系统通过等级划分, 明确××年××月××日是否为烟株适宜移栽实践, 从而指导生产实践.

作物在大田生长受到多种因素的影响, 如土壤质量、水资源、害虫和病害、肥料和养分以及人工管理等. 后期对于该类型数据采集有助于反馈烟苗移栽模型的多种应用场景, 为完善该模型的实际应用提供数据支撑.

参考文献:

- [1] SHE S Y, NIU J J, ZHANG C, et al. Significant Relationship between Soil Bacterial Community Structure and Incidence of Bacterial Wilt Disease under Continuous Cropping System [J]. Archives of Microbiology, 2017, 199 (2): 267-275.
- [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] 王克占, 孙伟奇, 王玉军. 不同移栽时间对烟草长势及烟叶产量、质量的影响 [J]. 山东农业科学, 2009, 41 (2): 48-49, 61.
- [4] 刘新源, 李佳颖, 赵永伟, 等. 气候因素对卢氏县烟草移栽期的影响 [J]. 现代农业科技, 2017(15): 200-202.
- [5] 刘晓宇. 黑龙江烟草产量预测及病害预警方法研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [6] ALGAE R. Investigators from University of Technology Sydney Have Reported New Data on Algae Research (Methyl Jasmonate Treatment Affects the Regulation of the 2-c-methyl-d-erythritol 4-phosphate Pathway and Early Steps of the Triterpenoid Biosynthesis)[J]. Biotech Week, 2019(2): 112-119.
- [7] 王淑君, 解慧芳, 邢璐, 等. 基于主成分分析和灰色关联度分析的谷子品种(系)综合评价 [J]. 江苏农业科学,

- 2023, 51(15): 42-49.
- [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] 王鹏飞, 李涛, 于春亮, 等. 基于多元线性逐步回归和BP神经网络建立鸭梨盛花期预测模型[J]. 山东农业科学, 2023, 55(7): 159-166.
- [11] 张志豪, 陈楠, 祝波, 等. 基于随机森林模型的武汉市城区大气PM_{2.5}来源解析[J]. 环境科学, 2022, 43(3): 1151-1158.
- [12] 田宸宇, 鲁逸飞, 谢恒多, 等. 多元回归与BP神经网络在烟草叶片SPAD反演时的建模精度比较[J]. 智慧农业导刊, 2023, 3(9): 9-11, 15.
- [13] CHEN F W, ZHANG Q A, CHEN S M, et al. Research on Operation Efficiency Prediction and Optimization of Biological Retention System Based on GA-BP Neural Network Model[J]. Sustainability, 2023, 15(14): 10990.
- [14] 刘曙光, 郑崇勋, 刘明远. 前馈神经网络中的反向传播算法及其改进: 进展与展望[J]. 计算机科学, 1996, 23(1): 76-79.
- [15] 巩祖正. 脉冲神经网络的多脉冲定时误差反向传播算法研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2014.
- [16] DORES R M, MCKINLEY G, MEYERS A, et al. Structure/Function Studies on the Activation Motif of Two Non-Mammalian Mrap1 Orthologs, and Observations on the Phylogeny of Mrap1, Including a Novel Characterization of an Mrap1 from the Chondrosteian Fish, Polyodon Spathula[J]. Biomolecules, 2022, 12(11): 1681.
- [17] 董彦松, 刘月浩, 董旭乾等. 基于误差分治的神经网络验证[J/OL]. 软件学报, (2023-10-08)[2023-11-07]. <https://doi.org/10.13328/j.cnki.jos.006967>.
- [18] 杨再骥, 付春海, 张宇浩, 等. 一种基于秘密共享的神经网络训练方案[J]. 科技资讯, 2023, 21(17): 17-20.
- [19] 姚敏达. 深度神经网络训练中梯度下降优化算法研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2022.
- [20] FANGW. Based on J2EE Research and Realization of National Fitness Sports Convenience Service Platform[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1693(1): 012003.
- [21] 张国平, 马丽. Spring 集成 Acegi 安全框架在 J2EE 中的应用[J]. 电子设计工程, 2012, 20(7): 29-31.
- [22] 冯凯, 徐葳, 王元卓. 一种基于 SparkSQL 和 RestAPI 的流数据处理方法[P]. 中科院计算技术研究所大数据研究院, 2019-12-01.
- [23] 张中洋. 基于深度学习的移动应用图形用户界面组件识别方法研究[D]. 成都: 四川大学, 2021.
- [24] 钱雪松, 朱迪, 张恒, 等. 移栽期对云烟 87 碳代谢产物及其关键酶活性的影响[J]. 作物研究, 2023, 37(4): 369-375.
- [25] CERIER E J, TOYODA T, MCNULTY C, et al. Single-Center Experience with Lung Transplant Evaluation Referrals of Acute Respiratory Distress Syndrome Patients during the COVID-19 Pandemic: How do You Make up for Lost Time? [J]. Critical Care Explorations, 2023, 5(9): e0965.
- [26] 盛明. 达州市白肋烟小苗井窖式移栽技术研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- [27] LIU Y X, HEUVELINK G B M, BAI ZG, et al. Statistical Analysis of Nitrogen Use Efficiency in Northeast China Using Multiple Linear Regression and Random Forest [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2022, 21(12): 3637-3657.
- [28] 常幸远, 祁玉良, 扶定, 等. 灰色关联度分析法和 DTOPSIS 法在两系杂交粳稻品种综合评价中的应用研究[J]. 杂交水稻, 2023, 38(5): 26-31.