

基于无人机和卷积神经网络的水稻成熟度检测系统的设计与实现

李文星

重庆三峡学院 重庆万州 404020

摘要: 为实现对大面积农田的水稻成熟度覆盖全面、快速、准确的检测。从无损监测的角度出发,分析现有水稻成熟度检测的特点和不足,提出了一种利用算法优化无人机路径后拍摄大量稻田图片,通过对图片目标标注训练出基于深度学习的卷积神经网络的水稻成熟度分类检测模型检测水稻成熟度的方法。并以此开发出水稻成熟度检测系统,利用该系统对水稻成熟度进行判别分析。

关键词: 水稻 无人机 成熟度检测

Rice maturity detection based on UAV and convolutional neural network System design and implementation

Wenxing Li

Chongqing Three Gorges University, Wanzhou, Chongqing 404020

Abstract: In order to realize the comprehensive, rapid and accurate detection of rice maturity coverage in a large area of farmland. From the perspective of nondestructive monitoring, the characteristics and deficiencies of the existing rice maturity degree detection were analyzed, and a method was proposed to detect rice maturity by taking a large number of rice paddy pictures after optimizing the path of UAV with algorithm, and then training the rice maturity classification detection model based on deep learning convolutional neural network through labeling the image targets. A rice maturity detection system was developed and used to discriminate rice maturity.

Keywords: Rice; UAV; Maturity detection

引言

水稻是我国最重要的粮食作物,种植历史悠久,每年的种植面积占粮食作物面积的首位,在保障我国粮食安全上发挥了巨大的作用^[1]。近年来,我国人们生活水平不断提高,人们的物资生活水平得到很大的提升,对大米从产量、质量、口感等方面提出了更高的要求^{[2][3]}。而水稻的成熟度是影响大米产量、质量、口感的关键因素,据研究表明,水稻的成熟过低或过高,都会影响水稻的产量和质量^{[4][5][6]}。水稻的成熟度判别往往依赖于传统的经验判断,而稻田水稻成熟度往往受水源、光照、栽培周期和品种等因素的影响,成熟的外在表现呈现出局部差异性^{[7][8]}。因此,如何准确把握水稻的成熟度,在适当的成熟度下收割水稻提质增产是精准农业下必要条件。

基于无人机和卷积神经网络的水稻成熟度检测系统的研究为了解决大面积检测水稻成熟度快速检测,它具有速度快、覆盖面积广、无视复杂地形和障碍物的特点。深度学习用于农作物成熟度检测方面应用非常广泛。纪莹莹利用机器视觉分级技术,在西红柿分级过程中利用该技术

提取西红柿的颜色、大小、国形以及缺陷等信息,随后通过对西红柿表面图像的特征分析,利用模糊理论完成对西红柿的综合分级工作^[9]。水稻成熟度的检测已经取得相关成果,如许煊汶利用大数据分析得到不同成熟度所对应的水稻的 RGB 信息,通过只做成熟度颜色模块来辅助算法对水稻的成熟度进行了检测,对水稻模型的识别达到了 99.1%,对水稻的成熟度检测准确率达到了 99.3%,并设计开发了一款基于 Android 平台的应用程序,利用手机摄像头对稻穗进行拍照,然后上传到云服务器就可以进行检测,但他只针对于稻穗的成熟度进行了检测,对于稻田的整体成熟度检测来说评估不全面,使用比色板提高了检测的精度,但是对于普通用户增加了使用时的学习成本,也没有针对整片稻田的成熟度展开研究^[10]。

本研究的目的是利用基于稻田三维优化无人机作业路径,拍摄的大量稻田水稻成熟期图片,训练一个针对稻田水稻成熟度识别的检测模型,只需要将用户上传到服务器的稻田图片作为参数传入到该模型中,就可以得到一个水稻成熟度值,并且以此设计开发出一个水稻成熟度检测

的系统。

一、系统总体设计方案

1.系统结构设计

本系统设计实现一个基于无人机和图像处理技术的水稻成熟度检测系统,该系统实现对稻田水稻的成熟度进行快速智能检测。本系统分为后端管理系统和基于 Android 平台的预警端 app,从角色上分为管理员用户和普通用户。管理员用户分为版本管理、系统日志管理、检测记录管理、用户管理等四个模块。而普通用户分为待识别图片上传、成熟度检测、个人信息管理和版本升级管理四个模块。

本系统的功能模块如下图所示。

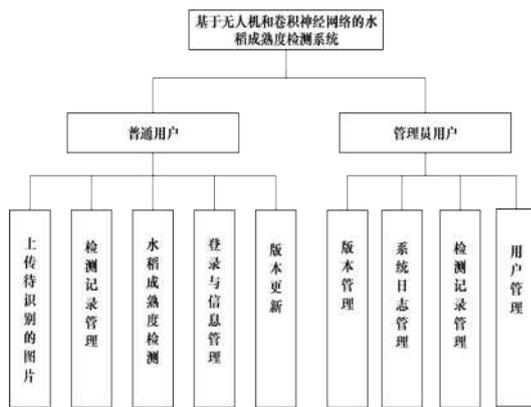


图 1 系统功能模块图

2.系统功能

本系统分为后端管理平台与基于 Android 平台的客户端程序,从角色上分为普通用户与管理用户,管理员需要管理用户模块、图像、成熟度识别、系统日志等模块;普通用户有注册、登录、个人信息管理、稻田水稻图片上传、检测历史记录等。

(1) 注册

普通用户从登录页面进入到注册页面,可自行注册,注册的账号和密码必须符合规则,否则不予注册,管理员用户由开发者提供,管理员账户不能注册。新用户的产生有两种方式:通过 APP 预警端的注册页面注册成为新用户;管理员通过用户管理模块添加新用户,新用户的账户和密码也必须符合注册时的规则。

(2) 登录

普通用户登录在 APP 预警端,各项输入(包含账户密码不正确的,未输入的)点击登录都会有明确的提示,正确输入账户和密码信息能够正常登录到主页面。同理,浏览器中的管理员用户登录逻辑也与此相同。

(3) 个人信息维护

普通用户在 APP 预警端登录成功之后在“我的”模块维护个人信息,包括个人信息修改、保存等功能。管理员用户在“账户信息”模块维护个人信息。

(4) 待检测图片上传

普通用户登录成功之后通过“检测模块”选择待检测的无人机拍摄的水稻图片上传到服务器进行检测,上传成功之后会保存到服务器的文件夹中,在 APP 预警端的历史记录模块也会有相应的检测数据记录。历史记录中可以对上传失败的图片进行重新上传,也可以执行删除的操作。

(5) 水稻成熟度检测识别

系统接收到普通用户上传的图片,将该图片作为参数传入到水稻成熟度识别模型中进行识别,得到的结果最终会同步到数据库中。并根据注册时的邮件地址给用户发送识别的结果邮件。

(6) 检测历史记录

普通用户登录成功选择首页的数据进入到检测模块,能够看到当前最新的识别记录和以往的识别记录,每条记录都有两种状态:检测中,检测完成。可以针对识别结果记录进行管理,包括增删改查等操作。管理员用户登录成功之后,在成熟度检测模块能够看到系统中所有的水稻成熟度检测记录,并且能够管理检测结果,对检测数据进行查询和删除的操作。

3.系统详细设计

分析普通用户的水稻成熟度检测流程,整个流程由用户登录完成开始,获取用户上传的待检测对象,并根据获取结果返回提示消息,进入水稻成熟度检测模块,根据系统训练的优化模型算法智能检测上传图片对象的 RGB 值,通过比对返回成熟度结果,本系统的时序图如下图所示。

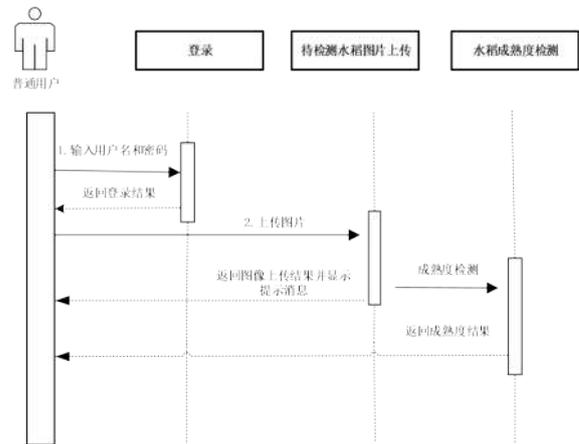


图 2 水稻成熟度检测时序图

4.系统活动图

普通用户登录本系统后可开展水稻成熟度检测的操作。水稻成熟度检测系统中普通用户通过 APP 预警端向服务器发起 HTTP 请求,把对应的用户名和密码发送给 WWB 服务器, WEB 服务器校验验证通过之后返回给客户端用户信息数据,客户端根据数据协议解析之后把数据加密后存储到本地并跳转到首页。成熟度检测从待检测图片上传模块开始操作,首选点击“待检测图片”按钮,然后从移动设备中选择一张图片完成上传操作,上传成功以后在“检测记录管理”模块中能看到新上传的检测记录。操作的流程图如下所示。

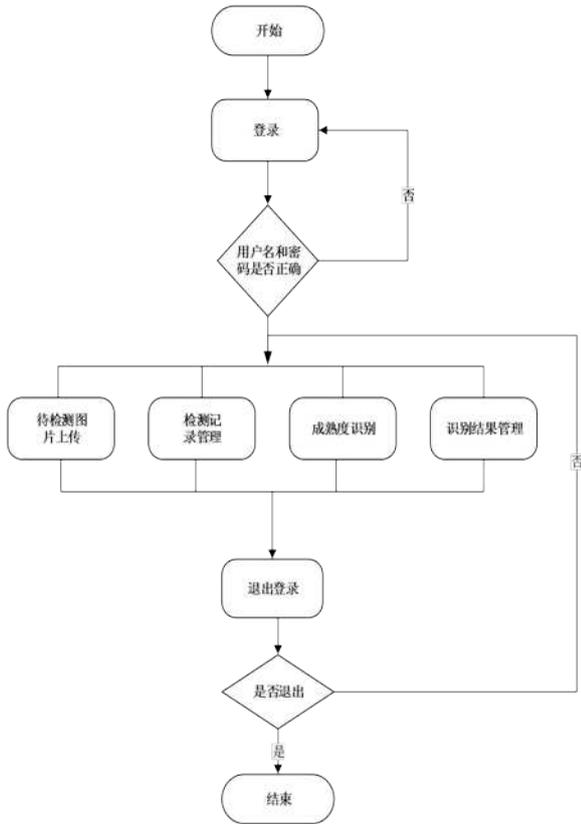


图 3 普通用户登录之后检测流程图

二、水稻成熟度检测系统总体设计

1.无人机路径优化

本系统拍摄使用大疆 M300RTK 无人机。M300RTK 无人机是 2020 年推出的四旋翼无人机,它性能强悍、飞行速度快、最大可携带 3 个云台,图传距离最远可达 15 公里,自带电池热切换和健康管理系统,水平和垂直悬停精度可达 10 厘米,最大飞行速度每分钟 1380 米,最大飞行高度可达 7 千米,7 级大风依然可以不受影响,非常适合执行高强度任务。M300 自带定位和运动模式,定位模式

下能够实现精准定位,符合进行空中静态拍摄的要求。丁涛等人利用 M300RTK 协助农村土地测量取得了很好的效果^[11]。

农田拍摄对稻田的覆盖率、清晰度有较高要求。而无人机的续航时间往往有限,因此合理的利用无人机进行全覆盖拍摄需要对无人机的拍摄路径进行优化。结合无人机路径规划的三种模式,本文提出了一种基于三维建模绘制稻田 AB 点的最佳路线,引入 b 样本曲线对路径进行平滑处理,建立起高效、覆盖面广、距离短的飞行路径。

无人机飞行往往受限于三个因素,飞机飞行时的能量消耗、飞机机动约束(飞机的最小转弯角度、障碍物等)和飞行的距离^{[12][13]}。飞行的能量消耗可以用下面的式(1)来表示:

$$m_1 = y \sum_{a=1}^n l_{ab} + \sum_{a=1}^n E_0 \frac{h}{H} dh \quad (1)$$

其中 y 代表无人机在任务期间单位长度的燃料消耗, H 定义无人机不能超过的安全高度, 0E 代表维持无人机在一定高度的能量成本, H 定义无人机当前的高度,飞行高度受危险可用以下式(2)表示:

$$g = \begin{cases} C_1 - \sum_{i=1}^n g_i & h_i < H_{min} \\ C_2 (H_{min} - h_i) & H_{min} < h_i < H_{max} \\ C_1 (h_i - H_{max}) & h_i > H_{max} \end{cases} \quad (2)$$

其中 g_i 表示无人机飞得过高时威胁的严重程度, h_i 在第 i 段中描述无人机的平均飞行高度, H_{max} 为无人机可以飞行的最大高度, H_{min} 为无人机与地面之间的最小安全高度, C_1, C_2 为正常数值。

轨迹规划问题的本质是寻找从任务起点到目标点的最优质量的飞行路径。除了考虑复杂的地形地貌、障碍物等环境信息外,还需要考虑无人机自身的约束,主要包括转弯半径约束、俯仰角约束和最小惯性距离约束。

无人机转弯半径是无人机在子路段相交角度的平滑过渡,如果角度不利于无人机的转弯,则需要考虑航线偏移。路径规划时设置最大转向角度 ψ_{max} 以保障无人机飞行安全。假设 i 路径段的水平投影为 $a_i = (x_{i+1} - x_i, y_{i+1} - y_i)^T$, 则相邻路径段之间满足以下式(3)。

$$\frac{a_i^T a_{i+1}}{\|a_i\| \|a_{i+1}\|} \geq \sin \psi_{max} \quad (3)$$

俯仰角约束是指当无人机爬升或俯冲时,会受到一定的限制,主要表现为机身轴线与水平面在垂直方向上的最

大夹角大小不能超过无人机自身所能承受的最大俯仰角^[14], 则最大俯仰角约束应满足如下式 (4)。

$$\frac{|z_{i+1} - z_i|}{|\vec{a}_i|} \leq \tan \theta_{\max} \quad (4)$$

其中 θ_{\max} 描述最大俯仰角, z_i, z_{i+1} 是路径 i 段的起点和终点的 z 轴坐标。无人机在改变方向之前飞行的最小距离我们称之为最小惯性距离。稻田环境规划模型 规划时两个邻近网格的距离为最小惯性距离时, 无人机拥有最强的转向能力。设无人机有 x 段轨迹 $\{1; i=1, 2, \dots, x\}$, 令无人机最小轨迹段长度为 l_{\min} , 则最小惯性距离约束如下所示。

$$l_i \geq l_{\min}, \quad i = 1, 2, \dots, x \quad (5)$$

因此, 本文选择以下式 (6) 函数作为无人机航迹成本评估模型。

$$f_{\min} = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3 + (1 - w_1 - w_2 - w_3) f_4 \quad (6)$$

其中 w_1, w_2, w_3 分别是加权值, 无人机飞行过程中保持恒定速度, 燃料成本 f_1 与飞行距离正相关, 高度威胁用 f_2 表示, 碰撞威胁用 f_3 表示, 机动性约束威胁表示为 f_4 。

经过轨迹规划, 生成的飞行轨迹由一系列直线段组成。这一规划结果具有引导作用, 不符合无人机平稳转弯的实际飞行特性, 且在丘陵地带中, 由于转弯角度过大, 无人机发生碰撞的概率比在平原地区飞行更大, 不太现实。因此, 在离散网格中生成最优路径后, 需要对得到的折叠飞行轨迹进行平滑处理。一个可行的平滑结果需要满足两个要求, 第一是曲线处处平滑, 第二是曲线不能与环境中的威胁物体产生交集。考虑到贝塞尔曲线无法对无人机飞行轨迹进行局部修改, 本文引入 B 样条曲线方法进行轨迹平滑, 因为 B 样条曲线允许局部控制曲面和曲线, 且其多项式的个数可以与控制点的个数无关。K 乘以 B 样条曲线表达式为式(7)。

$$P(t) = \sum_{i=0}^n B_{i,k}(t) P_i \quad (7)$$

式中, $B_{i,k}(t)$ 定义 K 次 B 样条基函数, 满足如下递归方程, 如式(8)所示。

$$K = 0, B_{i,0}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [t_i, t_{i+1}] \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$K > 0, B_{i,k}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+k} - t_i} B_{i,k-1}(t) + \frac{t_{i+k+1} - t}{t_{i+k+1} - t_{i+1}} B_{i+1,k-1}(t)$$

采用该方法可获得平滑的飞行轨迹。

2.管理平台的开发

本系统管理平台使用 Windows 10 系统的集成环境 idea 软件开发, Java 语言, 系统使用 SprintBoot 架构^{[15][16][17][18]}。数据库管理系统使用 MySQL 8.0, 采用前后端分离技术实现 WEB 与 HTML 页面的业务上分离, 一套 API 接口可以适配多套系统, 降低了开发成本。当用户发起请求会根据请求的 ip 地址和端口找到运行的项目, 通过指定的 URL 找到对应的控制器 (Controller), Controller 类只进行参数的传递和响应的返回, Controller 负责把参数传递给 Server(业务逻辑层)层的实现类, 业务逻辑层负责处理具体业务逻辑, 包括对参数的判定、对数据库的增删改查操作和调用方的响应。MyBatis 是常用的用来管理 MySQL 数据库的优秀框架, 相比 habitate 更加简单自由灵活, 它屏蔽了复杂的 JDBC 连接细节, 只关注 mapper 类中的定义的方法和 resource 中 mapperXML 文件 MySQL 语句, 简化了 Java 对 MySQL 数据库的管理。使用 Spring 架构的 AOP 切面编程进行日志管理, 无须手动调用方法写入到数据库, 只需要在系统业务关键操作后加上注解就能够实现对日志的管理。当添加检测记录的函数被调用结束之后就会通过 AOP 将调用者的关键信息插入到数据库, 从而实现日志管理。为了让成熟度检测结果实时通知用户, APP 预警端和 Web 管理平台建立了长链接, 通过 Netty 高性能 NIO 框架建立长链接 APP 预警端和 Web 管理平台实时通信, 检测结果信息能够实时到达, 提升了用户体验。系统管理平台从功能上分为用户管理、成熟度检测、版本控制、日志管理四个模块。每个功能模块如下所示。

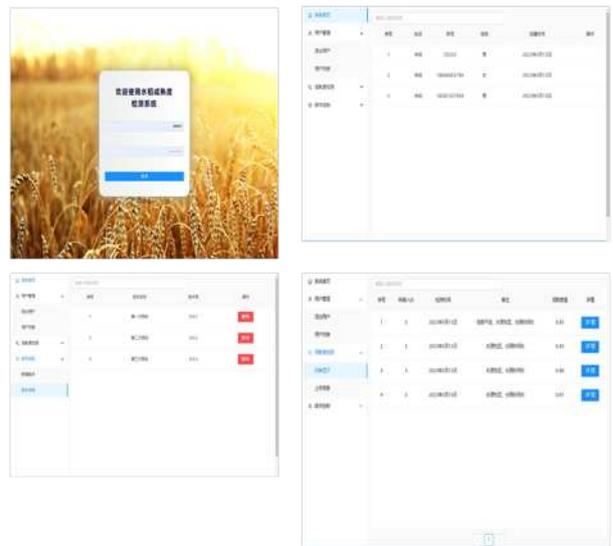


图 4 管理平台页面

3.成熟度检测系统开发

水稻成熟度检测系统 APP 预警端开发使用 Java 语言,项目采用 MVP 架构搭建^[19]。传统的项目使用 MVC 架构, Model 层抽象数据逻辑, View 层显示属免, Controller 层既刷新 View 层的数据, 又负责处理业务逻辑, 往往复杂的功能的页面代码甚至达到成百上千行代码。MVP 架构是 MVC 架构的升级版, 目前 MVP 架构应用比较广泛, 它引入了 Presenter 层, 把 Activity 简化, 让 Activity 只负责页面数据刷新。

4.水稻成熟度检测模型搭建

水稻成熟度的检测基于深度学习的卷积神经网络 (CNN) 的水稻成熟度识别检测系统^{[19][20]}。首先我们对经过标注的图像训练集进行水稻成熟度的特征提取, 然后经过大量的被标注的稻田水稻图片数据集进行训练, 对不同水稻成熟度的水稻进行分类, 最终得到一个水稻成熟度分类模型。只需要稻田水稻图片传入到该模型中, 进行分类识别, 得到一个与之匹配的成熟度。其训练的过程如下:

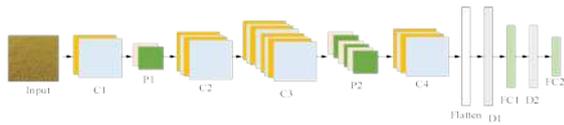


图 6 卷积神经网络识别流程图

卷积模型的卷积核数目分别为 32、64、128、64, 卷积核大小均为 3×3 pixels, 每次滑动步长都为 1, 分别得到 32 个特征图、64 个特征图、128 个特征图和 64 个特征图。P1 与 P2 为池化层, 输入进来的图片被尺寸为 2×2 的卷积核进行以最大池化的方式下采样。最大值池化的结果是选取图像矩阵区域内的最大值, 图像的纹理信息将会得到更好的保留。卷积层后接 Flatten 层, 将多维输入 D1 和 D2 展开为一维 Dropout 层, 一部分神经元的权值会被 Dropout 层暂时置零, 降低神经元间的依赖, 从而避免过拟合。全连接层 FC1 与 FC2 神经元与前一层的神经元进行全连接, 可以用来区分来别的特征信息将会被整合并映射到样本空间, Softmax 函数被 FC2 用来进行分类, 得到的模型就是水稻成熟度的检测模型。

三、水稻成熟度检测系统的测试

本系统的测试内容主要包含管理员用户的登录、用户管理、成熟度检测结果管理、版本升级管理和系统日志管理的功能是否正常使用和普通用户的注册、登录、个人信息管理、上传待检测图片、检测结果查看和成熟度检测程序升级等功能是否正常。测试的具体情况如下表所示。

编号	测试内容	期望结果	实际结果	通过/不通过
1	测试管理员登录功能	输入正确的用户名和密码登录成功	正常登录	通过
2	测试管理员管理用户的功能	登录成功之后能正常管理系统中的用户 (包括用户列表显示、新增用户、删除用户)	正常操作	通过
3	管理员管理 APP 预警端版本	管理员登录成功之后能正常管理 APP 预警端版本 (查看、添加、删除)	正常操作	通过
4	管理员查看测试结果	管理员登录成功之后在成熟度检测模块显示数据库中的检测结果	正常显示	通过
5	管理员删除某成熟度检测记录	在成熟度检测记录列表选择某一条记录然后点击删除, 在弹出框中点击确定删除	正常删除	通过
6	管理员管理系统日志	管理员在日志管理模块能正常显示系统运行日志, 选中某条日志点击删除按钮, 在弹出框选择确定之后能够正常删除该条日志	正常删除	通过
7	普通用户在 APP 预警端注册	在注册页面输入正确的用户名和密码, 点击注册, 弹出注册成功的提示, 并且数据库中能够查到该账号	注册成功	通过
8	普通用户在 APP 预警端登录	在登录页面输入正确的用户名和密码, 点击登录能够正常跳转到首页	登录成功	通过
9	普通用户上传图片	在首页点击“点击添加待检测稻田图片”能够正常选择图片并且上传图片	上传成功	通过
10	普通用户上传检测记录	“图片上传”模块中上传图片成功之后在数据中心正常显示	显示成功	通过
11	普通用户上传检测结果正常显示	“数据中心”点击任意一条记录, 可以查看检测详情	正常显示	通过
12	普通用户上传检测结果详情查看	“数据中心点击记录查看详情”	正常显示	通过
13	普通用户 APP 升级版本	依次在“我的”点击“版本升级”能够下载安装新版本	正常下载安装	通过
14	普通用户意见反馈	依次点击“我的”->“意见反馈”, 在新打开的页面能够添加和查看意见反馈	操作正常	通过

四、结束语

经过测试验证, 根据本系统路径优化算法进行拍摄的图片基本上覆盖试验田的所有区域, 图片采集效果较好, 水稻成熟度检测基本上达到预期要求, APP 预警端功能基

本完善。但在算法优化方面仍存在不足，水稻成熟度检测需要考虑到更为复杂的情况，界面设计不够人性化，系统开发是一项严密的、逻辑复杂的庞大工程，需要我们不断地测试、优化再试验才能使整个系统更加完善。

参考文献:

[1]邓伟,张新明.中国水稻种业发展历程研究[J].中国种业,2022(11):1-10.DOI:10.19462/j.cnki.1671-895x.2022.11.038.

[2]李露,林钰,李雪.稻米品牌文化的质性研究[J/OL].浙

江农业科学:1-8[2023-03-18].DOI:10.16178/j.issn.0528-9017.20220477.

[3]刘其娟.绿色优质水稻高产栽培技术要点[J].世界热带农业信息,2022(06):39-40.

[4]马中涛,马会珍,崔文培,付正豪,蒋伟勤,朱盈,魏海燕,张洪程,刘国栋.成熟度对优良食味水稻南粳 9108 产量、品质的影响[J].江苏农业学报,2020,36(06):1353-1360.

[5]肖君臣.不同栽培措施条件下稻谷成熟度差异及其对稻米品质的影响[D].华中农业大学,2022.DOI:10.27158/d.cnki.ghznu.2022.000986.