

基于物联网技术的镇安烟区烟叶智能烘烤模式研究

魏婷婷, 杨青玺, 戴舒童, 田国庆

陕西省商洛市烟草公司镇安分公司, 陕西 商洛

收稿日期: 2024年3月25日; 录用日期: 2024年4月22日; 发布日期: 2024年4月29日

摘要

为推动烟叶生产经营“用数据说话、用数据管理、用数据决策”, 解决当前采烤作业群体技术水平差异大、烘烤损失率高问题, 笔者开展了基于物联网技术的镇安烟区烟叶智能烘烤模式研究, 建立了本地鲜烟图片、烤房数据库及工艺图库, 并与行业同类产区鲜烟图片进行比对整合, 通过“物联网 + 网关 + 远程”智能分析对采烤装炉的烟叶素质精准识别, 运用“物联网 + 可视化 + 远程控制”手段, 实时监测烟叶调制中的变化状态, 形成基于AI算法拟合的调制工艺, 并推送给调制主体, 通过手持终端远程控制, 实现精准烘烤。结果表明: 1. 基于调制终端的“物联网 + 可视化 + 远程监测”功能, 可建立科学的烟叶智能管理信息平台, 实现用一部手机烤出“黄金叶”。2. 基于本地化烟叶调制工艺与应用平台, 运用同类产区、同类调制工艺算法拟合, 形成科学智能烟叶调制体系, 解决不会烤、易烤坏的生产难题。

关键词

烟叶, 智能烘烤, 物联网, 烘烤算法

Exploring the Intelligent Roasting Mode of Tobacco in Zhen'an Tobacco Area Based on Internet of Things Technology

Tingting Wei, Qingxi Yang, Shutong Dai, Guoqing Tian

Tobacco Management Unit, Zhen'an Branch, Shangluo Tobacco Company, Shangluo Shaanxi

Received: Mar. 25th, 2024; accepted: Apr. 22nd, 2024; published: Apr. 29th, 2024

Abstract

In order to promote the tobacco production and operation of “talking with data, using data man-

agement, using data decision-making”, to solve the problem of large differences in the technical level of the current picking and roasting operation groups and the high rate of baking losses, we have carried out a research on intelligent baking mode of Zhen’an tobacco area based on the internet of things (IoT) technology, established the local fresh tobacco pictures, the roasting room database and the process map and effectively integrated them with the fresh tobacco pictures of the same production areas in the industry. We have established local fresh tobacco pictures, roasting room database and process map, and effectively integrated them with the fresh tobacco pictures of the same production areas in the industry, made accurate identification of the quality of the tobacco leaves in the baking and loading oven through the intelligent analysis of “Internet of Things + Gateway + Remote”, and utilized the means of “Internet of Things + Visualization + Remote Control” to form a model based on AI algorithm fitting based on the real-time changes in the modulation of the tobacco leaves. Using the means of “Internet of things + Visualization + Remote Control”, according to the changes in real-time tobacco modulation, the modulation process based on the AI algorithm is formed and pushed to the main body of the modulation, which is remotely controlled by the handheld terminal, realizing the scientific and accurate baking. The results show that: 1. Based on the function of “Internet of Things + Visualization + Remote Monitoring” of the modulation terminal, a scientific tobacco intelligent management information platform can be established to realize the roasting of “golden leaf” with a cell phone. 2. Based on the localized tobacco modulation process and application platform, the same production area and the same type of modulation process can be fitted, which can form a scientifically intelligent tobacco modulation system, to solve the trouble of not having ability to bake and being prone to baking damage.

Keywords

Tobacco, Intelligent Baking, Internet of Things, Baking Algorithm

Copyright © 2024 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

种植是基础、烘烤是关键。目前，镇安烟区烟叶烘烤多沿用经验式的传统烟叶烘烤模式，采烤过程中烟农主要凭经验，根据鲜烟变化，以模糊的工艺调整方案来定义烘烤过程，往往因缺少适合当地生态条件、品种烘烤特性、不同鲜烟素质的精准烘烤技术体系，存在烤后烟叶青杂僵烟比例偏高、内在化学成分欠协调、青杂气与木质气较重等质量缺陷问题，导致烟叶产质量损失较大，烟农种烟效益下降。据统计，镇安烟区 2022 年的烟叶烘烤损失率高达 9.42%，高于全国烟叶烘烤平均损失率水平，而烘烤过程中 80% 以上损失属于人为因素造成，烟农烘烤经验技术水平的参差不齐、烘烤工艺的精准落实与否直接关系到烤后烟叶质量的高低和烟叶品质的稳定性、均质性。近年来，过伟民等[1]基于物联网大数据对烘烤过程数据进行分析，周文亮等[2]提出一种基于物联网数据的智能烘烤系统，韦克苏等[3]提出基于烟叶图像识别烘烤过程中的阶段控温点，都在基于物联网的烟叶烘烤数据采集、烘烤远程控制等方面开展了研究，众多烟叶产区也逐步推广基于物联网技术的烘烤温湿度数据采集，但由于各烟区栽培品种、生产技术和气象条件等因素不同，烟叶成熟期鲜烟素质及配套的烘烤工艺差异明显[4]，因此，镇安烟区研究创建烟叶调制智能管理终端平台，克服人为主观意识及客观因素对采烤质量的影响，解决当前采烤作业群体技术水平差异大、烘烤损失率过高问题，以实时图像数据和烘烤算法为核心要素，将现代信息技术与烘烤技术深度融合，模拟、延伸和拓展人的意识、思维，建立烟叶智能识别算法和烘烤算法，实现烘

烤过程数据自动感知、烟叶状态图像传导、工艺参数自适应调优的全新烟叶烘烤方式。

2. 硬件设施配置

2.1. 可视化监测系统

烟叶烘烤可视化监测系统集成图像采集、视觉判断、参数处理、远程传输和视频显示等技术功能，实时监测和记录烟叶烘烤过程中的烟叶变化状态，并将整个烘烤过程的图像和数据实时记录、保存、上传到控制平台，为烘烤智能决策提供重要依据。该系统设备由工业相机、工业镜头、大功率 LED 光源、专用工业视觉计算机以及专用图像处理、分析软件等组成，并具备远程传输功能，将实时图像和处理结果通过网络传输到远程控制平台，科学准确调整工艺参数，实现远程对烟叶烘烤过程进行监控和管理。

2.2. 温湿度自控系统

烟叶烘烤温湿度自控系统包括传感器、控制器和执行机构等部分。传感器实时监测烤房内的温度和湿度数据，并将这些信息传输给控制器。控制器根据预设的烘烤曲线和实时数据，通过算法计算出最佳的温湿度控制参数，发送指令给执行机构。执行机构则根据指令调整烤房内的加热、通风和排湿等设备，从而实现不同烟叶品种、烘烤阶段和天气条件下的温湿度控制策略，减少人为经验判断误差和失误，确保烟叶烘烤的稳定性和可靠性。

2.3. 新能源烤房

烟叶智能烘烤的前提必须实现烤房内温、湿度的自动控制，通过精准供热、排湿等手段精确控制烟叶烘烤环境。新能源烤房采用生物质、电能、太阳能等新型能源作为热源，配备自动化智能控制传感技术，彻底改变了传统燃煤、木材能热源的热量粗放管理缺点，实现对烘烤过程中温湿度的精确控制。新能源烘烤设备不仅减少了对化石燃料的依赖，降低了碳排放，还实现了烘烤过程的精准控制，降低烘烤成本。

2.4. 智能烘烤手持终端

烟叶智能烘烤手持终端作为一种新型便捷的智能化工具，与控制平台体统连接连通，借助无线通信技术和智能化算法技术，实现远程控制和管理烘烤设备，包括远程启动、停止、调整参数等操作，并实时故障诊断与预警，及时采取应对措施，确保烘烤过程按照预设参数进行，同时，该终端全程记录烘烤详细数据，建立健全详实烘烤工艺数据库，为后续的分析和改进提供数据支撑。烟农与烟叶技术员只需要一部智能手机即可随时监控调整烘烤情况。

3. 图像采集与数据处理

3.1. 不同部位鲜烟成熟度图像采集

镇安烟区主栽品种为云烟 99，搭配种植河洛 1 号、云烟 97、辽烟 19 等 3 个品种；烟叶部位分为上部烟、中部烟、下部烟 3 个部位；鲜烟成熟状态分为未熟，假熟，适熟，过熟 4 个类型，共计 36 个类别。每个类别分别采集不同层次成熟度烟叶图像 100 张左右，共计采集烟叶图像 3600 张左右。所有烟叶图像均采集来源于镇安烟区三年来的本地烟区，覆盖整个烟叶采收过程。不同成熟度的烟叶图像充分涵盖了不同叶片颜色(叶绿素含量)、叶片脉络(主脉支脉状态)、叶片形状等成熟度涉及的各种感官差别，建立图像数据库，通过物联网智能控制仪模块上传至服务器，以供技术系统参数识别。

3.2. 不同烘烤阶段图像样本图像采集

烟叶烘烤阶段样本为烟叶烘烤全过程的烟叶不同状态图像。按照镇安烟区双层四段式烘烤工艺设置，将烟叶烘烤阶段分为 10 个阶段，分别是变黄前期(装烟起始温度~36℃)、变黄中期(36℃~38℃)、变黄中后期(38℃~40℃)、变黄后期(40℃~42℃)、定色前期(42℃~44℃)、定色前中期(46℃~48℃)、定色中期(48℃~50℃)、定色后期(50℃~54℃)、干筋前期(55℃~60℃)、干筋后期(66℃~68℃)。结合 3 类品种、3 个部位类型，共计 90 个类别。每个类别分别采集不同阶段状态烟叶图像 20 张左右，共计采集烟叶图像 1800 张左右。所有烟叶烘烤阶段图像均采集来源于镇安烟区三年来的本地烤房的多次专项烘烤试验，覆盖整个烟叶烘烤过程。不同烘烤阶段烟叶状态图像充分涵盖了叶片颜色、失水程度、卷边程度等不同阶段烟叶烘烤的各种状态差别，建立图像数据库，通过物联网智能控制仪模块上传至服务器，以供技术系统参数识别。

3.3. 特征提取及数据反馈

鲜烟成熟度图像特征提取，利用深度学习神经网络技术和机器视觉技术，系统搭建高光谱信息采集系统获取烟叶的高光谱图像，提取烟叶样本区域光谱，选择具有线性变化规律的光谱参数，建立判别分析模型，精确判别烟叶成熟度。烘烤过程图像特征提取，分别对颜色特征和纹理特征进行变量聚类分析，筛选出与烘烤阶段相关性最强的特征组成特征子集作为模型输入，分别利用 GA-SVM、PSO-BP 神经网络和 ELM 算法建立分类模型进行烟叶烘烤阶段识别，准确率达到 95% 以上。

4. 烘烤工艺算法设计

4.1. 基于山地条件的本地化烟叶烘烤工艺研究

Table 1. Diagram of double-deck, four-stage intensive baking process

表 1. 双层四段式密集烘烤工艺图表

项目	阶段		变黄		变筋		定色		干筋	
	上层	下层	上层	下层	上层	下层	上层	下层	全炉	
观察烟叶棚层	上层	下层	上层	下层	上层	下层	全炉	上层	下层	全炉
干球温度℃	38	40	42	44	46	48	52	54	65~68	
湿球温度℃	37~38	38	36~38	37~38	37~38	38~39	38~39	38~39	41~42	
稳温时间(h)	8~12	16~20	16~20	16~20	12~16	8~10	6~8	6~8	20~24	
升温速(h/℃)	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5-1	1	
风机风速	中低速 25~35 HZ	中低速 25~35 HZ	中速 35~40 HZ	高速 40~45 HZ	高速 40~45 HZ	高速 40~45 HZ	高速 45 HZ	中速 40~35 HZ	低速 35~25 HZ	
烟叶观察目标	叶尖、叶缘变黄，5~6 成黄	黄片青筋，叶片变软	黄片青筋，上棚主脉变软	黄片黄筋，勾尖卷边小卷筒	黄片黄筋，勾尖卷边小卷筒	扫除残存青筋叶片半干	叶片全干，颜色加深，大卷筒	叶片全干，大卷筒	全炉烟筋全干	

不同产区运用的烘烤工艺存在较明显差异，一方面说明烘烤过程工艺管理具有复杂性，受烘烤人员主观认识、生态环境和鲜烟叶素质等主客观条件的综合影响，如烟叶烘烤变黄后期~干筋期湿球温度整体偏低、烘烤中后期环境湿度偏低，就可能造成烘烤过程中烟叶干燥过早，影响颜色和香味物质形成[5] [6]。另一方面也说明进一步加强烘烤工艺基础研究、提高烘烤工艺与特定生态环境匹配度的必要性[7]。基于以上原因，结合镇安山地烟区条件和利于烟叶烤熟烤香的烘烤工艺研究结果，制定形成了“双层四段式”烘烤工艺(如表 1)。

“双层四段式”密集烘烤工艺在传统三段式烘烤工艺的基础上，在变黄期后增加 44℃、46℃上、下棚烟叶凋萎变筋期，解决“扫青”问题；结合密集烤房上、下棚温差、烟叶变化时差较大这一实际，分别设立温湿度控制点及烟叶变化目标，达到烟叶逐层烤黄、烤熟的目的；并且在上、下棚主变黄时段(即 40℃~44℃)分别延长 4 个小时，共延长 12 个小时左右，促进淀粉与蛋白质的分解，增加还原糖与氨基酸香气前体物质的形成。在具体应用中，要求所观察的干、湿球湿度以顶层传感器测定值为依据，烟叶变化情况观察目标与表中所列观察棚次相对应，稳温时间根据烟叶水分及颜色变化特征灵活掌握，烘烤可在两个凋萎期延长时，以促进烟叶干物质转化，减少青筋烟叶。

4.2. 同类产区工艺大数据算法拟合

结合以上研究，形成基于三类算法相对比拟合的科学精准烘烤工艺，即基于温湿度时序数据的烘烤工艺自动分析和曲线拟合算法，按照数据清洗→烘烤曲线起终点识别→烘烤阶段识别→烘烤工艺指标分析→曲线拟合的步骤，实现同类产区海量温湿度数据与双层四段式密集烘烤工艺的拟合修正，自动生成任一部位、炉次烟叶的烘烤曲线和工艺执行指标；基于鲜烟叶图像数据的成熟度智能识别算法，将烟区采集的图片于数据库共享的图片信息相比对，形成对本炉次各棚层烟叶的素质状态的智能判断，据此提出不同烘烤阶段的工艺调整策略；基于“互联网 + 远程视频监控”的烘烤过程图像数据的烟叶状态智能识别算法，通过图像分类筛选、模型训练筛选(Vision Transformer, ViT)、实时参数调优、数据泛化验证过程，完成烘烤工艺的科学拟合、实时智能调整。

4.3. 精准烘烤工艺实时推送

提供不同区域尺度、时间维度下烟叶烘烤工艺执行情况分析、工艺到位率评价和大数据曲线拟合，通过图像 + 辅助信息识别鲜烟素质，匹配烘烤工艺曲线，根据大数据统计分析，对常见知识进行筛选呈现。搭建烘烤过程烟叶状态判断的学习培训平台，实时推送精准烘烤工艺。

5. 智能烘烤手机 App 平台建立

5.1. 实时数据采集与传输

通过耐高温摄像头传感器将影像传递以直观的方式看到烟叶变化程度实时采集烘烤过程中的关键数据，如温度、湿度、烘烤时间等，并通过无线网络将数据传输到云端和控制平台中央系统，随时随地地传送烘烤进度、状态和视频影像。

5.2. 鲜烟成熟度识别与工艺智能推荐

结合图像识别技术，智能烘烤手机 App 平台利用高光谱信息采集系统对烟叶的成熟度进行智能识别，后台中央控制系统自动识别、分析并给出成熟度判断建议，可通过自动选择或手动选择烘烤工艺。

5.3. 远程监控与控制

通过手持终端远程查看烘烤设备的运行状态，包括温度、湿度等参数和烤房内多角度烟叶烘烤状态。

同时，实现远程控制烤房各设备的开关，以及调整烘烤参数，实现烘烤全过程的自动化和智能化监测和控制。

5.4. 数据分析与报告

内置强大的数据存储、处理和分析功能，所有烘烤温度、湿度、工艺执行等信息数据全程存储并上传云端，并实现对采集到的数据进行深度挖掘和分析，以及随时查看历史数据，智能生成烘烤技术报告，并给出专家建议，为系统升级和后期工艺调整提供数据支撑。

5.5. 系统维护与升级

支持并实现在线维护和升级，通过网络链接和云端数据共享，随时将所有新采集数据进行数据库后台更新，并进行软件版本和补丁下载，实现系统始终保持在最佳状态。

6. 应用案例与效益评估

6.1. 应用案例

对镇安烟区 2023 应用智能调制终端试用点的农户烟叶烘烤情况进行了全面调研，结果如下(见表 2):

Table 2. Research table on the fulfillment of the objectives of the tobacco leaf modulation intelligent management terminal construction platform

表 2. 烟叶调制智能管理终端建设平台目标完成情况调研表

烟站	实施地点	杆数	总片数	烤后烟叶主副组比例			
				主组		副组	
				片数	占比%	片数	占比%
永乐烟站	永乐镇孙家砭村	72	7384	6894	93%	490	6.64%
		72	7158	6683	93%	475	6.64%
		72	7408	6849	92%	559	7.55%
		72	7378	6731	91%	647	8.77%
	永乐镇安山村	72	7308	6899	94%	409	5.60%
		72	7386	6987	95%	399	5.40%
	合计	432	44,022	41,043	93%	2979	6.76%

通过对烟叶烘烤情况数据分析可见，经对烘烤控制器、温湿度传感器、耐高温摄像头及网关设施的配套选型应用，基于三类算法的综合 AI 拟合及实时工艺推送，再通过人工远程控制作业和精准烘烤，实现 2023 年烟叶烘烤损失率降低至 6.76%。

6.2. 质量对比评估

通过“物联网 + 人工智能”技术，形成实时最优烘烤工艺方案并及时推送给烟农，解决了传统烘烤模式下烟农靠模糊的认知理念实施烘烤、因烘烤水平差异而造成烤后烟叶质量水平低下问题，全面满足烟农的技术认知需求。同时基于物联网技术的调制终端远程智能控制功能，创建了烟叶智能烘烤管理平台，破解了技术员不能全环节实时指导、烟农采烤环节农事作业繁忙等因素造成烘烤事故频发问题，助力烟农实现一部手机烤出“黄金叶”。

6.3. 经济效益与社会效益

6.3.1. 2023 年项目应用经济效益

将 2023 年应用智能调制管理平台的 6 户烟农与其同村、同条件近邻烟农户的烟叶烘烤损失率及经济效益对比分析，由上表可见：应用智能烘烤 6 户烟农烟叶平均亩产量为 128.5，对照平均亩产量为 125，表明通过平台的应用，实现烟叶烘烤损失率降低后，烤后优质正组烟叶比例明显增加；同时，应用智能烘烤 6 户烟农平均亩产值为 4402.05 元，对照平均亩产值为 4085.71 元，项目实施后实现烟农亩产值增加 316.34 元，实施面积 208 亩，累计实现烟农增收 65798.72 元(见表 3)。

Table 3. Comparison of economic benefits of tobacco modulation intelligent management terminal construction platforms
表 3. 烟叶调制智能管理终端建设平台经济效益对比

类别	地点	户数	面积	总产值	上等比	亩产值	亩产量	均价
处理	永乐镇孙家砭村	4	147	650902.77	88.27	4427.91	132	34.35
	永乐镇安山村	2	61	264723.53	89.06	4339.73	125	33.92
	合计	-	208	915626.3	88.665	4402.05	128.5	34.135
对照	永乐镇孙家砭村	4	154	618108.26	77.3	4013.69	124	32.37
	永乐镇安山村	2	53	227633.94	75.81	4294.98	126	32.54
	合计	-	207	845742.2	76.56	4085.71	125	32.46

6.3.2. 2024 年全面推广应用后经济效益估算

拟在 2024 年在全县新建新能源烤房及已改造的新能源烤房共 466 座中全面应用“智能烘烤管理平台”系统，烤房预计产能 1,200,000 公斤，根据该项目 2023 年推广后烘烤损失率降低情况，预计可实现烟农增收 93.08 万元。

2024 项目实施后的经济效益计算为：

项目实施后经济效益 = (2022 年全县烘烤损失率 - 示范点烘烤损失率) × 全县平均均价 × 2024 年全县烟叶计划收购量 = (9.2% - 6.76%) × 31.79 × 1,200,000 = 2.44% × 31.79 × 1,200,000 = 93.08 万元

7. 总结与展望

7.1. 研究结果

在智能手机上下载安装智能烘烤平台软件，结合镇安烟区相关基础信息、数据，包括不同部位、成熟档次的鲜烟图片识别信息，全县烤房的类型、分布、在用情况等信息以及适于镇安山地烟区的密集烘烤工艺及配套技术信息，按照具体应用功能，分图像 + 辅助信息鲜烟素质模块、基于高清耐高温系统的摄像头智能烤房监测模块、不同区域尺度和时间维度下烟叶烘烤工艺执行情况分析模块、基于智能烘烤手机 App 应用的烘烤技术指导模块、烘烤过程烟叶状态判断学习培训模块五大模块建立智能烘烤管理平台，对烟叶在烘烤中的实时变化监测及对平台里推介的基于 AI 算法的最佳调制策略，可准确做出相关指令，确认运行相关功能，完成在烤烟叶的科学精准烘烤。

7.2. 展望

烟叶调制智能管理终端建设平台在镇安烟区的推广使用，形成了可视化、智能化、远程化、标准化“四化烘烤模式”，通过物联网及烟叶调制智能管理终端的应用，实现全县烤房透明化管理，根据烤房

的分布、烤房使用情况，全面提升烟区烤房的使用率，确保烘烤环节精准调配。同时根据烤房数据统计分析，为烟区烟叶烘烤工艺优化提供更具针对性的方案，实现了在不同时间、空间维度对在烤烟叶的智能监测和科学管控，进一步提升烟叶烘烤质量，改进提升初烤烟叶品质，助力烟农持续增收。

参考文献

- [1] 过伟民, 赵虎, 郑劲民, 等. 基于物联网数据采集技术的河南烟叶烘烤工艺大数据分析[J]. 烟草科技, 2021, 54(9): 11-18, 39.
- [2] 周文亮, 王靖, 范东升, 等. 烟叶烘烤温湿度物联网监控系统设计[J]. 南方农机, 2021, 52(3): 31-33.
- [3] 韦克苏, 涂永高, 王丰, 等. 基于图像识别的烟叶烘烤过程中阶段控温点的判断方法[P]. 中国专利, CN112818827A, 2021-05-18.
- [4] 刘辉, 祖庆学, 王松峰, 等. 不同成熟度对鲜烟素质和烤后烟叶质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(2): 6-71+78.
- [5] 周平, 王松峰, 孙福山, 等. 密集烘烤中各阶段对烟叶常规化学成分和致香物质的贡献率分析[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(5): 73-80.
- [6] 王涛, 吴彪, 刘睿忝, 等. 密集烘烤关键温度点稳温时间对烟叶颜色和色素降解的影响[J]. 作物研究, 2014, 28(4): 388-394.
- [7] 徐秀红, 孙福山, 王永, 等. 我国密集烤房研究应用现状及发展方向探讨[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(4): 54-56, 61.