

引用本文格式 周彦君, 吴建, 林川尧, 等. 我国茶叶加工机械研究现状及发展趋势[J]. 农业工程, 2025, 15(2): 1-8. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202502301. ZHOU Yanjun, WU Jian, LIN Chuanyao, et al. Research status and development trend of tea processing machinery in China[J]. Agricultural Engineering, 2025, 15(2): 1-8.

我国茶叶加工机械研究现状及发展趋势

周彦君, 吴建, 林川尧, 邓佳

(四川省农业机械科学研究院, 四川 成都 610066)

摘要: 在我国茶产业快速发展的今天, 影响茶产业持续快速发展的关键因素在于茶叶加工机械的进步。茶叶加工机械主要包括萎凋、杀青、塑形、发酵和烘干等设备, 分析总结了近年来有关我国茶叶加工机械的科研成果, 综述了我国茶叶加工机械研究现状, 提出茶叶加工机械研制存在创新性不足、茶叶机械茶艺未能有效融合、缺乏与高新技术嫁接等问题, 并指出研发标准化、系统化、连续化、规范化和自动化程度高的茶叶加工机械是我国茶叶机械化生产发展的核心方向, 同时也需加强新兴技术与茶叶加工机械设计相结合, 创造出真正意义上的数字化生产线。

关键词: 茶叶加工机械; 茶产业; 茶叶机械化

中图分类号: S226 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2025)02-0001-08

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202502301

Research status and development trend of tea processing machinery in China

ZHOU Yanjun, WU Jian, LIN Chuanyao, DENG Jia

(Sichuan Academy of Agricultural Machinery Sciences, Chengdu Sichuan 610066, China)

Abstract: Along with tea industry in China has developed rapidly, key factor affecting sustained and rapid development of tea industry is progress of tea processing machinery. Tea processing machinery mainly includes withering equipment, fixation equipment, shaping equipment, fermentation equipment and baking equipment and so on. Scientific research achievements related to China's tea processing machinery in recent years were analyzed and summarized, status of research on tea processing machinery in China was reviewed, and problems of insufficient innovation in tea processing machinery, failing to integrate of tea machine and tea art, and lacking in grafting with high technology were put forward. Research and development of standardized, systematic, continuous, standardized and highly automated tea processing machinery is core direction of China's tea mechanized production development, and also need to strengthen combination of emerging technologies and tea machine design, to create a real sense of digital production line.

Keywords: tea-leaf machinery, tea industry, tea mechanization

0 引言

茶叶中含有丰富的营养物质和功能成分, 其所含茶多酚具有消炎杀菌、调节血脂等保健作用, 随着经济全球化的发展, 茶饮料已逐渐成为国内外广受欢迎的新型饮料, 其良好的风味及口感深得广大消费者的喜爱^[1-2]。茶叶需加工处理之后才能成为茶饮, 茶树种植是基础, 茶叶加工是关键。因此, 茶叶加工对于提高茶叶品质, 最大限度地发挥鲜叶的经济价值具有重要的意义^[3]。本研究重点阐述我国茶叶萎凋、杀青、

塑形、发酵和烘干等加工机械研究现状, 总结目前我国茶叶加工机械存在的主要问题, 并在此基础上展望我国茶叶加工机械未来的发展趋势。

1 茶叶加工工艺

现代茶学根据加工工艺的区别可大致分为绿茶、白茶、黄茶、红茶、黑茶和青茶 6 大基础茶类, 其主要加工工艺如表 1 所示。绿茶为不发酵茶, 轻微萎凋后就进入杀青^[4]; 白茶为轻发酵茶, 在加工工艺上要求不揉不发, 只轻微晾晒(萎凋)过后进行杀青烘

收稿日期: 2024-08-15 修回日期: 2024-10-11

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目(2022YFN0018); 国家现代农业产业技术体系四川省茶叶创新团队茶叶机械化技术团队项目(sccxtd-2024-10)

作者简介: 周彦君, 硕士, 工程师, 主要从事农业机械化研究 E-mail: scnjy_zyj@163.com

邓佳, 通信作者, 硕士, 正高级农艺师, 主要从事农业工程研究 E-mail: 18371004@qq.com

在线投稿
www.d1ae.com

干处理, 然后将其放入密闭桶内进行陈化(微发酵), 以保持白茶原形^[5]; 黄茶也为轻发酵茶, 需进行闷黄处理以满足黄叶黄汁^[6]; 红茶属于全发酵茶, 萎凋和发酵是其关键处理工艺^[7]; 黑茶属于后发酵茶, 发酵过程中有微生物参与, 形成黑茶独特的醇厚滋味^[8]; 青茶属于半发酵茶, 特色工艺为做青, 叶缘碰撞破损形成“绿叶红镶边”^[9]。

表 1 6大基础茶类加工工艺
Tab. 1 Processing technology of six basic teas

茶叶类型	主要加工工艺
绿茶	萎凋→杀青→塑形→干燥
白茶	萎凋→杀青→干燥
黄茶	杀青→塑形→闷黄→干燥
红茶	萎凋→杀青→塑形→发酵→干燥
黑茶	杀青→塑形→发酵→干燥
青茶	萎凋→做青→杀青→塑形→干燥

2 茶叶加工机械研究现状

2.1 萎凋机械

传统萎凋专用机械有萎凋架、萎凋床、萎凋槽等^[5]。王则金等^[6]设计了一款6CLW-10型茶叶连续萎凋机, 试验和生产实践表明, 加大萎凋风量比提高送风温度对于提高萎凋质量更为有效, 为鲜叶萎凋机械化生产设备的研发和改进提供了思路。后续形成的6CLW系列机型也一直被推广应用, 如图1所示。



图 1 6CLW 系列萎凋机
Fig. 1 6CLW withering machine

陈加友^[7]提出一种模块化集成式茶叶加工自动萎凋机, 采用PLC系统控制, 对其各元件进行监控、反馈及调节, 根据生产工艺需要实时调控茶叶加工中的环境温度和相对湿度, 始终保持在适宜的范围, 该机基本能够实现茶叶生产自动化运行、工艺参数精准化执行、生产进程智能化调度, 提高茶叶萎凋的效率和质量。舒庆宁等^[8]研制出一款红茶自动萎凋机, 可实现精准上料、余料回收、自动翻料、数字化控制和萎凋

程度自动识别, 不仅降低萎凋成本, 还提高红茶品质, 试验表明, 利用该机制得的红茶在香气、叶底和总体品质方面均较好。安霆等^[9]通过计算流体动力学(CFD)和响应曲面法(RSM)进行萎凋环境的数值模拟分析, 萎凋品质的影响重要性顺序依次为气路位置>萎凋机层高>空间距, 而当萎凋机层高、空间距、气路位置分别为0.1、0.1和1.496 m时, 红茶萎凋机温度场性能最优。

研究人员在茶叶萎凋机的研究上利用了不同的建模系统来研究优化机械的适宜参数及智能控制, 同时也打破对茶叶生产人员技术经验和熟练度的依赖, 利用模拟分析得出最优方案。机械化生产向智能化方向发展, 不仅实现了茶叶连续萎凋, 同时还能实现自动精准上下料、萎凋数值自动化控制等。但是日常生产中为了控制成本常常采用6CLW系列萎凋机或者萎凋槽等进行萎凋。

2.2 杀青机械

杀青工艺一般紧接在萎凋工艺之后, 在鲜叶失水之后利用高温快速破坏鲜叶中酶的活性, 制止氧化反应, 改变鲜叶内含成分的部分性质, 而且还可进一步通过蒸发水分增加鲜叶韧性, 便于后期塑形处理。目前, 我国茶叶杀青机主要有滚筒杀青机、蒸汽杀青机、微波杀青机、远红外杀青机、热风杀青机和电磁杀青机等, 不同杀青机械技术特点如表2所示, 代表产品如图2所示^[10-11]。滚筒杀青机操作简单, 造价实惠, 得到中小茶厂的广泛应用。蒸汽杀青机利用电力、天然气、煤炭等加热高温蒸汽完成杀青, 穿透力强, 加热均匀, 不易产生焦叶。微波杀青机利用微波照射加热茶叶完成杀青, 加热快, 绿色环保, 但设备造价高。远红外杀青机利用远红外辐射加热, 使茶叶温度迅速提高进行杀青作业, 杀青速度快, 温度易控制。电磁杀青机则是利用高频电场产生交变电磁场, 从而产生高温环境完成杀青, 具有升温快、无污染等优势, 但设备造价高, 仅适用于大型茶企, 不易推广。

随着茶产业的蓬勃发展, 单一传统的杀青机械已越来越无法满足茶叶基础加工。吕浩华^[12]设计了一种汽-热-风耦合滚筒式茶叶杀青机, 基于有限元及离散元耦合仿真计算方法对茶鲜叶杀青过程进行仿真分析, 并对茶叶杀青机样机进行性能验证试验, 试验表明, 采用过热蒸汽、高温热风及热滚筒耦合杀青工艺, 滚筒转速28 r/min, 预测的最佳响应值: 茶多酚含量17.48%、氨基酸含量3.78%, 杀青效果良好。刘世熊等^[13]为解决绿茶杀青过程中茶叶红梗焦叶、含水量偏高及热能利用率低的问题, 设计了一款热能循环式热风滚筒杀青机, 利用Fluent软件对杀青滚筒内风的温度场进行仿真模拟对比分析, 得出设有进风结构更佳

表 2 不同杀青机械比较分析
Tab. 2 Comparative analysis of different fixation equipment

类型	加热方式	优点	缺点	适用情况
滚筒杀青机	电加热、燃气式、热风等加热	成本低、适用能力广、效率高	温度控制难、热能利用率较低	香气优、叶偏黄，适用于对茶质略低的中高端茶叶
蒸汽杀青机	电力、天然气、煤炭等加热	穿透性强、加热均匀、产生焦叶概率低	热能利用率较低，温度控制难，香气物质转化不足	香气较弱，适用于茶多酚含量较高的茶叶，如绿茶等
微波杀青机	微波照射加热	热能利用率高、加热快、绿色环保	设备造价高，杀青过程不利于香气形成	适用于需保绿降苦的辅助杀青，如绿茶等
远红外杀青机	远红外辐射加热	杀青快、均匀、透彻和温度易控制，绿色环保	技术要求高、设备成本高	可消除大多茶叶苦涩味道，适用于烘焙香茶叶，如红茶、黑茶等
热风杀青机	高温热风	快速彻底完成杀青，杀青后含水量低	热能利用率较低，控制较难，容易焦叶	适用于水分较高或者比较耐热的茶叶，如白茶、红茶等
电磁杀青机	电磁场加热	升温快，易控制，无污染	技术要求较高，设备造价高	适用于各类茶叶杀青



(a) 滚筒杀青机



(b) 蒸汽杀青机



(c) 微波杀青机



(d) 热风杀青机



(e) 电磁杀青机



(f) 远红外杀青机

图 2 不同杀青技术设备

Fig. 2 Structure of different fixation technology equipment

的结论，正交试验证明，杀青叶品质较优，样机验证试验结果与软件分析结果一致。

2.3 塑形机械

揉捻和理条都属于茶叶塑形工艺，不同的是揉捻是为了破坏茶叶细胞组织，使茶汁外溢，让茶汁黏附在茶叶表面，有利于茶叶的冲泡^[14]；而理条是为了让茶叶进一步失水、显豪和提香，并不会造成细胞壁的破坏。

2.3.1 揉捻机械

我国对揉捻机的自主研发和制造始于 20 世纪 60 年代，形成了由电机、大小胶带轮、减速器、曲柄、加压臂、揉盘、揉桶、加压手轮和手柄等组成的 6CR 系列盘式揉捻机，开辟了揉捻工艺的机械化进程。6CR 系列盘式揉捻机如图 3 所示，研究人员对其棱骨参数、揉捻桶转速、揉捻盘设计等进行了数据分析和

研究，使揉捻机各性能参数更标准化，揉捻质量更优。李兵等^[15]以 6CR-40 型茶叶揉捻机为研究对象，利用



图 3 6CR 系列盘式揉捻机

Fig. 3 6CR twisting machine

数学建模、离散元仿真 EDEM 对揉捻过程茶叶运动学参数进行量化分析, 运用二次正交旋转试验得出揉桶转速 42 r/min、棱骨高度 10 mm、揉盘倾角 3.8°是揉捻质量最佳的结构参数组合, 解决了揉捻过程中揉捻质量不稳定的问题。

揉捻机研制是为了满足人们对茶叶品质的高要求, 在人口老龄化加剧的背景下, 利用机械代替人工, 提高茶叶揉捻技术自动化、智能化和标准化水平, 是茶叶产业可持续发展的重要支撑。陈永乐^[16]设计了一款茶叶揉捻机自动控制系统, 实现了连续加压及实时显示、揉捻盖及卸料盖自动开闭, 通过 Smith-模糊 PID 控制, 揉捻机在揉捻茶叶时揉捻压力稳定, 达到揉捻工艺自动化操作, 解决揉捻压力的自动连续加压及实时显示问题, 降低人工劳动强度。黄泽界等^[17]设计一种揉捻压力实时动态调节的控制系统, 该系统可将揉捻压力值进行量化, 确保揉捻压力控制的动态调节、实时性和精准控制。杨旭东等^[18]针对茶叶揉捻过程中出现的自动化程度不高、误差偏大等问题, 设计茶叶揉捻环节的上下茶系统, 可以代替人工操作进行全自动上下茶操作, 实现茶叶揉捻环节自动化流水作业。

我国茶叶揉捻机已经实现了连续化, 在压力控制、自动上下料等环节实现了自动化, 但茶叶投入量的自动调控及不同茶叶原料采取不同的揉捻工艺等自动化程度还有待提高。

2.3.2 理条设备

茶叶理条设备是茶叶初加工过程中的重要机械, 按结构和工作原理大致可分为往复式振动理条机、连续式理条机、杀青理条机等, 不同理条机械技术特点

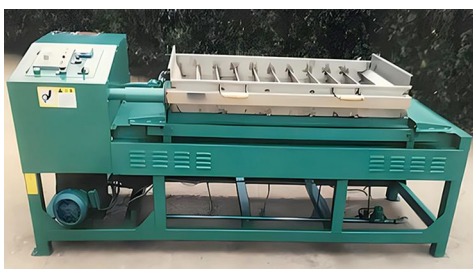
如表 3 所示, 产品如图 4 所示^[19-20]。往复式振动理条机是电机带动传动机构驱动 U 型锅槽作平面往复运动, U 型锅槽下方的热源加热使茶叶升温, 茶叶在 U 型锅槽内产生相对运动, 缓慢塑性变形, 完成理条。王纯贤等^[21]针对往复式振动理条机工作过程中振动和噪声大等问题, 运用 ADAMS 仿真分析对参数优化设计, 得到更优的参数, 为往复式理条机的优化改进设计提供了依据。杀青理条机将待杀青的茶鲜叶投入加热后的 U 型锅槽, 在倾斜的 U 型锅槽左右振动的情况下茶叶会逐渐滑向出茶端, 最终从 U 型锅槽出茶端落下, 完成杀青理条。步坤亭^[22]设计了一款连续式茶叶杀青理条机, 分别建立茶叶在锅槽内滚动、抛撒和碰撞 3 个阶段的动力学模型, 确定影响茶叶成条因素, 应用 Rocky Dem 对茶叶理条过程进行仿真, 得出最佳设计参数, 并通过试验验证设计参数的可靠性与精度, 对提高加工效率、降低碎茶率有重要意义。连续式理条机是茶鲜叶由上叶机构输送到 U 型锅槽内, 在 U 型锅槽内被加热, 茶叶会快速升温失水, 茶叶在 U 型锅槽升降机构和阶梯分段式 U 型锅槽作用下边理条边前进, 最后从整机 U 型锅槽末端排出, 完成连续理条。李兵等^[23]通过建立茶叶在理条过程中的动力学模型, 并利用 EDEM 软件建立茶叶理条仿真模型, 对连续式理条机结构与作业参数进行优化, 以改善连续式理条机的理条作业性能, 克服塑形质量不佳的问题。

各类茶叶理条设备都在不断优化, 茶叶理条的品质主要由加热温度、振动频率、茶叶投入量、理条时间等因素共同决定, 但在理条设备操作过程中对于这些因素的具体数值调节还是依靠制茶经验, 缺乏标准

表 3 不同理条机械比较分析

Tab. 3 Comparative analysis of different stripping equipment

设备类型	作业方式	主要参数	优缺点
往复式振动理条机	间歇式	往复频率 170~240 次/min, 理条叶含水率 $\leq 20\%$, 理条效率 ≥ 6 kg/h; 成条率 $\geq 90.0\%$, 碎茶率 $\leq 3.0\%$	操作简单、成本低、适用性高, 热能利用率低、受热不均、振动大
杀青理条机	间歇式	往复频率 130~150 次/min, 理条叶含水率 $\leq 50\%$, 理条效率 2.0~3.5 kg/h; 成条率 $\geq 85.0\%$, 碎茶率 $\leq 2.5\%$	杀青均匀、有助于降低茶焦味, 热能利用率低、温度不易控制
连续式理条机	连续式	往复频率 80~170 次/min, 理条叶含水率 38%~43%; 成条率 $\geq 92.0\%$, 碎茶率 $\leq 3.0\%$	提高茶叶加工效率和品质, 成本高、技术要求高



(a) 往复式振动理条机



(b) 杀青理条机



(c) 连续式理条机

图 4 不同类型理条机械

Fig. 4 Structure of different stripping equipment

化参考。

2.4 发酵机械

发酵是发酵茶（红茶、黑茶等）加工的关键工序，是指鲜叶在经过萎凋和揉捻之后，细胞失水并发生破裂，在这种情况下，氧气与多酚类等物质和多酚氧化酶充分接触，并发生一系列酶促反应，最后形成茶黄素和茶红素等有色物质，使叶片由暗绿色转变为红亮色，同时引起糖类、蛋白质、氨基酸等品质成分发生变化，最终形成发酵茶特有茶叶品质。

发酵机主要由发酵室、通气系统、加湿系统和加热系统等组成。宋鲁彬等^[24]设计的连续红茶发酵机采用相互独立的发酵室，每个发酵室底内安装有温湿度控制装置，温湿度控制更加精准；同时将每个发酵室底设计为转轴和翻板的组合结构，可使发酵叶在发酵室中翻转，充分进行有氧活动。丘文杰等^[25]设计的采用 PLC+人机交互界面作为控制核心，PID 控制和模糊控制为原理，以发酵温度、发酵湿度、发酵氧气浓度作为反馈信号的箱式茶叶发酵机闭环控制系统，实现茶叶发酵的全机械化和自动化。发酵茶的质量不仅受发酵设备的影响，还与发酵过程温度、湿度和发酵时间等因素有关。刘丽敏等^[26]为优化自行设计的滚筒式红茶发酵机性能参数，利用 EDEM 与 RSM 对影响发酵品质的 3 个关键因素（发酵温度、发酵时间、翻拌间隔）进行优化，对提高茶叶发酵质量具有重要意义。

目前茶叶发酵主要以小型简约的箱体式发酵机和滚筒式发酵机为主，如图 5 所示，以人工操作为主，自动化控温控湿的发酵设备还需进一步研究。

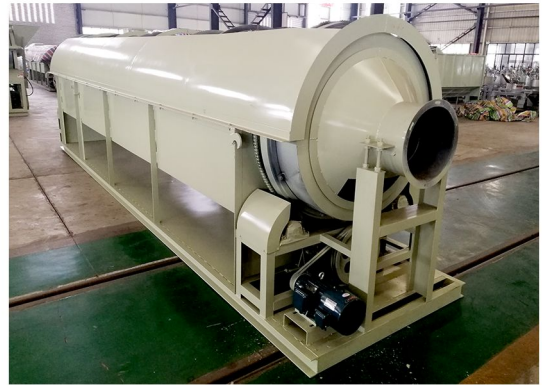
2.5 烘干机械

干燥是茶叶初加工最后一道工序，其目的一是利用高温迅速钝化酶的活性，制止酶促氧化，使发酵的品质固定下来；二是使茶叶水分不断散失，缩紧茶条、固定外形、保持足干，防止霉变；三是散发青草气味，激化并保留芳香物质，获得茶叶特有的香气，增加口感。

茶叶烘干机械主要包括百叶式烘干机、网带式烘干机、链板式烘干机和滚筒式烘干机等，如图 6 所示，其中链板式烘干机应用最为广泛^[27]。目前，单纯的烘干设备已无法满足自动化、低能耗的生产标准，实现烘干机械智能化生产一直都是重要研究方向。乌兰等^[28]提出了一种基于改进粒子群优化算法（IPSO）的温度控制策略，通过对粒子群算法（PSO）进行混沌处理，得出 IPSO，然后通过 IPSO 对模糊 PID 控制器的参数进行优化，从而根据烘干机温度有效控制热风炉排烟量，实现恒温控制的目的。徐文娟^[29]为提高茶叶烘干系统的自动控制，基于集散控制（DCS）技术设计了一种茶叶烘干工艺监控系统，可以实现对烘干工艺的实时监控，并记录历史信息，通过 PID 模糊控制算法



(a) 箱体式发酵机



(b) 滚筒式发酵机

图 5 不同类型发酵机械

Fig. 5 Structure of different fermentation equipment

对烘干工艺参数进行控制，保证了茶叶烘干工艺过程的自动化调节，系统运行稳定，自动化程度高。

3 茶叶加工机械主要问题

茶叶加工机械化是推动茶产业持续快速发展的重要因素，现阶段，一系列加工机械也被投入到日常生产中，基本实现茶叶加工机械化，但我国在茶叶加工机械的研究过程中主要存在 3 方面问题。

(1) 产品标准化、系统化有待提升。产品自主创新能力不足，设备更新换代和实用性差，如萎凋设备，日常生产中为了节约成本依然采用 6CLW 系列萎凋机或者萎凋槽等设备。同时还缺乏茶叶加工连续化研究，目前国内也有一些茶叶连续化生产线，但基本都是直接将多个局部专用设备进行串联，对整体生产线配合考虑较少，生产过程依然需要大量人工协助，与完全连续化、自动化生产还有较大差距，对于单机之间如何有效连接还需进一步研究。

(2) 缺乏茶叶加工标准、茶机茶艺未能有效融合。茶叶初加工机械行业标准的制定和实施起步晚，各地茶叶加工工艺标准不一致，加工机械操作过程中对于具体数值调节还是依靠制茶经验，缺乏标准参考。同时在茶机设计制造和茶叶加工工艺上一直存在争论，到底是“茶艺”优先于“茶机”，还是“茶机”优先于“茶艺”？如塑形设备，许多揉捻、理条设备的研制只为塑形，重点考虑的也是成条率，而忽视了茶叶



图6 不同类型烘干机械

Fig. 6 Structure of different drying equipment

塑形的本质，归根结底是对茶叶品质形成机理研究不透彻，茶机与茶艺的有效融合仍然是茶叶机械化加工必须解决的命题。

(3) 缺乏与高新技术嫁接的研究。大部分研发机构和生产企业都只侧重机械结构的研究设计，缺少对光、电、气等领域高新技术的研究，茶叶加工机械自动化程度较低，如茶叶发酵设备和烘干机械，现有机械仍需人工完成上下料作业，缺乏自动化控温控时系统，智能化自动化程度还有待提高。

4 茶叶加工机械发展建议

只有茶叶机械化技术快速发展，才能适应并推动茶产业的发展，针对当前我国茶叶机械研究现状及茶产业未来发展特点和要求，对茶叶加工机械研究提出3点建议。

(1) 加大设备标准化、系统化研究。加强科学研究力度，提高我国自主产品的创新力，设计制造实用性强、易推广的加工机械。应注重研究茶叶初加工工艺的整体性，在研究加工机械单一功能的同时要考虑其他功能，兼顾个体与整体，向整体茶叶连续化生产线方向转变，加强各机械之间的交互和衔接，以真正地实现茶叶生产连续化。

(2) 加强茶艺基础理论研究和茶机设计机理研究。我国茶叶加工暂时难以达到完全标准化生产，但未来可以利用物联网、云平台等信息技术建立茶叶加工工艺各参数数据库，并通过互联网实现数据共享，加强

茶叶品质与工艺参数的相互性研究，将标准化茶艺技术与茶机设计有效结合，针对不同的工艺研发不同的加工机械，利用新机械探索适合的工艺，由数据的确定性达到生产的可控性，使茶叶产品质量更加稳定。

(3) 加强自动化、智能化、数字化研究。加强对智能控制系统、传感检测技术、模式识别、视觉识别技术、数字图像处理技术、智能专家系统及新材料等先进技术的研究，将高新技术与传统机械相结合，实现生产控制智能化、数字化、作业无人化，降低茶叶生产成本，提升生产效率。

5 结束语

我国是产茶大国，茶叶产量居世界首位，但是茶叶品质是茶产业持续健康发展的关键，在劳动力缺乏和劳动成本不断提高的双重压力下，实现茶叶加工机械化、自动化、智能化迫在眉睫。在科研机构、生产企业、茶农等多方面配合下，加强机械化技术的研究，合理地应用机械化技术，促进茶产业科学可持续绿色发展，保障茶叶品质，提高茶叶经济效益，提升我国茶叶市场竞争力。

参考文献

- [1] 高一聪, 许晨, 林琼, 等. 茶叶生产装备自动化与智能化技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2024, 55(7): 1-14.
GAO Yicong, XU Chen, LIN Qiong, et al. Tea production equipment automation and intelligent technology research progress and pro-

- spects[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(7): 1-14.
- [2] 李清光, 李晓钟, 周惠明. 茶叶品种与产地识别技术研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 341-344.
LI Qingguang, LI Xiaozhong, ZHOU Huiming. Research progress of identification technologies for tea varieties and geographical origins[J]. Food Science, 2011, 32(13): 341-344.
- [3] 辛董董, 李东霄, 张浩. 不同茶类制茶过程中的化学变化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(2): 216-224.
XIN Dongdong, LI Dongxiao, ZHANG Hao. Chemical changes of different kinds of tea with the processing[J]. Food Research and Development, 2020, 41(2): 216-224.
- [4] 任敏, 何春雷, 黄旭, 等. 不发酵茶转轻发酵茶的工艺初探: 以成品绿茶制造黄茶为例[J]. 农业技术与装备, 2019(4): 32-34, 36.
REN Min, HE Chunlei, HUANG Xu, et al. Study on the technology of transforming unfermented tea into light fermented tea: examples of yellow tea made from green tea[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2019(4): 32-34, 36.
- [5] 覃事永, 安霆, 董春旺. 工夫红茶加工装备研究现状[J]. 中国茶叶加工, 2018(4): 43-47.
QIN Shiyong, AN Ting, DONG Chunwang. Research status of processing equipment for Congou black tea[J]. China Tea Processing, 2018(4): 43-47.
- [6] 王则金, 唐良生, 吴秋儿. 6CLW-10型茶叶连续萎凋机的研制[J]. 福建农学院学报, 1993, 22(2): 232-236.
WANG Zejin, TANG Liangsheng, WU Qiuer. Development of model 6CLW-10 continuous tea withering machine[J]. Journal of Fujian Agricultural College, 1993, 22(2): 232-236.
- [7] 陈加友. 茶叶加工自动化萎凋技术的研究[J]. 福建轻纺, 2016(9): 50-54.
- [8] 舒庆宁, 封雯, 陈玉琼, 等. 工夫红茶自动萎凋机研制及其制茶品质分析[J]. 中国茶叶, 2023, 45(3): 30-36.
SHU Qingning, FENG Wen, CHEN Yuqiong, et al. Development of automatic withering machine for Gongfu Black Tea and analysis of its processing quality[J]. China Tea, 2023, 45(3): 30-36.
- [9] 安霆, 江用文, 梁高震, 等. 基于CFD和RSM的红茶萎凋机性能参数优化[J]. 茶叶科学, 2019, 39(5): 547-554.
AN Ting, JIANG Yongwen, LIANG Gaozhen, et al. Optimization of performance parameters of black tea withering machine based on CFD and RSM[J]. Journal of Tea Science, 2019, 39(5): 547-554.
- [10] 王文明, 宋志禹, 陈巧敏, 等. 我国茶叶杀青机研究进展分析[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(2): 86-91.
WANG Wenming, SONG Zhiyu, CHEN Qiaomin, et al. Research progress of tea smashing machine in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(2): 86-91.
- [11] 张尧, 王宇星, 程闯逸, 等. 茶叶杀青机概述[J]. 现代园艺, 2024, 47(13): 189-191.
- [12] 吕浩华. 汽-热-风耦合滚筒式茶叶杀青机的设计与试验研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
LYU Haohua. Design and experimental study of steam-heat-air coupling drum tea fixation machine[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022.
- [13] 刘世雄, 曹成茂, 葛俊, 等. 热能循环式热风滚筒杀青机的设计与仿真[J]. 农机化研究, 2023, 45(10): 107-114.
LIU Shixiong, CAO Chengmao, GE Jun, et al. Design and simulation of heat energy circulating hot air tea cylinder fixation machine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2023, 45(10): 107-114.
- [14] 陈侠, 杨亦扬, 皮杰, 等. 茶叶揉捻工艺技术研究现状和发展趋势[J]. 中国茶叶, 2022, 44(12): 9-15.
CHEN Xia, YANG Yiyang, PI Jie, et al. Research status and development trend of tea rolling technology[J]. China Tea, 2022, 44(12): 9-15.
- [15] 李兵, 李为宁, 柏宣丙, 等. 基于EDEM的茶叶揉捻机参数优化及试验研究[J]. 茶叶科学, 2020, 40(3): 375-385.
LI Bing, LI Weining, BAI Xuanbing, et al. Parameter optimization and experimental study of tea twisting machine based on EDEM[J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(3): 375-385.
- [16] 陈永乐. 基于PLC的茶叶揉捻机自动控制系统设计[D]. 南昌: 江西农业大学, 2021.
CHEN Yongle. Design of automatic control system of tea kneading machine based on PLC[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2021.
- [17] 黄泽界, 牛姣峰, 黄峥, 等. 基于PLC的茶叶揉捻机压力动态调节方法[J]. 农业工程, 2024, 14(4): 36-40.
HUANG Zejie, NIU Jiaofeng, HUANG Zheng, et al. Pressure dynamic adjustment method for tea rolling machine based on PLC[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14(4): 36-40.
- [18] 杨旭东, 曹蕾婷, 周昊, 等. 基于PLC的茶叶揉捻机自动上下茶系统设计[J]. 现代机械, 2017(1): 61-64.
YANG Xudong, CAO Hanting, ZHOU Hao, et al. Design of up-and-down tea system of tea twisting machine based on PLC[J]. Modern Machinery, 2017(1): 61-64.
- [19] 闫建伟, 胡冬军, 刘启合, 等. 茶叶理条技术及机械研究进展[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(2): 75-83.
YAN Jianwei, HU Dongjun, LIU Qihe, et al. Research progress and development trend of tea stripping technology and machinery[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(2): 75-83.
- [20] 程方平, 易文裕, 庾洪章, 等. 茶叶理条机械研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(5): 69-74.
CHENG Fangping, YI Wenyu, TUO Hongzhang, et al. Research status and development trend of tea carding machinery[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(5): 69-74.
- [21] 王纯贤, 魏硕硕, 朱衍飞, 等. 基于ADAMS的往复式茶叶自动理条机参数优化设计[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 450-453.
- [22] 步坤亭. 连续式茶叶杀青理条机设计与试验[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2023.
BU Kunting. Design and experiment of continuous tea leaf fixation and barber machine[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2023.
- [23] 李兵, 方赛弟, 朱勇, 等. 名优茶连续式理条机参数优化设计与试验[J]. 农业工程学报, 2024, 40(10): 276-287.
LI Bing, FANG Saidi, ZHU Yong, et al. Parameter optimization design and experiment of famous tea continuous carding machine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(10): 276-287.
- [24] 宋鲁彬, 贾厚振, 齐自成, 等. 连续式红茶发酵机的设计[J].

- 落叶果树, 2021, 53(1): 62-65.
- [25] 丘文杰, 刘庚强, 黄隆胜, 等. 箱式红茶发酵机控制系统设计[J]. 现代农业装备, 2022, 43(2): 31-36.
QIU Wenjie, LIU Gengqiang, HUANG Longsheng, et al. Design of control system for box type black tea fermenter[J]. Modern Agricultural Equipment, 2022, 43(2): 31-36.
- [26] 刘丽敏, 董春旺, 林淑红, 等. 基于 EDEM 和 RSM 的红茶发酵机参数优化[J]. 茶叶科学, 2023, 43(5): 681-690.
LIU Limin, DONG Chunwang, LIN Shuhong, et al. Parameter optimization of black tea fermentation machine based on EDEM and RSM[J]. Journal of Tea Science, 2023, 43(5): 681-690.
- [27] 闫建伟, 刘启合, 魏松, 等. 茶叶烘干装备技术现状及发展趋势分析[J]. 农业装备与车辆工程, 2022, 60(10): 12-17.
YAN Jianwei, LIU Qihe, WEI Song, et al. Analysis on present situation and development trend of tea drying equipment technology[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2022, 60(10): 12-17.
- [28] 乌兰, 刘雅荣. 基于改进粒子群优化 IPSO 算法的茶叶烘干机温度控制策略[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 91-94.
WU Lan, LIU Yarong. A strategy of temperature control in tea dryer based on improved particle swarm optimization (IPSO)[J]. Food & Machinery, 2018, 34(10): 91-94.
- [29] 徐文娟. 基于 DCS 的茶叶烘干机工艺监控研究[J]. 农机化研究, 2020(10): 239-242.
XU Wenjuan. Research of monitoring system on tea drying process based on DCS[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020(10): 239-242.