

夏长杖, 冉乾松, 杨天根, 等. 黄茶闷黄工艺影响因子及品质评价技术研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(2): 247-256.

XIA Changyi, RAN Qiansong, YANG Tiangen, et al. Research progress on influencing factors and quality evaluation techniques of yellow tea smothering process[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(2): 247-256.

黄茶闷黄工艺影响因子及品质评价技术研究进展

夏长杖¹, 冉乾松², 杨天根³, 翟精武¹, 刘亚兵⁴

(1. 安顺学院, 贵州 安顺 561000; 2. 贵州农业职业学院, 贵阳 551400; 3. 西秀区农业农村局, 贵州 安顺 561000;
4. 贵州省茶叶研究所, 贵阳 550006)

摘要: 黄茶是我国主要的消费茶类之一。黄茶加工步骤为萎凋、闷黄和干燥, 其中闷黄是黄茶品质特征形成的关键环节, 快速准确对黄茶闷黄度作出判别, 对于黄茶加工至关重要。黄茶闷黄工艺影响因子及品质评价技术研究是认识影响因子、品质评价技术与闷黄质量关系的前提。然而, 黄茶闷黄体系受自身复杂性和不可直接测定性的限制, 目前闷黄品质评价技术普遍存在精确度低、重复性差和操作复杂等问题。综述已有文献表明, 温度、含水率、时间及闷黄过程中微生物等环境因素均会影响黄茶品质特征化合物的形成, 从而影响其品质。目前常用的品质评价技术主要包括人工感官、成分检测及智能仿生技术。人工感官易受主观因素影响; 成分检测专业性强、操作难度大、前处理复杂; 智能仿生技术具有简单、快速、无损等特点, 可检测黄茶闷黄适度快速高效评价。通过回顾近年来针对黄茶闷黄影响因子及3种主要评价技术研究进展, 重点关注闷黄影响因子与黄茶品质成分之间的关联性, 以及智能仿生技术的发展趋势, 以期为黄茶标准化和数字化加工提供支持。

关键词: 黄茶; 闷黄; 人工感官; 成分检测; 模式识别; 智能仿生技术

中图分类号: TS272.5

文章编号: 1000-1700(2024)02-0247-10

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on Influencing Factors and Quality Evaluation Techniques of Yellow Tea Smothering Process

XIA Changyi¹, RAN Qiansong², YANG Tiangen³, ZHAI Jingwu¹, LIU Yabing⁴

(1. Anshun College, Anshun Guizhou 561000, China; 2. Guizhou Vocational College of Agriculture, Guiyang 551400, China;

3. Agriculture and Rural Bureau of Xixiu District, Anshun Guizhou 561000, China; 4. Guizhou Tea Research Institute, Guiyang 550006, China)

Abstract: Yellow tea is one of the main consumption teas in China. The processing steps of yellow tea are wilting, dull yellow and drying, among which dull yellow is the key link to form the quality characteristics of yellow tea. It is very important to identify the dull yellow degree of yellow tea quickly and accurately. The research on the influence factors and quality evaluation technology of yellow tea smothering process is the premise of understanding the relationship between the influence factors, quality evaluation technology and quality of yellow tea smothering. However, the dull yellow system of yellow tea is limited by its complexity and indirectly determinability. At present, the dull yellow quality evaluation technology has many problems, such as low accuracy, poor repeatability and complicated operation. The key and difficult points of technical acquisition and quantification of dull yellow impact factors and quality evaluation are discussed. The existing literature shows that environmental factors such as temperature, moisture content, time and microorganisms during the dull yellow process can affect the formation of quality characteristic compounds of yellow tea, and thus affect its quality.

收稿日期: 2024-01-05

基金项目: 安顺学院2023年度校级项目博士基金专项项目(asxybsjj202309); 贵州省科技厅科技计划项目(黔科合支撑[2022]一般144)

第一作者: 夏长杖(1991-), 男, 博士, 讲师, 从事茶文化、茶科学相关研究, E-mail: 422717814@qq.com

At present, the commonly used quality evaluation techniques mainly include artificial senses, component detection and intelligent bionic technology, which are the main evaluation techniques for evaluating the dull yellow tea. Artificial senses are easily affected by subjective factors; the component detection is highly professional, difficult to operate, and complex before processing. The intelligent bionic technology has the characteristics of simple, rapid and non-destructive, and can detect the moderate, rapid and efficient evaluation of yellow tea dull yellow. In this paper, we reviewed the research progress of yellow tea sultry yellow influence factors and three main evaluation techniques in recent years, focusing on the correlation between sultry yellow influence factors and yellow tea quality components and the development trend of intelligent bionic technology. Provide support for standardization and digital processing of yellow tea.

Key words: yellow tea; sealed yellowing; component detection; pattern recognition; intelligent bionic technology

黄茶属于轻发酵茶,是中国传统六大类茶叶之一^[1]。其加工步骤主要包括萎凋、闷黄和干燥,其中闷黄是黄茶关键加工工序。闷黄过程主要是指在高温高湿条件下茶叶的热化学作用^[2]。在这一过程中,湿热作用和外源酶的结合极大地改变了茶叶的化学成分,如咖啡碱、儿茶素、氨基酸和可溶性糖^[3-4],以及黄茶中与香气相关的化学成分,如醇类、醛类、碳氢化合物、酮类和醚类^[4],导致黄茶与绿茶相比口感更甜、更醇厚^[5],色泽更加深^[6]。而含水率、温度、时间和通风频率是影响闷黄过程中化学转化的关键因素^[7],然而这些影响因子与黄茶品质成分含量及其感官品质质量之间并没有起到一一对应关系,以及黄茶闷黄质量快速、科学、准确把控仍存在不足。因此,精确控制闷黄条件十分必要。

近年来,闷黄程度判别主要利用人工感官、成分检测评价方式。人工感官评价是黄茶闷黄程度判别常用方法。制茶师通过闷黄叶外观色泽和香气做出判断。这种评估方法具有经验性、主观性强,不同制茶师所制茶叶品质差异明显,很难达到品质统一,由于不同茶叶因品质成分种类、含量及比例不同而茶叶品质呈现差异。与传统人工感官相比,化学检测设备能获得客观准确的关键成分结果,如顶空固相微萃取、气相色谱-质谱联用气相色谱法和高效液相色谱法等设备。然而,它们是昂贵的、专业的、复杂的并且耗时,不能满足实际生产需要。而智能感官技术能识别和响应闷黄过程中复杂、不确定问题^[8],可以对黄茶闷黄过程中色、香、味等进行客观反映,能为黄茶闷黄及品质变化过程提供科学依据。

智能感官技术强调对人等生物智能行为模仿^[8],已广泛应用于农业,尤其是茶叶加工^[9-10]。对于黄茶闷黄的一些仿生技术,如红外光谱^[11]、机器视觉^[12]和人工嗅觉系统^[13]已用于评估黄茶闷黄质量。利用仿生技术能有效提高工作效率,降低成本。因此,精准对黄茶闷黄色泽、香气、滋味及关键品质成分指标检测或监测是精确评价闷黄质量控制品质的关键^[14]。此外,仿生技术对黄茶闷黄过程中各种复杂性和不确定因素提供合适解决途径。本文就黄茶闷黄影响因子、微生物作用与黄茶品质的关联性,人工感官评审技术、光谱技术、智能感官技术等评价技术在黄茶闷黄过程中研究进展及未来发展趋势进行综述,以期为黄茶生产加工提供理论基础。

1 闷黄工艺影响因子

黄茶闷黄实质是茶叶的湿热反应。闷黄结果好坏取决于闷黄时温度、通氧量、含水率、时间及微生物等的控制精度。近几年,很多学者对环境因子对黄茶闷黄品质的影响进行了研究。

1.1 温度

黄茶在闷黄过程中随着温度上升,以形成高温高湿热条件,此条件下叶绿素因热化而发生大量的氧化降解,使得叶绿素a和叶绿素b破坏率增加,以促进黄茶黄叶黄汤品质的形成。卫聿铭^[15]研究表明,在40℃和60℃闷黄条件下汤色由黄绿明亮转变为黄亮;而20℃下汤色仍以绿色为主;范方媛等^[7]也表明在低温条件下,黄茶外形色泽和叶底色泽均偏嫩绿,在相对低温(40~45℃)条件下闷黄,干茶呈现嫩黄。当闷黄温度超过50℃时,干茶色泽为暗褐色,颜色深黄,叶底偏暗。说明在一定范围内随着温度升高叶绿素降解速率加快,含量越低。同时,酯型儿茶素在较高温度条件下加速水解和异构,进而导致儿茶素总量降低^[16],特别是酯型儿茶素EGCG和ECG随温度越高降解越快,有利于降低黄茶苦涩度,提高黄茶品质,而非酯型儿茶素(C、GC、EC、EGC)的含量则相反^[17]。然而可溶性糖、氨基酸等品

质成分在较高温度条件下加速降解使其含量降低^[18]。不同品质成分在不同闷黄温度条件下积累量不同。游离氨基酸在20℃闷黄条件下表现高积累,说明低温闷黄有助于黄茶茶汤鲜爽度的提升;可溶性糖则在40℃闷黄条件下高积累,说明在该温度下闷黄可以明显改善茶汤苦涩味,提升甜感。

温度通过影响黄茶闷黄过程中化学反应速率,调控品质成分积累量,进而调控黄茶品质,而过高或过低的温度均不利黄茶品质特征形成。温度过高,湿热作用加快,叶绿素降解、多酚类被氧化,氨基酸、糖类化合物降解量过快过多,导致成品茶色泽加深,滋味淡薄;温度过低,相应化学反应不充分,成品茶品质特征接近绿茶。相对高温则有利于多酚类和酯型儿茶素水解、氧化或异构化,使简单儿茶素、氨基酸、可溶性糖等滋味物质得以高积累,为高品质黄茶奠定物质基础。因此,黄茶闷黄温度控制在20~40℃为宜。

1.2 通氧量

黄茶在闷黄过程中所发生的湿热作用需要氧气的参与。一般情况下,提高闷黄体系氧气含量有利于黄茶品质特征的形成,能够加快黄茶闷黄的速度。研究表明,在通氧通气条件下闷黄,有利于促进酯型儿茶素、蛋白质和多糖类发生水解反应,生成非酯型儿茶素及小分子糖和氨基酸,奠定了其感官品质形成的物质基础。周森杰^[19]研究表明,通氧通气有利于黄茶形成“甜纯浓爽”的滋味风格特点,但其形成的爽度、甜润度、活泼度、通透性均比通空气的差,而在通氮气条件下闷黄,茶叶品质更接近绿茶品质特征。此外,此过程中可促进黄茶闷黄过程中类胡萝卜素、氨基酸、脂质等香气前体物质的氧化、降解、美拉德反应等,促进橙花醇、香叶醇等香气物质的形成,从而影响黄茶的特征香气。纵榜正^[20]也有类似研究结果。在味道方面,通氧通气黄茶的甜爽风味更显。通氮气的黄茶接近绿茶鲜爽的品质风格。在色泽方面,通氧通气的茶叶色泽变化比通氮气变化速度更快,但提高通气频率反而会降低闷黄效果,使茶叶中茶氨酸、EC、GA等物质含量降低,咖啡碱、酯型儿茶素等含量相对提高^[7]。因此,闷黄过程中常采取匀堆、翻堆以保证茶堆通风通气。同时,适当翻堆控制堆温,确保闷黄处于相对稳定的环境条件,从而保证黄茶优良品质的形成。

1.3 含水率

闷黄含水率也是影响黄茶闷黄湿热作用主要影响因子之一。根据闷黄时间先后顺序分为湿坯闷黄和干坯闷黄。湿坯闷黄通常在杀青或揉捻之后进行,含水率通常超过50%,闷黄时间相对较短;干坯闷黄在初烘之后进行,进行的堆闷闷黄,因含水率低,变化缓慢闷黄时间长^[21]。闷堆含水率越高,叶绿素a、EGCG和ECG等品质成分的降解速率剧烈,茶叶发生黄变速率越快^[17]。根据刘晓^[22]的研究,当闷堆的含水量超过60%时,黄变速度会变得最快,但同时也会带来一股水闷味;当含水量在20%左右时,黄变的速度会大大减缓,从而影响到黄茶的加工效率;当含水率在40%左右时,制作的黄茶品质最佳,口感最甜。同样,FAN等^[16]也发现在较高含水率[(50±2)%]闷黄所制黄茶香气和滋味易出现熟闷感;而相对较低含水率[(37±3)%]闷黄所制黄茶香气高爽馥郁、滋味甜醇度。雷玉萍等^[23]同样也发现闷黄叶含水率在32.65%时,闷黄所制黄茶品质最优。综上所述,闷黄叶含水率为30%~40%时,闷黄可制得相对较高品质的黄茶,说明水分含量对于黄茶闷黄过程中内在成分的转化有着重要的作用,其决定了黄茶色泽和香气品质。因此,闷黄过程有必要维持闷黄叶含水率相对稳定,以促进湿热反应的进行,且含水率控制在30%~40%。

1.4 时间

黄茶独特品质源于其加工过程中叶绿素的水解。一是这种水解反应产生植醇、叶绿酸等有机物。二是由于叶绿素的脱镁反应,导致其含量大幅度降低。这是黄茶呈现黄色的主要原因。三是多酚类经酶促氧化反应转化形成茶黄素、茶红素及茶褐素等色素物质^[24-25]。随着闷黄程度的进行,茶红素和茶褐素的增幅会越来越大,适度的闷黄形成的茶色素为黄茶干茶、汤色及叶底色泽打下物质基础^[24]。因此,闷黄时间的控制对于茶色素和叶绿素降解非常重要。闷黄时间较短,叶绿素降解程度不足及茶色素物质形成量较少,导致颜色偏绿,口感更像绿茶^[26];闷黄时间过长易造成茶多酚过度氧化聚合,形成较多茶褐素等高聚物,叶绿素降解过度,颜色偏深,口感不佳^[27]。有研究发现,叶底从闷黄4h开始由绿黄变为黄较亮;在12~18h能达到较好的黄褐色,但24h后逐渐变为红棕色^[6,28]。为了能准确判别闷黄程度与色泽的关联性,岳翠男等^[29]通过构效关系,利用成分间的关联性,构建了干茶色泽与汤色

综合色泽评价模型,构建出色泽评价模型: $Y=0.671PC1+0.218PC2+0.111PC3$ 。闷黄时间除了对色泽有影响外,还能为黄茶带来更好的感官体验。适度闷黄有助于甘甜口感的非酯型儿茶素、鲜甜口感的小分子糖和氨基酸、水浸出物等化合物生成,使酯型儿茶素和黄酮苷等多酚类化合物含量降低,提高黄茶品质^[30],说明闷黄过度亦会导致小分子物质损耗,影响茶的味道。在香气方面,黄茶在闷黄过程中的香气形成途径主要有:类胡萝卜素发生氧化降解生成紫罗酮类香气化合物;糖苷类化合物水解释放一部分香气物质;氨基酸发生水解、缩合、脱羧和氧化反应;糖与氨基酸进一步产生美拉德反应等。这些均为黄茶香味品质的形成奠定物质基础^[31]。夏红玲等^[32]也有类似研究结果,发现黄茶闷黄多以热裂解反应途径形成香气物质,而酶促反应途径生成的香气物质较少。DONG等^[31]也发现香叶醇、芳樟醇、苯乙醛、氧化芳樟醇和顺-3-己醇等醇类及3-甲基丁酸、正癸酸、呋喃醇、2-乙氧基丙烷等具有甜熟果味的挥发物含量随闷黄时间延长而逐渐增加。GUO等^[33]推测茶氨酸与葡萄糖反应形成1-乙基吡咯,以及茶氨酸在加工过程中形成N-乙基甲酰胺和N-乙基乙酰胺,是黄大茶香气形成的重要组成部分。适宜闷黄时间有助于黄茶特异性香气形成。

1.5 微生物

湿热作用被认为是黄茶闷黄过程中促进品质形成的主导因素。鲜叶经高温杀青后,多酚氧化酶和过氧化物酶的活性都会显著降低。随着闷黄工序的进行,黄茶闷黄过程中的物理化学条件为微生物的生长创造了有利的环境,能显著增加闷黄过程中呼吸所需相关酶。例如,黑曲霉、酵母菌及细菌等微生物大量孳生,且数量变化规律不同。随着时间的延长,黑曲霉、酵母菌的数量会呈现出增长态势,而细菌的数量则会出现下降。一般在闷黄2 h到达峰值^[34]。但杨涵雨^[35]研究表明,闷黄10 h后细菌快速增加,而黑曲霉菌和酵母菌增长速度最快,此过程中多酚氧化酶、过氧化物酶及过氧化氢酶的活力均有所提升,其中多酚氧化酶的活力随着黑曲霉菌的数量上升也有所改善。经过闷黄处理,酶的活力显著提高原因,是由于微生物通过繁衍后生成的胞外酶,如蔗糖酶、脂肪酶等。

在黄茶闷黄过程中,微生物群发挥着多种功能,改变氨基酸、碳水化合物、核苷酸和脂肪酸的运输和代谢、辅酶的运输和新陈代谢,以及次级代谢产物的生物合成、运输和分解^[36-37],因而微生物的变化可以改变黄茶闷黄中多酚类和多糖类化合物的分布,导致代谢产物含量的进一步变化,从而影响黄茶的酚类化合物^[38]。刘晓慧^[39]在接种酵母菌对黄茶品质的影响的研究中表明,酵母菌对黄茶的外观、香气和口感都有重要影响。特别在香气方面,接种酵母菌的黄茶产生了特殊香气物质。然而,杨涵雨^[35]发现,传统闷黄条件下茶叶中微生物含量要远高于无菌闷黄,但两种闷黄方式对茶叶品质属性及整体品质差异不明显,说明微生物在黄茶闷黄过程中的作用并不显著。目前,关于黄茶加工中微生物的研究甚少,而微生物对黄茶品质贡献的大小及其作用机理也尚不清楚。

综上所述,闷黄环境因子通过改变黄茶主要品质成分组成、含量及比例进而影响黄茶品质特征。目前,关于黄茶闷黄工艺的研究主要集中在不同闷黄条件下形成的黄茶品质特点与感官品质、相关理化成分及香气物质之间的联系,进而探讨闷黄对黄茶品质的形成机理。然而,闷黄对黄茶品质的影响是复杂的,且黄茶闷黄次数较多,时间较长,特别是在长时间闷黄过程中由于微生物的参与,给黄茶闷黄质量评估带来很大难度。而当前黄茶加工方式依然以传统生产为主,任以制茶师凭借多年经验总结加以判断。由于目前尚未实现智能化生产,因此很难准确控制闷黄条件。虽然目前对闷黄过程中品质成分形成有一定研究,但还未进行该过程中环境因子与品质成分形成间关联性分析,仍需结合当前在黄茶生产过程中对环境因素的具体要求,利用现代智能感官评价技术和数据融合技术来对闷黄过程中的温度、含水率、时间等信息进行采集和优化。通过机器学习算法结合构效关系进一步对影响因子与品质成分间建立评价模型,从而对黄茶闷黄环境因子进行调整。

2 品质评价技术

传统感官审评和成分检测方法是目前常用的品质评价技术。目前已经有相对成熟、完整的工序。而黄茶闷黄工艺体系较复杂,目前无法准确、快速获取客观数据。随着仿生技术的发展,许多科技问题的解决需融合多学科领域知识^[40-42],在一定程度上弥补感官审评因主观性强、成分检测前处理复杂等不足^[43-44]。因此,研究者将智能仿生技术应用于黄茶闷黄工艺研究,进一步发展了黄茶闷黄过程中

品质化学研究,对黄茶闷黄体系在线监控起着至关重要的作用。

2.1 感官评价

黄茶闷黄工艺受多种因素影响。精准评判黄茶闷黄质量是生产高品质黄茶的关键。目前主要通过制茶师凭借多年经验观察闷黄叶色泽、香气等品质指标加以判断。人工感官评价容易受到环境、经验、主观等因素的影响,使得闷黄的品质变得不稳定,有时会出现轻微的偏差,甚至会出现闷黄过度,从而导致最终的产品风味不统一,也无法预知成品茶的风味特征。

行业专家主要依据国家标准对成品茶样进行感官审评。目前感官评价已被全球公认为一种有效的茶叶品质鉴定方法^[45]。研究者根据成品黄茶呈现的感官体验,反作用推测黄茶闷黄适度的判别。WEI等^[5]通过所制黄茶感官评价分数高低来判别闷黄最佳次数及含水率。然而此方式过于单一。由于参与评价人员数量有限,无法得到相对准确的结果。同时感官审评术语过于笼统,因此,王治会等^[46]在增加评价人员的同时细化感官术语,采用定量描述分析法结合消费者接受性分析方法,构建消费者接受性评价模型试图克服此方法缺陷,构建了 $Y=0.57y_1+0.28y_2+0.15y_3$ 模型。此模型能较好反映消费者所能接受的最佳品质特性。而茶汤味道主要由多酚类、氨基酸和糖类等成分通过综合配比形成^[47],进一步对主要味道化学成分和味道分属性相结合对于黄茶的消费者接受性进行了研究,建立了基于主要味道化学成分的黄茶消费者接受性预测模型^[48-49]。该模型能较精准预测消费者所喜爱的茶叶品质特征,进而根据消费者导向制定相应加工方式。以上研究皆是通过成品茶样感官审评结果指导实际生产,然而黄茶加工过程不仅是闷黄,其他环节同样影响最终成品茶样品质,此方法存在一定局限性。WEI等^[6]研究发现,在黄化的前18 h茶叶颜色明显变黄;24 h后,茶的颜色变成了红棕色,失去了光泽。说明黄茶闷黄适宜时间为18~24 h。传统上,人们通常依靠经验和感官判断来确定闷黄的程度。这种方法存在主观性和不确定性的问题。因此,寻找一种客观、准确的方法来监测和指示黄茶的闷黄程度具有重要意义。

2.2 化学成分检测技术

黄茶闷黄过程中叶象发生显著变化。叶色依次由绿色到黄色的过程在制茶学上定义为黄变。从茶叶生物化学角度来看,这种现象是茶叶在变黄过程中,由于加热和微生物作用(类似于堆发酵黑茶),叶绿素和多酚类在高温高湿条件下,叶绿素降解为脱镁叶绿素,多酚类通过非酶促氧化、异构化及热裂解作用,产生醌类等物质^[1],产生一系列差异代谢物。代谢物直接决定了茶叶的色、香、味。近年来研究者利用代谢组学揭示了茶叶中代谢物变化^[51]。例如,茶叶产地判别^[51]、生长环境对茶树代谢物的影响^[52]、茶叶在加工过程中的品质变化^[53],以及成品茶在存放过程中的品质变化规律^[54]等。由于茶叶中代谢物种类繁多,且许多代谢物的代谢机制尚不明确,代谢组学研究需要高通量、高灵敏度且稳定性好的检测仪器。随着高分辨率质谱仪的问世,越来越多的研究者选择采用高效液相色谱(HPLC)^[55]、超高效液相色谱(UPLC)^[7]、顶空固相微萃取(HS-SPME)^[56]、气相色谱-质谱联用(GC-MS)^[57]等高灵敏度、高准确度、高数据量的复杂仪器。这些技术相较于感官审评检测结果更加客观、准确。WEI等^[6]利用UPLC在黄茶不同时间闷黄过程中研究非挥发性代谢物规律,发现大部分氨基酸随闷黄时间持续含量降低,但控制在18 h以内则有助于大多数氨基酸的合成;而当延长到24 h以上时,甜菜碱、胡椒果酸及其他氨基酸衍生物的数量会出现明显的增加。因此,延长闷黄时间可能不利于氨基酸的积累。随着黄变持续时间的增加,二氢山柰酚、杨梅素3-o-没食子酰基己糖苷和芳香腺嘌呤水平显著降低。而黄化24 h后,酪氨酸酶B开始出现,其水平持续升高。说明该方法能有效预测闷黄过程中品质成分含量变化趋势。然而,茶叶组分数据的获取过程十分繁琐,耗时长,而且容易影响检测结果的准确性。同时,理化检测仅能揭示茶叶中各种成分的含量,而茶叶品质是茶叶内所有成分相互配合、彼此协调的综合反映,不能通过某种单一成分量化来表达^[58]。且由于检测仪器成本高,数据分析模型匮乏,难以实现快速检测。这就需要进一步开发硬件设施和分析模型来促进它们在黄茶闷黄过程中实时无损评估中的应用。

2.3 智能仿生技术

人工感官的准确度取决于相关专业的专业敏锐度,并且受各种人为因素(如个体差异、长时间暴露、疲劳和多变的精神状态导致的敏感性降低)而受到不一致和不可预测性的影响。利用人类感官系

统构建的智能感官技术,可以实现自动化的仿生检测,从而提供准确、全面的反馈信息。这种方法具有快速检测、易于操作和高精度的优点。通过使用传感器,智能仿生系统可以检测待测样本中的特征物质信息,并向其发出一个反馈信号。数据处理单元则是通过外部刺激模拟大脑神经系统的复杂维度,并将处理结果传输到模式识别系统。模式识别系统区分不同的测量样本^[59]。目前,应用于黄茶闷黄质量检测主要有技术列于表1。

表1 智能感官技术在黄茶闷黄过程中应用的优缺点

Table 1 Advantages and disadvantages of the application of intelligent sensory technology in the process of yellow tea smothering process

常见传感器 Common sensors	优点 Advantage	局限性 Limitation	主要应用 Main application	参考文献 References
电子眼 Electronic eye	清晰度高,可获得连续多维图像序列 High resolution, continuous multi-dimensional image sequences can be obtained	对环境光线要求较高 High requirements for ambient light	闷黄叶色泽、形态,闷黄过程精度控制 Color, shape and precision control of dull yellow leaves	[6]
色差技术 Color difference technique	操作简单、快捷、成本低、准确度和精密度高、重复性较好 Simple operation, fast, low cost, high accuracy and precision, good repeatability	对环境光线要求较高 High requirements for ambient light	闷黄叶色泽、色素指标以及成品茶样品品质进行检测 The color and pigment indexes of dull yellow leaves and the quality of finished tea samples were tested	[60]
电子舌 Electronic tongue	检测速度快、灵敏度高,阈值低 The detection speed is fast, the sensitivity is high, the threshold is low	传感器寿命较短、参比溶液受样品影响,不同实验室不同型号电子舌设备数据不能合并分析 The sensor life is short, the reference solution is affected by the sample, and the data of different types of electronic tongue equipment in different laboratories cannot be combined for analysis	对基本味觉进行分类识别、样品分类识别、闷黄过程在线控制 Classification and identification of basic taste, sample classification and online control of dull yellow process were carried out	[6]
电化学技术 Electrochemical technique	快速、灵敏、无损、低成本 Fast, sensitive, non-destructive, low cost	易受溶液pH及溶液电解质特性影响 It is easily affected by the pH of the solution and the electrolyte characteristics of the solution	检测水分、碳水化合物、灰分和蛋白质 Moisture, carbohydrate, ash and protein are measured	[61-62]

2.3.1 计算机视觉系统 颜色作为理解图像和描述物体的关键参数,在食品质量评估和食品加工的实时监控等领域至关重要。黄茶闷黄过程中颜色会发生明显变化,且随着闷黄的深入,颜色差异逐渐减小,从而使得感官评价变得更加困难,表明人工感官在精确度和可重复性方面有明显的局限性。而利用先进的机器视觉技术,可以从大量的样本图像中提取出黄茶叶的色彩特征,并将其精确地表征出来^[63-64]。近些年研究出采用色差法、电子眼等技术对闷黄适度进行判断。王璟等^[60]通过构效关系,建立色泽指标与外观色泽评分之间的关系函数。建立了 P_s 值-外观色泽评分的二次拟合模型,模型准确率为98.9%。该色差评价方法,可为黄茶色泽研究提供一定的理论依据。

机器视觉是一种基于视觉感知的技术,能够从多种图像中提取出有价值的信息,并将其转换为可操作的数据。电子眼通过数字检测和分析来监测和评估图像信息。该技术从数字图像的选定区域提取定量的颜色信息,并通过图像处理有效地处理非均匀形状和颜色^[65]。WEI等^[6]利用相机将闷黄过程中茶叶转为图像,然后将这些茶叶图像在计算机上处理,测量 L 、 a 、 b 参数。随着黄变时间的延长,在前12 h和18 h,叶片亮度(L)和黄值(b)呈增加趋势。其中 L 从17.03(0 h)增加到20.84(12 h), b 从14.80(0 h)增加到19.95(18 h)。然而,在黄变24 h后,茶叶的 L 和 b 开始急剧下降,最终在48 h后分别降至6.68和3.87。叶片绿值(a)在整个黄变过程中下降,表明在黄化的前18 h有利于黄茶颜色的形成。而24 h后,茶变成了红棕色,失去了光泽。说明了电子眼技术可以对闷黄过程中茶叶色泽进行全面、准确和非接

触的测量,以此来判别黄茶闷黄程度^[66-67]。电子眼能够更清晰地看到黄茶闷黄的不同时间段颜色的变化,并能够实时监控黄茶闷黄的整个过程,从而更加精准地掌控黄茶闷黄状态。但黄茶闷黄是在一定温度高湿环境下进行,容易形成水蒸气,给实时采集闷黄叶图像带来不利影响。

2.3.2 电化学技术 通过研究黄茶闷黄体系中介电常数、电容、电阻、电抗、损耗因子和阻抗等物理和力学参量^[68],可以迅速、精确地检测出它们与品质成分含量间的关系。电特性已经广泛应用于食品工业,如谷物中水分测量^[69]、果实成熟度测定^[70],以及肉类和海鲜新鲜度检查^[71]等方面。这些研究说明水分、碳水化合物、灰分和蛋白质等在内食物成分可以通过电信号有效地呈现出来。黄茶在闷黄过程中细胞结构和成分变化,将引起发酵中电抗、阻抗和阻抗角逐渐增加,电容和损耗因子含量下降。华夏等^[61]探究黄茶闷黄过程中电化学参数(pH值、电导率、氧化还原电位)与品质的相关性。研究表明,茶汤电化学参数与感官品质、主要品质成分茶多酚、儿茶素及茶黄素含量均呈高度的相关性。李晓梅^[62]研究发现随着闷黄时间的延长,闷黄叶电化学参数、*r*值(红色所占比例)、*g*值(绿色所占比例)和*H*值均有明显的变化。还基于电化学参数建立了判断闷黄程度的Fisher判别模型、支持向量机模型预测茶多酚、儿茶素、茶黄素含量变化。结果显示:模型平均正确率分别为93.33%和92.22%,预测集的平均正确率分别为86.66%和86.66%; R^2 分别为0.814和0.956。以上结果说明电特性技术在黄茶闷黄研究中取得很好的效果,具有很大研究潜力,可为提高黄茶闷黄程度判定的便捷性和准确性提供参考。

2.3.3 电子舌 电子舌传感器是对目标分析物特定响应,操作快速简便,与传统的液相色谱等精密仪器相比具有响应时间短、灵敏度高、重复性好、检测速度快及误差小等特点^[72]。据报道,电子舌已被用于监测与来自样品发酵相关的化学变化,通过定性和定量检测来判断各种食品的发醇程度^[73]。目前在果酒^[74]、啤酒^[75]、食品^[76]和红茶发醇^[77]等领域已逐渐得到应用。与传统感官评价茶叶品质时使用强、硬、粗等主观词汇来描述味道相比,电子舌技术将味道的强度量化,更加高效方便^[78]。目前已发现电子舌的响应在黄茶闷黄过程中有很好的区别。WEI等^[6]利用电子舌结合代谢组学研究茶叶闷黄过程中的物质动态变化,发现随着黄化时间的延长,样品的苦味和涩味强度下降;黄化12 h后,丰富度和强度达到最大值,但黄化24 h后,茶汤的丰富度明显下降;鲜味和甜度在发黄前18 h显著增加,18 h后开始下降。尽管电子舌在黄茶闷黄监测中表现出良好的性能,但其高昂的价格和不便携的特点限制了其在实践生产中的大规模应用。电子舌的制造和维护成本较高。这对于茶叶生产者来说可能是一个不可忽视的负担。此外,电子舌的体积较大,不便于携带和操作,使得其在实际生产环境中的应用受到限制。

综上所述,目前常用的表征技术包括人工感官技术、电化学技术、智能感官技术及光谱技术等。然而上述技术除了人工感官技术和光谱技术以外,其余均没有被广泛应用于黄茶闷黄程度的评价中,说明传统的检测方法在实际应用中仍占据主导地位。传统质检技术在黄茶闷黄控制应用中较为完善,能为黄茶闷黄过程中品质成分提供准确识别和定量。然而,传统质检技术存在一定局限性,无法提供单个成分的空间分布信息,并且评价方式主观性较强,分析角度较为局限。因此,为了提高黄茶闷黄的质量控制,需要引入新技术进行研究。新技术的应用可以包括结合现代分析技术对黄茶闷黄质量进行客观评价,以及深入分析黄茶闷黄过程中的各个环节。此外,还可以将多维传感器与先进的信息处理策略相结合。例如,近红外、电子鼻、电子舌和化学成像等技术。这些新技术的应用将为黄茶闷黄的质量控制带来许多可能性,提高其质量控制方法与前景。通过客观评价和全面分析,可以更好地了解黄茶闷黄的质量特征和变化规律,从而为黄茶生产提供更准确、可靠的质量控制手段。

3 总结与展望

黄茶闷黄不仅受环境因子影响,还受茶树品种、加工工艺及鲜叶质量等多方面因素影响,而各因素间相互制约、相互促进。目前对于黄茶闷黄质量的研究主要停留在环境因子、不同闷黄工艺与感官品质的关联性;环境因子与品质成分含量的关联性;然而黄茶经过闷黄后,滋味、香气、色泽、质地等都会发生较大变化,黄茶闷黄过程中环境因子相互作用关系及与微生物间交互效应。如何充分利用微生物的功能特性提升茶叶品质均不明确。在智能仿生系统中,可以从不同系统中获得的数据在计算机/处理器中融合。但智能仿生系统也受到环境因素的影响,如温度、湿度等。这些因素会导致传感器漂移,同时黄茶闷黄是一个复杂过程,品质评价技术在调节黄茶闷黄质量与环境影响因子之间关联

性起着至关重要的作用,对其进行量化研究是了解评价技术与环境因子之间,以及各环境因子之间关联性的前提。本文综述了国内外环境因子与黄茶闷黄品质及其闷黄质量评价技术的发展现状。由于黄茶闷黄体系的复杂性和不可直接测定等因素,现有的品质评价技术都存在不同的局限,在后续对黄茶闷黄影响因子及其品质评价技术研究中,可以从以下几个方面进行研究:加强对环境因子间的交互作用研究,构建环境因子与品质成分关联模型;加强微生物对黄茶闷黄品质的影响研究,探明微生物与环境因子互作关系;加强多种检测技术融合来满足各种复杂的检测条件,如将电子鼻和电子舌与电子视觉融合在一起,配合合适的模式识别系统,提高样品质量;加强设备智能化,强化设备对环境因子综合控制能力;加强智能感官技术与仪器分析技术的紧密结合,将智能感官表征信息数字化,直观呈现环境因子与品质成分及感官体验之间关联性,以及化学成分与感官体验间联系;开发小型化、精准化、便民化设备,同时提高智能检测设备传感器响应的特异性和灵敏度。

参考文献:

- [1] XU J Y,WANG M,ZHAO J P,et al.Yellow tea (*Camellia sinensis* L.),a promising Chinese tea:Processing,chemical constituents and health benefits[J].Food Research International,2018,107:567-577.
- [2] WANG Z H,YUE C N,TONG H R.Analysis of taste characteristics and identification of key chemical components of fifteen Chinese yellow tea samples[J].Journal of Food Science and Technology,2021,58(4):1378-1388.
- [3] 葛天睿,王志远,张娜,等.黄茶品质化学成分及闷黄工艺影响研究进展[J].食品安全质量检测学报,2023,14(23):255-263.
- [4] SHI Y L,WANG M Q,DONG Z B,et al.Volatile components and key odorants of Chinese yellow tea (*Camellia sinensis*)[J].LWT,2021,146:111512.
- [5] WEI Y M,FANG S M,JIN G,et al.Effects of two yellowing process on colour,taste and nonvolatile compounds of bud yellow tea[J].International Journal of Food Science & Technology,2020,55(8):2931-2941.
- [6] WEI Y M,LI T H,XU S S,et al.The profile of dynamic changes in yellow tea quality and chemical composition during yellowing process[J].LWT,2021,139:110792.
- [7] 范方媛,杨晓蕾,龚淑英,等.闷黄工艺因子对黄茶品质及滋味化学组分的影响研究[J].茶叶科学,2019,39(1):63-73.
- [8] 贾梦伟,张婕,周顺风,等.环境响应水凝胶的非对称结构设计 with 智能仿生[J].材料导报,2022,36(12):175-183.
- [9] LI L J,HUANG W Q,WANG Z L,et al.Calibration transfer between developed portable Vis/NIR devices for detection of soluble solids contents in apple[J].Postharvest Biology and Technology,2022,183:111720.
- [10] ZHU H K,YE Y,HE H F,et al.Evaluation of green tea sensory quality via process characteristics and image information[J].Food and Bioproducts Processing,2017,102:116-122.
- [11] DONG C W,LI J,WANG J J,et al.Rapid determination by near infrared spectroscopy of theaflavins-to-thearubigins ratio during Congou black tea fermentation process[J].Spectrochimica Acta Part A,Molecular and Biomolecular Spectroscopy,2018,205:227-234.
- [12] DONG C W,LIANG G Z,HU B,et al.Prediction of congou black tea fermentation quality indices from color features using non-linear regression methods[J].Scientific Reports,2018,8:10535.
- [13] 赵春江.农业知识智能服务技术综述[J].智慧农业(中英文),2023,5(2):126-148.
- [14] LI H H,LUO L Y,MA M J,et al.Characterization of volatile compounds and sensory analysis of jasmine scented black tea produced by different scenting processes[J].Journal of Food Science,2018,83(11):2718-2732.
- [15] 卫聿铭.霍山黄芽闷黄工艺研究[D].合肥:安徽农业大学,2021.
- [16] FAN F Y,SHI M,NIE Y,et al.Differential behaviors of tea catechins under thermal processing:Formation of non-enzymatic oligomers[J].Food Chemistry,2016,196:347-354.
- [17] 王治会,童华荣,岳翠男,等.黄茶闷黄过程中主要化学成分变化的动力学模型[J].现代食品科技,2017,33(2):107-114,106.
- [18] 廖秀,何毛毛,王丽,等.正交实验法优化锌硒夏秋茶发酵工艺及其抗氧化活性研究[J].辽宁大学学报(自然科学版),2023,50(2):159-165.
- [19] 周森杰.通气对黄茶闷黄度及香气品质影响的研究[D].杭州:浙江大学,2022.
- [20] 纵榜正.闷黄通气条件对黄茶感官及滋味化学品质的影响研究[D].杭州:浙江大学,2020.
- [21] 周继荣,陈玉琼,孙娅,等.鹿苑茶闷堆工艺研究[J].食品科学,2005,26(11):87-91.
- [22] 刘晓.蒙顶黄芽加工及品质成分变化的研究[D].雅安:四川农业大学,2011.
- [23] 雷玉萍,吴根玲,梁慧玲,等.闷黄工艺对“御金香”夏暑茶品质及理化成分的影响[J].中国茶叶,2018,40(12):20-23.

- [24] 刘晓,张厅,唐晓波,等.蒙顶黄芽不同加工工序中色泽变化与品质相关性研究[J].食品工业科技,2021,42(13):111-117.
- [25] HUA J J,WANG H J,YUAN H B,et al.New insights into the effect of fermentation temperature and duration on catechins conversion and formation of tea pigments and theasinensins in black tea[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2022,102(7):2750-2760.
- [26] AN R,SUN L L, XIANG L M,et al.Effect of yellowing time on bioactive compounds in yellow tea and their anti-proliferative capacity in HepG2 cells[J].Food Science & Nutrition,2019,7(5):1838-1847.
- [27] FAN F Y,ZHOU S J,QIAN H,et al.Effect of yellowing duration on the chemical profile of yellow tea and the associations with sensory traits[J].Molecules,2022.DOI:10.3390/molecules27030940.
- [28] 张娇,梁壮仙,张拓,等.黄茶加工中主要品质成分动态变化[J].食品科学,2019,40(16):200-205.
- [29] 岳翠男,王治会,毛世红,等.不同闷黄时间的黄茶干茶色泽与汤色综合评价模型构建[J].食品工业科技,2016,37(21):130-134,298.
- [30] 王鑫,王非,贾天赐,等.响应面法优化茅岩莓茶黄酮的提取条件[J].辽宁石油化工大学学报,2022,42(3):25-29.
- [31] DONG R J,SHENG X H,XIE Q T,et al.Aroma formation and transformation during sealed yellowing process of Pingyang yellow tea[J].Food Research International,2023,165:112535.
- [32] 夏红玲,苗爱清,陈维,等.闷黄对黄茶香气特征及关键香气化合物的影响[J].食品工业科技,2023,44(7):28-37.
- [33] GUO X Y,HO C T,SCHWAB W,et al.Aroma compositions of large-leaf yellow tea and potential effect of theanine on volatile formation in tea[J].Food Chemistry,2019,280:73-82.
- [34] 江用文.中国茶产品加工[M].上海:上海科学技术出版社,2011:182-183.
- [35] 杨涵雨.黄茶闷黄工序及微生物对黄茶品质的影响研究[D].长沙:湖南农业大学,2014.
- [36] JIN G,WANG Y J,LI M H,et al.Rapid and real-time detection of black tea fermentation quality by using an inexpensive data fusion system[J].Food Chemistry,2021,358:129815.
- [37] BAG S,MONDAL A,BANIK A.Exploring tea (*Camellia sinensis*) microbiome:Insights into the functional characteristics and their impact on tea growth promotion[J].Microbiological Research,2022,254:126890.
- [38] ZHAO M,SU X Q,NIAN B,et al.Integrated meta-omics approaches to understand the microbiome of spontaneous fermentation of traditional Chinese Pu-erh tea[J].mSystems,2019,4(6):e00680-e00619.
- [39] 刘晓慧.山东黄茶叶加工工艺及品质研究[D].泰安:山东农业大学,2010.
- [40] 李大龙,郭潇雨,李铁梅,等.利用电子鼻评价树莓果实香气[J].东北农业大学学报,2022,53(7):78-87.
- [41] 汤先美,王春宇,闫顺丕,等.基于残差和卷积神经网络的生猪图像分块压缩感知[J].东北农业大学学报,2023,54(10):70-78.
- [42] 胡双明,艾仄宜,穆兵,等.基于电子鼻与HS-SPME-GC-MS技术的江苏红茶香气特征研究[J/OL].南京农业大学学报,2024.<https://link.cnki.net/urlid/32.1148.S.20240308.1320.002>.
- [43] 马玲,马倩,王静,等.基于高光谱成像技术的番茄叶片含水量检测研究[J/OL].南京农业大学学报,2024.<https://link.cnki.net/urlid/32.1148.S.20240221.1304.004>
- [44] 代祥,梅菊芬,杨亦扬,等.基于色差仪的茶树叶色量化研究[J/OL].南京农业大学学报,2024.<https://link.cnki.net/urlid/32.1148.S.20231128.1139.004>
- [45] 刘奇,欧阳建,刘昌伟,等.茶叶品质评价技术研究进展[J].茶叶科学,2022,42(3):316-330.
- [46] 王治会,杨普香,岳翠男.黄茶滋味感官定量描述分析与接受性评价模型构建[J].食品工业,2019,40(9):204-208.
- [47] 冉乾松,刘忠英,方仕茂,等.贵州5个代表性绿茶滋味特征与其呈味化合物相关性分析[J].浙江农业学报,2022,34(11):2451-2461.
- [48] 范方媛,唐贵珍,龚淑英,等.典型黄茶滋味品质特征属性及相关滋味化学组分[J].中国农业科学,2020,53(2):371-382.
- [49] 王治会,岳翠男,毛世红,等.黄茶主要滋味化学成分与感官滋味接受性研究[J].食品与发酵工业,2018,44(3):77-83.
- [50] SINGH G.Machine vision system for tea quality determination - tea quality index (TQI)[J].IOSR Journal of Engineering,2013,3(7):46-50.
- [51] LEE J E,LEE B J,CHUNG J O,et al.Geographical and climatic dependencies of green tea (*Camellia sinensis*) metabolites: A (1)H NMR-based metabolomics study[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2010,58(19):10582-10589.
- [52] JI H G,LEE Y R,LEE M S,et al.Diverse metabolite variations in tea (*Camellia sinensis* L.) leaves grown under various shade conditions revisited:A metabolomics study[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2018,66(8):1889-1897.
- [53] TAN J F,DAI W D,LU M L,et al.Study of the dynamic changes in the non-volatile chemical constituents of

- black tea during fermentation processing by a non-targeted metabolomics approach[J].Food Research International, 2016,79:106-113.
- [54] XU S S,WANG J J,WEI Y M,et al.Metabolomics based on UHPLC-orbitrap-MS and global natural product social molecular networking reveals effects of time scale and environment of storage on the metabolites and taste quality of raw Pu-erh tea[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2019,67(43):12084-12093.
- [55] ZHOU J,ZHANG L,MENG Q L,et al.Roasting improves the hypoglycemic effects of a large-leaf yellow tea infusion by enhancing the levels of epimerized catechins that inhibit α -glucosidase[J].Food & Function,2018,9(10):5162-5168.
- [56] 廉明,吕世懂,吴远双,等.顶空固相微萃取气质联用技术分析两种黄茶的香气成分研究[J].食品工业科技,2015,36(11):281-286.
- [57] 刘晓慧,张丽霞,王日为,等.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析黄茶香气成分[J].食品科学,2010,31(16):239-243.
- [58] 冉乾松,刘忠英,尹杰,等.贵州绿茶滋味分属性二次多项回归模型构建[J].南方农业学报,2022,53(4):1131-1142.
- [59] WU D,SUN D W.Colour measurements by computer vision for food quality control - A review[J].Trends in Food Science & Technology,2013,29(1):5-20.
- [60] 王璟,高静,刘思彤,等.基于色差系统的黄茶外观色泽评价模型构建及其关键物质基础分析[J].食品科学,2017,38(17):145-150.
- [61] 华夏,李晓梅,李丽泓,等.黄茶闷黄过程中电化学变化与品质的关系[J].食品与发酵工业,2021,47(22):84-91.
- [62] 李晓梅.黄茶闷黄程度判断方法研究[D].雅安:四川农业大学,2020.
- [63] DAO D H,TANG N C,PHAM B T.Monitoring and evaluating the fermentation level of black tea using the random forest model[C]//NGUYEN DC,VU NP,LONG BT,et al.International Conference on Engineering Research and Applications.Cham:Springer,2022:739-753.
- [64] DANA W,IVO W.Computer image analysis of seed shape and seed color for flax cultivar description[J].Computers and Electronics in Agriculture,2008,61(2):126-135.
- [65] 梁啸,李亚楠,王志娜,等.马齿苋物质基础及其药理活性研究进展[J].辽宁大学学报(自然科学版),2023,50(4):373-384.
- [66] YU X L,HU S,HE C,et al.Chlorophyll metabolism in postharvest tea (*Camellia sinensis* L.) leaves:Variations in color values, chlorophyll derivatives, and gene expression levels under different withering treatments[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2019,67(38):10624-10636.
- [67] HUANG L,ZHAO J W,CHEN Q S,et al.Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques[J].Food Chemistry,2014,145:228-236.
- [68] NELSON S O,TRABELSI S.Historical development of grain moisture measurement and other food quality sensing through electrical properties[J].IEEE Instrumentation & Measurement Magazine,2016,19(1):16-23.
- [69] SACILIK K,TARIMCI C,COLAK A.Moisture content and bulk density dependence of dielectric properties of safflower seed in the radio frequency range[J].Journal of Food Engineering,2007,78(4):1111-1116.
- [70] 刘橙,刘广同,何金成,等.基于介电特性的水果成熟度无损检测研究进展[J].农业工程,2021,11(12):49-53.
- [71] NELSON S O.Dielectric properties of agricultural products and some applications[J].Research in Agricultural Engineering,2008,54(2):104-112.
- [72] SHARMA P,GHOSH A,TUDU B P,et al.Monitoring the fermentation process of black tea using QCM sensor based electronic nose[J].Sensors and Actuators B:Chemical,2015,219:146-157.
- [73] 赵杰文,黄晓玮,邹小波,等.基于嗅觉可视化技术的猪肉新鲜度检测[J].食品科学技术学报,2013,31(1):9-13.
- [74] 白丹.嗅觉可视化技术在食品感官评价中的应用——《食品感官评定》评述[J].食品与机械,2021,37(8):249.
- [75] 杨梅,翟晓东,黄晓玮,等.嗅觉可视化技术对啤酒品质的快速检测[J].食品科学,2021,42(18):225-231.
- [76] 李阳德,马晓慧,王骥.基于轻量级 MobileNet V3-YOLOv4 的生长期菠萝成熟度分析[J].智慧农业(中英文),2023,5(2):35-44.
- [77] CHEN Q S,SUN C C,OUYANG Q,et al.Classification of different varieties of Oolong tea using novel artificial sensing tools and data fusion[J].LWT - Food Science and Technology,2015,60(2):781-787.
- [78] DI ROSA A R,LEONE F,CHIOFALO V.Electronic noses and tongues[M]//Chemical Analysis of Food.Amsterdam: Elsevier,2020:353-389.