

黄 藩,王 云,熊元元,等. 我国茶叶机械化采摘技术研究现状与发展趋势[J]. 江苏农业科学,2019,47(12):48-51.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.12.009

我国茶叶机械化采摘技术研究现状与发展趋势

黄 藩,王 云,熊元元,刘 飞,张 厅,李春华

(四川省农业科学院茶叶研究所,四川成都 610066)

摘要:茶叶机械化采摘是行业发展的必然趋势。经过几十年的发展茶叶机械化采摘虽有长足进步,但仍存在较大问题。笔者通过简单介绍机械采茶的发展现状,指出机械采茶的有关问题,并对未来趋势进行展望,旨在为我国茶叶机械化采摘技术发展提供一定的参考意见。

关键词:茶叶;机采技术;存在问题;发展趋势

中图分类号:S225.99 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)12-0048-04

茶叶含有丰富的茶多酚、蛋白质、氨基酸、咖啡碱、多糖、维生素等营养物质和功能成分^[1],具有消炎杀菌、抗辐射、预防癌症、调节血脂等保健作用^[2],是风靡全球的保健饮品,越来越受到消费者的青睐。但传统的种植、采摘及加工等环节需要耗费大量的劳动力,已无法满足日益增长的消费需求,制约着行业发展,因此茶叶机械化采摘成为发展的必然趋势。我国从 20 世纪 50 年代起针对大宗茶采摘开始机采试验^[3],全国各主要产茶区研究集成了机采茶园农艺工程技术,虽然对名优茶机采进行了大量试验^[4-5],但仍然存在较大问题。本文对茶叶机采技术的现状及存在的问题进行简单介绍,并

对发展趋势进行简单探索,旨在为茶叶机械化采摘技术发展提供一定的参考意见。

1 我国茶叶机械化采摘的现状

虽然机采效益明显高于手工,但茶园要实施机采必须有相应的基建设备和技术,包括栽培技术、机器选型配套技术及机采叶分选技术等农艺工程技术的集成。

1.1 茶园基建

标准化茶园建设包括茶树行距、株距、修剪形式、灌溉设施,除霜设施,以及大型设备入园道路设施等。除了新开垦建设标准化茶园,大部分是通过改造现有茶园建成机采标准化茶园。在规划设计上,新茶园茶行间距 1.5 m,茶行长度 35 ~ 40 m 为宜,茶行两端地头各留 1.5 m,便于采茶机掉头、换行、下叶;由老茶园改造的,但是应用双人采茶机采茶的行距应 ≤ 1.8 m,选用单人采茶机的行距应 ≤ 1.2 m^[6]。而零星分散、丛植茶园、坡度超过 20° 以上的茶园不适宜机械采茶作业,改造时需进行丛植改条植及改换无性系良种等措施。

收稿日期:2018-03-12

基金项目:国家现代农业产业技术体系四川省茶叶技术创新团队建设专项;国家茶产业技术体系绿茶加工岗位(编号:CARS-23)。

作者简介:黄 藩(1989—),女,山东德州人,硕士,研究实习员,主要从事茶叶加工及审评方面的研究。E-mail:474844276@qq.com。
通信作者:李春华,研究员,主要从事茶叶加工及茶树育种方面的研究。E-mail:scteawl@163.com。

[44] Milone D H, Rufiner H L, Galli J R, et al. Computational method for segmentation and classification of ingestive sounds in sheep [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 65(2): 228-237.

[45] Sebe F, Aubin T, Boue A, et al. Mother - young vocal communication and acoustic recognition promote preferential nursing in sheep [J]. Journal of Experimental Biology, 2008, 211(22): 3554-3562.

[46] Nadimi E S, Jorgensen R N, Blanes - Vidal V, et al. Monitoring and classifying animal behavior using ZigBee - based Mobile ad hoc wireless sensor networks and artificial neural networks [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 82(1): 44-54.

[47] 郭东东. 基于三轴加速度传感器的山羊行为特征识别研究[D]. 太原:太原理工大学, 2015: 1-46.

[48] 宣传忠, 武 佩, 马彦华, 等. 基于功率谱和共振峰的母羊发声信号识别[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 219-224.

[49] 刘艳秋, 武 佩, 张丽娜, 等. 母羊产前行为特征分析与识别——基于可穿戴检测装置构架[J]. 农机化研究, 2017, 39(9): 163-168.

[50] 宣传忠, 武 佩, 张丽娜, 等. 羊咳嗽声的特征参数提取与识别

方法[J]. 农业机械学报, 2016(3): 342-348.

[51] 柳平增, 毕树生, 苗 良, 等. 畜禽规模养殖环境智能调控系统的研制[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(7): 1316-1319.

[52] 邢小琛, 刘 宇, 武 佩, 等. 设施羊舍环境信息监控系统的设计[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(3): 100-103, 293-294.

[53] 郭 娟, 宣传忠, 武 佩, 等. 基于 Arduino 和 LabVIEW 的羊只反刍行为无线采集系统设计[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(11上): 10-13, 289.

[54] Minagawa H, Taira O, Nissato H. A color technique to simplify image processing in measurement of pig weight by a hands - off method [C]//Proceedings of swine housing II. North Carolina: ASAE, 2003: 166-173.

[55] Green D M, Brotherstone S, Schofield C P, et al. Food intake and live growth performance of pigs measured automatically and continuously from 25 to 115 kg live weight [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(11): 1150-1155.

[56] Kashiha M, Bahr C, Ott S, et al. Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 107: 38-44.

1.2 机采品种

目前,机采多为往复切割式,对芽头没有识别性,并不适合所有品种,而无性系品种长势较为匀齐,可以在一定程度上缓解采茶机“一刀切”带来的弊端。王秀铨等认为,机采品种选择主要考虑再生性和株型,要求采后新梢萌发力强、生长间隔期短、分枝级数多且叶片夹角稍大,且认为湘波绿不适合机采^[7]。经过大量研究证明,龙井 43、中茶 102、浙农 113、浙农 139、藪北种、乌牛早、迎霜、碧云、福鼎大白、桴叶齐、云抗 10 号、青峰和垂绿等红、绿茶品种适合机采^[8-11],丹桂、黄观音、白芽奇兰、金观音、悦茗香、黄棖、福建水仙、金牡丹等乌龙茶品种适合机采^[12]。

1.3 栽培技术

树冠培养技术是机采茶树栽培的保障。大量研究表明,幼龄茶树修剪树冠为水平型,可以养成高产树冠,成龄茶树修剪树冠为弧形,可以增大采摘面积,衰老茶树需要及时台刈等^[13]。土壤肥力对机采茶产量和质量的影响较大。大量试验表明,机采茶园多施氮素,可以增加机采茶叶的完整率和细嫩芽叶比例,增加采摘批次,提高机采的产量,增加茶叶生化成分含量,提高茶叶品质^[14-16]。不同地区根据测土配方要求,实践集成施肥技术,如浙江省丽水市松阳县分别在每年的 10 月、2 月、5 月、7—8 月施用冬肥、春肥、夏肥、秋肥,用肥量分别为全年量的 40%、25%、10%、25%^[17]。

1.4 采摘适期

大量研究表明,产值是确定机采适期的最好方式,红茶、绿茶春茶为标准新梢(一芽二、三叶及夹二、三叶)80% 左右开采,夏茶为标准新梢 60% 左右开采^[3]。龙井 43、浙农 113 和浙农 139 等名优茶,标准芽叶即一芽一至二叶占新梢总数的 80% 左右时为最适开采标准,而余叶展后 15~18 d,也可以作为名优茶的开采标准^[6,18]。直立型茶梢的白芽奇兰乌龙茶和披张型的铁观音以及金观音以中开面三叶为切入点^[19]。由于机采能在一定程度上刺激芽叶萌发,机采适宜的间隔期较手采短,大宗茶一般为 20~30 d^[20],名优茶采摘间隔期更短。

1.5 设备选用

采茶设备的选择首先应考虑适用性,影响采茶机适用性的因素,包括蓬面整齐程度、高度、宽度、茶树行间通过性、茶树品种、漏采率、机器噪声、机器振动、燃油消耗率等^[5,21]。幼龄茶园选择平行采茶设备,成龄茶园选择弧形采茶设备,综合考虑省力性和适用性,平坡茶园选择双人采茶机,针对丘陵山区的地形以及名优茶鲜叶嫩度高、量小、采摘精确高的特点,建议选用小型单人采茶机^[14],并且应用便携式名优茶采摘机采茶,机采叶完整率可达 70%,比传统采摘机械提高 20%。

2 我国茶叶机械化采摘存在的问题

2.1 机采茶园不集约

集约化是行业发展的必然趋势。但很多地区仍以家庭为单位开展种植生产,茶园分布零散,茶园集约化生产水平不高^[22]。特别是丘陵山区茶园,茶园田块较小,地势较高,茶园布局的不规范非常不利于大型机采设备的使用,并且茶行靠外一侧没有通向茶园的机耕道,茶行两头没有留出掉头空间。甚至机采茶园的茶树品种还存在混杂现象,给后续茶叶加工造成困难,无性系良种的种植推广还有待加强。另外很多地

区的机采茶园管理粗放,茶农由于意识或者效益等原因,施肥、树冠修剪和留养等措施跟不上,导致机采茶树过早衰老,影响机采效果^[23]。

2.2 机采技术不精细

机采经过近 70 年的发展,仍然使用往复切割式采茶机,虽有不同程度的改进^[24-26],但非选择性的特点仍然存在。虽然机采技术的应用极大降低了低端茶叶的生产成本,机采鲜叶仍然很难满足名优茶加工的需求。例如,乌龙茶品饮对外形要求比较低,但乌龙茶茶树品种丰富,其物理性状各具特点,这给高端乌龙茶机采技术的应用带来一定的复杂性和难度,当前单一性和通用性的机采设备与之无法匹配^[27]。同时,虽然名优茶采摘的机器人技术成为近年研究热点,但效率和稳定性还有待提高,尚未应用到实践中^[28-30]。

2.3 机采茶不优质

机采鲜叶中标准芽叶含量较手采叶低,碎叶和对夹叶含量高,这将极大影响干茶的色香味。陆德彪等研究了 6CDW-220 微型采茶机的机采鲜叶加工扁型绿茶的效果,结果除了汤色以外,外形、香气、叶底等项目的得分均较手工茶低 2~5 分^[31]。叶飞等对比了早春(4 月初)机采和手采 2 种鲜叶制成的恩施玉露,发现机采毛茶外形和叶底的感官得分低于手采毛茶^[32]。机采鲜叶老嫩不均,给后续初加工带来技术难度,造成干茶匀度下降,目前只能通过鲜叶采后分级和干茶精制的方法,在一定程度上进行弥补。

3 茶叶机械化采摘技术发展趋势

全国各个茶区自然环境、生产传统、产品要求等均存在很大差异,需要在深入调研基础上,结合地域条件因地制宜,确定不同区域最佳茶叶收获方式和技术路线,有针对性地进行茶叶机械化采摘技术的研发和推广应用。

3.1 机采茶园集约化

3.1.1 农艺与农机互融促进机采茶园标准化 机采的经济效益受农机性能、茶树品种、栽培管理等多方面因素的影响,所以农艺与农机融合发展是机采效益实现的保障。目前选择性智能采摘技术尚未应用于实践,只能通过农艺措施建设高标准机采茶园,合理优化并形成区域规范的茶叶生产体系,为茶叶机采实施提供基础条件。高标准机采茶园需要通过农艺修剪措施,培养适应机采的树冠面;日常注意培肥,满足机采茶园施肥量的需求;加强病虫害防护措施,并注意及时补栽缺株。只有将机械、农艺和制茶工艺相融合的采茶机械化技术推广作为重点,才能推动采茶机械化技术的进展^[33]。

3.1.2 农民生产合作方式变革促进机采集约化 机械采茶是规模生产,必须与茶园种植、茶叶加工的适度规模经营相结合^[34]。谷兆骢等比较了平水日铸茶的机采和手采 2 种采摘模式,在售价均为 250 元/kg 的情况下,得出机采茶的成本比手采茶低 36.22%,得率低 25.48%,经济效益高约 21.30%^[35]。由此可以看出,机采鲜叶因为得率较低,如果无法在鲜叶数量上占据优势,机采的经济效益会被减弱。而每天进厂大量的鲜叶,则需要具有相当规模的加工厂及时将鲜叶付制。种植及生产的机械化和规模化发展,势必引起生产组织模式的变革,比如有关茶叶种植加工及农业机械的农民

专业合作社的大量出现。大型采摘设备投入较大,个体种植户不愿意购置一些利用率不高的大型采茶设备。可以借鉴其他实现收获规模化的农作物,尝试建设采摘服务平台,农场主可以选择代收或者租赁设备,节省一部分购机资金。如美国的花生机械化采收服务平台上,提供农场与耕地的位置、耕地规模、土壤类型、种植品种与收获时间等花生收获信息,同时提供花生收获机械类型、型号、数量、租赁和代收服务指导价格等信息,用发达的信息化系统实现了花生收获的集约化^[36]。

3.2 机采技术精细化

随着消费者对茶叶品质要求的提高,机采技术朝着精细化的方向发展。精细化采摘需要研发高效率、高精度、智能化的采茶机器人。机器人采摘作业的实现,需要解决识别定位、采摘动作、导航、换行、移运等多个环节与装备的充电、维护等问题。茶园作业环境的高度非结构化、鲜叶个体的大差异化对采摘机器人的作业带来了巨大挑战,是制约采摘机器人技术作业性能提高与推广应用的关键瓶颈。除了在茶园标准化建设方面继续努力推广以外,机械、电子技术的高速发展使采摘机器人技术的研究大大加速,将为名优茶采摘机器人的实现提供基础。目前,RealSense 深度摄像头和彩色 CCD 相机 charge coupled douice camera 等多信息先进传感技术提高了嫩芽识别度,已有研究者利用机器视觉图像技术用于茶叶的种类、品质等级鉴别和产地溯源^[37-41]。我国茶叶采摘机器人发展较晚,但是在温室果蔬采摘等领域,机器人已有一定范围的投入使用^[42]。随着机械臂、底盘、传感器、电机系统等关键模块不断成熟,RFID(radio frequency idontifica tion,射频识别技术)、激光切割、热切割等新技术快速引入并运用于机器人导航与摘取等环节,图像处理与机器人运动求解等算法和工具的成熟模块化使检测与控制的实施得到简化,采摘机器人技术不断得到有力推动^[43-47]。

3.3 机采茶优质化

3.3.1 机采茶加工配套设备开发 目前,专门配套机采鲜叶的加工设备缺乏,现有加工设备不能最大化提高机采茶的品质。很多研究对机采鲜叶的分选、摊放、萎凋、做青等工艺参数进行优化,以期探明机采茶叶品质影响因素,将为机采茶加工设备研发提供理论依据。何鑫以机采鲜叶为原料,系统研究了大宗茶分级机的分级效果,空调摊放和加温萎凋对茶鲜叶主要化学成分和香气物质变化的影响^[48]。刘亚峰研究了机采鲜叶分选技术中对乌龙茶内质的影响,发现鲜叶采用滚动式处理对乌龙茶香味的稳定性有正效应,且鲜叶分选后的做青方式以四摇为宜^[19]。机采鲜叶在制作过程中,需要初加工、精加工及深加工等系列产品的配套,才能实现机采茶效益的提升。朱德文针对机采鲜叶的特点,研究开发机采茶鲜叶加工速溶绿茶关键设备及技术,对现有加工速溶茶的鲜叶粉碎设备、杀青设备及浸提设备等进行研发^[49]。

3.3.2 机采茶分选分级技术开发 机采毛茶匀净度较差,需要通过分选获得不同等级的茶叶,提升茶叶品质和经济价值。目前,融合了机械、电子、图像识别等现代科学技术研制的茶叶分级机,有风选、色选和静电等多种类型^[50-51]。在生产实践中,机采鲜叶制成毛茶后,再进行茶叶精制,取得了很好的效果。翁炎生等提出了直接对机采茶青进行香茶加工,再利

用色选机对机采香茶进行分选分级的松阳香茶机械化采制模式,从而提高了茶叶产品质量和加工附加值^[52]。叶飞等研究发现,鲜叶(风选)分级和加工过程(风选-色选)分级(杀青叶分级、二青叶分级、三青叶分级)后制得的绿茶,相比不分级机采绿茶,在感官品质上并没有明显的改善;但毛茶精制分级后,得到的一级茶和二级茶的品质明显高于不分级机采绿茶^[53]。曹婷婷以机采岩毛茶为原料,开展岩毛茶关键精制工序的比较研究与全程工艺参数的跟踪研究,为机采机制岩毛茶实际生产提供了一整套可应用的精制加工技术^[54]。实时、客观、高效、智能的分选分级技术,是提高机采茶品质的重要手段,国家应继续扩大国家农机补贴的范围,后续鲜叶风选设备、毛茶色选设备等也都纳入补贴的范围。

4 小结

综上所述,我国茶叶机采技术经过长期发展,虽然茶园基建、品种筛选、栽培技术优化、采摘适期选择、机采设备选用等方面的进步,在提高生产效率,降低生产成本方面取得了一定效果,但机采茶园建设集约化,机采技术精细化,机采茶优质化等方面仍然存在很多问题。还需在推进农艺与农机结合建立规范化机采茶园,变革农民合作生产方式,发展智能采摘机器人技术,深化机采茶配套设备开发,发展毛茶分选分级技术等多方面进行突破,将极大改善我国机采现状,实现茶叶机械化采摘技术新发展。

参考文献:

- [1] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2007: 319-349.
- [2] Hajiaghaalipour F, Sanusi J, Kanthimathi M S. Temperature and time of steeping affect the antioxidant properties of white, green, and black tea infusion[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(1): 246-254.
- [3] 王秀铿, 黄仲先, 朱树林. 机械采摘茶园的农艺工程技术研究[J]. 农业工程学报, 1998, 8(1): 56-64.
- [4] 唐 萌. 茶园名优茶机械化采摘集成技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2007: 18-20.
- [5] 俞燎远. 浙江茶叶机械化采摘修剪的现状与发展建议[J]. 中国茶叶, 2016(1): 4-6.
- [6] 史忠琴. 丘陵茶区机采存在的问题及对策[J]. 茶业通报, 2007, 29(2): 68-69.
- [7] 王秀铿, 黄仲先, 朱树林. 茶树品种对机采适应性研究[J]. 茶叶通讯, 1987, 5(2): 6-9.
- [8] 骆耀平, 宋婷婷, 文东华, 等. 茶树新梢节间与展叶角度生长变化及对名优茶机采的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(4): 420-424.
- [9] 肖 星, 殷丽琼, 夏 锐, 等. 云抗 10 号茶园机采适期研究[J]. 山西农业科学, 2015, 43(10): 1276-1278.
- [10] 石元值, 吕闰强, 方乾勇, 等. 不同茶树品种实行优质绿茶机械化采摘的适应性比较[J]. 中国茶叶, 2010(11): 8-9, 11.
- [11] 郑旭霞, 敖 存, 毛宇骁, 等. 杭州名优茶机采品种筛选初步研究[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(5): 661-663.
- [12] 游小妹, 陈志辉, 钟秋生, 等. 8 个适宜机采乌龙茶品种各叶位节间长与展叶角度分析[J]. 茶叶学报, 2017, 58(1): 21-25.
- [13] 张兰兰, 王家伦, 胡华健, 等. 贵州湄潭茶区茶叶机械采摘的技术应用[J]. 西南农业学报, 2011, 24(5): 1948-1951.

- [14] 李 维, 向 芬, 刘红艳, 等. 氮素调控对机采茶园茶叶品质与土壤理化特性的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(9): 51–55.
- [15] 向 芬, 周凌云, 李 维, 等. 机采茶园存在的问题及改进建议[J]. 茶叶通讯, 2015, 42(3): 58–61.
- [16] 张兰兰, 董迹芬, 唐 萌, 等. 名优茶机采鲜叶分级技术研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(5): 593–598.
- [17] 翁炎生, 张林福. 松阳香茶机械化采制技术的应用研究[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(4): 158–161, 141.
- [18] 骆耀平, 唐 萌, 蔡维秩, 等. 名优茶机采适期的研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(1): 9–13.
- [19] 刘亚峰. 闽南乌龙茶机采鲜叶切入点及分选技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [20] 王秀铿, 黄仲先, 朱树林. 机采茶树采摘适期的研究[J]. 茶叶通讯, 1986, 8(4): 14–18.
- [21] 邓晓明, 许甦康, 左学中. 影响采茶机适用性的因素分析[J]. 四川农业与农机, 2013(3): 36.
- [22] 尹 博, 张晓辉, 冯海明. 北方茶叶机械应用现状与发展对策研究——以山东省日照市为例[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(9): 119–123, 145.
- [23] 罗列万, 钱晓东, 孙利育, 等. 茶树良种无性系栽培及机械化采茶技术总结[J]. 中国茶叶, 2002, 24(5): 29–31.
- [24] 吴先坤, 李 兵, 王小勇, 等. 单人背负式采茶机的设计分析[J]. 农机化研究, 2017(8): 92–96.
- [25] 韩 余, 肖宏儒, 秦广明, 等. 往复式采茶切割器刚柔耦合仿真[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(3): 46–50.
- [26] 贾瑞昌, 李嘉晋, 曹 拯, 等. 一种基于带式切割与贯流收集的手持式智能采茶机: 201621436513.8[P]. 2017–07–14.
- [27] 郭雅玲, 赖凌凌, 刘亚峰, 等. 乌龙茶机采及其分选技术研究进展[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(1): 262–267.
- [28] 原艳芳. 名优茶采摘机械手与采摘策略研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017: 63–64.
- [29] 韩 余, 肖宏儒, 秦广明, 等. 自走式采茶机液压系统的设计和试验研究[J]. 茶叶科学, 2014, 34(6): 548–556.
- [30] 高 凤. 名优茶并联采摘机器人结构与仿真[D]. 南京: 南京林业大学, 2013: 3–6.
- [31] 陆德彪, 何乐芝, 袁海波, 等. 6CDW–220 微型采茶机应用于优质扁形绿茶试验初报[J]. 中国茶叶, 2013(10): 22–24.
- [32] 叶 飞, 高士伟, 龚自明, 等. 机采与手采茶鲜叶加工恩施玉露的比较研究[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(7): 1131–1133, 1136.
- [33] 权启爱. 我国茶产业发展新常态下的茶叶机械[J]. 中国茶叶加工, 2016(1): 5–8.
- [34] 陆德彪, 尹军峰. 我国名优绿茶机械化采摘的意义与实现路径[J]. 中国茶叶, 2018(1): 1–4.
- [35] 谷兆麒, 曹婷婷, 陈国荣, 等. 机采与手采鲜叶加工平水日铸茶工艺、品质及成本比较研究[J]. 茶叶, 2014, 40(4): 207–211.
- [36] Fletcher S M, Revoredo C L. World peanut market: an overview of the past 30 years, University of Georgia [R/OL]. [2018–01–12]. <http://athenaeum.libs.uga.edu/bitstream/10724/12051/1/RB437.pdf>.
- [37] Xie C Q, Li X L, Shao Y N, et al. Color measurement of tea leaves at different drying periods using hyperspectral imaging technique[J]. PLoS One, 2014, 9(12): e113422.
- [38] Chen Q S, Zhang D L, Pan W X, et al. Recent developments of green analytical techniques in analysis of tea's quality and nutrition[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 43(1): 63–82.
- [39] Zhu D S, Zhang H L, He Y, et al. Classification of Chinese famous tea base on visible and near infrared hyperspectra imaging[C]//2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications. IEEE, 2013: 208–211.
- [40] Chen Q, Zhao J, Cai J. Identification of tea varieties using computer vision[J]. Transactions of the ASABE, 2008, 51(2): 623–628.
- [41] Jiang H, Chen Q S. Chemometric models for the quantitative descriptive sensory properties of green tea (*Camellia sinensis* L.) using Fourier transform near infrared (FT–NIR) spectroscopy[J]. Food analytical methods, 2015, 8(4): 954–962.
- [42] 刘继占. 温室采摘机器人技术研究进展分析[J]. 农机机械化学报, 2017, 48(12): 1–16.
- [43] Liu J Z, Hu Y, Xu X Q, et al. Feasibility and influencing factors of laser cutting of tomato peduncles for robotic harvesting[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(69): 15552–15563.
- [44] Lehnert C, English A, McCool C, et al. Autonomous sweet pepper harvesting for protected cropping systems[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2017, 2(2): 872–879.
- [45] John A J, Clark C E F, Freeman M J, et al. Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution[J]. Animal, 2016, 10(9): 1484–1492.
- [46] Ji R H, Li D L, Chen L R, et al. Classification and identification of foreign fibers in cotton on the basis of a support vector machine[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2010, 51(11/12): 1433–1437.
- [47] Zhao X H, Li D L, Yang B, et al. Feature selection based on improved ant colony optimization for online detection of foreign fiber in cotton[J]. Applied Soft Computing, 2014, 24: 585–596.
- [48] 何 鑫. 机采鲜叶前处理技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 87–90.
- [49] 朱德文. 用机采茶鲜叶加工速溶绿茶关键设备及技术的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013: 8–10.
- [50] 张皓臻, 肖宏儒, 梅 松, 等. 茶叶分选技术的现状和未来[J]. 农业工程, 2014, 4(5): 59–63.
- [51] Borah S, Bhuyan M. Quality indexing by machine vision during fermentation in black tea manufacturing[C]//Sixth International Conference on Quality Control by Artificial Vision. International Society for Optics and Photonics, 2003: 468–476.
- [52] 翁炎生, 张林福. 松阳香茶机械化采制技术的应用研究[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(4): 158–161.
- [53] 叶 飞, 龚自明, 高士伟, 等. 不同分级处理对机采绿茶品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2016, 55(20): 5266–5270.
- [54] 曹婷婷. 机采岩毛茶精制工艺及烘焙与香气品质的关系研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015: 72–74.