

黑茶渥堆工艺研究进展

Research progress on pile-fermentation of dark tea

张 亚¹ 黄亚亚¹ 梁 艳¹ 纪晓明^{2,3} 胡 歆^{1,2}

ZHANG Ya¹ HUANG Ya-ya¹ LIANG Yan¹ JI Xiao-ming^{2,3} HU Xin^{1,2}

(1. 咸阳泾渭茯茶有限公司, 陕西 咸阳 712044; 2. 陕西苍山秦茶集团有限公司, 陕西 西安 710003;

3. 国家林业局茯茶工程技术研究中心, 陕西 咸阳 712044)

(1. Xianyang Jingwei Fu Tea Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi 712044, China;

2. Shaanxi C.S.Q Tea Group Corp., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710003, China;

3. State Forestry Administration Engineering Research Center of Fu Tea, Xianyang, Shaanxi 712044, China)

摘要:黑茶属于后发酵茶,渥堆是形成黑茶品质的关键性工序。文章详尽综述了近年来黑茶渥堆的研究进展,指出渥堆的实质是湿热环境、微生物及酶综合作用的结果,从黑茶香气、色泽、滋味等方面概述渥堆过程中功能成分的变化,提出利用接种微生物及添加外源物作为创新渥堆工艺的思路,讨论了包括翻堆设备、发酵罐在内的自动化渥堆车间的开发应用及面临的问题难点,以期在黑茶渥堆工艺的进一步探索提供方向。

关键词:黑茶;渥堆;调控技术;翻堆设备;发酵罐;自动化车间

Abstract:Dark tea is one kind of peculiar post-fermented tea in China, while pile-fermentation was the key process for forming the quality. This review summarized the recent progress in pile-fermentation of dark tea including the essence of pile-fermentation, which was the result of the combination of hot-humid environment, microbial effect and enzyme action. The change of the aroma, color and taste of dark tea were analyzed by functional components in the process of pile-fermentation. Furthermore, the idea of using inoculated microorganisms and adding exogenous materials as innovative pile-fermentation, as well as the development and application of automated pile-fermentation workshop including turning device and fermenter were

put forward. Combined with the above aspects, the paper for the purpose of provide direction and opinion to the further research on pile-fermentation of dark tea.

Keywords: dark tea; pile-fermentation; regulation technology; turning device; fermenter; automation workshop

黑茶属于后发酵茶,是中国特有的一大茶类,主要产于湖南、云南、广西、四川、陕西等地,包括普洱茶、茯砖茶、青砖、康砖、六堡茶等。黑茶采用较粗老原料加工而成,初加工包括杀青、揉捻、渥堆和干燥 4 道工序。其中,渥堆是黑茶品质形成的关键工序,在此进程中,茶叶中内含物质发生复杂的化学变化,形成黑茶独特的色泽、香气、滋味^[1]。本文从黑茶渥堆作用的实质、过程中主要成分的变化、工艺的调控以及自动化渥堆设备的开发等方面进行概述,更为全面地分析渥堆过程及设备研发,旨在为黑茶渥堆工艺的进一步探索提供方向。

1 黑茶渥堆的实质

1.1 湿热作用

湿热作用贯穿于黑茶渥堆的始终,在渥堆中起重要作用。在适宜的温度和湿度、氧气和适当筑紧的条件下,渥堆叶经长时间的湿热作用发生一系列化学变化。其中,以茶多酚为主的内含成分发生非酶促自动氧化,形成一系列初级产物和次级产物,蛋白质和氨基酸的分解、降解,碳水化合物的分解以及各产物之间的氧化缩合,生成更加复杂的化合物如茶褐素等产物,对黑茶的品质形成有重要作用^[2]。

1.2 微生物作用

渥堆过程是黑茶微生物快速增长的阶段, Tian Jian-qing 等^[3]通过培养依赖和 PCR-DGGE 方法研究表明,相比原料,真菌和细菌的个体数目在成熟的黑茶中含量更高。周红杰等^[4]发现,黑茶渥堆过程中的微生物主要有黑曲霉、青霉菌、

基金项目:陕西省自然科学基金研究计划(编号:2015JQ3080);陕西省青年科技新星计划项目(编号:2016KJXX-76);咸阳市二〇一五年科学技术研究计划项目(编号:2015K02-24);咸阳市 2015 年中青年科技领军人才计划(编号:2015K04-30-2)

作者简介:张亚,女,咸阳泾渭茯茶有限公司助理研究员,硕士。

通信作者:纪晓明(1964—),男,陕西苍山秦茶集团有限公司高级工程师。E-mail:jxm0312@126.com

胡歆(1984—),男,咸阳泾渭茯茶有限公司高级工程师,博士。E-mail:syusu-huxin@hotmail.com

收稿日期:2016-12-26

根霉属、灰绿曲霉、酵母属、土生曲霉、白曲霉、细菌类,其中黑曲霉最多,酵母次之;Michiharu 等^[5-7]发现 *Blastobotrys adenivorans*、*Arxula adenivorans*、芽孢杆菌等是渥堆中后期的优势种群;温志杰等^[8]研究了六堡茶渥堆发酵中微生物的变化,发现其中存在着大量的细菌、酵母、霉菌;李东等^[9]发现雅安藏茶渥堆过程中主要的真菌种群是黑曲霉、塔宾曲霉、总状枝毛霉、炭黑曲霉、根霉等;刘石泉等^[10]认为茯砖茶渥堆过程中普遍存在的是假单胞菌、克雷伯氏菌、乳杆菌。此外,Doris^[11]证实了普洱茶的安全性,所有样品中均未检测到黄曲霉毒素和伏马毒素。

黑茶渥堆中微生物的变化是有一定规律的,细菌数目在渥堆初期大量增加,当渥堆温度达到一定时,霉菌大量繁殖,产生的双糖和多糖物质为酵母提供养分使酵母大量繁殖,细菌数目则减少^[12]。普洱茶渥堆一般堆温 50~65℃、渥堆叶 pH 变化范围 3~6,黑曲霉等嗜热真菌可以在 50℃ 生长,塔宾曲霉和热带假丝酵母可在 25~45℃、pH 5 左右适合生长^[13]。微生物在代谢活动过程中,为了满足自身对碳、氮的需求,通过分泌胞外酶,实现各种物质的转化,同时呼吸放热加剧了湿热作用,促进黑茶品质的形成。

1.3 酶促作用

刘仲华等^[14]系统研究了黑茶渥堆过程中的酶活性变化,结果发现渥堆过程中新的酶系统源自微生物代谢分泌的胞外酶,为满足自身生长繁殖需要,微生物通过代谢过程产生纤维素酶、果胶酶和淀粉酶等水解酶系,并使包括多酚氧化酶、过氧化物酶等在内的氧化酶系发生根本性变化,促进茶叶中内含物质的改变。其中,黑曲霉能产生多种水解酶,分解包括有多糖、脂肪、天然纤维、蛋白质、果胶等有机物,产物多为单糖、氨基酸、水化果胶和可溶性碳水化合物,从而形成黑茶甘滑、醇厚的品质^[4]。

黑茶渥堆过程中,同时存在着湿热、微生物、酶促作用,它们之间相互影响,相互促进,形成了黑茶特有的风味品质,见图 1。

2 渥堆中主要成分变化

2.1 香气

黑茶特征香气的形成来自 3 个方面:① 茶叶本身芳香物质的转化、异构、降解、聚合形成黑茶的基本茶香;② 来自微生物及其分泌的胞外酶,在渥堆过程中对各种底物作用而

产生的一些风味香气;③ 烘焙中形成和吸附的一些特殊香气^[15]。

黑茶在渥堆过程中形成大量的杂氧化合物和酯类物质^[16],微生物代谢释放水解酶,促进单萜烯醇配糖体水解形成单萜烯醇^[17]。不同黑茶香气特征较大,湖南的“湘尖”具有松烟香,茯砖具有“菌花香”;云南普洱茶(熟茶)强调的则是一种特殊的“陈香”;广西六堡茶的香气除“醇陈”之外,还有松烟和槟榔气^[18]。有研究^[19-20]证实普洱茶陈香特征与 1,2,3-三甲氧基苯及 1,2,4-三甲氧基苯等烷氧基苯类化合物密切相关。而水杨酸甲酯、β-紫罗兰酮、香叶基丙酮等^[20-21]与“菌花香”的特征存在有一定联系。陈文品等^[22]研究比较了具有槟榔香和菌香韵的六堡茶香气组分,结果显示前者检出高含量芳樟醇和 D-柠檬油精等,后者则检出较高含量的醇类化合物 3-甲基-1,2-丙二醇,并检测到吡咯、1-乙基吡咯等成分,正是这些不同组分和含量的差异导致感官审评时六堡茶的香气表现出两种不同风格。

2.2 色泽

色泽是茶叶脂溶性色素和水溶性色素的综合反映,其中脂溶性色素形成黑茶的干茶和叶底色泽,包括叶绿素 a、叶绿素 b、胡萝卜素和叶黄素等;水溶性色素是茶多酚氧化的主要产物,构成黑茶的汤色,包括茶黄素、茶红素和茶褐素等。鲜叶经过加工,其内部各种内含色素和色素源物质经氧化、分解、转化聚合,最终使茶褐素含量上升,形成黑毛茶外形黄褐、汤色橙黄明亮的特征^[23-24]。

2.3 滋味

黑茶滋味是茶多酚及其氧化产物、氨基酸等物质的综合体,由于渥堆过程中多酚类物质的降解和异构作用,苦涩味较弱的没食子酸及儿茶素的氧化聚合产物得以保留,而呈苦涩味的酯型儿茶素进行水解,茶叶中醇和类呈味物质增加,苦涩味降低。杨抚林等^[25]认为,渥堆过程中大分子碳水化合物分解成小分子的糖及可溶性糖,在感官上表现为“甘”,蛋白质被分解产生多种氨基酸,赋予黑茶茶汤“醇”的口感。Zhu Yu-chen 等^[26]研究发现天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸、丙氨酸、茶氨酸和酪氨酸是普洱熟茶中的主要氨基酸,发酵期间总游离氨基酸含量显著降低(P<0.05)。

3 工艺的优化与调控

3.1 传统渥堆工艺

传统的黑毛茶渥堆一般是在背窗洁净的地面,避免阳光直射,保持室温 25℃ 以上、相对湿度 85%、茶叶含水量 65% 左右。普遍做法是将初揉后的茶坯立即堆积起来,上面加盖湿布等物,渥堆过程中进行翻堆,待茶坯表面出现水珠,叶色由暗绿变为黄褐,茶团黏性变小,一打即散,即为渥堆适度^[27]。

茶叶含水量、温度、渥堆时间是黑茶渥堆作用的重要因素,水是渥堆过程中化学变化和生物化学变化的必要介质和直接参与者。冯超浩等^[28]、胡捷等^[29]研究认为不同潮水量会影响渥堆过程中堆温、微生物和酶活,发现 40%~45% 潮水量下普洱茶感官品质、霉菌和各类酶活性维持在较高水平。适宜的温湿度是保证渥堆过程微生物生长代谢和茶叶

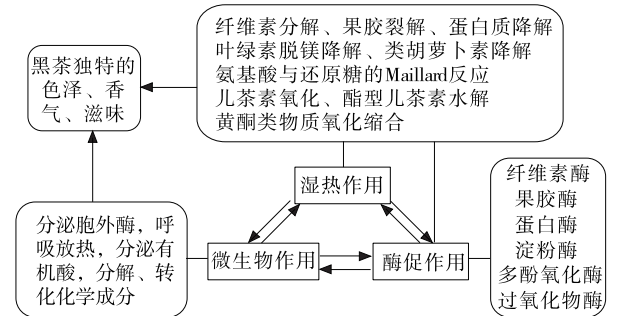


图 1 黑茶渥堆作用示意图

Figure 1 Schematic diagram of pile-fermentation in the processing of Chinese dark tea

自身酶促反应的重要条件,研究^[30]发现滇桂黑茶渥堆发酵中叶温不能超过 60℃,控制在 40℃左右最好,云南多数茶厂选择秋天进行渥堆,温湿度适宜发酵和后续的晾干。刘石泉等^[31]通过调控茶叶含水率、渥堆温度、渥堆时间,优化茯茶渥堆工艺,分析其理化成分变化,综合评价认为茯砖茶在含水率为 23%~28%、渥堆时间为 24~30 h、渥堆温度为 35~40℃时发酵较好。钟兴刚等^[32]通过较长时间(36~48 h)及二次渥堆,充分利用微生物,使天尖中茶多糖含量提高 30%以上。农艳芳等^[33]研究六堡茶渥堆工艺,得出蒸压前茶叶含水量控制在 16%~18%,蒸压形成后存放环境温度控制在(25±2)℃,湿度为 78%~82%,茶叶温度为(30±2)℃较易发花。

3.2 创新渥堆工艺

目前,传统渥堆工艺以人工操作为主,环境因素难以控制,工艺时间长、单次处理量大,易出现渥堆不均匀、渥堆程度不到位或渥堆过度等偏差^[34]。针对于此,行业学者除了探索传统渥堆中温、湿度等最佳条件外,也在利用接种微生物、添加外源物优化渥堆工艺,提高渥堆品质,见图 2。

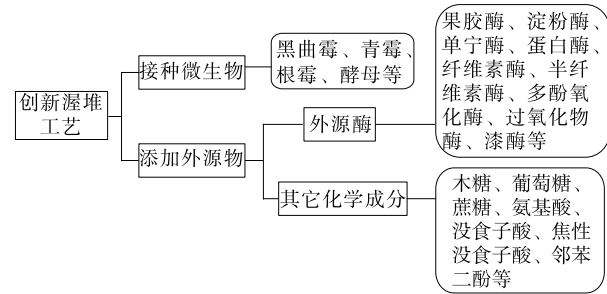


图 2 黑茶创新渥堆工艺示意图

Figure 2 Schematic diagram of innovative pile-fermentation in the processing of Chinese dark tea

3.2.1 接种微生物 梁名志等^[35]通过人工接种黑曲霉、青霉和酵母固态发酵普洱茶,结果发现 3 种真菌的添加能保持自然渥堆普洱茶的基本品质。周春红等^[36]从普洱茶渥堆样中筛选出生产菌株,分别接种至茶叶鲜叶中进行发酵,结果发现普洱茶中茶黄素、茶红素和可溶性糖含量在发酵过程中呈减少趋势,茶褐素呈增高趋势,显示合适的菌种配比及接种量对普洱茶的生产有很好的促进作用。

3.2.2 添加外源物 李中皓等^[37]通过纤维素酶、过氧化物酶和风味蛋白酶对黑茶品质成分的影响研究表明,适量的酶促处理有利于黑茶品质成分的形成。唐燕山等^[38]研究发现纤维素酶、半纤维素酶、蛋白酶及外源酵母的添加对黑茶渥堆过程中水溶性总糖、氨基酸、茶多酚的含量变化影响显著。龚加顺等^[39]利用潮水和不同外源物质对晒青绿毛茶进行固态发酵,发现茶叶的外观色泽以及汤色均有显著性变化,添加葡萄糖、没食子酸、焦性没食子酸、甘氨酸等以及它们的混合物均能促进茶褐素的大量形成。高力等^[40]研究发现,黑茶发酵前期的多酚氧化酶活和霉菌总数的最大值,与外源添加物木糖的浓度呈正相关;茶多酚与儿茶素含量变化速度加快,且与木糖浓度呈正相关;而茶黄素变化与木糖浓度呈显著负相关;添加木糖能缩短黑茶发酵时间,且茶汤滋味更甘

甜,香气更浓郁。付赢萱等^[41]将不同浓度多酚氧化酶处理普洱茶,发现试验组渥堆平均温度相对较高,其中茶多酚、儿茶素指标变化速度加快且与多酚氧化酶的添加量呈负相关,茶褐素积累较快,添加量分别为 1.6、3.2 U/g 的多酚氧化酶组可达到陈年普洱茶的品质特点,缩短发酵周期。刘通讯等^[42]探讨了外源氨基酸对普洱茶汤中的呈味物质以及香气成分的形成有显著影响,能加快普洱茶特殊品质的形成。

4 自动化渥堆设备的开发应用

4.1 翻堆设备

李亚莉等^[43]对人工翻堆各动作采用机械模拟方式进行创新设计,研制出移动式普洱茶发酵翻堆机,该设备主要由旋转耙堆装置、输送提升装置、解块装置及电机控制装置等部分组成,利用笼网状解块轮的高速旋转打散茶叶进行解块,实现翻堆、输送、解块等工艺一次性完成。杨光等^[44]设计出为解决黑茶发酵过程中翻堆降温的问题,设计一种黑茶翻堆设备,经试验发现影响温差变化最大的是辊筒线速度,影响含水率变化最大的是辊筒线速度和前进速度的速比,影响蓬松率最大的是前进速度。肖宏儒等^[45]设计了一种安装在行走总成上的黑茶发酵翻堆机,此装置可实现在行走过程中逾越地面障碍,实现连续均匀的茶叶翻堆,提高渥堆效率。

4.2 发酵罐

黑茶发酵罐的设计包括温度、湿度、内部压力、翻转周期、数据采集等主要因素。黄云战等^[46]采用三维建模对发酵罐搅拌机构进行有限元分析,研制出自动发酵罐专用变频控制柜,设计出潮水、解块装置。吴绍帅等^[47]研发出集自动潮水、保温保湿发酵、旋转翻堆等技术于一体的多功能双层保湿转动式普洱茶发酵罐(专利号 ZL2009201116889),可实现普洱茶发酵过程的自动化、清洁化、数字化、标准化和可控性操作。李亚莉等^[48]应用双层保湿转动式普洱茶发酵罐(专利号 ZL200920111698.9),以云南大叶种晒青茶为原料,研究发酵罐的最优工艺参数。罗新文等^[49]优化了发酵罐的主轴管直径、解块叉杆连接方式和变频控制方式,设计出 II 型普洱茶发酵罐,对车间外部环境条件(温度、湿度)进行监测,通过自动控制精确定量潮水,渥堆前潮水比例按 25%~33%、接入不同发酵剂进行加工试验,结果显示普洱茶感官审评色泽、香气、滋味等变化较为理想。

发酵罐罐体工作时的变形量、应力分布、强度等直接影响到发酵罐能否安全有效地工作,李欢等^[50]运用有限元分析方法,建立黑茶发酵罐罐体模型,得出发酵罐的位移分布和应力分布,确定发酵罐的危险区域为中部和边缘,对罐体的整体和局部受力条件有更直观准确的认识,为以后发酵罐的结构优化提供理论基础,提高设计的安全性、经济性。

4.3 自动化发酵车间

黑茶清洁化发酵车间的设计是将微生物技术、机械加工技术和电气控制技术融为一体,根据茶叶发酵量、雾化加湿设备、环境和茶堆温湿度变化规律等因素设计出黑茶发酵车间的有效空间尺寸,并进行生产试验,其中自动化渥堆设备由 PLC 主控设备、温湿度传感器、变送器、计算机处理系统等构成^[51]。

吴晓强等^[52]为自动调整普洱茶发酵车间环境温度,有效提高普洱茶的均匀发酵效率,采用最小二乘法进行温度测量数据处理,建立发酵过程中车间温度的数学模型,为自动化普洱茶发酵车间的环境温度控制提供了理论依据。伟恒等^[53]设计出一种基于 C8051F020 单片机的温湿度自动监测预警系统,将温度传感器 DS18B20 和湿度传感器 HS1101 应用于黑茶渥堆过程。闻娜等^[54]建立了一种基于 PLC 技术的自动化黑茶渥堆生产装置,通过电源照射、光纤探聚集发酵信息、发酵仪转换成数字信号、微处理器进行处理、计算和分析,从而完成对待测黑茶样品渥堆程度的预测。赵永杰等^[55]开发出普洱茶发酵车间测控系统,基于 PLC 和现场总线等现代技术,利用传感器在线检测茶温和水分等过程参数,使不同批次普洱茶的质量趋于稳定。何梅珍等^[56]设计出六堡茶自动发酵联合控制机,该设备封闭式设计、保湿透气,发酵箱采用复合结构材料,利于优势微生物种群的保持和传递。

5 展望

近年来,关于黑茶渥堆的研究取得了一定的进展,结合国内外研究现状来看,黑茶渥堆目前的研究情况及未来研究方向是:

- (1) 不同黑茶渥堆过程中的主要微生物种类及变化已基本研究清楚,但缺少其相应的作用机制及最适生长条件研究;同时,开展黑茶渥堆过程中酶的基因调控、功能成分形成机理三者之间相互联系的研究,从本质上揭示渥堆对黑茶品质的形成机理,是今后渥堆基础性理论研究的主要方向。
- (2) 对渥堆过程中接种优势微生物和添加外源物的研究已经普遍,其主要分析对茶叶内含物成分含量的影响,而缺少相应对生产周期、生产成本,以及内含物变化机理、规律的研究,尚需建立外源添加物对黑茶渥堆功能成分的影响机制,进而全面考察菌种的配比、接种量以及多种类型的外源物组合来调控黑茶的渥堆进程。
- (3) 黑茶自动化渥堆设备的研制,主要集中在发酵罐的开发、渥堆仓的建立、环境的智能控制、动态式监测等方面,目前关于普洱茶、六堡茶的自动渥堆设备已运用到生产实践中,但是大多是小批量生产,如何做到工业化、商品化,在降低能耗、增加产能的基础上保证自动化设备安全、持续、高效地进行仍需进一步探讨。此外,自动化设备的开发中仍存在一些问题,比如发酵罐内部压力的控制、如何安全持续渥堆、罐内环境是否利于微生物生长等。今后的研发方向应集中在降低能耗、增加渥堆量的基础上,注重发酵罐罐体材料的开发、如何利用接种及添加外源物缩短罐内茶叶渥堆时间(控制发酵程度)、发酵罐如何进行循环渥堆以及自动化设备的动态式监测等方面,从而实现黑茶的科学化生产。

参考文献

[1] 王增盛,施兆鹏,刘仲华,等. 论黑茶品质及风味形成机理[J]. 茶叶科学, 1991, 11(S1): 1-9.

[2] 罗龙新,吴小崇,邓余良. 云南普洱茶渥堆过程中生化成分的变化及其与品质形成的关系[J]. 茶叶科学, 1998, 18(1): 53-60.

[3] TIAN Jian-qing, ZHU Zi-xiang, WU Bing, et al. Bacterial and Fungal Communities in Pu'er Tea Samples of Different Ages[J].

Journal of Food Science, 2013, 78(8): 1 249-1 256.

[4] 周红杰,李家华,赵龙飞,等. 渥堆过程中主要微生物对云南普洱茶品质形成的研究[J]. 茶叶科学, 2004, 24(3): 212-218.

[5] MICHIHARU A, NAOHIRO T, YOSHITO I, et al. Characteristic fungi observed in the fermentation process for Puer tea[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 124(2): 199-203.

[6] 杨晓苹,罗剑飞,刘昕,等. 普洱茶固态发酵过程中微生物群落结构及变化[J]. 食品科学, 2013, 34(19): 142-147.

[7] ZHANG Wei, YANG Rui-juan, FANG Wen-jun, et al. Characterization of thermophilic fungal community associated with pile fermentation of Pu-erh tea[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 227: 29-33.

[8] 温志杰,石荣强,何勇强,等. 六堡茶渥堆过程中微生物种群变化的研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 1 009-1 011.

[9] 李东,齐桂年,胥伟,等. 藏茶渥堆过程中真菌种群的鉴定[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(12): 155-158.

[10] 刘石泉,胡治远,赵运林. 变性梯度凝胶电泳法初步解析茯砖茶渥堆发酵过程中细菌群落结构[J]. 食品科学, 2014(15): 172-177.

[11] DORIS Haas, BETTINA Pfeifer, CHRISTOPH Reiterich, et al. Identification and quantification of fungi and mycotoxins from Pu-erh tea [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 166(2): 316-322.

[12] 王银诚,袁海,江用文. 黑茶品质成分及加工研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(22): 194-199.

[13] 杨瑞娟,吕杰,严亮,等. 普洱茶渥堆发酵中嗜热真菌的分离和鉴定[J]. 茶叶科学, 2011, 31(4): 371-378.

[14] 刘仲华,黄建安,施兆鹏. 黑茶初制中主要酶类的变化[J]. 茶叶科学, 1991, 11(S1): 17-22.

[15] 施兆鹏,刘仲华,黄建安,等. 论黑茶品质及风味形成机理 [C]//湖南省茶叶学会 2007 年学术年会论文集.长沙: [出版者不详], 2007: 288-296.

[16] 吕海鹏,钟秋生,王力,等. 普洱茶加工过程中香气成分的变化规律研究[J]. 茶叶科学, 2009, 29(2): 95-101.

[17] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 261-262.

[18] 何华锋,朱宏凯,董春旺,等. 黑茶香气化学研究进展[J]. 茶叶科学, 2015, 35(2): 121-129.

[19] LV Hai-peng, ZHONG Qiu-sheng, LIN Zhi, et al. Aroma characterisation of Pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC-MS and GC-olfactometry[J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 1 074-1 081.

[20] LV Shi-dong, WU Yuan-shuang, LI Chang-wen, et al. Comparative Analysis of Pu-erh and Fuzhuan Teas by Fully Automatic Headspace Solid-Phase Microextraction Coupled with Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Chemometric Methods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(8): 1 810-1 818.

[21] 张亚,李卫芳,肖斌. 25 个湖南、陕西茯砖茶样品挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2017, 45(2): 151-160.

[22] 陈文品,陈平韬,杨洪元,等. 六堡茶感官理化品质及挥发性香气分析研究[C]//茶叶科技创新与产业发展学术研讨会论文集.杭州: [出版者不详], 2009: 312-318.

[23] 刘仲华, 王增盛, 黄建安, 等. 黑茶初制中主要色素物质的变化与色泽品质的形成[J]. 茶叶科学, 1991, 11(S1): 34-41.

[24] 柴硕, 孙琪璐, 肖蕾, 等. 安化黑茶渥堆工艺及品质形成研究进展[J]. 茶叶通讯, 2015, 42(1): 7-10.

[25] 杨抚林, 邓放明, 赵玲艳, 等. 黑茶微生物学研究进展[J]. 微生物学杂志, 2006(1): 85-88.

[26] ZHU Yu-chen, LUO Ying-hua, WANG Peng-pu, et al. Simultaneous determination of free amino acids in Pu-erh tea and their changes during fermentation[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 643-649.

[27] 黄怀生, 粟本文, 郑红发, 等. 黑茶加工机械研究进展[J]. 茶叶通讯, 2013, 40(4): 26-28.

[28] 冯超浩, 刘通讯. 不同潮水量条件下普洱茶渥堆过程化学成分的变化[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 135-139.

[29] 胡捷, 刘通讯. 不同工艺条件对普洱茶渥堆过程中微生物及酶活的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(3): 571-575.

[30] 陈椽, 刘勤晋, 胡建程, 等. 制茶学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 264-269.

[31] 刘石泉, 赵运林, 胡治远, 等. 不同渥堆条件对茯砖茶品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 256-259.

[32] 钟兴刚, 刘淑娟, 郑红发, 等. 一种提高天尖黑毛茶品质的加工方法: 中国, 201310238099.4[P]. 2013-08-28.

[33] 农艳芳, 韦全辉, 何志强, 等. 影响六堡茶金花形成的因子[J]. 中国茶叶加工, 2011(3): 31-33.

[34] 柴硕, 黎娜, 李瑾, 等. 安化黑毛茶加工现状与机械化发展趋势[J]. 湖南农业科学, 2015(3): 79-81.

[35] 梁名志, 陈继伟, 王立波, 等. 人工接种真菌固态发酵对普洱茶品质和功能的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 273-277.

[36] 周春红, 黄振兴, 阮文权, 等. 微生物对普洱茶渥堆过程中特定风味成分变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(7): 36-39.

[37] 李中皓, 刘通讯. 外源酶对成品普洱茶品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2008, 28(2): 152-154.

[38] 康燕山, 黄薇, 袁唯, 等. 普洱茶发酵过程中添加外源酶及外源酵母对主要成分的影响[J]. 云南农业大学学报, 2015, 30(5): 784-789.

[39] 龚加顺, 陈一江, 彭春秀, 等. 普洱茶发酵过程中不同添加物对

茶褐素及其形成机制的影响[J]. 茶叶科学, 2010, 30(2): 101-108.

[40] 高力, 刘通讯. 渥堆发酵过程中木糖添加量对普洱茶品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 168-172.

[41] 付赢萱, 刘通讯. 多酚氧化酶对普洱茶渥堆发酵过程中品质变化的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(3): 197-201.

[42] 刘通讯, 凌萌乐. 不同氨基酸对普洱熟茶呈味物质和香气成分的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2 199-2 205.

[43] 李亚莉, 郝强, 黑利生, 等. 移动式普洱茶翻堆机的设计研究[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(3): 30-33.

[44] 杨光, 肖宏儒, 宋志禹, 等. 黑茶翻堆设备的设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(5): 122-125.

[45] 肖宏儒, 季顺中, 宋志禹, 等. 一种黑茶发酵翻堆机: 中国, 201410393767.5[P]. 2014-12-03.

[46] 黄云战, 赵永洁, 李亚莉, 等. 普洱茶发酵罐研制及应用研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 115-118, 174.

[47] 吴绍帅, 李亚莉, 黄云战, 等. 普洱茶发酵自动化生产专利技术的研发[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 183-185.

[48] 李亚莉, 朱广鑫, 周红杰, 等. 双层保湿转动式普洱茶发酵罐发酵工艺[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(9): 89-94.

[49] 罗新文, 黄云战, 熊同强, 等. II 型普洱茶发酵罐的改正设计与试验分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(32): 157-159.

[50] 李欢, 李华英, 黄云战, 等. 普洱茶发酵罐的力学性能研究[J]. 机械研究与应用, 2014, 27(5): 49-51, 56.

[51] 马振纲, 黄云战, 刘大鹏, 等. 基于 PLC 在普洱茶发酵车间的应用分析与研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(19): 10 276-10 278.

[52] 吴晓强, 黄云战, 周红杰, 等. 普洱茶发酵车间环境温度的预测方法[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 7-10.

[53] 徐伟恒, 张方坤, 李俊萩. 普洱茶渥堆发酵多通道温湿度监测系统的设计[J]. 现代电子技术, 2011, 34(3): 118-119, 122.

[54] 闻娜, 刘成伟, 王涛. 可编程控制技术在普洱茶渥堆生产自动化中的应用[J]. 福建茶叶, 2016(1): 25-26.

[55] 赵永杰, 黄云战, 周红杰, 等. 普洱茶发酵车间测控系统的设计与实现[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 98-101.

[56] 何梅珍, 黄达勤, 石荣强, 等. 六堡茶渥堆发酵自动控制技术研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(24): 10 136-10 138.

(上接第 98 页)

- (1) 采用了 UG 软件建模和编程, 利用高精度数控雕铣机进行加工, 有效地保证 102 个孔的位置精度。
- (2) 对于薄板多孔的软胶体成型, 采用压塑成型方案, 模具结构简化, 制造成本降低, 操作简单。
- (3) 在编程上, 采用“型腔铣削”“深度轮廓加工”及“指定切削区域”等方式, 分层、分区域等方法, 完成自带 102 × Φ 0.8 mm 细小型芯的凹模型腔数控加工。有效地避免因刀具小、易损坏而影响工件加工质量, 为同类零件加工提供参考。

参考文献

[1] 聂学俊, 熊光洁, 汤晓华. 食品包装机械的自动控制[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(9): 76-78.

[2] 吴锦虹, 林楚平. 全自动自立袋充填旋盖机送袋机构及灌装阀的改进[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 117-119, 168.

[3] 黄志刚. 食品包装技术及发展趋势[J]. 包装工程, 2003, 24(2):

90-91.

[4] 刘军. 基于食品包装设计的流线型审美表现及启示[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 171-173, 177.

[5] 喻航, 刘渝, 赵川, 等. 大袋包装机真空吸袋装置吸附能力研究[J]. 包装工程, 2015, 36(17): 61-65.

[6] 沈惠平, 高宗华, 祁泽佩, 等. 隧道管片真空吸盘翻转机翻转机构及最小翻转力矩优化计算[J]. 机械设计, 2010, 27(5): 63-66.

[7] 曹丽华. 非磁性材料工件在平面磨床上的装夹[J]. 航天工艺, 2001(3): 55-57.

[8] 王军, 张建超, 汪西应. CRTS II 型无砟轨道板真空吊具的设计[J]. 制造业自动化, 2011, 33(3): 113-115.

[9] 王跃华. 球接头的数控加工[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 106-110.

[10] 魏平, 耿慧莲. 基于四开数控雕铣机床深孔件的数控程序设计[J]. 机床与液压, 2010, 38(22): 45-47.

[11] 王明海, 刘明辉, 徐颖翔, 等. 不同工艺对碳纤维复合材料制孔的影响[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(9): 125-128.