

茯茶发花工艺影响因素研究进展

丁帅涛^{1,2}, 刘凯利^{1,2}, 朱晓芳^{1,2}, 陈桂梅^{1,2}, 胡歆^{1,2}, 梁艳^{1,2*}

(1. 咸阳泾渭茯茶有限公司, 陕西咸阳 712044; 2. 国家林业和草原局茯茶工程技术研究中心, 陕西咸阳 712044)

摘要 茯茶属于后发酵茶, 发花工艺是茯茶制作过程中的独特工序。发花过程中茶叶生化成分在湿热作用、微生物作用和酶促作用下发生剧烈复杂变化, 这些生化成分的综合变化和协调为茯茶独特品质风味和保健功效的形成奠定了重要的物质基础。对影响茯茶发花的内部和外部环境因素进行了综述, 并对发花工艺的研究趋势进行了展望, 以期为实际生产中合理调控茯茶发花提供探索方向和参考依据。

关键词 茯茶; 发花工艺; 冠突散囊菌; 生化成分; 影响因素

中图分类号 TS272 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)05-0012-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.05.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on the Influencing Factors of the Fungal Fermentation of Fu Tea

DING Shuai-tao^{1,2}, LIU Kai-li^{1,2}, ZHU Xiao-fang^{1,2} et al (1. Xianyang Jingwei Fu Tea Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi 712044;

2. Engineering Technology Research Center of Fu Tea, National Forestry and Grassland Administration, Xianyang, Shaanxi 712044)

Abstract Fu tea is one kind of peculiar post-fermented tea in China, and the fungal fermentation is the unique process of Fu tea manufacturing. During the process of fungal fermentation, the biochemical components of Fu tea has drastic and complex changes within the action of damp-heat, microbiological and enzyme, the comprehensive changing and coordination of the biochemical components lays an important material foundation for the formation of unique quality flavor and health benefits of Fu tea. In order to provide the exploration direction and reference for the rational control of the fungal fermentation of Fu tea in actual production, the internal and external environment factors effecting the fungal fermentation of Fu tea is mainly reviewed in this article, and the research trend technology of the fungal fermentation of Fu tea is prospected.

Key words Fu tea; Fungal fermentation; *Euotium cristatum*; Biochemical components; Influencing factor

茯茶属于后发酵茶, 多以黑毛茶或粗老绿茶为原料, 经筛分拼配、汽蒸渥堆、压制成型、发花干燥和成品包装等工序加工而成, 具有促进消化、消脂解腻、降脂减肥等独特功效, 可有效调控糖脂代谢和调理肠胃等^[1-7]。发花过程中茶叶内的优势菌冠突散囊菌及其他微生物大量生长繁殖, 借助体内的物质代谢满足自身生长需求的同时还分泌和释放各种胞外酶(如多酚氧化酶和过氧化物酶及其同工酶、纤维素酶、果胶酶和蛋白酶等)^[8-11], 在适宜的环境温湿度条件下导致茶叶内的各种化学物质发生分解、氧化、聚合、转化等复杂反应, 并引起茯茶发花体系中生化成分的一系列动态变化^[12-14], 为茯茶独特品质风味和保健功效的形成奠定了重要物质基础。

该研究对茯茶发花工艺中的内部影响因素(湿热作用、微生物作用、酶促作用、生化作用)和外部影响因素(茶砖物料、发花烘房)进行综述, 对发花工艺存在的问题和研究趋势进行总结, 以期为实际生产中合理调控茯茶发花、提高茯茶产品品质和改良茯茶标准化加工工艺提供探索方向和参考依据。

1 发花工艺内部影响因素

茯茶发花的实质是优势菌冠突散囊菌在适宜湿热区域环境条件下生长繁殖的过程。在湿热条件下, 发花过程中存在着相互影响、相互促进的微生物作用、酶促作用、生化作用

等, 是形成茯茶独特品质风味和保健功效的关键工序之一。

1.1 湿热作用 邵元元等^[15]研究不同茶砖进烘含水率对发花进程的影响, 结果表明茶砖进烘含水率直接影响金花菌的数量与茶汤的感官品质, 保持适宜的茶砖进烘含水率为湿热作用提供了保障条件。张亚等^[16]利用食品级包装材料对微型茯茶进行预包装, 再使用耐高温高压食品袋套棉塞封装后用杀菌釜进行灭菌, 为微型茯茶发花提供了良好的湿热条件, 确保了茶砖表面及内部均发花良好, 而传统茯砖茶仅内部发花良好, 表面不发花, 因此微型茯茶对发花期间区域微环境温湿度的要求和传统茯砖茶存在较大差异。

可见在适宜的外部温湿度和氧气含量的环境条件下, 湿热作用为生化作用和优势菌冠突散囊菌的生长繁殖提供了基础条件, 在发花过程中起着重要作用。

1.2 微生物作用 发花过程中微生物种类和数量的动态变化、优势菌对茯茶的参与作用及其作用机理是近期科研院所的研究热点。何红霞^[17]对散茶发花过程中的微生物类群进行系统鉴定和研究, 结果发现微生物类群中存在冠突散囊菌、黑曲霉、塔宾曲霉、青霉菌、枝孢菌等。刘石泉^[18]对茯茶发花过程中微生物群落种类和结构进行研究, 对发花过程中不同时间段真群落菌 18S rDNA 高变区进行扩增, 并对真菌变性梯度凝胶电泳(DGGE)图谱中条带进行克隆测序和序列比对分析, 结果表明茯茶发花不同时间段的优势菌不相同, 优势菌种内还存在多种亚种或生态型。

伍金金等^[19]研究泾渭茯茶发花过程中微生物的多样性, 结果表明泾渭茯茶发花前期霉菌菌群丰富, 其中橘青霉为优势菌, 还有少量冠突曲霉、黑曲霉、互隔铰链孢霉和芽枝状枝孢霉等, 发花第 8 天时橘青霉数量仍较多, 还检出少量

基金项目 陕西茶叶走向高端品牌化发展战略研究(2021KRM129)。
作者简介 丁帅涛(1986—), 男, 河南驻马店人, 工程师, 硕士, 从事茶树种植和茶叶加工研究。*通信作者, 高级工程师, 在读博士, 从事化学和茶叶加工研究。

收稿日期 2022-05-31; **修回日期** 2022-07-06

肋状曲霉和黑曲霉,发花第 8 天后冠突曲霉大量生长并逐渐成为优势菌。

综上可知,在茯茶发花的不同时期微生物具有丰富的多样性,而且微生物的种类和数量也在发生动态变化,发花中后期的优势微生物冠突散囊菌参与了茯茶发花过程中复杂的生化反应,它们的代谢作用改善了茶叶品质,还增加了多种代谢活性物质^[1,20-21],为茯茶独特品质风味和保健功效的形成奠定了重要物质基础。

1.3 酶促作用 蔡正安等^[9]采用液体发酵培养法培养从茯砖茶中分离出的冠突散囊菌,研究结果表明粗纤维可在冠突散囊菌分泌的纤维素酶的作用下分解形成可溶性糖。丁婷^[10]以陕西茯砖茶中提取的冠突散囊菌为菌种,在基础固体培养基培养该冠突散囊菌并进行生物学特性研究,结果表明,培养到第 5 天时产淀粉酶的酶活力达到 254.3 U/g,第 6 天时产脂肪酶的酶活力达到 11.4 U/g,第 7 天时产中性蛋白酶的酶活力达到 160.2 U/g、产碱性蛋白酶的酶活力达到 117.8 U/g,第 4.5 天时产酸性蛋白酶的酶活力为 22.6 U/g,该冠突散囊菌以产中性与碱性蛋白酶为主,第 7 天时酶活力达到最大值。

陈桂梅等^[11]研究冠突散囊菌在不同培养条件下产纤维素酶、蛋白酶、淀粉酶、果胶酶、脂肪酶的能力及其酶活性的动态变化规律,结果表明在液体培养条件下未检测到脂肪酶,而纤维素酶、蛋白酶、淀粉酶和果胶酶的活性在发花过程中呈现一定的变化趋势。何红霞^[17]还对散茶发花过程中微生物类群和酶活性(纤维素酶、果胶酶、淀粉酶、葡萄糖苷酶、蛋白酶和单宁酶)的动态变化规律进行研究,结果表明酶活力水平与微生物数量的动态变化关系密切,6 种酶的酶活力都呈现由低到高的变化趋势。

综上可知,微生物作用和酶促作用在茯茶发花过程中是相互促进和影响的,它们为茶叶生化反应提供了物化动力。蔡正安等^[9-11,17]的研究结果进一步说明了茯茶独特品质风味和保健功效的形成与冠突散囊菌的酶促作用密切相关,在茯茶发花过程中伴随着多种微生物(如冠突散囊菌、黑曲霉、青霉、白霉、细菌、酵母菌及其他微生物等)的生长繁殖,微生物之间还存在着抑制和被抑制的关系,在发花中后期逐渐成为优势菌的冠突散囊菌在生长代谢过程中会分泌多种胞外酶(如多酚氧化酶、纤维素酶、果胶酶、淀粉酶等),并将茶叶中的多酚类物质、纤维素、果胶、多糖等大分子物质转化成小分子物质,多酚类物质进一步发生氧化、聚合或降解等反应,游离氨基酸各组分组合和比例发生变化,纤维素、淀粉及多糖类物质发生水解生成更多的可溶性碳水化合物,并为冠突散囊菌自身的生长代谢提供碳源和能源。

1.4 生化作用 李适等^[12]通过理化检测和 HPLC 色谱方法,以黑毛茶为原料比较发花前后各主要化学成分含量的差异变化,并研究黑茶发花过程中冠突散囊菌对茶叶主要化学成分含量的影响,结果发现发花过程中茶多酚类物质、黄酮类物质、水溶性蛋白质、可溶性糖的含量分别减少了 16.75%、5.65%、22.77%、10.73%,但水浸出物的含量变化不

明显;进一步采用 HPLC 的检测方法对发花前后黑毛茶中的游离氨基酸、生物碱、儿茶素、有机酸类的组成和含量进行研究,结果发现在发花过程中游离氨基酸的总量减少了 88.62%,茶氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、酪氨酸的含量下降较剧烈,生物碱的含量呈上升趋势,咖啡碱含量升高了 8.55%,可碱含量升高了 11.76%,没食子酸和简单儿茶素的含量呈现升高趋势,而儿茶素类成分总量和酯型儿茶素的含量呈现下降趋势。

宁静等^[14]以云南大叶种晒青茶为原料制成轻压晒青散茯、手筑晒青茯砖和机压晒青茯砖,通过理化检测和 HPLC 色谱方法研究晒青茶发花前后主要化学成分含量的动态变化规律,结果表明茶多酚、儿茶素、游离氨基酸、总黄酮、可溶性糖等含量都呈现不同程度的下降趋势,酯型儿茶素含量下降达到显著水平,咖啡碱、水浸出物含量增加不明显,茶多糖、没食子酸和花青素含量显著增加。可见在适宜的湿热条件下,微生物种类和数量的动态变化、酶活性的动态变化和复杂的生化反应是相互促进和影响的,它们之间的综合作用影响着茯茶的整个发花过程。

李适等^[12-14]对茯茶发花过程中的主要生化成分含量的动态变化进行了研究,发现茶叶内的主要生化成分含量均发生了剧烈复杂的变化,如茶多酚、游离氨基酸、可溶性糖、儿茶素、黄酮类物质等生化成分的含量都出现了不同程度的降低,水浸出物和咖啡碱的含量则没有明显的变化。

综上可知,在茯茶发花的过程中,以茶多酚、游离氨基酸、可溶性糖和有机酸等为主的茶叶物质,以微生物分泌的胞外酶的酶促作用和湿热作用为主要动力,在微生物体内代谢的协同作用下发生氧化、聚合、降解、分解或转化等复杂反应,促使儿茶素和游离氨基酸的总量降低和组分改变、黄酮类物质含量减少、可溶性糖含量减少和有机酸含量增加等,这些生化成分含量的综合变化和协调与茯茶发花程度的不同关系密切,为茯茶独特品质风味和保健功效的形成奠定了重要的物质基础。

2 发花工艺外部影响因素

发花烘房,也叫发酵房,为茯茶发花提供了适宜的温湿度条件,是实施茯茶工业化和标准化生产中发花工艺的重要设施,其围护结构与内部气流组织会影响内部速度场和温湿度场分布,影响茶砖内部的热湿迁移状况,最终影响并表现为茶砖区域性的发花差异。

2.1 茶砖物料 作为典型的非饱和多孔介质,茯茶固体茶叶骨架充满了以液态水和蒸气形式存在的水分,在复杂多变的发花过程中茶砖内部和空气-茶叶界面发生热量、质量、动量耦合传输过程,涉及的输运过程由茶砖物料本身特点(含水率、密度、孔隙率、饱和度、渗透率等)和外部环境(围护结构、温湿度场、风速等)共同决定,涉及固相、液相、气相耦合及湿分相变,受到茶砖内部热湿迁移和外部发花环境共同作用^[22]。

宁静等^[14]研究表明,压制方法的不同(轻压散茯、手筑茯砖和机压茯砖)会导致茶砖的紧实度和水分散失速度不

同,影响发花过程中的微生物种群组成、数量和优势菌的生长及热湿传递作用,并最终导致茶叶内生化学成分分解、氧化、聚合、转化等幅度不同。赵仁亮等^[23-24]通过研究茶砖表面和内部的微生物演变规律来揭示冠突散囊菌形成的差异性,结果表明在发花过程中茶砖内部由于保水湿度较大而有利于微生物生长繁殖,导致茶砖表面和内部生化成分含量下降程度存在一定的差异,茶砖表面生化成分含量的下降幅度稍低于内部,这与环境条件和微生物活性存在一定程度的差异性关系。

2.2 发花烘房 白通通等^[25-26]采用竖壁贴附送风的方式来研究冷藏库内气流场的分布特性和物品冷却效果,结果表明不同气流组织形式可以影响冷藏库内流场分布和产品冷藏特性,竖壁贴附送风在相同的送风量下可以使冷藏库内的温湿度和气流速度的不均匀系数降低,从而提高冷藏库内空气与货物的换热效率和能量利用率。

茯茶发花期间要求烘房内不同区域的温度基本稳定(26~30℃),不同发花阶段相对湿度呈递减梯度变化(75%~50%)。在典型的春夏秋冬四季中室外气象温湿度昼夜发生变化,从而导致发花烘房围护结构负荷发生动态变化,烘房围护结构负荷和热泵烘干机除湿负荷的变化也会对烘房内部气流组织的均匀性产生影响,影响烘房内部不同区域温湿度的均匀性^[27-29],从而影响茯茶发花的稳定性。

目前传统发花烘房普遍采用高温蒸汽管道组合散热片来控制温湿度的设计方案^[30],该方案由电磁阀控制温湿度,自动化智能化程度较低,人工操作难度较大,而采用空气能热泵烘干机组合均流板出口口的设计方案,可以达到对区域环境自动控温控湿的目的^[31-33],该方案由PLC控制温湿度,自动化智能化程度较高,还可以实现远程监控和操作。

但是,发花烘房内部的空气在热浮力的作用下会形成从底部往顶部方向的层层热羽流,并经顶部反射后回流形成一个区域性温差带,该温差带底部、顶部温度高湿度低,中间部位温度低湿度高,并且发花过程中茶砖内部水分散失产生的一定量的生物热也会对烘房内部温湿度的均匀性产生影响,最终影响茯茶发花的质量和稳定性。因此,为确保烘房内不同区域温湿度的稳定性和均匀性,需要在综合考虑室外气象温湿度的基础上,对烘房围护结构的特征、内部气流组织的形式和热泵机组的工作模式进行系统综合研究。

3 总结与展望

茯茶发花过程中微生物的种类变化和演变规律也受多种因素的综合影响,这种微生物的种类差异性和演变规律反过来又会对茯茶风味品质的形成产生重要影响。在发花过程中茯茶存在边缘和中心部位的区域性发花差异,茶砖边缘和中心部位存在一定程度的温湿度和氧气含量的差异,不同区域优势微生物种群组成、结构和数量可能不相同,从而导致茶叶底物生化成分的氧化、聚合、降解、分解或转化等幅度不相同,最终表现在发花时间的先后和冠突散囊菌分布的差异。

影响茯茶发花的因素有内部因素和外部因素,内部因素

有湿热作用,发花过程中各种生化成分的分解、氧化、聚合、转化等复杂反应,微生物种类和数量的动态变化,酶活性的动态变化等;外部因素有茶砖物料、室外气象温湿度、烘房内部温湿度和内部气流组织形式等;茯茶发花过程中的外部因素也会在一定程度上影响内部因素,因此保证外部因素的稳定性是前提条件。

为进一步提高烘房内部不同区域气流组织的均匀性和茶砖发花期间对温湿度的需求率,改善烘房内部温湿度垂直方向上的分层现象,确保烘房不同区域茶砖发花质量的稳定性,在综合考虑生化作用、微生物作用和酶促作用的基础上,需要进一步优化茶砖压制方式和密度,提高烘房茶砖热湿交换效率和内部气流组织的均匀性和适宜性。发花过程中不同区域环境温湿度的不同,会导致茶砖从环境中吸收的热量和释放的水蒸气含量有所差异,从而反过来对区域环境的温湿度产生影响,因此还需要进一步模拟和研究烘房内的热湿空气流动与传热效率。

参考文献

- [1] 刘仲华. 黑茶化学物质组学与降脂减肥作用机理研究[D]. 北京:清华大学,2014.
- [2] FU D H, RYAN E P, HUANG J A, et al. Fermented *Camellia sinensis*, Fu Zhan Tea, regulates hyperlipidemia and transcription factors involved in lipid catabolism[J]. Food research international, 2011, 44(9): 2999-3005.
- [3] LI Q, LIU Z H, HUANG J A, et al. Anti-obesity and hypolipidemic effects of Fuzhuan brick tea water extract in high-fat diet-induced obese rats[J]. Journal of food and agriculture, 2013, 93(6): 1310-1316.
- [4] CHEN G J, XIE M H, WAN P, et al. Fuzhuan brick tea polysaccharides attenuate metabolic syndrome in high-fat diet induced mice in association with modulation in the gut microbiota[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2018, 66(11): 2783-2795.
- [5] 王茹茹, 肖孟超, 李大祥, 等. 黑茶品质特征及其健康功效研究进展[J]. 茶叶科学, 2018, 38(2): 113-124.
- [6] 刘韦, 张格超, 李倩, 等. 泾阳茯茶中冠突散囊菌的鉴定及降脂作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(23): 7907-7914.
- [7] KANG D D, SU M, DUAN Y W, et al. *Eurotium cristatum*, a potential probiotic fungus from Fuzhuan brick tea, alleviated obesity in mice by modulating gut microbiota[J]. Food&function, 2019, 10(8): 5032-5045.
- [8] 张月, 崔旋旋, 刘英学, 等. 茯砖茶中冠突散囊菌的分离鉴定及其发酵工艺和生物活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(22): 202-207.
- [9] 蔡正安, 刘素纯, 刘仲华, 等. 茯砖茶中冠突散囊菌纤维素酶的酶学性质研究[J]. 茶叶科学, 2010, 30(1): 57-62.
- [10] 丁婷. 茯砖茶中“金花菌”的生物学特性及其产消化酶活性的研究[D]. 西安:陕西科技大学, 2012.
- [11] 陈桂梅, 邓永亮, 黄亚亚, 等. 冠突散囊菌生长过程中几种胞外酶活性变化[J]. 茶叶科学, 2013, 33(4): 306-310.
- [12] 李适, 龚雪, 刘仲华, 等. 冠突散囊菌对茶叶品质成分的影响研究[J]. 菌物学报, 2014, 33(3): 713-718.
- [13] ZHENG W J, WAN X C, BAO G H. Brick dark tea: a review of the manufacture, chemical constituents and bioconversion of the major chemical components during fermentation[J]. Phytochemistry review, 2015, 14(3): 499-523.
- [14] 宁静, 李健权, 刘本英, 等. 云南大叶种晒青茶发花前后主要风味成分的变化研究[J]. 茶叶科学, 2021, 41(2): 213-227.
- [15] 邵元元, 李飞鸣, 李一平, 等. 不同茶砖进烘含水率对复配桑叶茯砖茶发花效果及感官质量的影响[J]. 中国蚕业, 2017, 38(1): 11-15, 23.
- [16] 张亚, 黄亚亚, 韩卓潇, 等. 微型茯砖茶加工及“金花”菌鉴定[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 116-122.
- [17] 何红霞. “散茶发花”工艺微生物类群及其对茶叶品质形成影响的研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2012.
- [18] 刘石泉. 茯砖茶金花菌及其相关微生物多样性研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2014.
- [19] 伍金金, 吕嘉彬, 胡歆, 等. 泾渭茯砖茶发酵过程中霉菌的变化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 79-86.

- alkali soil of the Yellow River Delta, China[J]. Science of the total environment, 2021, 756: 1-11.
- [58] 崔向超, 胡君利, 林先贵, 等. 造纸干粉和糠渣对滨海盐碱地玉米生长和土壤微生物性状的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(3): 331-335.
- [59] 肖克庵, 吴普特, 雷金银, 等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(12): 2433-2440.
- [60] 朱大为, 王永丰, 随媛媛. 阿尔冈金紫花苜蓿在吉林省西部盐碱地引种试验研究: 以榆树县西哈毛草场种植为例[J]. 水土保持应用技术, 2014(2): 9-10, 15.
- [61] ABD-ALLA M H, OMAR S A. Wheat straw and cellulolytic fungi application increases nodulation, nodule efficiency and growth of fenugreeek (*Trigonella foenum-graceum* L.) grown in saline soil[J]. Biology and fertility of soils, 1997, 26(1): 58-65.
- [62] 黄铖程, 刘景辉, 杨彦明. 生物菌肥对盐碱地燕麦生理特性及土壤速效养分的影响[J]. 北方农业学报, 2018, 46(5): 57-61.
- [63] 侯丽媛, 董艳辉, 李亚莉, 等. 藜麦抗旱性研究进展与展望[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(11): 22-28.
- [64] 宿婧, 史晓晶, 梁彬, 等. 干旱胁迫对藜麦种子萌发及生理特性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(6): 928-932.
- [65] YANG A, AKHTAR S S, AMJAD M, et al. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress[J]. Journal of agronomy and crop science, 2016, 202(6): 445-453.
- [66] 岳凯, 魏小红, 刘文瑜, 等. PEG 胁迫下不同品系藜麦抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(3): 52-59.
- [67] 李文尧, 张岁岐, 丁圣彦, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [68] SADAK M S, EL-BASSIOUNY H M S, DAWOOD M G. Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit[J]. Bulletin of the national research centre, 2019, 43(5): 1-11.
- [69] 杨利艳, 杨小兰, 朱满喜, 等. 干旱胁迫对藜麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 种子, 2020, 39(9): 36-40.
- [70] 刘长海, 周莎莎, 邹养军, 等. 干旱胁迫条件下不同抗旱性苹果砧木内源激素含量的变化[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(5): 94-98.
- [71] 厉广辉. 花生抗旱性性状鉴定及不同品种抗旱的生理机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [72] 邹利娟, 张福顺, 刘乃新, 等. 甜菜干旱胁迫响应研究进展[J]. 中国糖料, 2021, 43(1): 36-44.
- [73] LI G L, WU H X, SUN Y Q, et al. Betaine aldehyde dehydrogenase (BADH) expression and betaine production in sugarbeet cultivars with different tolerances to drought stress[J]. Sugar tech, 2016, 18(4): 420-423.
- [74] ANJUM S, TANVEER M, HUSSAIN S, et al. Exogenously applied methyl jasmonate improves the drought tolerance in wheat imposed at early and late developmental stages[J]. Acta physiologiae plantarum, 2016, 38(1): 25-35.
- [75] 田富容. 浅谈植物抗旱生理研究进展与育种[J]. 种子科技, 2021, 39(20): 135-136.
- [76] 李云. 玉米高产栽培技术及抗旱措施[J]. 江西农业, 2019(18): 19, 22.
- [77] 汪云刚, 漠丽萍, 李建军, 等. 干旱季节茶树防旱抗旱技术措施[J]. 云南农业科技, 2019(5): 29.
- [78] 屈涛, 范永胜, 宋树柏, 等. 豫北麦区抗旱减灾应对措施[J]. 农业科技通讯, 2017(8): 273-274.
- [79] 巩祥. 苹果园春季抗旱管理措施[J]. 西北园艺(综合), 2018(5): 32.
- [80] ZHANG Q, YAO Y B, WANG Y, et al. Characteristics of drought in Southern China under climatic warming, the risk and countermeasures for prevention and control[J]. Theoretical and applied climatology, 2019, 136(3/4): 1157-1173.
- [81] 刘周斌, 周宇健, 杨博智, 等. 植物抗涝性研究进展[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(18): 4385-4389, 4393.
- [82] 班甜甜. 草石蚕对水分胁迫的生理及形态响应[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [83] 王芳. 大豆耐淹性鉴定及其形态解剖特征、遗传与 QTL 定位[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [84] 王丽, 李瑞莲, 周仲华, 等. 植物抗涝性研究进展[J]. 作物研究, 2013, 27(1): 75-80.
- [85] 张阳, 李瑞莲, 张德胜, 等. 涝渍对植物影响研究进展[J]. 作物研究, 2011, 25(4): 420-424.
- [86] 张志远, 郭巧生, 邵清松. 淹水胁迫对药用菊花苗期生理生化指标的影响[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(18): 2285-2289.
- [87] ZHANG X C, ZHOU G F, SHABALA S, et al. Identification of aerenchyma formation related QTL in barley that can be effective in breeding for waterlogging tolerance[J]. Theoretical and applied genetics, 2016, 129(6): 1167-1177.
- [88] 唐睿. 白三叶液泡膜 Na⁺/H⁺ 逆向转运蛋白基因的克隆及其功能表达分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- [89] 王露, 张宇, 杨旭. 蔬菜作物耐涝性研究进展[J]. 中国蔬菜, 2017(11): 14-20.
- [90] BARICKMAN T C, SIMPSON C R, SAMS C E. Waterlogging causes early modification in the physiological performance, carotenoids, chlorophylls, proline, and soluble sugars of cucumber plants[J]. Plants, 2019, 8(6): 160.
- [91] 郑佳雯, 何勇. 瓜类作物耐涝性研究进展[J]. 分子植物育种, 2021, 19(21): 7290-7296.
- [92] 田秋颖, 林晓红, 宋长虹. 林甸灌区排渍设计[J]. 黑龙江水利科技, 2010, 38(2): 205-207.
- [93] 李伦, 罗强, 吴士龙, 等. 渔稻养作及其在涝渍地综合利用中的研究综述[J]. 节水灌溉, 2016(5): 75-80.
- [94] 艾天成. 涝渍地土壤改良技术研究与应用[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [95] 刘大为. 农田排水资源灌溉利用适宜性评价研究: 以宁夏银北灌区为例[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013.
- [96] 陈清华, 朱建强, 刘章勇. 农田涝渍、田间排水与涝渍地利用研究进展[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011, 8(9): 252-255.
- [97] 朱建强, 黄智敏, 臧波, 等. 江汉平原的涝渍地及其开发利用[J]. 湖北农学院学报, 2004(4): 248-252.
- (上接第 14 页)
- [20] 魏宗游, 陆莹霞, 杨军成, 等. 冠突散囊菌对贵州夏秋茶发花中真菌多样性及品质的影响[J]. 生命的化学, 2021, 41(6): 1189-1195.
- [21] 冉莉莎, 刘宝贵, 陈崇俊, 等. “金花”菌分离鉴定及其对茯茶化学成分的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2021, 39(5): 96-103.
- [22] 陈西林. 茯砖茶发酵的热湿传递特性与烘房气流组织优化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.
- [23] 赵仁亮. 茯砖茶加工中微生物演变及对品质形成影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [24] 赵仁亮, 胥伟, 吴丹, 等. 黑毛茶不同产区发花对茯砖茶品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 8-14.
- [25] 白通通, 南晓红, 金宝红, 等. 竖壁贴附送风改善冷藏库内流场特性[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 331-337.
- [26] JIN B H, NAN X H, LIU L J, et al. Air distribution system suitable for tea brick fermentation process-Upward vertical wall attached ventilation[J]. Biosystems engineering, 2020, 198: 235-247.
- [27] 宁旭昊. 茯砖茶发酵、干燥工艺全周期能耗分析与节能特性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- [28] RHEE K N, SHIN M S, CHOI S H. Thermal uniformity in an open plan room with an active chilled beam system and conventional air distribution systems[J]. Energy and buildings, 2015, 93: 236-248.
- [29] SHAN W Y, RIM D. Thermal and ventilation performance of combined passive chilled beam and displacement ventilation systems[J]. Energy and buildings, 2018, 158: 466-475.
- [30] 纪晓明, 周兴长, 黄亚亚, 等. 自动控温节能型茯砖茶烘房: CN201120475518. 2[P]. 2012-08-15.
- [31] 胡歆, 唐自强, 张乐, 等. 一种新型茯茶发酵系统: CN201720125235. 2[P]. 2017-10-10.
- [32] 刘军, 吴耀森, 李浩权, 等. 黑茶热泵发花干燥技术研究及应用[J]. 现代农业装备, 2019, 40(3): 71-75.
- [33] 杨庆新, 刘仲华, 黄建安, 等. 一种智能控温的散茶发花烘房控制系统: CN202010512896. 7[P]. 2021-09-07.