

茶叶微生物的污染与控制

周棋赢^{a,b,c,d*}, 管嘉蓉^{a,b,c,d}, 赵菲菲^{b,c,d}, 岳东倩^{a,b,c,d}, 卢亚娜^{b,c,d},
唐百鹤^{a,b,c,d}, 秦克周^{a,b,c,d}, 袁红雨^{b,c,d}

(信阳师范大学 a. 茶学与食品学院; b. 河南省茶树生物学重点实验室;
c. 河南省油茶生物学与高值化利用国际联合实验室;
d. 河南省茶叶精深加工工程技术研究中心, 河南 信阳 464000)

摘要: 茶是国际上公认的三大健康饮料之一。茶叶在生产、加工、运输、贮藏等过程中难以避开环境中的微生物, 一些微生物还会产生毒素, 因此, 茶叶微生物污染受到广泛关注。目前为止, 人们在茶叶微生物污染及其控制方面的研究较少, 且较为零散。从茶叶中的微生物污染、茶叶微生物污染来源及茶叶微生物污染控制三个方面, 综述了茶叶微生物污染与控制领域的研究进展, 并讨论了茶叶微生物污染与控制方面需要关注的问题, 为科学判断茶叶微生物及其毒素的存在和危害提供参考。

关键词: 茶叶; 微生物; 污染; 控制

中图分类号: S571.1

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Contamination and control of microorganisms in tea

ZHOU Qiyang^{a,b,c,d*}, GUAN Jiarong^{a,b,c,d}, ZHAO Feifei^{b,c,d}, YUE Dongqian^{a,b,c,d},
LU Yana^{b,c,d}, TANG Baihe^{a,b,c,d}, QIN Kezhou^{a,b,c,d}, YUAN Hongyu^{b,c,d}

(a. College of Tea and Food Science; b. Henan Key Laboratory of Tea Plant Biology;
c. Henan International Joint Laboratory of Tea-oil tree Biology and High-Value Utilization;
d. Henan Engineering Research Center of Tea Deep-processing,
Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China)

Abstract: Tea is one of the three internationally recognized healthy drinks. Tea cannot avoid microorganisms in the environment during production, reprocessing, transportation, storage, and other processes, and some microorganisms can produce toxins. Therefore, microbial contamination of tea has received widespread attention. So far, research on tea microbial contamination and its control was relatively limited and scattered. Research progress in the field of microbial pollution and control of tea was summarized from three aspects: microbial pollution in tea, sources of microbial pollution in tea, control of microbial contamination in tea. The problems of microbial contamination and control of tea that needed to be paid attention to in the future was discussed. Suggestions were provided to scientifically determine the presence and harm of microorganisms and their toxins in tea.

Key words: tea; microorganism; contamination; control

收稿日期: 2023-12-23; 修回日期: 2025-02-26; * 通信联系人, E-mail: zhouqy@xynu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1404319); 国家重点研发计划项目(2021YFD1601103); 河南省科技计划项目(222102110238, 242102110327); 河南省高等学校重点科研项目(22A210023); 河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(2021GGJS100); 信阳师范大学大学生科研基金项目(2022-DXS-153, 2023-DXS-78)

作者简介: 周棋赢(1984—), 男, 河南商城人, 副教授, 博士, 主要从事茶树种质资源和茶叶品质形成研究。

引用格式: 周棋赢, 管嘉蓉, 赵菲菲, 等. 茶叶微生物的污染与控制[J]. 信阳师范大学学报(自然科学版), 2025, 38(4): 384-392.

ZHOU Qiyang, GUAN Jiarong, ZHAO Feifei, et al. Contamination and control of microorganisms in tea[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2025, 38(4): 384-392.

0 引言

微生物在一些茶类的品质形成中有着重要作用,但有害微生物的存在会影响茶叶品质,并对饮茶人的健康带来危害。一些霉菌型和细菌型微生物具有较强的蛋白质分解作用,会生成特异臭味的腐败胺类物质,影响茶叶品质^[1-2]。在茶树栽培、茶叶加工、包装、贮存和运输过程中,也可能滋生真菌并积累毒素。细菌病原体及其产生的毒素是食品(包括茶叶)安全中具有显著性危害的因子,如果没有彻底或合理地杀灭或去除,会带来健康风险^[3]。

长期以来,我国茶叶生产注重制茶的风味和品质,对微生物污染的关注程度不够,在微生物污染控制的设计和管理方面存在较多缺陷^[4]。我国茶叶品类多,出口遍布世界各地。由于茶叶消费水平和习惯差异,各地对茶叶卫生的要求各不相同,给茶叶微生物污染的控制带来困难。近年来,我国茶叶出口遇到严重的绿色贸易壁垒,特别是美、日、欧等国家和地区按照食品安全标准对我国出口茶叶微生物污染进行检测,这对我国茶叶质量安全提出了更高要求^[4]。

1 不同类型茶叶中的微生物污染

1.1 绿茶中的微生物污染

绿茶是六大基本茶类中水活度最低、受污染概率最小的茶类^[3,5]。MINAEVA等^[6]的研究发现,96.7%未包装绿茶中的细菌检出量在 5×10^3 CFU/g以下,83.3%包装绿茶中的细菌检出量在 5×10^2 CFU/g以下。所有包装绿茶(96.7%)和大多数未包装绿茶(83.3%)中霉菌的污染量均低于最低限量标准中的霉菌数量^[6]。绿茶中污染的主要真菌是黑曲霉(*Aspergillus Nigri*)和塔宾曲霉(*Aspergillus tubingensis*)^[7]。REINHOLDS等^[8]在43种绿茶中分离到了8种真菌,包括曲霉属(*Aspergillus* spp.)、杂色曲霉(*Aspergillus versicolor*)和黄曲霉(*Aspergillus flavus*)。PAKSHIR等^[9]在绿茶中发现了曲霉属(*Aspergillus* spp.)、毛霉属(*Mocur* spp.)、青霉菌属(*Penicillium* spp.)和镰刀菌属(*Fusarium* spp.)真菌,其中真菌的污染量在60~1560 CFU/g。

VIEGAS等^[10]对煮前和煮后散装及袋装绿茶中微生物的变化进行了检测,发现散装绿茶中细

菌和真菌的污染程度较袋装绿茶高,散装绿茶中真菌的多样性大于袋装绿茶;而且,它们中细菌和真菌的污染情况在煮前和煮后差距较大。袋装绿茶中曲霉类只有黑曲霉被检测到,而散装绿茶中则检测到了黑曲霉、曲霉和巢状曲霉(*Aspergillus Nidulantes*)。但所有检测的茶样品中,丝状真菌的浓度都未超过欧洲食品科学委员会规定的最大限量(10^5 CFU/g)标准。

研究人员曾对274份绿茶样品中真菌毒素的污染情况进行分析,在113份样品中检测出真菌毒素污染,占比达41.2%,其中关注较多的真菌毒素是黄曲霉毒素B1(Aflatoxin B1, AF B1)、赭曲霉毒素A(Ochratoxin A, OTA)。ZHOU等^[11]对茶叶中的霉菌毒素污染做了检测,发现在所有茶样品中,AF B1的含量均未超过美国药典规定的 $5 \mu\text{g}/\text{kg}$ 最低限量。MARTÍNEZ-DOMÍNGUEZ等^[12]在10份绿茶中发现1份样品有AF B1污染,污染浓度为 $5.4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。PAKSHIR等^[9]检测的15份绿茶样品中,其中2份有AF B1污染、11份有OTA污染;其中AF B1的平均污染浓度为 $2.81 \mu\text{g}/\text{kg}$,OTA的污染浓度在 $0.54 \sim 20.35 \mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。对摩洛哥3个不同地区的129个绿茶样品进行分析发现,76个样品有AFs污染;30%污染AFs和9.3%污染AF B1的茶样品中,其污染浓度超过了摩洛哥规定的黄曲霉毒素(Aflatoxins, AFs)和AF B1的最大限量标准^[13]。EI JAI等^[14]对摩洛哥市场上111份绿茶样品进行研究,这些绿茶样品中至少都有1种真菌毒素污染,其中常被检测到的真菌毒素有玉米赤霉烯酮(Zearalenone, ZEA)、AF G1和AF B2等,但其含量都没有超过欧洲药典对植物材料中真菌毒素的限量值。CARRATURO等^[7]在分析的16份绿茶样品中检测到了OTA,其平均浓度大于 $5 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。GARBOWSKA等^[15]对波兰市场上最流行的5款绿茶进行了检测,茶汤中OTA的量在 $1.20 \sim 4.01 \text{ ng}$ 之间。JIA等^[16]对89份绿茶进行了检测,发现7份样品有真菌毒素污染,2份样品有AF B1污染,其平均污染浓度为 $0.96 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。对54份绿茶进行真菌毒素检测,其中4份绿茶中检测到了T-2真菌毒素(T-2)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON)、霉酚酸(Mycophenolic acid, MPA)、白僵菌素(Beauvericin, BEA)和(/或)交链孢霉甲基醚(*Alternaria methyl ester*,

AME)^[17]。

1.2 红茶中的微生物污染

MADHAB等^[19]连续7年(2011—2017)对来源于印度的262份红茶茶汤中污染微生物的情况进行了分析,发现2011—2015年的所有红茶样品中都没有大肠杆菌(*E. coli*)和沙门氏菌(*Salmonella sp.*)检出,但检测到了霉菌和其他微生物;在2016和2017年的红茶样品中检测到了大肠杆菌、沙门氏菌以及其他微生物,检出率较高的是霉菌和沙门氏菌。斯里兰卡市场上的红茶干茶以及冲泡后的茶汤中均发现了细菌和真菌污染,但与干茶相比,茶汤中微生物的量减少了94%。研究还发现包装茶中微生物的污染程度比散装茶低,包装茶的茶汤中基本检测不到真菌污染^[19]。REINHOLDS等^[8]检测的63份红茶样品中,真菌的平均数量为 5.10×10^2 CFU/g,它们大部分来源于印度和斯里兰卡,而且袋装红茶中霉菌的数量比散装红茶中霉菌的数量要多一些,其中57/63有黑曲霉污染,36/63有灰绿曲霉污染,14/63有黄曲霉,7/63有杂色曲霉污染,但这些红茶样品中都没有检测到真菌毒素。对不同品牌红茶进行研究发 现,黑曲霉是红茶中污染的主要真菌类型,其他的还包括黄曲霉、青霉以及拟青霉,但分离到的25种黄曲霉小种都不具有产生AFs的能力^[3]。此外,红茶中检测到的污染真菌还有根霉属(*Rhizopus spp.*)、枝孢霉属(*Cladosporium spp.*)、横梗霉属(*Lichtheimia spp.*)和镰刀菌属等^[20]。

研究显示,不同来源、不同地方的红茶污染的真菌毒素类型和数量不同。MALIR等^[21]在12份红茶样品中发现其中4份有OTA污染,浓度在1.85~250.00 ng/g之间。对取自土耳其的50份红茶检测时发现,其中4份有OTA污染,浓度在19.6~56.7 ng/g之间^[22]。CARRATURO等^[7]在16份红茶样品中都检测到了OTA,其中7份样品OTA的浓度在5 μg/kg以上。GARBOWSKA等^[15]对市场上最流行的5款红茶进行了检测,发现3 g茶冲泡后茶汤中OTA的量为1.39~21.67 ng。对德黑兰市场上的40款红茶进行分析,发现75%的红茶样品有AFs污染,平均浓度为12.07 ng/g^[23]。PAKSHIR等^[9]的分析发现,45份红茶样品中18份有AF B1和AF G1污染,平均浓度分别为0.56 μg/kg和1.46 μg/kg;41份样品有OTA污染,浓度在5.08~30.86 μg/kg之间。对西班牙市

场上的红茶进行检测,发现其中2份红茶样品有多种毒素污染,包括AFs、OTA、伏马毒素(Fumonisin, FB)、DON、ZEA、T-2和桔霉素(Citrinin, CTN)^[3]。KISELEVA等^[17]在13份红茶样品中检测到了多种真菌毒素,包括AF B1、AF G2、T-2、15-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇(15-Acetyl Deoxynivalenol, 15-AC-DON)、MPA、BEA、柄曲霉素(Sterigmatocystin, STC)、镰刀菌酮X(Fusarenone X)和腾毒素(Tentoxin)。

1.3 黑茶中的微生物污染

黑茶加工过程中由于环境微生物和发酵微生物的参与,受霉菌污染的风险比其他茶类更高。镜检鉴定发现,渥堆黑茶中的微生物主要是细菌、霉菌和酵母。其中细菌以无芽孢短小杆菌占优势;霉菌中占优势的为黑曲霉,其次为青霉;酵母类则以假丝酵母(*Candida sp.*)最多^[24]。曲霉、青霉和散囊菌(*Eurotium*)是黑茶渥堆发酵完成的重要贡献者^[25]。冠突散囊菌在黑茶的后发酵过程中有重要作用,但其他散囊菌类如匍匐散囊菌(*E. repens*)、赤散囊菌(*E. rubrum*)和高渗散囊菌(*E. tonophilum*)却是茶叶中的真菌污染源^[3]。

不同类型黑茶中的真菌种群不同。人们对60份普洱茶样品进行分析时,共鉴定出62种真菌,分布在19个属41个种,普洱茶发酵中的优势真菌是曲霉类、青霉类、毛霉类、根霉类以及酵母类;发酵过程减少了真菌种群的多样性,增加了细菌种群的多样性;储藏时间对微生物种群的变化有显著影响。ZHAO等^[26]研究表明,曲霉属是普洱熟茶发酵中的唯一优势真菌,细菌门中最优势的为变形菌门(Proteobacteria),其次为厚壁菌门(Firmicutes)、放线菌门(Actinobacteria)、蓝菌门(Cyanobacteria)和拟杆菌门(Bacteroidetes)。也有研究发现,普洱熟茶发酵前期曲霉属占绝对优势,后期演替为芽生葡萄孢酵母属占优势^[27]。在六堡茶发酵的微生物群落中,共鉴定到真菌581属、细菌341属,其中主要的优势菌属包括真菌的曲霉属、芽生葡萄孢酵母属和踝节菌属(*Rasamsonia*)等,以及细菌的葡萄球菌属、短状杆菌属、短杆菌属、乳杆菌属和考克氏菌属等^[19]。在本地微生物自然发酵和存储的六堡茶中,匍匐散囊菌、赤散囊菌、高渗散囊菌和曲霉属是主要的真菌类型^[3]。LI等^[28]在六堡茶中分离到了不同类型、具有潜在毒素产生能力的真菌,分别属于曲霉属、青霉属、拟

青霉属和囊菌属。茯砖茶加工早期,曲霉、塞伯林德纳氏酵母(*Cyberlindnera*)和念珠菌(*Candida*)是优势真菌类型,在加工过程晚期,只有曲霉型真菌优势明显^[3]。RUI等^[29]对茯砖茶中的微生物进行分析,发现曲霉是主要的优势真菌种群,其他杂菌主要是黑曲霉、毛霉、拟青霉和青霉等,它们能产生真菌毒素,给饮茶人的健康带来隐患^[2]。还有研究发现,黑茶中的优势真菌类群在不同加工过程中会发生变化。REINHOLDS等^[8]在20种黑茶样品中鉴定到了黑曲霉、灰绿曲霉和杂色曲霉。MOGENSEN等^[30]研究发现,酸性黑曲霉(*Aspergillus acidus*)是黑茶中的主要曲霉类型,而不是黑曲霉;进一步研究发现,这些酸性黑曲霉不会产生真菌毒素。

LI等^[31]对30份云南普洱茶中AFs进行分析发现,普洱生茶中AF B1的最高污染浓度为8.33 μg/kg,普洱熟茶中AF B1的最高污染浓度为20.15 μg/kg;AF B2、G1和G2的污染量较B1的污染量低。ZHANG等^[32]对31份普洱茶中真菌毒素的检测分析发现,灰绿曲霉酰胺是普洱生茶和普洱熟茶中污染最严重的真菌毒素。KISELEVA等^[17]对54份普洱茶样品的检测分析中,发现有2份普洱茶样品有15-AC-DON、MPA和BEA污染。BOGDANOVA等^[33]对拉脱维亚零售市场和茶店中20份普洱茶进行检测分析,共检测到超过19种真菌毒素。DONG等^[34]对50份生茶普洱和50份普洱熟茶中AF B1的污染量进行了测定,发现其污染量都在检测限以下。ZHAO等^[35]在36份普洱茶中没有检测到AFs;YAN等^[36]对158份黑茶样品进行检测,发现2份黑茶样品有OTA污染。CUI等^[37]对158份黑茶样品中AFs的污染情况进行了分析后发现,1份康砖茶有AF B1污染(2.07 μg/kg)、1份茯砖有AF B1(1.24 μg/kg)、B2(0.78 μg/kg)、G1(0.81 μg/kg)和G2(1.04 μg/kg)污染。LI等^[28]对113份六堡茶进行检测发现,32.7%的六堡茶有CTN污染。YE等^[38]对108份黑茶样品进行检测分析后发现,5份样品有ZEA污染,2份样品有OTA污染。总体而言,黑茶中常见的真菌毒素有AFs、CTN、恩镰孢菌素、DON、15-AC-DON和3-乙酰基-脱氧雪腐镰刀菌烯醇。此外,棒曲霉素、STC、蜡样芽孢杆菌呕吐毒素Cereulide(CER)、交链孢霉烯(Altenuene, ALT)、脱氧雪腐镰刀菌烯-3-β-d-葡萄糖苷(D3G)、OTB、交链孢毒

素I(Altetoxin I, ALX I)以及T-2也在一些黑茶中检测到^[3]。

1.4 轻发酵茶和半发酵茶中的微生物污染

研究发现,白茶加工过程中接种冠突曲霉菌可降低白茶的苦涩味,同时赋予白茶陈醇的滋味特征^[20]。研究表明,轻发酵茶和半发酵茶中也存在微生物污染^[8,39]。MATEUSZ等^[40]研究发现,白茶中污染的总细菌数为 8.50×10^1 CFU/g、真菌数为 3.33×10^3 CFU/g。REINHOLDS等^[8]研究发现,乌龙茶中也存在曲霉和青霉真菌污染,数量在 $1.00 \times 10^1 \sim 2.60 \times 10^2$ CFU/g之间。另外,也有研究在乌龙茶中检测到DON、STC、玉米赤霉烯醇(ZEL)等真菌毒素污染^[35,41]。有人认为,绿茶和白茶中检测到的霉菌可能是休眠的真菌孢子,在轻发酵茶和半发酵茶中真菌污染带来的健康风险是非常低的。ZHANG等^[3]对一些污染严重的白茶进行了分析,在其中2份白茶样品中检测到了AFs、OTA、ZEN、DON、T-2以及CTN污染。

2 茶叶微生物污染来源

茶叶生产的各程序都有可能污染微生物。鲜叶不清洗即直接加工,不卫生的水、土壤、空气是造成茶叶微生物污染的首要因素;其次是不科学的茶园管理;此外,不科学的萎凋、渥堆,不充分的加工、干燥,不正确的包装、贮藏和转运都会造成微生物污染^[3-4, 8, 19, 42]。

2.1 茶叶鲜叶中的微生物污染

茶园灌溉、施肥以及茶园土壤中的微生物是造成茶叶微生物污染的重要来源。一些功能性肥料常带有致病菌和产毒素微生物,施肥操作不当或施肥后其中的真菌毒素、细菌毒素和携带的有害微生物可能造成茶叶鲜叶污染^[4]。ITO从日本茶园土壤中分离出57株黄曲霉菌株,这些菌株可能是茶叶种植过程中的污染源^[3]。DUTT等在空气、叶周围以及茶叶加工厂的土壤中鉴定到34种真菌,其中包括能产生毒素的黑曲霉、黄曲霉、烟曲霉和乳酸镰刀菌^[3]。科学家在斯里兰卡的茶园土壤中分离到了产AFs的真菌^[19]。在中国茶园土壤中鉴定到的主要真菌是镰刀菌^[5]。此外,茶树生长的根际土壤中还有很多细菌,如假单胞菌属(*Pseudomonas*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)和微球菌属(*Micrococcus*)等^[20]。这些细菌、真菌及其毒素可能通过空气、灰尘、土壤、雨水等进入茶叶,成为茶

叶微生物污染的重要来源。

茶树喜欢温暖潮湿的生长气候,这也是真菌生长的最佳条件。我国记载的茶树病害有138种,且以叶部病害居多。这些病害绝大多数是真菌性病害,如茶白星病、茶饼病、茶黑腐病、茶云纹叶枯病、茶炭疽病等^[4,20]。在雨季或潮湿环境下,茶叶鲜叶表面可能生长霉菌和镰刀菌,成为茶叶微生物污染的来源之一。茶树叶片内有内生细菌和真菌,它们的数量和种类随地理环境、茶树品种、叶龄、季节和组织类型的变化而变化。虽然茶叶加工过程中的高温和干燥过程可能会使鲜叶中污染的大部分菌群死去,但仍有一部分菌群会以营养体的形式存活下来,或以休眠体的形式存在于成品茶中,成为茶叶微生物污染的重要来源^[43]。

2.2 茶叶加工过程中的微生物污染

毛茶加工过程有采摘、摊放或萎凋、杀青、揉捻或揉切、解块、发酵、做青、渥堆、干燥等;毛茶精制还包括筛分、风选、拣剔、复火、车色和拼配等过程。茶叶采摘过程中采摘人员、装运器具和车厢携带的致病菌和霉菌会随鲜叶进入后续加工过程,造成茶叶污染。摊放或萎凋环节、操作人员和场地的卫生状况、环境温湿度,对成品茶中的微生物污染都有重要影响。揉捻(揉切)或解块过程中,操作人员手部卫生清洁不彻底、机械或器具中的残存物处理不干净、不及时,会滋生细菌和霉菌,甚至产生毒素。发酵、做青和渥堆过程如果时间和温湿度条件控制不当,会造成茶叶中的微生物及其毒素污染。研究发现,黑曲霉、灰绿曲霉、青霉、根霉和酵母等微生物存在于普洱茶整个加工过程^[25]。一般经过杀青和干燥步骤,绝大部分细菌和真菌都被杀灭,而且毛茶的干固状态不会导致真菌大量繁殖,不适宜于霉菌和镰刀菌产生毒素。但少量残存的细菌和真菌在一定条件下会生长并产生毒素,造成茶叶污染。在茶叶精制过程中,筛分、风选、拣剔、车色以及拼配匀堆时的环境卫生情况、操作用具以及人员的卫生状况,都会影响到精制茶中的微生物污染。

2.3 茶叶加工后的微生物污染

尽管茶叶加工的干燥步骤足以使茶叶中细菌和真菌的数量大大降低,但后续的储藏、拿取、包装、运输以及长时间在空气中暴露,都会增加茶叶中的微生物污染。研究发现,成品茶污染的真菌主要来自分类、包装和贮存过程,环境适宜时这些

真菌会生长并产生毒素^[3,6,25]。

研究发现,储存一个月后,毛茶中的微生物含量无显著变化。精制过程中,菌落总数、大肠菌群和霉菌总数也变化不大,但拼配匀堆后的成品茶中菌落总数出现较大幅度升高^[44]。包装过程中操作人员的卫生状况以及器皿的卫生状况,都会对茶叶的微生物状况造成影响。对包装人员戴手套取样和徒手取样后茶叶中大肠菌群和沙门氏菌的污染情况分析发现,徒手取茶后大肠菌群的出现概率明显增加^[45]。包装前的茶叶中只检测到3种真菌,但包装后的茶叶中检测到了多种真菌^[3]。有研究显示,大肠菌群的污染程度从重到轻依次为再加工茶、花茶、砖茶、包装绿茶和散装绿茶,表明茶叶受大肠菌群的污染程度与茶叶加工工序的复杂度及一些人为的污染途径密切相关^[1]。在冷却和包装生产环节,空气微生物的二次污染和操作人员手部的二次交叉污染是茶叶中杂菌总数、大肠菌群数以及霉菌总数成倍增加的根本原因^[2]。

如果茶叶贮藏不当,残存在茶叶中的微生物就会继续增殖,进而引起茶叶霉变^[4]。茶叶贮藏环境湿度过大,就会增大茶叶的含水量以致影响茶叶的卫生质量问题^[23]。有研究表明,茶叶含水量在14%~18%时,有利于黄曲霉、白曲霉、灰绿曲霉等生长;含水量在16%时会促进青霉菌生长^[2]。此外,不良的运输、贮藏及销售环境条件也容易滋生有害微生物,影响茶叶品质,给饮茶的安全性带来隐患^[3,35,43]。

3 茶叶微生物污染的控制

茶叶微生物污染的控制技术应该遵循源头控制、清洁生产和自然生态的理念,从茶树种植环节开始,保持健康的茶园环境、合理水肥和病虫害防治。在茶叶采收、加工、运输和贮藏过程中,要严格规范企业的生产管理,采用科学的加工工艺,保持清洁的生产环境、设施、用具和人员的健康卫生。

3.1 茶树种植环节的微生物污染控制

在种植阶段控制微生物污染的方法有:一是加强田间管理。做好茶园除杂工作,多通风,防止有害微生物的污染和大量生长。二是注意施肥引起的污染。一些功能性肥料常携带有细菌毒素、真菌毒素和有害微生物,使用前应进行检测和无害化处理。三是严格控制茶叶采收人员及采收工

具的卫生状况,避免人为污染,茶叶采收尽量避开雨季。

3.2 茶叶加工阶段的微生物污染控制

3.2.1 厂区和车间的微生物污染控制

茶叶加工厂及其相关房屋周围的环境要符合《中华人民共和国食品安全法》的卫生要求。厂区和车间选址应远离交通枢纽、垃圾处理厂、炼油厂、发电厂等潜在污染源,宜临近茶园,保证周围空气质量良好。茶叶加工厂的加工及中间存储区域应具有便于清洗的地面和墙壁,并对上述区域进行定期清洗,防止一切污染物的进入。有条件的情况下,要加强和改善厂区及车间的环境卫生条件,应有相应的更衣、盥洗、照明、通风、防尘、防蝇、防鼠和垃圾存放设施。在原料区加装紫外灯,定时消毒通风,及时消除不良气味,并减少重点区域的人员流动频率。注意车间内空气的流动方向,有可能成为污染源的材料放在下风口,并对潜在的污染源进行及时评估和处理^[43]。

3.2.2 茶叶加工过程中的微生物污染控制

茶叶鲜叶采收和加工过程中的工作人员要身体健康,不允许患有传染病的人员上岗。尽量避免鲜叶采收到加工厂的过程存在过多环节而增加微生物污染的风险。规范原料运输,选取适当的消毒杀菌手段,在不影响茶叶品质的情况下,加强对茶叶的物理杀菌工作,严格按照标准化生产工艺与条件进行安全生产。鲜叶采收后应及时进行清洗、摊开、杀青等加工处理,确保原料在生产车间内不受到二次污染。加工设备要远离潮湿、有灰尘的场所,使用完及时清洗和干燥。有条件的茶叶企业,可配置动态连续杀菌设备,提高茶叶制品的卫生质量^[44]。

加强茶叶生产环节微生物污染的控制。提高茶叶的连续化、智能化和清洁化加工水平,减少茶叶在生产加工过程中的暴露和人工引入的微生物污染。在茶叶拼配中要注意拼配茶原料、场地、机械和周围环境的卫生。定期对茶叶机械进行清洗和杀菌消毒处理。茶叶生产人员应注重个人卫生,穿戴洁净的工作衣、帽,并佩戴口罩^[13]。研究表明,控制好工艺条件,特别是杀青和干燥等步骤参数,可以有效地杀除有害微生物,使茶叶保持较低水分,从而有效控制霉菌污染^[4]。

3.3 茶叶运输、包装和销售阶段的微生物污染控制

运输过程中,茶叶运输工具应清洁卫生、干

燥、无异味,严禁与有毒、有害、有异味、带污染的物品混运。茶叶包装应符合食品包装材料的要求,不使用破损的包装。运输工具和茶叶包装在使用前最好进行杀菌处理。在茶叶包装过程中,工人必须按卫生要求进行操作。销售点室内和周围环境必须清洁卫生,远离厕所、垃圾场和产生有毒、有害化学物质的场所,室内建筑材料及器具不得含有毒素和异味。盛装茶叶的容器和工具要清洁、干燥、无污染,不作他用,且经常消毒。运输、包装和销售人员必须身体健康,保持卫生,不裸手接触茶叶。

3.4 茶叶贮藏阶段的微生物污染控制

遵守《中华人民共和国食品安全法》关于食品贮藏的规定,禁止茶叶与有毒、有害、有异味、有污染的物品接触。茶叶贮藏地点及周围环境必须清洁卫生、防潮、无异味,并保持通风干燥。茶叶出厂含水量须符合要求,提倡对茶叶进行低温保存^[43]。研究表明,茶叶中有害微生物的数目与含水量成正比关系。在保存完好的情况下,茶叶水活度在0.6以下时微生物几乎不生长。如果存储环境湿度高,吸收水分后的茶叶就会促进真菌生长^[3,8,45]。常见储藏霉菌的最适生长温度为25℃,低于10℃或高于30℃,霉菌生长就会受抑制;含水量大于14%,就会促进霉菌生长,故贮藏阶段可通过控制湿度和温度等措施来防止茶叶霉变。

4 展望

研究表明,不发酵茶、轻发酵茶和全发酵茶中都有检测到微生物污染的情况。但不同茶类、同一茶类来源于不同地方或使用不同的包装方法,其微生物污染情况和真菌毒素的产生情况都不相同。甚至来源于同一地方的同一茶类,其微生物污染情况和真菌毒素的产生情况也不相同。茶叶微生物的污染与茶叶的加工方式、取样方法、取样地点、包装方式、存储方式和环境等因素有关。另外,不同检测方法、仪器及其精密度、样品处理方法等,也会引起不同的检测结果。因此,制定茶叶微生物及其毒素检测标准,使国际上在茶叶微生物及其毒素的检测方法、仪器、取样方法和样品处理等形成统一标准,是正确评估茶叶微生物及其毒素污染情况的必要前提。

目前我国食品卫生标准《食品安全国家标准饮料》(GB 7101—2022)对食品微生物及真菌毒素

的检验方法和污染物限量作出了明确规定,但在茶叶方面除了《地理标志产品 普洱茶》(GB/T 22111—2008)和《茉莉花茶》(NY/T 456—2001)等少数茶叶标准将微生物列为检测项目,我国卫生标准中尚无对茶叶微生物检测和限量的明确规定。

茶叶污染微生物及真菌毒素最低限量标准的科学制定,是评估茶叶微生物及其毒素污染是否危害人体健康及程度高低的重要依据。茶叶加工过程中通过干燥步骤,使茶叶中的含水量控制在 7% 以内,这种条件下茶叶中的微生物很难生长和繁殖。绿茶、黄茶、黑茶和乌龙茶加工过程中有高温杀青步骤,茶叶中的微生物基本被杀死。茶叶主要通过沸水冲泡饮用,此时大多数微生物及其产生的毒素会失活,同时茶叶中多酚类物质对多数微生物也有抑制作用。茶叶经高温杀青和干燥

后,在种植或加工中污染的微生物及真菌毒素是否还有活性?检测到的污染微生物及真菌毒素是否对人体健康造成危害?多少微生物与真菌毒素会对人体造成危害?都是未来研究的重要内容。

茶叶初加工完成后的包装、运输、再加工、保存和销售过程也会引入微生物污染。这些过程要注意工作人员和工具的卫生,以及周围环境中潜在的微生物污染源。另外,气候环境条件和温湿度是影响茶叶微生物污染的重要因素。低温、通风和干燥是茶叶正确贮藏、保证良好质量的必要环境条件,国家茶叶贮存标准《茶叶贮存》(GB/T 30375—2013)对茶叶保存的温度、湿度和包装材料都做了明确要求。因此,进行科学的茶园管理和茶叶加工,并控制好各环节的卫生和贮存条件,就可以避免茶叶中微生物的污染,从而保护人们的饮茶安全。

参考文献:

- [1] 武疆. 茶叶中大肠菌群检测方法的研究[J]. 福建茶叶, 2016, 38(4): 10-11.
WU Jiang. Research on the method of *Escherichia coli* detection in tea[J]. Tea in Fujian, 2016, 38(4): 10-11.
- [2] 许凌,周卫龙,宿迷菊. 茶叶微生物指标的现况与展望[J]. 中国茶叶, 2012(7): 14-16.
XU Ling, ZHOU Weilong, SU Miju. Current situation and prospect of microbial indexes in tea[J]. China Tea, 2012 (7): 14-16.
- [3] ZHANG X J, ZHANG L, ZHOU T, et al. Fungal flora and mycotoxin contamination in tea: Current status, detection methods and dietary risk assessment: A comprehensive review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 127: 207-220.
- [4] 朱金国,莫瑾,谭建锡,等. 出口茶叶生产加工中有害微生物危害分析[J]. 现代农业科技, 2014(2): 304-307.
ZHU Jinguo, MO Jin, TAN Jianxi, et al. Analyses of harmful microorganisms' hazard in production and processing of export tea[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(2): 304-307.
- [5] SEDOVA I, KISELEVA M, TUTELYAN V. Mycotoxins in tea: Occurrence, methods of determination and risk evaluation[J]. Toxins, 2018, 10(11): 444.
- [6] MINAEVA L P, ALESHKINA A I, MARKOVA Y M, et al. Studying the contamination of tea and herbal infusions with mold fungi as potential mycotoxin producers: The first step to risk assessment[J]. Health Risk Analysis, 2019 (1): 93-102.
- [7] CARRATURO F, DE CASTRO O, TROISI J, et al. Comparative assessment of the quality of commercial black and green tea using microbiology analyses[J]. BMC Microbiology, 2018, 18(1): 4.
- [8] REINHOLDS I, BOGDANOVA E, PUGAJEVA I, et al. Determination of fungi and multi-class mycotoxins in camelia sinensis and herbal teas and dietary exposure assessment[J]. Toxins, 2020, 12(9): 555.
- [9] PAKSHIR K, MIRSHEKARI Z, NOURAEI H, et al. Mycotoxins detection and fungal contamination in black and green tea by HPLC-based method[J]. Journal of Toxicology, 2020, 2020: 2456210.
- [10] VIEGAS C, SÁ F, MATEUS M, et al. Commercial green tea from portugal: Comprehensive microbiologic analyses [J]. International Journal of Food Microbiology, 2020, 333: 108795.
- [11] ZHOU H Y, YAN Z, WU A B, et al. Mycotoxins in tea [*Camellia sinensis* (L.) Kuntze]: Contamination and dietary exposure profiling in the Chinese population[J]. Toxins, 2022, 14(7): 452.
- [12] MARTÍNEZ-DOMÍNGUEZ G, ROMERO-GONZÁLEZ R, GARRIDO FRENICH A. Multi-class methodology to determine pesticides and mycotoxins in green tea and royal jelly supplements by liquid chromatography coupled to

- orbitrap high resolution mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2016, 197(A): 907-915.
- [13] MANNANI N, TABARANI A, ABDENNEBI E H, et al. Assessment of aflatoxin levels in herbal green tea available on the moroccan market[J]. Food Control, 2020, 108: 106882.
- [14] EI JAI A, JUAN C, JUAN-GARCÍA A, et al. Multi-mycotoxin contamination of green tea infusion and dietary exposure assessment in moroccan population[J]. Food Research International, 2021, 140: 109958.
- [15] GARBOWSKA B, WIECZOREK J K, POLAK S M, et al. The content of minerals, bioactive compounds and anti-nutritional factors in tea infusions[J]. Journal of Elementology, 2018, 23(1): 369-380.
- [16] JIA W, SHI L, ZHANG F, et al. Multiplexing data Independent untargeted workflows for mycotoxins screening on a quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry platform[J]. Food Chemistry, 2019, 278: 67-76.
- [17] KISELEVA M G, CHALYY Z A, SEDOVA I B, et al. Studying the contamination of tea and herbal infusions with mycotoxins (message 2)[J]. Health Risk Analysis, 2020(1): 38-51.
- [18] MADHAB M, BHATTACHARYYA P N, BEGUM R, et al. Microbial distribution and contamination in black tea [J]. Two and a Bud, 2019, 64(1): 26-31.
- [19] DAYANANDA K R T L K, FERNANDO K M E P, PERERA S. Assessment of microbial contaminations in dried tea and tea brew[J]. International Journal of Pharmaceutical Science Invention, 2017, 6(10): 6-13.
- [20] 黄友谊, 方欣, 隋梦圆, 等. 茶叶微生物研究现状与展望[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(5): 24-32.
HUANG Youyi, FANG Xin, SUI Mengyuan, et al. Situation and prospect of studying tea microorganisms [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(5): 24-32.
- [21] MALIR F, OSTRY V, PFOHL-LESZKOWICZ A, et al. Transfer of *Ochratoxin A* into tea and coffee beverages [J]. Toxins, 2014, 6(12): 3438-3453.
- [22] TOMAN J, MALIR F, OSTRY V, et al. Transfer of *Ochratoxin A* from raw black tea to tea infusions prepared according to the Turkish tradition[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(1): 261-265.
- [23] WAN Y C, KONG Z L, WU Y H S, et al. Establishment of appropriate conditions for the efficient determination of multiple mycotoxins in tea samples and assessment of their drinking risks[J]. Food Chemistry, 2025, 463(4): 141438.
- [24] HAN Y K, WANG X N, GAO Z P. Microbial species, metabolites, and natural safety control strategies for harmful factors during the fermentation process of Fu brick tea[J]. Food Bioscience, 2024, 61: 104753.
- [25] XU W, ZHAO Y Q, JIA W B, et al. Reviews of fungi and mycotoxins in Chinese dark tea [J]. Frontiers in Microbiology, 2023, 14: 1120659.
- [26] ZHAO M, ZHANG D L, SU X Q, et al. An integrated metagenomics/metaproteomics investigation of the microbial communities and enzymes in solid-state fermentation of pu-erh tea[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 10117.
- [27] 方欣, 骆爱国, 涂青, 等. 普洱茶(熟茶)发酵过程各层间真菌群落的动态变化[J]. 食品科技, 2019, 44(5): 37-42.
FANG Xin, LUO Aiguo, TU Qing, et al. Fungal community dynamic change in different layers of solid-state fermentation of Pu-erh ripe tea[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(5): 37-42.
- [28] LI Z Y, MAO Y, TENG J W, et al. Evaluation of mycoflora and citrinin occurrence in Chinese liupao tea[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(43): 12116-12123.
- [29] RUI Y, WAN P, CHEN G J, et al. Analysis of bacterial and fungal communities by Illumina MiSeq platforms and characterization of *Aspergillus cristatus* in Fuzhuan brick tea[J]. LWT, 2019, 110: 168-174.
- [30] XU J, WEI Y, LI F L, et al. Regulation of fungal community and the quality formation and safety control of Pu-erh tea [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022, 21(6): 4546-4572.
- [31] LI W G, XU K L, XIAO R, et al. Development of an HPLC-based method for the detection of aflatoxins in Pu-erh tea [J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(4): 842-848.
- [32] ZHANG Y J, SKAAR I, SULYOK M, et al. The microbiome and metabolites in fermented Pu-erh tea as revealed by High-Throughput sequencing and quantitative multiplex metabolite analysis[J]. PLOS One, 2016, 11(6): e0157847.
- [33] BOGDANOVA E, PUGAJEVA I, REINHOLDS I, et al. Two-dimensional liquid chromatography-high resolution mass spectrometry method for simultaneous monitoring of 70 regulated and emerging mycotoxins in Pu-erh tea[J]. Journal of Chromatography A, 2020, 1622: 461145.
- [34] DONG X Q, ZOU B, ZHAO X Y, et al. Rapid qualitative and quantitative analysis of aflatoxin B1 in Pu-erh tea by liquid chromatography-isotope dilution tandem mass spectrometry coupled with the QuEChERS purification method

- [J]. *Analytical Methods*, 2018, 10(39): 4776-4783.
- [35] ZHAO Y R, ZENG R, WANG Q S, et al. Aflatoxin B1 and sterigmatocystin: Method development and occurrence in tea[J]. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 2022, 15(1): 31-37.
- [36] YAN H B, ZHANG L, YE Z L, et al. Determination and comprehensive risk assessment of dietary exposure to *Ochratoxin A* on fermented teas[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(40): 12021-12029.
- [37] CUI P, YAN H B, GRANATO D, et al. Quantitative analysis and dietary risk assessment of aflatoxins in Chinese post-fermented dark tea[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2020, 146: 111830.
- [38] YE Z L, WANG X, FU R Y, et al. Determination of six groups of mycotoxins in Chinese dark tea and the associated risk assessment[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 261: 114180.
- [39] 管飘萍, MUNKHBAYAR E, 黄紫贝, 等. 茶叶中 23 株真菌的分离鉴定[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(16): 285-290.
- GUAN Piaoping, MUNKHBAYAR E, HUANG Zibei, et al. Isolation and identification of 23 strains of fungi from tea [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(16): 285-290.
- [40] MATEUSZ O, BOŻENA N D, ŁUKASZ W, et al. Evaluation of microbiological contamination of black and green teas[J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2019, 17(4): 65-71.
- [41] ZHOU H Y, YAN Z, YU S, et al. Development of a novel UPLC-MS/MS method for the simultaneous determination of 16 mycotoxins in different tea categories[J]. *Toxins*, 2022, 14(3): 169.
- [42] EL-ATY A MABD, CHOI J H, RAHMAN M M, et al. Residues and contaminants in tea and tea infusions: A review[J]. *Food Additives & Contaminants. Part A*, 2014, 31(11): 1794-1804.
- [43] 孙威江. 茶叶质量与安全学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2020.
- SHUN Weijiang. *Tea quality and safety*[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2020.
- [44] DHARMARATHNA E K G P U, LIYANAWICKRAMASINGHE T R, ARUPPALA A L Y H, et al. Isolation and identification of possible microbes associated with black tea in a commercial tea blending process factory [J]. *Proceedings of 2nd International Conference on Food Quality, Safety and Security*, 2018, 1: 55-61.
- [45] DHARMARATHNA E K G P U, LIYANAWICKRAMASINGHEA T R, ARUPPALAB A L Y H, et al. A study on level of microbiological contamination in made tea as a raw material in commercial tea bagging factory and its workers' hand hygiene[J]. *Journal of Agriculture and Value*, 2018, 1(2): 49-59.

责任编辑:任长江