



章征程,柴志顺,辛永康,等.微生物在国产雪茄烟叶原料生产过程中的应用研究进展[J].轻工学报,2024,39(1):64-72.
ZHANG Z C, CHAI Z S, XIN Y K, et al. Research progress on the application of microorganisms in the production process of domestic cigar tobacco leaves[J]. Journal of Light Industry, 2024, 39(1): 64-72.
DOI: 10.12187/2024.01.008

微生物在国产雪茄烟叶原料生产过程中的应用研究进展

章征程¹, 柴志顺¹, 辛永康², 邢蕾¹, 刘路路¹, 蔡文¹, 时向东², 李东亮¹

- 四川中烟工业责任有限公司 雪茄烟技术创新中心, 四川 成都 610101;
- 河南农业大学 国家烟草栽培生理生化研究基地/烟草行业烟草栽培重点实验室, 河南 郑州 450046

摘要: 对雪茄微生物的种类及其在国产雪茄烟叶原料大田生产、晾制、发酵等环节的应用研究现状和面临的主要问题进行了综述。认为:雪茄微生物类群主要分为根际微生物、叶际微生物和内生菌,其中根际微生物与叶际微生物可促进雪茄烟株生长和发育,减少雪茄烟株病害,提升烟叶感官品质,但有益内生菌的相关研究较为欠缺。微生物肥料、农药在雪茄烟叶大田生长环节中起重要作用,但雪茄烟株专用微生物肥料、农药还未得到大面积推广和应用。雪茄烟叶晾制过程中微生物资源丰富、代谢功能复杂,但涉及微生物作用机制的相关研究较少。雪茄烟叶发酵过程中微生物群落结构逐渐多样化,微生物介质的添加可改善烟叶品质,预防烟叶发生霉变,但大多数研究侧重介质微生物的筛选,对微生物提质增香的作用机制仍缺乏深度研究。未来可在雪茄烟叶内生菌筛选利用、晾制过程微生物变化等方面开展深入研究,利用组学方法深度挖掘数据,以进一步强化微生物在国产雪茄烟叶原料生产过程的有利作用,提高烟叶产量和品质,减少对进口雪茄烟叶原料的依赖。

关键词: 雪茄烟叶; 微生物; 大田生产; 晾制; 发酵

中图分类号: TS444 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2024)01-0064-09

0 引言

烟草作为我国重要的经济作物之一,其种植面积和产量在全球名列前茅,因此,烟草产业在我国国民经济中扮演着至关重要的角色,对经济发展有着重要的贡献^[1]。雪茄烟的制作过程与传统卷烟差异较大,其是使用晾制、发酵后的原料直接卷制出来

的天然烟草制品,吃味浓郁、醇厚、劲头大、余味较干净舒适^[2]。近年来,国产雪茄烟消费群体不断扩大,对雪茄的认知和接受度不断提升,雪茄原料需求持续增加,湖北、云南、四川、海南4个主产区,雪茄烟叶调拨量逐年提升,国产原料在中高端手工雪茄配方中的占比逐渐增加^[3]。但国产雪茄烟叶受气候、技术等因素的影响仍存在一些不足,如香气特征

收稿日期:2023-08-07;修回日期:2023-12-26;出版日期:2024-02-15

基金项目:中国烟草总公司重大科技项目(110202101062(XJ-11));四川中烟工业有限责任公司科技计划项目(2024510000340021)

作者简介:章征程(1994—),男,安徽省枞阳县人,四川中烟工业有限责任公司博士后,主要研究方向为雪茄烟栽培与晾制。

E-mail:2533824150@qq.com

通信作者:李东亮(1973—),男,山西省平遥县人,四川中烟工业有限责任公司研究员,博士,主要研究方向为烟草化学。

E-mail:360188228@qq.com

不明显、杂气重、刺激性强、均质化水平及优叶率较低等,难以保证工业企业对雪茄原料持续增长的需求^[4]。微生物活动存在于雪茄烟叶的整个生产过程中,其对国产雪茄烟叶的生产品质具有重要影响^[5]。近年来,研究人员致力于开展微生物在雪茄烟叶生产过程中作用的研究^[6-14],发现其对雪茄烟叶化学成分的转化、烟叶最终品质的形成具有重要作用^[15-19]。

因此,本文拟对雪茄微生物的主要类群,微生物在雪茄烟叶大田生长、晾制、发酵中的应用等进行综述,以期微生物技术在国产雪茄烟叶原料生产过程中的合理利用,进而改善国产雪茄烟叶原料品质提供理论参考。

1 雪茄微生物的主要类群

雪茄微生物的主要类群包括根际微生物、叶际微生物和内生菌,在雪茄烟叶生产中均起着重要作用。根际微生物是指在根系周围土壤中发育和繁殖的微生物,与植物根系紧密联系^[20]。樊俊等^[21]对感染青枯病雪茄烟株根际土壤微生物群落进行研究,发现发病土壤微生物多样性和复杂程度提升,朱氏杆菌属(*Chujibacter*)的相对丰度是致病的关键因子。范龙龙等^[22]在施用咖啡豆残渣有机肥后,对雪茄烟株根际土壤真菌进行研究,发现该有机肥料可以改变雪茄烟株根际真菌群落组成,降低其 α 多样性及镰刀菌属、明梭孢属的相对丰度,显著增加曲霉属、圆酵母属和被孢霉属的相对丰度。因此,可以通过调节根际土壤微生物群落来促进雪茄烟株生长和防治病害。

叶际微生物是指直接附着在植物叶片表面的微生物^[23]。L. Xing 等^[24]研究发现,雪茄烟叶叶际细菌中占优势的菌门为变形杆菌门和蓝杆菌门,*Limnobacter*、罗尔斯通氏属(*Ralstonia*)、未识别的蓝杆菌属和短波单胞菌属(*Brevundimonas*)为优势细菌属,不同地区雪茄烟叶叶际细菌群落的 α 多样性有一定的差异,但不同地区和不同烟草品种雪茄烟叶叶际细菌群落 β 多样性差异不大,叶际细菌群落变化会影响雪茄烟株的生长发育和抗病能力。有研究^[25]表明,雪茄烟叶优势叶际真菌属分别是桑帕氏

酵母菌属(*Sampaiozyma*)、枝孢属(*Cladosporium*)、尾孢菌属(*Cercospora*)、红菇属(*Russula*)、链格孢属(*Alternaria*)、被孢霉属(*Mortierella*)、假尾孢属(*Pseudocercospora*)、子囊菌属(*Archaeorhizomyces*)、赤霉属(*Gibberella*)和黑团孢属(*Periconia*),上述真菌的存在能引发腐烂病^[26]、赤星病^[27]、蛙眼病^[28]等烟草疾病,严重降低雪茄烟叶产量和品质。研究并有效控制致病叶际真菌,对减少雪茄烟株病害具有正向作用。

植物内生菌是一种在健康植物内部生活的微生物,与植物形成共生关系,对植物的健康和生长发育有着重要影响^[29]。相关研究^[30]发现,在烟草的根、茎、叶中存有多种内生菌,且在不同烟草品种中具有一定的差异。吴巧茵等^[31]从优质雪茄烟叶内生菌中筛选出可降解 β -胡萝卜素的菌株根瘤菌属(*Rhizobium*)、农杆菌属(*Agrobacterium*)、肠杆菌属(*Enterobacter*)和鞘氨醇杆菌属(*Sphingomonas*),将其接种到烟叶发酵过程中,可以明显提高雪茄烟叶中类胡萝卜素降解产物含量,且发酵后烟叶的香气质、香气量、刺激性和杂气指标也得到明显改善。烟株与部分内生菌共生或互生,环境条件和宿主基因类型决定内生菌的遗传多样性^[32]。植物内生菌对宿主植物具有固氮作用,能将空气中的氮气转化为可供植物利用的形式;也能够促进宿主根系生长、增加根系吸收营养的能力^[33];此外,还能够促进植物生长激素的合成^[34],提高雪茄烟株生长的适应能力。

微生物在雪茄烟叶生产过程中具有重要作用,其中根际微生物与叶际微生物能够改良植烟土壤结构、提高土壤养分进而促进雪茄烟株的生长和发育,还能够控制致病菌进而减少雪茄烟株病害,使烟叶感官品质得到提升。但由于内生菌难以培养、相对丰度较低且生长十分缓慢,目前大量内生菌尚未被发现^[35-36]。未来,应持续探究雪茄烟叶内生菌的作用机制,进一步分离和筛选有益内生菌并应用于雪茄烟叶生产过程,以提升国产雪茄烟叶原料品质。

2 微生物在雪茄烟叶大田生产过程中的应用

在大田生产过程中,有些烟农为保障雪茄烟叶

的产量,会大量施用化肥、农药,烟叶中的农药残留会导致雪茄烟叶品质普遍降低。作为生态系统中的分解者和消费者,微生物在维持生态平衡方面起着不可或缺的作用。合理利用微生物代谢产物及其底物作为雪茄烟叶大田生产的肥料和绿色农药,能够改良雪茄烟田土壤、降解有害有毒物质,并能实现健康可持续的农业生产。

2.1 微生物肥料

微生物肥料是一种微生物活动的代谢产物及其底物的混合制品,会对农作物产生特定的肥料效应,通常也被称作菌肥。微生物肥料通过调节微生物的生命运动和其产物来抑制病害,使植物的营养条件得以改善,同时使土壤潜在的肥力得以发挥^[37]。微生物肥料的主要作用包括对磷、钾的解析和固氮。适当的钾含量能够提高雪茄烟叶的燃烧性能,改善雪茄烟叶颜色、厚度和吸湿性能。钾细菌是一类硅酸盐细菌,具有将钾矿物中的难溶态无效钾转化为可溶态有效钾的能力,在提高土壤肥力、改善作物品质方面效果显著^[38],可用于改良雪茄植烟土壤。植物根际促生菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)主要通过抑制土壤中有害生物和土传病原菌来增强植株的抗病能力^[39],在雪茄烟叶种植过程中施用 PGPR,能有效提高雪茄烟株的抗病性,进而提高雪茄烟叶的产量和品质^[40]。土壤真菌是重要的植物病原菌,相关研究^[41]发现,提高有机肥施用量能促进细菌和放线菌群落繁殖速度,抑制雪茄烟田土壤真菌群落数量,改善植烟土壤的微生物环境,从而减少因真菌引起的病害,促进雪茄烟叶生长。

根据已有研究^[42],微生物肥料在禾谷类作物上应用最为广泛,能明显改善作物品质。微生物肥料对土壤氮素养分供应具有一定影响,能促进烟草氮素吸收利用,降低烟叶烟碱含量,提高烟叶品质^[43]。微生物肥料应用于烟草生产能有效促进其生长发育,提高上等烟比例,并有效改善香吃味^[44]。未来将探索微生物肥料在雪茄烟叶种植中的应用潜力,并寻找有效的微生物肥料组合,开发适用于雪茄烟叶生产的专用微生物肥料以提高其产量和品质。

2.2 微生物农药

微生物农药是利用微生物技术研究开发的一类

具有杀虫和防病作用的制剂,具体包括微生物杀虫剂、杀菌剂、抗生素等^[45]。目前,对烟草疾病的防控研究已经取得了明显进展,一些微生物农药已经商业化,并开始在雪茄烟田中使用。如宁南霉素(Ningnanmycin)是一种来源于诺尔斯放线菌西昌变种菌株(*Streptomyces noursei* var. *xichangensis*)的代谢产物,该微生物产物对烟草花叶病毒病有良好的防治效果^[46]。放线菌发酵液提取物中存在具有烟草黑胫病菌抑菌活性的物质,据此可开发一种微生物农药,提供一种新的烟草黑胫病防治选择^[47]。孢链霉菌 AM6(*Streptomyces globisporus* AM6)的代谢拮抗产物对烟草赤星病表现出较好的防治效果^[48]。苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*)能产生 α 、 β 、 γ 、 σ 毒素,这些毒素具有“胃肠毒”作用,病虫摄食后会中毒或死亡^[49]。此外,我国已开始利用核型多角体病毒(Nuclear Polyhedrosis Viruses)防治烟草斜纹夜蛾等害虫^[50]。上述微生物农药已经广泛应用于湖北、云南、四川、海南等国产雪茄烟叶原料主产区。

随着微生物技术研究的不断深入,利用有益微生物及其代谢产物防治雪茄烟株病害已经表现出良好的前景。深入研究不同微生物种类、菌株的毒力成分和应用特性,开发更多针对雪茄烟病虫害的生物防治微生物农药并推动其大规模生产和应用,可减少对化学农药的依赖,使病虫害防治更加环保且可持续地发展。

3 微生物在雪茄烟叶晾制中的应用

人为供热或在自然条件下为晾烟提供一定的温湿度,促进烟叶发生必要的生理生化变化,使烟叶变色、干燥,这种方法称作晾制^[51]。烟叶晾制期间,不同微生物类群的数量会受环境因素的影响,表现出不同的变化趋势^[52]。有研究者在对白肋烟晾制期间的细菌进行分离时,发现不同晾制时期的主要细菌类群有所不同,细菌含量在晾制过程中呈下降趋势^[53],但目前国内外还尚未见有关雪茄烟叶晾制过程中微生物作用机制的相关报道。雪茄烟叶与白肋烟叶晾制过程中温湿度和颜色变化类似,可推测雪茄烟叶晾制过程中微生物的活动规律可能与白肋烟叶相似。在晾制期间,微生物还能对烟草特有的亚

硝胺(Tobacco-Specific Nitrosamines, TSNAs)的积累情况产生影响。雪茄烟叶晾制过程中 TSNAs 含量的升高,会在抽吸时对人体健康产生不利影响^[54],而祝明亮等^[55]发现,从白肋烟中筛选接种的内生细菌可以降低其中的 TSNAs 含量。尽管微生物可能在雪茄烟叶晾制过程中发挥至关重要的作用,但是仍需要后续的相关研究来证实。

雪茄烟叶晾制过程中微生物资源丰富、代谢功能复杂,但目前有关雪茄烟叶晾制过程中微生物作用机制的研究非常欠缺,因此在保证晾制过程温湿度适宜的情况下,探索微生物的作用机制,筛选优势菌属,对优化雪茄烟叶晾制工艺、改善烟叶品质有积极作用。

4 微生物在雪茄烟叶发酵中的应用

雪茄烟叶的发酵处理是其晾制过程的延续,为确保雪茄烟叶具有更好的品质和特性,通常需要经过一次以上的发酵处理。发酵后的烟叶颜色会变深,杂气有所下降,余味更加舒适,燃烧性更好,整体品质得到改善,这也是工业企业重视烟叶发酵的原因。微生物在雪茄烟叶发酵过程中参与了复杂的生化反应^[56],对发酵过程具有促进作用。关于微生物促进烟叶发酵假说首先由小什列普格^[57]提出,研究者^[58]随后也发现,微生物在雪茄烟叶发酵过程中的表现特别活跃,微生物的活动和发酵过程及发酵品质之间存在密切的关系。

4.1 主要微生物群落变化

目前,很多学者已经对雪茄烟叶发酵过程中微生物群落结构进行了系统性的研究^[59-66],其中主要的微生物群落见表 1。由表 1 可知,随着发酵的进行,微生物数量降低,群落结构更加多样化,常见的细菌属为葡萄球菌属(*Staphylococcus*)和芽孢杆菌属(*Bacillus*),真菌属为曲霉菌属(*Aspergillus*),不同产地和品种雪茄烟叶的微生物群落结构存在显著差异。

4.2 微生物介质作用

将微生物作为发酵介质添加到雪茄烟叶中,会对其微生物群落的生长代谢、生物化学反应途径产生影响,进而可调控有利代谢物的积累^[7]。在湖北

十堰楚雪-14 雪茄烟叶中添加不同的发酵介质,有利于丰富发酵第 0~28 d 的细菌群落多样性及发酵 7~28 d 的真菌群落多样性,对细菌门类总体影响不大,但能够延缓细菌群落的演替速度,真菌群落的变化可以改变发酵过程中化学成分的代谢进程^[7]。发酵介质的添加同时可以降低曲霉属(*Aspergillus*)的相对丰度,将曲霉属中部分菌种的相对丰度控制在霉变临界值以下,这有利于调控雪茄烟叶的霉变速度^[7,67]。

在发酵过程中添加微生物能够提高雪茄烟叶的香气和吃味^[68]。从晾制后的雪茄烟叶表面筛选出菌株并应用于雪茄烟叶的发酵过程中,可以有效改善发酵后雪茄烟叶的品质^[69-74]。雪茄烟叶发酵过程中添加的微生物及其作用见表 2。由表 2 可知,微生物介质的添加能够降低发酵后烟叶中淀粉、蛋白质、纤维素等大分子物质的含量,实现提升香气成分含量、改善烟叶品质的效果。

4.3 微生物防霉

霉变是雪茄烟叶发酵过程中常见的问题,适宜环境条件下易滋生霉菌^[75],这会导致烟叶组织结构被破坏,产生霉腐臭味,影响雪茄烟叶品质^[76]。减少烟叶霉变的发生对烟叶经济性状的提升和烟叶品质的改善有促进作用。生物防霉法是目前防霉变研究的热点,其主要原理是利用微生物或其代谢产物抑制或杀死霉菌,以预防和控制烟叶霉变。芽孢杆菌属(*Bacillus*)可以有效抑制霉菌的生长和繁殖^[77]。宋嘉宝等^[78]鉴定出引起海南雪茄烟叶霉变的微生物分别是篮状菌属(*Talaromyces*)、帚霉属(*Scopulariopsis*)和曲霉属(*Aspergillus*),由此筛选得到枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和耐盐芽孢杆菌(*Bacillus halotolerans*)两种防霉变拮抗菌株,且其防霉效果较好。张岱源等^[79]从湖北十堰和宜昌雪茄烟叶中分离纯化得到产黄青霉(*Penicillium chrysogenum*)、聚多曲霉(*Aspergillus sydowii*)、云南木霉(*Trichoderma yunnanense*)、绳状篮状菌(*Talaromyces funiculosus*)和黑曲霉(*Aspergillus niger*)5 种霉菌,并发现了解淀粉芽孢杆菌 DY-9 菌悬液(10^9 CFU/mL)对雪茄烟叶的防霉效果最佳。

发酵过程中微生物群落结构逐渐多样化,微生物

表1 雪茄烟叶发酵过程中的主要微生物群落

Table 1 Main microbial communities during the fermentation process of cigar leaves

产地/品种	优势群落	结论及对烟叶的影响	参考文献
多米尼加、印尼、美国雪茄烟叶	细菌群落:葡萄球菌属、假单胞菌属和鞘氨醇单胞菌属;真菌群落:曲霉菌属、 <i>Sampaiozyma</i> 和链格孢属。	不同产地雪茄烟叶中微生物群落存在显著差异,与真菌群落相比,细菌群落与雪茄烟叶风味特征关系更密切。	[59]
湖北十堰、四川德阳中下部雪茄烟叶	十堰产区:发酵前期细菌群落为葡萄球菌属;发酵过程优势群落转变为棒状杆菌属、气球菌属。德阳产区:下部叶始终以葡萄球菌属为优势群落,中部叶在发酵过程中转变为盐单胞菌属。	发酵过程中,中部烟叶微生物群落多样性基本呈上升趋势,下部烟叶则呈下降趋势,且发酵过程中优势细菌属和真菌属的组成和演替也存在明显差异。	[60]
海南雪茄茄衣烟叶	巨大芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌。	发酵过程中,真菌为优势菌群,而细菌主要是芽孢杆菌,并未检测出放线菌和酵母菌;随着发酵的进行,微生物的数量下降至90%左右。	[61]
德雪1号上部茄芯烟叶	细菌群落:葡萄球菌属、假单胞菌属、泛菌属、鞘氨醇单胞菌属;真菌群落:肠杆菌属、科萨克氏菌属和甲基杆菌属。	各种微生物在发酵过程中此消彼长,相互交替,优势微生物属葡萄球菌属和曲霉菌属的相对丰度均呈先上升后下降的趋势,并在21 d时分别占据细菌和真菌群落的主导地位。	[62]
四川什邡 GH-1 雪茄烟叶	细菌群落:芽孢杆菌属; 真菌群落:青霉属。	发酵前,细菌占绝对优势,真菌数量较少;烟叶微生物数量:上部>中部>下部。	[63]
海南种植的古巴、印度尼西亚品种茄芯烟叶	古巴品种:前期以葡萄球菌属为优势群落,结束时以肠杆菌属、假单胞菌属、短杆菌属为优势群落;印尼品种:优势群落为葡萄球菌属和四联球菌属。	发酵初期,烟叶微生物种类较为丰富,但随着发酵的进行,菌群逐渐特异化和专一化;细菌中优势菌的变化影响着果胶酶活性的变化。	[64]
美国、巴西、多米尼加、中国茄衣烟叶	芽孢杆菌属和葡萄球菌属。	不同地区雪茄茄衣烟叶表面细菌种类及数量有差异,且同一属间菌株的功能存在差别,芽孢杆菌属酶活性较全面,其他种属的细菌活性较差。	[65]
云南德宏、玉溪、临沧、普洱产区及巴西、多米尼加雪茄烟叶	细菌群落:葡萄球菌属、 <i>Atopostipes</i> 、假单胞菌属、棒状杆菌属、短杆菌属;真菌群落:镰刀菌未分类1属、链格孢属、曲霉菌属、节担菌属及枝孢菌属。	细菌群落丰富度高于真菌,玉溪、德宏与巴西、多米尼加烟叶微生物群落结构最接近,这些微生物可能在降解烟草中的大分子有机物方面发挥积极作用。	[66]

物介质的添加使发酵后烟叶的常规化学成分和香气物质得以改善,同时能够减少烟叶发生霉变。但目前有关微生物介质添加的研究多集中于微生物的筛选,较少涉及其机理的探究,后续可通过组学方法深入研究微生物介质如何使雪茄烟叶提质增香。

5 结论与展望

本文综述了雪茄微生物的种类及其在大田生产、晾制、发酵等环节应用的研究现状和面临的主要问题。指出:雪茄微生物类群分为根际微生物、叶际微生物和内生菌,其中根际微生物与叶际微生物

可促进雪茄烟株的生长和发育,减少雪茄烟株病害,从而提升烟叶感官品质;但涉及内生菌的研究较为欠缺,有益内生菌的分离及筛选仍迫在眉睫。微生物广泛存在于雪茄烟叶大田生长、晾制、发酵的生产环节中,在雪茄烟叶生产过程中起重要作用。雪茄烟叶大田生长过程中,可以通过改变雪茄烟叶根际土壤真菌群落来促进雪茄烟株生长,微生物肥料、农药在雪茄烟叶大田生长环节中非常重要,但雪茄烟株专用微生物肥料、农药还未得到大面积推广和应用。在雪茄烟叶晾制过程中,微生物资源丰富、代谢功能复杂,但微生物作用机制的相关研究涉及

表2 雪茄烟叶发酵过程中添加的微生物及其作用

Table 2 Microorganisms added during cigar leaves fermentation and their effects

产地/品种	发酵过程中添加的微生物	结论及对发酵后烟叶影响	参考文献
湖北恩施雪茄烟叶	巨大芽孢杆菌。	将其用于茄芯烟叶发酵后,烟叶木质素降解率达到 23.02%、中性香气总量较发酵前提高了 30.22%。	[69]
湖北来凤中部雪茄烟叶	可降解 β -胡萝卜素的农杆菌属、根瘤菌属、鞘氨醇杆菌属、肠杆菌属等。	发酵后类胡萝卜素降解产物明显提高,烟叶香气质、香气量、刺激性和杂气明显改善。	[31]
湖北十堰中部茄芯烟叶	纤维素降解菌 C1,具有产香能力的酵母;库德毕赤酵母、汉逊酵母、费比恩酵母、 <i>Starmarella bacillaris</i> 、拜耳接合酵母。	经复合微生物混菌发酵后的雪茄烟叶中挥发性香气物质种类没有发生明显变化,但含量有所提高。	[70]
四川乐山雪茄烟叶	蜡样芽孢杆菌。	在雪茄烟叶堆积发酵过程中添加蜡样芽孢杆菌,可以显著降低蛋白质、挥发碱和总氮含量,发酵后的烟叶香气质、劲头、刺激性和杂气有较大改善。	[71]
湖北恩施雪茄茄衣烟叶	贝莱斯芽孢杆菌。	发酵过程中添加外源苯丙氨酸和葡萄糖,对贝莱斯芽孢杆菌降解烟叶中大分子物质起促进作用,发酵后的烟叶中淀粉、木质素、蛋白质、纤维素等大分子物质含量明显降低,香气得到明显改善,烟叶品质得到提高。	[72]
印尼和多米尼加雪茄烟叶	醛酮类香气物质高产菌株。	强化发酵后,雪茄烟叶的香韵和品质有所改善, <i>Acinetobacter</i> sp. 1H8 能够加快菌群变化, <i>A. indicus</i> 3B2 能够导致菌群结构改变。	[73]
海南雪茄茄衣烟叶	曲霉菌、冠突散囊菌、黄曲霉、塔宾曲霉。	添加微生物可以加快发酵的进程,加速各物质间的转化,发酵后雪茄烟叶的常规化学成分得到改善,香气物质含量提升,烟叶品质得到改善。	[74]

较少。在烟叶发酵过程中,微生物群落结构逐渐多样化,在烟叶表面添加微生物介质来进行发酵,可以促进烟叶中淀粉、蛋白质、纤维素等大分子物质的降解,使烟叶化学成分更加协调,香气物质含量增加,烟叶的感官品质得以改善,烟叶的工业可用性得以提升。在预防烟叶霉变方面,可以利用微生物拮抗作用,将雪茄烟叶曲霉属的相对丰度控制在临界点以下,以减少烟叶霉变带来的经济损失。

目前,微生物在国产雪茄烟叶原料生产过程中的研究主要集中在发酵过程,而晾制是雪茄烟叶生产过程中承上启下的重要环节,微生物在该过程中也扮演着重要角色,但目前有关该阶段的研究涉及较少。因此,探索雪茄烟叶晾制过程中微生物的作用机制具有重要意义。未来,可在雪茄烟叶内生菌筛选利用、晾制过程微生物的变化等方面开展深入研究,探索雪茄烟叶晾制过程中不同阶段微生物群落的变化及其对烟叶品质的影响;还可以结合组学方法深度挖掘数据,从雪茄烟叶基因转录和信号传

导方面进行深入研究,以更全面地了解微生物在雪茄烟叶晾制过程中的作用机制,为国产雪茄烟叶晾制工艺提供技术支持,为提高优质国产原料生产能力、减少对进口雪茄烟叶原料的依赖奠定基础。

参考文献:

- [1] 柳渊博,王静,朱学杰,等.不同水肥管理模式对烤烟养分积累及烟叶品质的影响[J].中国农业科技导报,2021,23(9):193-201.
- [2] 闫克玉,赵铭钦.烟草原料学[M].北京:科学出版社,2008.
- [3] 黄凯.推动国产雪茄烟叶高质量发展的思路和对策[J].安徽农业科学,2023,51(11):243-246,251.
- [4] 陈栋,李猛,王荣浩,等.国产雪茄茄芯烟叶研究进展[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2019,40(1):83-90.
- [5] GRIBBINS M F,HALEY D E,REID J J. The fermentation of cigar-leaf tobacco as influenced by the addition of yeast [J]. Journal of Agricultural Research, 1944, 69: 373-381.

- [6] 蔡文, 吴鑫颖, 张倩颖, 等. 高斯芽孢杆菌产中性蛋白酶条件优化及其对烟叶发酵的影响[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(3): 92-98, 118.
- [7] 胡婉蓉, 蔡文, 李东亮, 等. 发酵介质对雪茄烟叶化学成分及微生物群落结构的影响[J]. 轻工学报, 2023, 38(1): 90-100.
- [8] 胡婉蓉, 蔡文, 郑召君, 等. 发酵介质和发酵过程对雪茄烟叶品质的影响[J]. 烟草科技, 2023, 56(2): 41-52.
- [9] 黄阔, 李栋, 王彬, 等. 雪茄烟叶工业发酵过程中细菌群落多样性和结构变化[J]. 烟草科技, 2023, 56(5): 17-24.
- [10] 王光路, 卢玉松, 刘兰茜, 等. 耐高温亚硝酸盐降解菌的分离、鉴定及降低雪茄烟叶亚硝胺的应用[J]. 微生物学通报, 2023, 50(9): 3970-3982.
- [11] 吴丽君, 张鸽, 陈晓娜, 等. 云南雪茄烟叶人工发酵过程中化学成分与细菌群落变化及其相关性分析[J]. 中国烟草学报, 2023, 29(4): 124-134.
- [12] 赵晓超, 李林林, 张贝贝, 等. 地衣芽孢杆菌 FZ1 对发酵雪茄烟叶中性致香成分的影响[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(10): 123-132.
- [13] 付克剑, 宋学茹, 杨芳, 等. 玉溪雪茄烟发酵霉变病原菌鉴定及生防菌筛选[J]. 中国烟草科学, 2023, 44(4): 41-48.
- [14] 张蒙蒙, 刘茜, 潘勇, 等. 雪茄烟叶单宁降解菌的筛选、鉴定及发酵工艺优化[J]. 烟草科技, 2023, 56(7): 32-40.
- [15] 付博, 霍天辰, 王欢欢, 等. 巨大普里斯特氏菌 CX-17、生物制剂及其应用: 202310589363. 2[P]. 2023-09-01.
- [16] 付博, 张蒙蒙, 武云杰, 等. 可降解单宁酸的泛菌 B-3 及其应用: 202211161758. 4[P]. 2023-06-09.
- [17] 王光路, 胡希, 杨雪鹏, 等. 一株烟草源耐高温亚硝酸盐降解菌及其在雪茄烟叶发酵中的应用: 202210431225. 7[P]. 2023-08-18.
- [18] 叶长文, 余君, 崔中月, 等. 一种弯曲芽孢杆菌 Ni3 及应用和微生物菌制剂: 202310625720. 6[P]. 2023-11-07.
- [19] 张倩颖, 李东亮, 李品鹤, 等. 一种产香金耳菌株及其用途: 202211373695. 9[P]. 2023-04-18.
- [20] 丁巧蓓, 晁元卿, 王诗忠, 等. 根际微生物群落多样性在重金属土壤修复中的研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2016, 48(2): 1-12.
- [21] 樊俊, 向必坤, 谭军, 等. 雪茄烟田微生物群落和土壤理化性状与青枯病发生的关系[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(5): 94-100.
- [22] 范龙, 叶科媛, 何华, 等. 咖啡豆残渣有机肥对德阳雪茄根际土壤肥力及真菌群落的影响[J]. 中国烟草学报, 2023, 29(2): 122-132.
- [23] BLAKEMAN J P. Microbial ecology of the phylloplane [C] // International Symposium on the Microbiology of Leaf Surfaces. [S. l.]: Academic Press, 1981.
- [24] XING L, YANG J L, JIA Y H, et al. Effects of ecological environment and host genotype on the phyllosphere bacterial communities of cigar tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) [J]. Ecology and Evolution, 2021, 11(16): 10892-10903.
- [25] 邢蕾, 刘亿, 刘杰, 等. 生态环境和基因型对成熟期雪茄烟叶际真菌群落的影响[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(5): 119-126.
- [26] LATORRE B A, BRICEÑO E X, TORRES R. Increase in *Cladosporium* spp. populations and rot of wine grapes associated with leaf removal [J]. Crop Protection, 2011, 30(1): 52-56.
- [27] MANAMGODA D S, CAI L, MCKENZIE E H, et al. A phylogenetic and taxonomic re-evaluation of the *Bipolaris*-*Cochliobolus*-*Curvularia* complex [J]. Fungal Diversity, 2012, 56(1): 131-144.
- [28] DUAN C X, ZHAO L P, WANG J, et al. Dispersal routes of *Cercospora zeina* causing maize gray leaf spot in China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2022, 21(10): 2943-2956.
- [29] STONE J K, BACON C W, WHITE J F. An overview of endophytic microbes: Endophytism defined [J]. Microbial Endophytes, 2000(1): 17-44.
- [30] 陈泽斌, 夏振远, 雷丽萍, 等. 云南烟草内生细菌菌群密度及分布特征[J]. 西南农业学报, 2014, 27(2): 682-687.
- [31] 吴巧茵, 施友志, 李林林, 等. 类胡萝卜素降解菌株的原位筛选及其在雪茄提质增香中的应用[J]. 生物技术通报, 2023, 39(9): 192-201.
- [32] AHLHOLM J U, HELANDER M, HENRIKSSON J, et al. Environmental conditions and host genotype direct genetic diversity of *Venturia ditricha*, a fungal endophyte of birch trees [J]. Evolution, 2002, 56(8): 1566-1573.
- [33] OKON Y, ITZIGSOHN R. The development of *Azospirillum* as a commercial inoculant for improving crop yields [J]. Biotechnology Advances, 1995, 13(3): 415-424.
- [34] MINAMISAWA K, NISHIOKA K, MIYAKI T, et al. Anaerobic nitrogen-fixing consortia consisting of clostridia isolated from gramineous plants [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2004, 70(5): 3096-3102.
- [35] 李文君. 云南大理不同烟草产区烟叶内生菌群及其动态差异研究[D]. 昆明: 云南大学, 2011.
- [36] 张梦旭, 潘明明, 胡珑瀚, 等. 内生菌的功能及在烟草上的研究进展[J]. 烟草科技, 2017, 50(11): 105-112.
- [37] 贺曰林. 毛白杨 S86 人工林根区滴灌施肥及水氮调控机制研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [38] 郗蓓蓓, 叶建仁. 高效钾细菌的筛选鉴定及对植物的促生长效应[J]. 河南农业科学, 2020, 49(2): 81-88.
- [39] 何元胜, 胡晓峰, 岳宁, 等. 微生物肥料的作用机理及其应用前景[J]. 湖南农业科学, 2012(10): 13-16.
- [40] 滑夏华. 不同微生物肥料对烤烟产质量及土壤肥力的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(10): 38-43.

- [41] 李虹,高华军,吕洪坤,等. 有机肥和品种互作对土壤微生物群落及雪茄烟叶生长和产量的影响[J]. 南方农业学报,2022,53(6):1552-1559.
- [42] 吕冬青,孙瀚,张铭谷,等. 棉花生产上新型肥料研究进展[J]. 新疆农业科学,2019,56(1):174-182.
- [43] 尚翠. 微生物有机肥对烟田土壤养分调节和烟草品质改善的研究[D]. 长沙:湖南大学,2013.
- [44] 徐宗昌,李天卫,蔡宪杰,等. 3种微生物菌肥对烤烟生长发育及烟叶产量和质量的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(16):108-114.
- [45] 张慧,许宁,曹丽茹,等. 我国微生物农药的研发与应用研究进展[J]. 农药学报,2023,25(4):769-778.
- [46] 陈丕庭,马树杰,殷培军,等. 植物源抗病毒剂 VFB-1 防治烟草花叶病毒病研究[J]. 中国烟草学报,2015,21(3):93-99.
- [47] 章舸,彭玉龙,苟剑渝,等. 烟草疫霉拮抗放线菌的生防潜力评价[J]. 中国生物防治学报,2023,39(3):667-675.
- [48] 李其利,宁平,郑露,等. 不同培养条件对球孢链霉菌 JK-1 生长及其产生抗菌物质的影响[J]. 南方农业学报,2012,43(11):1682-1687.
- [49] 马玲,曹靖瑜,白建洋,等. 昆虫肠道微生物及其功能研究方法进展[J]. 昆虫学报,2023,66(10):1415-1424.
- [50] 邹金城,杨勇,杨益众,等. 斜纹夜蛾核型多角体病毒研究进展[J]. 中国生物防治学报,2016,32(6):800-806.
- [51] 孙福山,徐秀红,官长荣. 烟草调制技术发展现状与趋势[C]//中国烟草学会. 2009—2010 烟草科学与技术学科发展报告. 北京:中国科学技术出版社,2010,85-88,175-176.
- [52] 祝明亮. 烟草调制期间微生物研究进展[J]. 微生物学通报,2008(8):1278-1281.
- [53] 何沛,苏代发,杨俊誉,等. 微生物在烟草中的研究、开发与利用进展[J]. 湖北农业科学,2019,58(S2):42-57,60.
- [54] 孙雨琦,张蓝月,刘德水,等. 四川雪茄烟叶在成熟与晾制和发酵过程中烟草特有亚硝胺的积累动态[J]. 烟草科技,2022,55(5):25-31.
- [55] 祝明亮,李天飞,汪安云. 自肋烟内生细菌的分离鉴定及降低 N-亚硝胺含量研究[J]. 微生物学报,2004(4):422-426.
- [56] 张鸽,梁开朝,辛玉华,等. 基于高通量测序和传统分离研究雪茄外包皮表面细菌多样性及演替[J]. 应用与环境生物学报,2018,24(4):783-788.
- [57] TAMAYO A I, CANCHO F G. Microbiology of the fermentation of Spanish tobacco[C]//International Congress of Microbiology. [S.l.:s.n.], 1953.
- [58] 邱承宇. 烟叶醇化技术项目的过程管理控制模式研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.
- [59] 郑天飞,张倩颖,李东亮,等. 不同产地雪茄烟叶的风味特征和微生物群落分析[J]. 河南农业科学,2022,51(8):45-54.
- [60] 潘勇,吴巧茵,李林林,等. 国产雪茄烟叶堆积发酵过程中的微生物变化规律及差异分析[J]. 河南农业科学,2022,51(11):171-180.
- [61] 张晓娟. 雪茄外包皮烟人工发酵工艺及叶表微生物区系研究[D]. 郑州:河南农业大学,2006.
- [62] 贾云,胡婉蓉,吕晋雄,等. 雪茄烟叶发酵过程中微生物群落及功能微生物分析[J]. 轻工学报,2023,38(1):71-78,89.
- [63] 李宁,曾代龙,戴亚,等. 雪茄烟叶叶面可培养微生物分离鉴定[J]. 安徽农业科学,2009,37(25):11857-11858.
- [64] 张磊,罗泽华,杨明川,等. 雪茄烟叶原料发酵微生物多样性及酶活变化研究[J]. 中国农业科技导报,2021,23(10):171-180.
- [65] 张鸽,梁开朝,辛玉华,等. 四个国家雪茄外包皮烟叶表面细菌分离与活性测定[J]. 中国烟草科学,2018,39(2):82-88.
- [66] 宋学茹,张立猛,卜令铎,等. 云南不同产地醇化雪茄烟叶微生物群落差异研究[J]. 中国烟草科学,2022,43(5):87-93.
- [67] 周家喜. 霉变烟叶微生物群落特征及其致霉机制[D]. 贵阳:贵州大学,2021.
- [68] KOLLER J B. Der tabak in naturwissenschaftlicher[M]. Augsburg: Landwirt Schafilieher and Techniseherbe Zichung, 1858.
- [69] 毛亚浩,丁静怡,余君,等. 巨大芽孢杆菌应用于改善茄芯香气品质的研究[J]. 安徽农业科学,2023,51(10):10-15,78.
- [70] 毛亚浩,张彤彤,余君,等. 混菌发酵对雪茄烟叶化学成分及香气品质的影响[J]. 湖北农业科学,2023,62(4):140-145.
- [71] 李宁,汪长国,曾代龙,等. 蜡样芽孢杆菌 (*Bacillus cereus*) 筛选鉴定及在雪茄烟叶发酵中的应用研究[J]. 中国烟草学报,2012,18(2):65-69.
- [72] 黄晨奕,张彤彤,余君,等. 贝莱斯芽孢杆菌在改善雪茄烟叶品质中的应用[J]. 湖南农业科学,2023(4):82-89.
- [73] 郑天飞. 雪茄烟叶发酵过程中微生物群落结构和功能分析[D]. 无锡:江南大学,2022.
- [74] 姚芳. 海南茄衣叶面微生物鉴定及其在人工发酵过程对雪茄烟叶品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2017.
- [75] 谭云虎,刘利平,何明昌,等. 不同仓储条件对雪茄烟原料养护质量的影响[J]. 湖北农业科学,2022,61(10):136-140,146.
- [76] 杨蕾. 环境对烟叶品质的影响分析及霉变预测方法研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2016.
- [77] 徐靖,牛邦彦,张亚南,等. 芽孢杆菌属 *Bacillus* 分类学研究进展[J]. 中国土壤与肥料,2022(12):225-

237.

[78] 宋嘉宝,王明锋,罗昭标,等.海南雪茄烟叶霉变微生物鉴定及拮抗菌株筛选[J].烟草科技,2022,55(11):7-13.

[79] 张岱源,叶长文,李栋,等.湖北雪茄烟叶致霉菌分离鉴定及芽孢杆菌属拮抗菌株筛选[J].烟草科技,2023,56(6):8-16.

Research progress on the application of microorganisms in the production process of domestic cigar tobacco leaves

ZHANG Zhengcheng¹, CHAI Zhishun¹, XIN Yongkang², XING Lei¹,
LIU Lulu¹, CAI Wen¹, SHI Xiangdong², LI Dongliang¹

1. Cigar Technology Innovation Center, China Tobacco Sichuan Industrial Co., Ltd., Chengdu 610101, China;

2. National Tobacco Cultivation Physiology and Biochemistry Research Base/Key Laboratory of Tobacco Cultivation in the Tobacco Industry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China

Abstract: This paper summarizes the research status and main problems in the types of cigar microorganisms and their application in field production, air-drying, fermentation and other links of domestic cigar tobacco leaves. It is believed that the microbial community of cigars could be divided into rhizosphere microorganisms, foliar microorganisms, and endophytic bacteria. The rhizosphere and leaf microorganisms of cigars could promote the growth and development of cigar plants, reduce plant diseases, and improve the sensory quality of tobacco leaves. However, there was a lack of research on beneficial endophytic bacteria. Microbial fertilizers and pesticides played an important role in the field growth of cigar tobacco leaves, but microbial fertilizers and pesticides for cigar tobacco plants had not been widely promoted and applied. During the process of cigar tobacco air-drying, there were abundant microbial resources and complex metabolic functions, but there was relatively little research on the mechanism of microbial action. During the fermentation process of cigar tobacco leaves, the microbial community structure gradually diversified. The addition of medium microorganisms could improve the quality of tobacco leaves and prevent the occurrence of mold. However, most studies focus on the screening of medium microorganisms, and there was still a lack of in-depth research on the mechanism of microbial improvement and aroma enhancement. In the future, in-depth research could be carried out on the screening and utilization of endophytes in cigar tobacco leaves, microbial changes in the air-drying process, and in-depth data mining by using omics technology, in order to further improve the beneficial role of microorganisms in the production process of domestic cigar tobacco raw materials, improve the production and the quality of tobacco leaves, and further reduce the dependence on imported cigar tobacco raw materials.

Key words: cigar tobacco leaves; microorganism; field production; air-drying; fermentation

[责任编辑:吴晓亭]