

发酵对雪茄烟叶致香物质影响的研究进展

张玉芹¹, 王杰¹, 周永¹, 李军民¹, 曹长代¹, 崔丙慧¹, 薛仁喜¹, 董世峰¹, 韩守栋¹,
门奎富², 侯欣^{2*}

¹山东日照烟草有限公司, 山东 日照

²山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安

收稿日期: 2024年9月21日; 录用日期: 2024年10月18日; 发布日期: 2024年10月25日

摘要

发酵是烟叶调制结束后的自然延续过程, 是改善烟叶外观质量、致香物质以及抽吸品质的关键步骤。分析了发酵对雪茄烟叶外观特性、内在质量以及致香物质的影响, 探讨了致香物质与雪茄风味的关系, 为雪茄烟叶发酵过程中提高致香物质的种类和含量, 改善雪茄风味提供参考。

关键词

雪茄烟叶, 发酵, 致香物质, 风味特征

Research Progress on the Effect of Fermentation on Flavoring Substances in Cigar Tobacco Leaves

Yuqin Zhang¹, Jie Wang¹, Yong Zhou¹, Junmin Li¹, Changdai Cao¹, Binghui Cui¹, Renxi Xue¹,
Shifeng Dong¹, Shoudong Han¹, Kuifu Men², Xin Hou^{2*}

¹Shandong Rizhao Tobacco Limited Company, Rizhao Shandong

²College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

Received: Sep. 21st, 2024; accepted: Oct. 18th, 2024; published: Oct. 25th, 2024

Abstract

Fermentation is a natural continuation process of tobacco leaves after modulation, and it is a key step in improving the appearance quality, aroma substances, and smoking quality of tobacco leaves.

*通讯作者。

文章引用: 张玉芹, 王杰, 周永, 李军民, 曹长代, 崔丙慧, 薛仁喜, 董世峰, 韩守栋, 门奎富, 侯欣. 发酵对雪茄烟叶致香物质影响的研究进展[J]. 农业科学, 2024, 14(10): 1151-1158. DOI: 10.12677/hjas.2024.1410146

This study analyzed the effects of fermentation on the appearance characteristics, internal quality, and aroma substances of cigar tobacco leaves, and explored the relationship between aroma substances and cigar flavor. It provides a reference for improving the types and contents of aroma substances and enhancing cigar flavor during the fermentation process of cigar tobacco leaves.

Keywords

Cigar Tobacco Leaves, Fermentation, Aroma Substances, Flavor Characteristics

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

雪茄烟是经过烟叶调制发酵后卷制而成的烟草制品，抽吸时较烤烟相比具有烟雾浓度大和香气浓郁等特点。近年来随着中国雪茄烟市场规模的不断扩大和国产雪茄烟叶开发与应用重大专项的实施，不断推动着国内雪茄烟产业链的日益完善，并逐步突破雪茄烟生产关键技术瓶颈。但现阶段国内高端雪茄市场被大量进口雪茄品牌占有，国产雪茄发展受到原料和技术的限制，在品质方面仍有很大的进步空间。雪茄烟与烤烟加工方式有所不同，雪茄烟叶经过采收后，需要经过晾制、发酵和醇化等步骤，才能逐步提高烟叶品质。发酵作为雪茄烟叶生产加工的关键步骤，能够显著改善烟叶的外观特性和内在质量。因此，提升国产雪茄烟质量需从发酵等关键技术出发，逐步提高雪茄烟叶品质。雪茄本身由于其化学成分的不同，在发酵过程中会产生不同的风味特征，而致香物质与雪茄风味密切相关[1]，因此在发酵过程中通过适宜的发酵方法能够显著改善烟叶致香物质的种类和含量[2]，进而影响雪茄烟叶的抽吸品质。但是当前我国关于雪茄研究主要集中在发酵机理、发酵品质以及发酵介质等方面，对雪茄烟叶致香物质的研究较少，基于此，本文研究分析了发酵对雪茄烟叶外观特性、内在质量和致香物质的影响，并对雪茄烟叶致香物质与雪茄风味的关系进行总结分析，以期对雪茄烟叶发酵过程中提高致香物质的种类和含量，改善雪茄风味和品质提供理论参考。

2. 雪茄烟叶发酵

雪茄烟叶发酵是调制后的自然延续，是改善烟叶外观质量、物理性状、化学成分、风味特征以及抽吸品质的关键步骤。雪茄烟叶发酵分为自然发酵与人工发酵。自然发酵是指利用环境中的温度与湿度等自然条件，不进行人为干预从而达到发酵目的。自然发酵通常存在发酵时间长、成本高等问题。人工发酵可以调节烟叶适宜的发酵条件，促进香气成分转化，加速雪茄烟叶的发酵进程，具有发酵周期短、经济实用等特点。

发酵通常分为一次发酵和二次发酵。调制和一次发酵统称农业发酵[3]，调制后的烟叶通过堆叠或装箱等方式，对雪茄烟叶的外观质量、化学成分进行适宜的转化，发酵时间通常进行3~6个月。二次发酵也称工业发酵，是在一次发酵的基础之上，对烟叶进行醇化，突出雪茄烟叶的风味特征，使其达到工业要求。

2.1. 发酵对雪茄烟叶外观质量的影响

雪茄烟叶的外观质量通常包括烟叶的颜色、成熟度、叶片完整度、油分、长度、宽度等特征，是质量

评价和烟叶分级的重要指标[4]。潘武宁[5]研究发现叶片含水率与烟叶颜色具有很大的关系,在发酵过程中通过调节烟叶含水率可以促使质体色素逐渐降解,烟叶颜色随即加深。此外烟叶内部还进行大量的化学反应,导致多酚类物质逐步转化,郭文龙[6]研究发现,烟叶内部的多酚类氧化产物与美拉德反应产物均为深褐色,随着烟叶发酵的进行,此类产物积累增多,导致叶片颜色逐渐显现出褐色至深褐色。并且多酚类氧化产物与美拉德反应产物是重要的香气物质前体,其降解产物能够增加烟叶的香气种类与香气量[7],使烟叶吃味变得更加醇厚。由此可见雪茄烟叶通过发酵能够多方面改善烟叶的颜色、香气种类等,并且通过颜色能直接反映出烟叶的外观质量。

2.2. 发酵对雪茄烟叶物理性状的影响

雪茄烟叶的物理性状通常包括烟叶的重量、厚度、含梗率、含水率、燃烧性、韧性等,在发酵过程中随着纤维素等大分子物质的转化和降解,叶片及烟梗变得柔软细腻,韧性增强[8]。烟叶燃烧性和含水率随着钾离子以及其他化合物的转变在发酵过程中得以改善[9]。

2.3. 发酵对雪茄烟叶化学成分的影响

2.3.1. 发酵对雪茄烟叶糖类物质的影响

雪茄烟叶的化学成分主要包括总糖、还原糖、总氮、烟碱、钾和氯等,是影响烟叶外观质量与抽吸品质的关键因素[10]。雪茄烟叶中糖类物质约占调制后烟叶干重的 25%~50% [11],是烟叶重要的组成部分。王林等[12]研究发现糖类物质是烟草重要的香气物质前体,以单糖和多糖等形式存在于烟叶内,其中单糖类物质主要包括葡萄糖、果糖等,多糖类物质主要包括淀粉、纤维素等[13]。在雪茄烟叶发酵过程中糖类物质通过美拉德反应、焦糖化反应等多种途径形成小分子羰基化合物、糠醛、呋喃酮、吡嗪等香气物质[14],改善雪茄的香气质。因此发酵过程是调节雪茄烟叶糖类物质的有效方法。

2.3.2. 发酵对雪茄烟叶总氮、烟碱含量的影响

总氮、烟碱含量是影响雪茄口感的主要因素。烟碱含量过高会导致雪茄烟刺激性增强,过低则会使其口感平淡。在雪茄烟叶发酵过程中,总氮和烟碱含量随着发酵的进行逐渐下降[15]。闫克玉[16]等人通过对烤烟模拟发酵发现,化学成分在发酵过程中趋于协调,总氮、烟碱在发酵过程中均存在含量下降的趋势。徐世杰[17]通过对雪茄烟叶进行模拟发酵发现,总氮含量在发酵过程中处于下降趋势,并在发酵中后期下降速率最快,而烟碱含量在中期出现上升趋势,但是在发酵结束后烟碱含量也低于发酵初始阶段。因此发酵不同时间段能够显著导致烟叶的抽吸品质,此时可以通过品吸烟叶,并对发酵过程进行适当调整。

2.3.3. 发酵对雪茄烟叶钾离子、氯离子含量的影响

在评价烟叶品质时,还可以通过衡量各种化学成分之间的比值,例如糖碱比、氮碱比和钾氯比等[17]。付秋娟[18]等人通过对烤烟化学成分研究发现,叶片厚度、叶质量与糖碱比、氮碱比和钾氯比均呈显著负相关关系,而燃烧速率与糖碱比、氮碱比和钾氯比呈显著正相关关系。潘义宏[19]等人通过对云南普洱烟区初烤烟叶研究发现,钾氯比、氮碱比对香气量、香气质、浓度、余味等贡献较大。这些化学成分的比值综合反映出烟叶的品质,因此在发酵过程中,化学成分的含量是衡量烟叶品质的关键因素。烟叶中钾、氯离子含量是影响烟叶燃烧性的关键因素。钾离子含量高则会使烟叶色泽均匀呈桔黄色,富有弹性和韧性,阴燃持火力和燃烧性强,若氯离子含量较高不仅会降低烟叶的燃烧性,还会增加烟叶刺激性,产生杂气,世界优质烟叶含钾量范围大都在 4%~6%,甚至高达 8%~10% [20],氯离子含量通常在 0.3%~0.8% [21]。陈宇[22]通过对雪茄烟叶的化学成分分析发现,二次发酵可以明显提高雪茄烟叶的最大失重速率,雪茄烟叶发酵结束后,钾氯比在 4.95 左右,烟叶燃烧性较好。因此在发酵过程中需要注意烟叶中各种离子之间的含量和比值,从而对发酵条件做出适当调整。

3. 发酵对雪茄烟叶致香物质的影响

3.1. 雪茄烟叶的致香物质

香气物质是评价烟草品质和区分烟草质量等级的标准之一[23]，烟草的香气是指烟叶散发的香气和烟叶燃烧后产生的气、味的总称[24]。针对烟草中香气物质的划分主要分为两种，一种是根据分子里是否含有-OH、-CO、-NH、-SH 等特定致香功能团，能够给人的嗅觉器官产生强烈的刺激，另一种是根据致香功能团的不同，将烟草香气物质分为酸类、醇类、酮类、醛类、酯类、酚类等[25]。此外许多有机酸及其衍生物也是烟草香气的主要成分，根据挥发性可以将有机酸分为挥发性有机酸、半挥发性有机酸和非挥发性有机酸[26]。现阶段对雪茄烟叶香气化学成分的分类大多数采用更为细致的酸类、醇类、酮类等方法。

3.2. 雪茄烟叶的致香物质与风味特征的关系

2013 年《雪茄客》根据美国加州大学戴维斯分校 Ann C. Noble 提出的葡萄酒风味轮盘，对雪茄风味特征进行划分，提出一种针对雪茄风味轮盘的风味评价方式，该方式将雪茄烟草风味分为 8 大类型，包括植物风味、香料风味、花香风味、坚果风味、水果风味、泥土风味、其他风味和非风味类特征[27]。于航[28]等人通过测定国内外 47 个雪茄烟样品的共 79 种致香成分，分析发现 79 种致香成分的水果和花香风味的气味活性值较高，古巴雪茄的草药香料、水果、花香和其他风味的气味活性值较大，国外非古巴雪茄的植物、水果、坚果、花香和其他风味的气味活性值较低。Zheng [29]通过分析不同地区雪茄烟叶的风味物质，将 8 种烟草风味细分为坚果味、豆味、木质、胡椒、果味、焦糖、蜂蜜、甜味、花香、草本、奶味、奶油、树脂、烘烤味、泥土、干草、皮革、酸味和脂粉味等。

有研究发现，雪茄烟叶发酵后主要风味特征包括蜂蜜甜味、可可味、薄荷和草本味，主要贡献者则是己醛、2,6-二甲基吡啶、壬醛、苯乙醛、萘和苯甲酸甲酯等致香物质[30]。此外雪茄烟叶大多数风味特征还与多种致香物质密切相关。醛和酮是烟叶中的主要化合物，而醛和酮分子结构中的羰基是香气基团，大多数带有羰基的化合物具有特殊的香气[29]。例如酯类化合物为烟叶提供甜味、果香和葡萄酒香气[31]，醇类化合物还可以增强烟叶的花香和果香，吡嗪类化合物增强烟叶的坚果和烘烤香气[32]，呋喃化合物赋予烟叶焦糖香气。由此可见多种致香物质共同构成烟叶的风味特征。

3.3. 微生物群落对雪茄烟叶致香物质的影响

雪茄烟叶发酵过程中，主要存在化学变化、微生物作用以及酶催化作用三种机理[33]，而微生物群落作用于发酵的整个时期，并且微生物的生长能够促进烟叶中大分子物质纤维素、淀粉等分解转化为小分子有机物，产生香气物质进而提高烟叶品质。微生物群落的多种代谢途径，例如脂肪酸生物合成、糖酵解、三羧酸循环和芳香族化合物的生物合成对烟草香气都具有十分重要的贡献[34]。

Zhong [35]通过烟草废料提取出一株能够降解烟碱的假单胞菌，发现假单胞菌能够在 12 小时内降解 97% 烟碱，能够有效降低雪茄烟叶的刺激性，改善抽吸品质。此外张锐新[36]等发现假单胞菌属的细菌能够降解烟草中的苯甲酸甲酯和产生苯乙醛的能力，而苯乙醛是由苯丙氨酸等香气物质前体降解形成。部分酵母属也被证实参与烟叶致香物质的形成过程中，Yao [37]在雪茄烟叶发酵过程中接种了 9 种产香酵母，结果表明发酵后雪茄烟叶中鉴定并定量出 120 种致香物质，包括醛类、醇类、酮类、酯类、烃类、酸类等，其中接合酵母能够显著提高雪茄烟叶的酯类含量，并且酯类作为重要的致香物质之一，能够显著改善烟叶的风味与感官质量，酿酒酵母接种后， β -紫罗兰酮、茄酮、香叶酰丙酮、法尼基丙酮致香物质增加[37]，使雪茄烟叶变得更加醇厚，香气质量明显改善。Zheng [29]通过分析不同地区雪茄烟叶的微生物群落发现，细菌群落与烟叶致香物质密切相关，雪茄烟叶中不同的微生物群落会产生不同的致香物质

[38], 进而影响雪茄烟叶品质和风味, 例如印度尼西亚雪茄具有胡椒和烘烤香气, 巴西雪茄具有焦糖和香草香气, 多米尼加雪茄具有牛奶、果味和蜂蜜的香气。

3.4. 酶催化作用对雪茄烟叶致香物质的影响

雪茄烟叶发酵过程中能够产生多种水解酶, 例如蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶等, 能够降解烟叶中的蛋白质、淀粉、纤维素, 转化成小分子糖类。其中蛋白酶是重要的工业酶类, 广泛存在于动物、植物、微生物内, 约占工业酶类的 60% [39]。在雪茄烟叶发酵过程中, 由于蛋白酶的催化作用将蛋白质水解为小分子氨基酸, 而氨基酸是美拉德反应的前体, 能够与还原糖发生化学反应促进香气成分的产生[40]。

雪茄烟叶淀粉含量约占整体的 5%~15% [41], 当淀粉类大分子化合物含量过高, 会导致化学成分不协调, 杂气、刺激性明显, 当含量过低会导致雪茄烟口感平滑, 降低抽吸品质。雪茄烟叶在发酵过程中产生淀粉酶, 能够降解淀粉改变烟叶表面结构, 推动微生物群落演替, 并且淀粉酶还能促进香气化合物的形成, 调节烟草的化学成分[42], 改善烟草发酵过程中的烟草品质。闫克玉[43]等通过对烤烟添加淀粉酶发现, 酶促作用使直链淀粉降解为糊精和麦芽糖, 并使烟叶香气质变好, 杂气减少, 刺激性减轻, 烟气甜度增大, 余味改善, 有效改善烟叶品质。

纤维素作为植物细胞的重要组成成分, 约占烟草体内的 10%~25%, 能够直接导致雪茄燃烟时的刺激性和口感, 影响烟叶品质[44]。纤维素酶广泛存在于动植物体内, 能够催化纤维素分解为单糖或纤维二糖。阮祥稳[45]等利用淀粉酶和纤维素酶发酵烟叶, 发现酶处理能够显著缩短烟叶发酵时间, 经过感官评吸后, 发酵的烟叶, 香气改善, 香气量增加, 青杂气减轻, 刺激性有所降低。吴薇[46]等通过对烤烟喷施纤维素酶研究发现烟叶中总糖、还原糖和钾含量显著提高, 其中钾含量分别比对照提高 11.5% 和 17.7%, 并且纤维素酶处理的烤烟质体色素降解产物显著高于对照, 美拉德反应产物和类西柏烷类致香物质含量也有不同程度提高。因此发酵过程中雪茄烟能够产生多种水解酶, 致使雪茄烟叶中的大分子物质进行降解转化为其他小分子化合物。

3.5. 外源物质对雪茄烟叶致香物质的影响

3.5.1. 外源微生物对雪茄烟叶致香物质的影响

传统的发酵过程由复杂的微生物群落驱动, 接种外源微生物不仅能显著加速发酵过程, 还能推动微生物群落演替, 产生芳香族化合物, 改善发酵物质的风味特征[47]。Zhang [48]对烤烟接种微生物发现, 贝莱斯芽孢杆菌和内生芽孢杆菌的共同发酵可以显著促进大分子物质的降解和香气物质的产生, 同时对细菌群落结构产生深远影响, 从而提高烤烟的感官评价质量。此外不动杆菌在雪茄烟叶中是醛类和酮类的主要生产者, 能够产生苯甲醛、苯乙醛和 3-乙氧基-4-羟基苯甲醇等致香物质[49], Zheng [50]在雪茄烟叶接种不动杆菌后发现, 外源微生物能够加速推动微生物群落演替, 提高茄酮、三甲基吡嗪和 2,6-二甲基吡嗪的含量, 增加雪茄烟叶的醇厚、回味和甜味, 改善雪茄烟叶品质。Song [51]在茄芯烟叶接种高空芽孢杆菌后, 研究发现菌株促进了烟叶大分子物质的转化, 并参与到脂肪酸降解、肌醇磷酸代谢、能量供应等过程, 增强了棒状杆菌等其他细菌代谢活性和多样性, 提高了微生物群落的丰富度, 改善了烟叶抽吸品质。因此在发酵过程中接种功能微生物能够显著改变原始微生物群落结构, 加速发酵进程, 从而改善雪茄品质。

3.5.2. 外源营养物质对雪茄烟叶致香物质的影响

外源营养物质富含蛋白质、氨基酸等, 能够显著改善烟草品质。茄衣作为雪茄的重要部分, 对烟叶原料和调制工艺要求较高, 李楠芬[52]通过对晾制结束后的茄衣喷施蔗糖等外源物质, 不仅解决了茄衣青斑、色素不均匀等外观问题, 还能显著改善烟叶的化学成分。而在雪茄烟叶发酵过程中, 通过喷施脯氨

酸与丙氨酸可促进香气物质产生, 其中脯氨酸可以促进酮类致香物质产生, 丙氨酸则有利于吡嗪类致香物质的产生[53]。同样在发酵过程中, 大米富含丰富的淀粉、纤维素, 能够有效改善烟叶发酵程度不足的问题, Ren [54]将炒熟的大米作为外源物质添加烟叶发酵后, 显著增加了烟叶中的含氮杂环化合物、糖、生物碱和有机酸等致香物质及其前体, 有效改善了雪茄烟叶香气质和香气浓度。因此在雪茄烟叶发酵过程中添加不同的外源物质会产生不同的致香物质, 从而形成不同的风味特征。Hu [55]将不同的外源物质添加到雪茄烟叶进行发酵后发现, 咖啡介质可以显著改善烟叶的微生物群落, 改变真菌群落演替规律, 增加苹果酸和香气成分的含量, 而可可豆介质可以显著增加烟叶内氨基酸和非挥发性有机酸的含量, 虽然两者产生了不同的致香物质, 但都显著提高了雪茄烟叶的品质属性。因此外源物质内部含有的糖类、纤维素等, 能够弥补雪茄内含物质不足导致的发酵程度过重, 改善雪茄品质和风味。

4. 结论

雪茄发酵过程中的多种因素共同影响烟叶致香物质的形成和转化, 进而影响雪茄风味的最终形成。而能够直接感受到烟叶发酵程度的是雪茄柔韧性、颜色、味道等外观质量, 因此在发酵过程中, 需要根据烟叶的外观特性对当前发酵进程和烟叶发酵程度进行直接判断, 并适当调节相应的发酵条件, 从而使烟叶致香物质与外观质量向更高品质的方向转化, 逐步改善烟叶的风味与质量。

5. 展望

关于雪茄发酵过程中致香物质与风味关系的相关研究, 国内已有部分研究成果, 但是由于致香物质种类和数量繁多, 不同发酵过程存在不同的致香物质, 导致综合分析难度较大, 目前国内雪茄发酵主要集中在烟叶常规化学成分、发酵机理、发酵介质以及发酵微生物群落丰度变化等方面。而对致香物质与雪茄风味特征的关系以及发酵影响致香物质的形成和转化研究较少。同时雪茄品种、栽培条件以及生态环境对雪茄致香物质的影响有待进一步研究。

参考文献

- [1] 付劲怡. 烘烤条件和成熟度对烟叶致香物质转化及关键品质指标的影响[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2008.
- [2] 王玉华, 王以慧, 郭先锋, 等. 不同产区雪茄茄芯原料中性致香物质分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2014, 29(1): 93-99.
- [3] Zhang, Q., Zheng, T., Yang, Z., Yang, S., Cai, W., Li, P., *et al.* (2023) Analysis of the Structure and Metabolic Function of Microbial Community in Cigar Tobacco Leaves in Agricultural Processing Stage. *Frontiers in Microbiology*, **14**, Article ID: 1230547. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1230547>
- [4] 王能如. 烟叶调制与分级[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002.
- [5] 潘武宁. 广西仓储条件下不同含水率片烟醇化质量变化规律分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [6] 郭文龙. 茄芯烟叶发酵过程中颜色参数变化及外源加酶发酵对其质量的影响[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2022.
- [7] 杨立均, 宫长荣, 马京民. 烘烤过程中烟叶色素的降解及与化学成分的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2002, 23(2): 5-7.
- [8] 杨虹琦, 周冀衡, 罗泽民, 等. 微生物和酶在烟叶发酵中的应用[J]. 湖南农业科学, 2004(1): 63-66.
- [9] 刘春奎, 刘春玲, 王国良, 等. 烟叶发酵研究进展[J]. 广西轻工业, 2011, 27(11): 15-16.
- [10] 张西仲, 徐晓燕, 黄义德. 烤烟醇化过程中主要化合物的变化及其与烟叶品质的关系[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(16): 4016-4017.
- [11] 钟庆辉. 烟草化学基本知识[M]. 北京: 轻工业出版社, 1985.
- [12] 王林, 周平, 贺佩, 等. 糖类物质对烟草香气品质的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(6): 92-98.

- [13] 王静. 卷烟制品中糖物质对其甜味影响规律的研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [14] 杨红旗. 中国烤烟主要香气前体物的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2006.
- [15] 赵铭钦, 刘金霞, 黄永成, 等. 增施不同有机质对烤烟香气质量的影响[J]. 西南农业学报, 2009, 22(3): 721-726.
- [16] 阎克玉, 屈剑波, 吴殿信, 等. 烤烟在人工发酵过程中主要化学成分变化规律的研究[J]. 烟草科技, 1998(4): 5-7.
- [17] 徐世杰. 雪茄茄衣人工发酵过程中的质量变化规律及添加物料对其品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2016.
- [18] 付秋娟, 张忠锋, 窦家宇, 等. 烤烟物理特性与常规化学成分及外观质量的关系[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(1): 117-122.
- [19] 潘义宏, 李佳佳, 蒋美红, 等. 烟叶外观质量、常规化学成分与其感官质量的典型相关分析[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 384-388.
- [20] 王世沛, 温圣贤. 烟叶主要化学成分与品质关系概述[J]. 作物研究, 2012, 26(S1): 139-141.
- [21] 何永良. 贵州烤烟施氮量的初步研究[J]. 中国烟草, 1987(4): 24-29.
- [22] 陈宇. 海南雪茄烟发酵过程中的烟叶质量变化研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2019.
- [23] 景延秋, 官长荣, 张月华, 等. 烟草香味物质分析研究进展[J]. 中国烟草科学, 2005, 26(2): 44-48.
- [24] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [25] 刘宇, 颜合洪. 烟草致香物质的研究进展[J]. 作物研究, 2006, 20(5): 470-474.
- [26] 申进朝, 洗可法. 烟草中有机酸分析研究进展[J]. 烟草科技, 2003(8): 29-32.
- [27] 王丽莉. 雪茄客手册[M]. 上海: 学林出版社, 2011.
- [28] 于航, 刘砚婷, 尚梦琦, 等. 基于致香成分分析的雪茄烟产地间差异[J]. 烟草科技, 2021, 54(9): 58-71.
- [29] Zheng, T., Zhang, Q., Li, P., Wu, X., Liu, Y., Yang, Z., et al. (2022) Analysis of Microbial Community, Volatile Flavor Compounds, and Flavor of Cigar Tobacco Leaves from Different Regions. *Frontiers in Microbiology*, **13**, Article ID: 907270. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.907270>
- [30] Wu, X., Hu, Y., Wang, Q., Liu, J., Fang, S., Huang, D., et al. (2023) Study on the Correlation between the Dominant Microflora and the Main Flavor Substances in the Fermentation Process of Cigar Tobacco Leaves. *Frontiers in Microbiology*, **14**, Article ID: 1267447. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1267447>
- [31] Xu, Y., Zhao, J., Liu, X., Zhang, C., Zhao, Z., Li, X., et al. (2022) Flavor Mystery of Chinese Traditional Fermented Baijiu: The Great Contribution of Ester Compounds. *Food Chemistry*, **369**, Article ID: 130920. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130920>
- [32] Yan, Y., Chen, S., Nie, Y. and Xu, Y. (2021) Quantitative Analysis of Pyrazines and Their Perceptual Interactions in Soy Sauce Aroma Type Baijiu. *Foods*, **10**, Article No. 441. <https://doi.org/10.3390/foods10020441>
- [33] 余永茂, 张淑华, 刘石, 等. 加速烟叶发酵的方法[J]. 烟草科技, 1990(5): 2-3.
- [34] Banožić, M., Jokić, S., Aćkar, Đ., Blažić, M. and Šubarić, D. (2020) Carbohydrates—Key Players in Tobacco Aroma Formation and Quality Determination. *Molecules*, **25**, Article No. 1734. <https://doi.org/10.3390/molecules25071734>
- [35] Zhong, W., Zhu, C., Shu, M., Sun, K., Zhao, L., Wang, C., et al. (2010) Degradation of Nicotine in Tobacco Waste Extract by Newly Isolated *Pseudomonas* sp. ZUTSKD. *Bioresour Technol*, **101**, 6935-6941. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.142>
- [36] 张锐新, 苏谦, 杨昌鹤, 等. 堆积发酵时间对五指山茄烟叶品质的影响[J]. 山东农业科学, 2020, 52(4): 57-61.
- [37] Yao, L., Huang, C., Ding, J., Zhang, T., Yu, J., Yang, C., et al. (2022) Application of Yeast in Plant-Derived Aroma Formation from Cigar Filler Leaves. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **10**, Article ID: 1093755. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1093755>
- [38] Song, Z., Du, H., Zhang, Y. and Xu, Y. (2017) Unraveling Core Functional Microbiota in Traditional Solid-State Fermentation by High-Throughput Amplicons and Metatranscriptomics Sequencing. *Frontiers in Microbiology*, **8**, Article No. 1294. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01294>
- [39] 陈茏. 产蛋白酶菌株的筛选及酶学性质的研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [40] Roemer, E., Schorp, M.K., Piadé, J., Seeman, J.I., Leyden, D.E. and Haussmann, H. (2012) Scientific Assessment of the Use of Sugars as Cigarette Tobacco Ingredients: A Review of Published and Other Publicly Available Studies. *Critical Reviews in Toxicology*, **42**, 244-278. <https://doi.org/10.3109/10408444.2011.650789>
- [41] 官长荣. 烟草调制学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [42] Ning, Y., Mai, J., Hu, B., Lin, Z., Chen, Y., Jiang, Y., et al. (2023) Study on the Effect of Enzymatic Treatment of

- Tobacco on Hnb Cigarettes and Microbial Succession during Fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **107**, 4217-4232. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12577-2>
- [43] 闫克玉, 赵磊, 朱国成, 等. 混合酶制剂改善上部烟叶品质研究[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2004, 19(1): 52-55.
- [44] Reid, J.J., McKinstry, D.W. and Haley, D.E. (1937) The Fermentation of Cigar-Leaf Tobacco. *Science*, **86**, 404. <https://doi.org/10.1126/science.86.2235.404.a>
- [45] 阮祥稳, 任平, 陈卫锋. 酶对烟叶发酵内在品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(1): 67-68.
- [46] 吴薇, 袁帅, 郑玺, 等. 酶制剂对陕南上部烟叶化学成分和香气品质的影响[J]. 烟草科技, 2021, 54(12): 28-34.
- [47] Wang, P., Wu, Q., Jiang, X., Wang, Z., Tang, J. and Xu, Y. (2017) *Bacillus licheniformis* Affects the Microbial Community and Metabolic Profile in the Spontaneous Fermentation of Daqu Starter for Chinese Liquor Making. *International Journal of Food Microbiology*, **250**, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.03.010>
- [48] Zhang, L., Mai, J., Shi, J., Ai, K., He, L., Zhu, M., et al. (2024) Study on Tobacco Quality Improvement and Bacterial Community Succession during Microbial Co-Fermentation. *Industrial Crops and Products*, **208**, Article ID: 117889. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117889>
- [49] 钟仙韵, 邱懿, 王晓园, 等. 采收成熟度对晾制后雪茄烟叶糖碱组分及致香物质的影响[J]. 烟草科技, 2024: 1-25.
- [50] Zheng, T., Zhang, Q., Wu, Q., Li, D., Wu, X., Li, P., et al. (2022) Effects of Inoculation with *Acinetobacter* on Fermentation of Cigar Tobacco Leaves. *Frontiers in Microbiology*, **13**, Article ID: 911791. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.911791>
- [51] Song, W., Chen, X., Yu, J., Qiao, J., Yang, J., Chen, X., et al. (2024) Effects of *Bacillus altitudinis* Inoculants on Cigar Tobacco Leaf Fermentation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **12**, Article ID: 1417601. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1417601>
- [52] 李楠芬. 外源物质对晾制雪茄烟叶青斑形成与生理品质的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [53] 岳先领, 刘克强, 关体青, 等. 外源氨基酸对废弃烟草水热液相香味产物的影响[J]. 农产品加工, 2024(2): 21-26.
- [54] Ren, M., Qin, Y., Zhao, Y., Zhang, B., Zhang, R. and Shi, H. (2024) Effects of Microbes and Metabolites on Tobacco Quality in “Humi” Characteristic Fermentation of Cigar Tobacco Leaf. *Process Biochemistry*, **143**, 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2024.05.008>
- [55] Hu, W., Cai, W., Jia, Y., Fan, J., Zhu, B., Zhang, Q., et al. (2023) Sensory Attributes, Chemical and Microbiological Properties of Cigars Aged with Different Media. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **11**, Article ID: 1294667. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1294667>