

糖类物质对烟草香气品质的影响研究进展

王 林¹, 周 平¹, 贺 佩^{2,3}, 闫铁军¹, 周红审¹, 庞 哲¹, 庞雪莉^{2*}

(1.湖北中烟工业有限责任公司, 武汉 430040; 2.中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 3.中国农业科学院研究生院, 北京 100081)

摘 要:糖类物质是烟草中含量和种类最为丰富的香气前体物质,以糖(单糖、低聚糖、多糖)和糖的衍生物(糖苷、糖酯、Amadori 化合物)等不同形式存在,可通过美拉德反应、裂解反应、焦糖化反应、直接迁移至烟气等多种途径在烟草香气品质形成中发挥作用。本文结合国内外最新研究进展,系统梳理了烟草中糖类香气前体物质的存在形式、归纳了糖类物质影响烟草香气品质的作用途径、阐述了不同糖类物质形态在香气品质形成中的具体作用,以期为基于糖类物质基础的烟草香气品质的定向改良调控提供参考指导。

关键词:烟草; 香气品质; 糖类物质; 前体物质

Research Progress on the Influence of Carbohydrates on Tobacco Aroma Quality

WANG Lin¹, ZHOU Ping¹, HE Pei^{2,3}, YAN Tiejun¹, ZHOU Hongshen¹, PANG Zhe¹, PANG Xueli^{2*}

(1. China Tobacco Hubei Industrial Co., Ltd., Wuhan 430040, China; 2. Tobacco Research Institute of CAAS, Qingdao 266101, China; 3. Graduate School of CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Carbohydrates are the most abundant aroma precursors in tobacco, mainly existing in the forms of monosaccharides, oligosaccharides, polysaccharides, and carbohydrate derivatives such as glycosides, sugar esters, and Amadori compounds. These carbohydrate compounds could play a key role in the formation of tobacco aroma via Maillard reaction, sugar cracking reaction, caramelization reaction, direct migration into smoke, and many other ways. We reviewed the existing forms of sugar aroma precursor substances in tobacco, summarized the ways in which those sugar aroma precursors affect tobacco aroma quality, and discussed the specific roles of different sugar forms in the formation of aroma quality. The paper would provide information for the improvement of the aroma quality of tobacco products based on application of carbohydrates.

Keywords: tobacco; aroma quality; carbohydrates; precursors

香气质量是评价烟叶质量及其可用性的重要因素。烟叶香型风格是其燃吸过程中,烟气所表现出的整体香气类型或格调。在烟草香气品质的形成中,烟草本身的挥发性物质大约只有 30%直接转移到烟气中,而非挥发性前体物质的热解、聚合、缩合等各种复杂反应转化则是其吸食香气品质形成的关键物质基础^[1]。在众多影响烟草香气品质的因素中,糖类物质的影响非常重要。第一是其含量高,且是烤烟中含量最高的化学成分,约占调制后烟叶干重的 25%~50%^[2]。第二是其种类多,烟草中的糖类化合物的种类非常丰富,有单糖(如葡萄糖、果糖等),低聚糖(如蔗糖、麦芽糖、海藻糖等),多

糖(如纤维素、淀粉等),复合多糖,糖苷、糖酯等多种存在形态^[3]。丰富的糖类物质在平衡含氮化合物,改善烟气劲头和刺激性,提高填充值、柔韧性和耐加工性方面发挥重要作用。在燃吸过程中,一方面糖类物质可通过美拉德反应、焦糖化反应、热裂解反应等多种途径,形成小分子羰基化合物、吡咯、吡啶、吡嗪、糠醛、呋喃酮等具有愉悦感受的香气物质,对烟草品质的形成有积极正面影响^[4];另一方面,果胶和纤维素等大分子多糖在燃吸过程中可生成苯酚等酚类化合物,在一定程度上与烤烟刺激性和杂气呈显著正相关,对烤烟香气品质的形成具有负面影响^[5-6]。因此,梳理并准确理解糖类物

基金项目:湖北中烟工业有限责任公司科技项目(2018420000340278);中国烟草总公司山东省公司科技项目(201911);中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(1610232021005)

作者简介:王 林(1979-),高级农艺师,主要从事烟叶原料评价与应用研究工作。E-mail:wanglin@market.hbtobacco.cn

*通信作者, E-mail:pangxueli@caas.cn

收稿日期:2021-03-16

修回日期:2021-09-07

质在烟草香气品质形成中的具体作用,有助于研究人员充分利用糖类物质,从品种、栽培、调制以及加香加料等环节对烟草香气品质进行精准调控。

1 烟草中糖类物质构成

1.1 糖的直接存在形式

烟草中的水溶性糖,特别是还原糖是影响烟草吸味最重要的化学成分之一。果糖、葡萄糖、蔗糖和麦芽糖是构成烤烟水溶性糖的主体成分,约占水溶性糖总量的99%以上^[1]。赵高坤等^[7]研究发现果糖含量与烤烟评吸质量呈正相关;王春利等^[8]提出烟叶中主要水溶性糖含量对感官舒适度的贡献为果糖>葡萄糖>麦芽糖>蔗糖。烟叶烘烤前喷施一定质量浓度的蔗糖溶液可以为美拉德反应提供底物,增加烤后烟叶中香气物质的含量^[9-10]。

烟草中的多糖主要是淀粉、纤维素、半纤维素、果胶质等。在烟叶的调制过程中,淀粉大部分被分解为葡萄糖,少量被分解为中间产物糊精。淀粉和糊精是对烟草内在质量不利的成分,会影响卷烟燃烧速度与燃烧完全性,产生令人感到不愉快的气味,从而影响烟气的质量^[11]。另外,纤维素、半纤维素、木质素和果胶等以细胞壁物质存在的碳水化合物在烟叶燃烧过程中会产生木质杂气及强烈的刺激气味,是烤烟不良风味形成的主要物质来源^[5-6,12]。

1.2 糖的衍生化合物

1.2.1 糖苷 烟草中的糖苷是一类重要的香气前体,是单糖或低聚糖的半缩醛羟基和另一分子中的羟基、氨基等失水而产生的化合物^[13]。糖苷本身不具有香气,但在烟草成熟、调制、醇化和燃烧过程中,可通过一系列化学反应形成香气物质^[14]。王林等^[15]研究发现烟草中以糖苷结合态存在的香味成分主要包括环状醇、直链醇、萜烯醇及其氧化物,如己醇、苯甲醇、苯乙醇、挥发性酚、5,6- β -紫罗兰醇、芳樟醇氧化物等。

1.2.2 糖酯 糖脂肪酸酯简称糖酯,烟草中的糖酯主要以蔗糖酯、葡萄糖酯或其混合物的形式出现^[16]。糖酯是烟草中一类重要的潜香型化合物,由腺型茸毛分泌产生,其中含量较高的是蔗糖四酯^[17]。四元糖酯在常温下没有气味,但可在卷烟燃吸时裂解释放出异丁酸、异戊酸、3-甲基丁酸或3-甲基戊酸等香味成分,赋予卷烟烟气特有的香气特征^[18-21],是

烟用香精香料的重要组成成分之一。不同类型烟草中糖酯的含量有所差异,蔗糖酯在香料烟和部分雪茄烟中最为丰富,而在白肋烟和马里兰烟中含量最低。糖酯随着烟草的生长呈现先增高后降低再增高的趋势,在完熟时达到最高^[22]。

1.2.3 Amadori 化合物 Amadori 化合物(1-氨基-1-脱氧-2-酮糖)是氨基化合物与还原糖发生美拉德反应初级阶段的关键中间产物,约占烟草干重的2%~3%^[23]。Amadori 化合物有较稳定的理化性质,自身不表现出香气,但可通过加热发生重排、脱水、裂解而生成大量风味物质^[24]。毛多斌等^[25]研究了L-苯丙氨酸与木糖反应得到 Amadori 化合物的热解产物,发现吡喃类、呋喃类化合物能为卷烟香气提供甜烤香、焦木、焦糖香气;吡咯类物质增加甜香、坚果香、烘烤香和木香;含苯环的醛酸酯类化合物能够增强烟草的坚果香、青香、花香香气。张士怡等^[26]以D-果糖、L-苯丙氨酸和L-酪氨酸为原料合成了两种 Amadori 衍生物,能热解产生2-丁酮、苯甲醛、2-乙酰基呋喃、糠醛等香味物质。不同 Amadori 化合物在烟草中的含量差异较大。王晓瑜等^[27]建立了同时定量测定烟草中22种 Amadori 化合物的液相色谱-串联质谱分析方法,发现烟草中1-脱氧-1-L-脯氨酸-D-果糖(Fru-Pro)、1-脱氧-1-L-天冬酰胺-D-果糖(Fru-Asn)和1-脱氧-1-L-丙氨酸-D-果糖(Fru-Ala)的含量远高于其他 Amadori 化合物。

2 糖类物质影响烟草香气品质形成的作用途径

2.1 美拉德反应

烟草的还原糖可与氨基化合物发生美拉德反应从而影响烟草的香气品质。烟草在调制、发酵、醇化、制丝和燃吸过程中都会发生不同程度的美拉德反应^[28],它是烟草香味产生的主要来源之一。研究发现^[29]美拉德反应源致香成分可分为4个类别,第一类是含氮杂环化合物,它是种类最丰富、质量分数最高的化合物,包括吡嗪、吡啶、吡咯等,主要产生坚果、焙烤或面包香等香味;第二类是环状烯醇结构化合物,如麦芽酚等,主要产生焦糖香;第三类是多羰基化合物,如丙酮醛等,是焦香的主要物质来源;第四类是单羰基化合物,如斯特勒克降解产生的小分子 Strecker 醛,可产生宜人的烘焙

甜香。

试验表明,烤烟主流烟气中对焦甜和奶香香气贡献较大的物质主要有:2-糠醛、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮、甲基环戊烯醇酮、菠萝酮、5-甲基-2-糠醛、对苯二酚、苯酚、3-甲基-2-环戊烯-1-酮、乙基环戊烯醇酮和麦芽酚,而这些物质主要源自美拉德反应^[30]。李瑞丽等^[31]发现在卷烟空白叶组中添加美拉德反应产物(MRPs)后,主流烟气中的香味成分显著增加,卷烟烘焙香、可可香增强。苏加坤等^[32]将葡萄糖和丙氨酸反应的美拉德产物用于卷烟加香中可以明显提升香气质,增加回甜感。MITSUI等^[33]在葡萄糖和脯氨酸的微池热反应产物中检测到了美拉德反应产物中间产物Fru-Pro,且检测到了吡喃酮、1-乙酰基吡啶和吡咯等重要杂环香气化合物。同种糖类和不同氨基酸反应亦可产生不同香气,如葡萄糖与甘氨酸反应产生焦糖类气味,而与谷氨酸反应则产生愉快的木香等^[34]。美拉德反应产物在烟叶烘烤过程中呈现整体上升的趋势,在烘烤结束时达到最大值^[35];晾晒烟的调制过程中同样伴随着美拉德反应,其产物积累规律因调制环境而异,对于晒红烟而言,晒制相比于晾制更有利于美拉德反应产物的积累^[36]。此外,美拉德反应也是烟叶醇化过程中一个非常重要的反应,对烟叶香气质量有突出的优化作用,在烤烟和晒红烟醇化以及雪茄茄衣堆积发酵过程中,美拉德反应产物含量均呈现显著增加的趋势,对烟叶的香气质、香气量、余味和评吸总分的改善提高具有积极的直接贡献,对杂气和刺激性的减弱有间接作用^[36-38]。

2.2 热裂解反应

卷烟在燃烧过程中,其内部总体上处于缺氧状态,空气中的氧气参与程度有限,因此,烟气中的含氧香气成分主要来自烟草含氧组分,即糖类前体物质的热裂解反应。糖类是卷烟烟气中重要的前体物质,能够在卷烟裂解燃烧过程中生成糠醛、吡喃、环酮类风味物质,赋予卷烟甜香、焙烤香等消费者较喜欢的风味^[39-41]。热解蒸馏模拟环境下的分析研究表明,不同单双糖对烟气成分的影响不完全相同。蔗糖加入后烟气中羧酸类和醇、酚类增量最小,醛、酮类和含氮杂环类增量最大;葡萄糖加入后各类型

挥发组分均增加,以醛、酮类和含氮杂环类最明显;果糖加入后各类化合物增量均很小,与空白对照组最为接近^[42]。此外,糖类物质热裂解产物与温度密切相关,裂解产物随温度升高而变复杂,且高温下氧气可加剧糖的裂解反应,当高于800℃时,稠环芳烃类物质增加,取代了吡喃类和低分子羰基化合物等低温热解产物的主导地位^[40,43-44]。除单双糖外,多糖因具有多羟基结构可以吸附保留水分、减缓水分散失及在高温热裂解时产生香气物质,其作为新型天然物质,在提高卷烟的甜香度、保湿性等感官品质中的开发应用中受到越来越多的关注^[45]。烟叶自身多糖(水溶性多糖和改性多糖)和其他植物多糖(枸杞多糖、香加皮多糖、巴戟天根茎类多糖、藻类多糖以及真菌多糖)在卷烟加香试验的感官评定均显示出柔和细腻、协调性好、香气丰满的效果,能够显著改善卷烟的感官舒适度,对卷烟起到很好的增香作用^[45]。经野生羊肚菌菌丝体渥堆发酵后获取的烟叶发酵多糖经900℃热裂解后,产生了丰富的糠醛类、醛酮类和吡喃类等化合物,这些产物具有沁人心脾的甜香和烟草香味^[46]。艾绿叶等^[47]分析了改性羧甲基烟叶多糖的高温热裂解产物,其中糠醛类具有杏仁香气;酮类具有奶油香、水果香;吡啶类具有香草、烟气味;吡嗪类具有烤香、坚果香;吡喃类具有甜香和焦糖香,与普通烟叶多糖相比,改性多糖能够减少烟气中苯酚、甲苯酚等有害物质的含量。王建伟等^[48]分析认为卷烟燃烧裂解的过程中烟草中的总糖含量与香气质呈显著正相关。

糖酯和糖苷等糖类前体物质也是主要通过燃吸过程中的热裂解反应影响烟叶香气品质的形成^[16,49]。尚善斋等^[50]从烟草中分离出了香兰素-β-D-葡萄糖苷并对其热失重行为和热解产物进行了研究,结果显示,该糖苷类潜香物质在200~300℃具有较高的香兰素有效转化率和较低的酚类及醛类副产物生成量。糖酯降解产物,尤其是低级脂肪酸类化合物,如甲酸、乙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸、β-甲基戊酸、己酸、庚酸及肉桂酸、糠酸等对烟叶的香气质量贡献巨大^[51],可以赋予烟叶芳香特征,极大改善抽吸口感和烟气的粗糙感和刺激性^[52];而高级脂肪酸可以调节烟草pH,改进卷烟吸味。研究表明,糖酯和糖苷类化合物作为释放型香

料比单独加入相应的酸类或香气苷元更能减少刺激性及杂气、提高香气质、改善口感^[53-54]。

2.3 焦糖化反应

焦糖化反应是指醛糖或酮糖等糖类化合物在没有氨基化合物存在的条件下,在 150 °C~200 °C 加热过程中发生的降解、脱水等一系列反应,最终能形成大量具有风味贡献的褐色产物^[55]。目前焦糖化反应的研究主要集中在色素制备和呈色应用方面,而对其热解产物和呈香作用的研究相对较少^[56]。糖类物质在烟草调制、发酵、燃烧等过程中均会发生焦糖化反应,生成 5-甲基糠醛、丁二酮、糠醇、甲基环戊烯醇酮、乙基环戊烯醇酮、糠醛、呋喃酮等焦糖化产物,并可进一步分解成小分子酸和挥发性醛类物质^[53-54]。这些焦糖化产物与烟香协调性较好,对卷烟品质和主流烟气的焦甜香香气的形成具有极其重要的影响。朱远洋等^[57]发现以葡萄糖为原料的焦糖化产物的最佳加香浓度为 0.65 mg/支,加入后能够增加主流烟气中的呋喃类、酮类、烯类、吡啶类化合物,可明显增加卷烟焦甜香、烘焙香、花香和坚果香,有效改善卷烟香气品质。倪伟等^[58]利用气相色谱-嗅觉检测器联用技术(GC-O)明确了 2-戊基呋喃、甲基环戊烯醇酮和 2-糠醛等焦糖化产物为皖南烟叶焦甜香的主要贡献者。张峻松等^[59]发现卷烟烟气中的 5-甲基糠醛、糠醛、糠醇、呋喃酮、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮等重要致香成分是极为典型的焦糖化反应产物,对烟草焦甜香的增强具有重要作用。糠醛和呋喃酮等焦糖化反应产物具有典型的焦甜香气特征和极低嗅觉气味阈值(0.282 和 0.022 3 μg/g)^[60],因此,痕量的此类化合物便能贡献很强烈的宜人焦糖香气。

2.4 糖在烟气中的迁移

烟支燃烧过程中发生的化学反应多为有机物的氧化和热裂解反应,而单糖作为一种多羟基醇,几乎不可能在高温燃烧中生成。因此,卷烟主流烟气中的单糖绝大部分由烟丝中单糖向烟气中无变化的迁移而来,而非其他化合物的裂解或转化^[61]。但由于糖类是难挥发性物质,卷烟在燃烧过程中仅有少量的糖(约 0.5%的葡萄糖和蔗糖)直接转移至主流烟气中^[62-64]。烟支燃烧过程中转移到主流烟气中的小部分糖类物质会为卷烟带来“甘甜”、“生津”和“回味”的口感^[61,65-66]。此外,烟草以及其他外

源植物多糖组分亦可直接以 1%~5%的比例转移至烟气^[67],进而通过改变烟气 pH、增加保水性以及分子间作用截留气味组分等方式,减少烟气杂气和刺激性,有效改善卷烟抽吸品质^[68-70]。

3 总结与展望

综上所述,目前有关糖类对烟草香气品质影响的研究,已从感官评吸为主的综合作用效果评价,进阶到精密仪器分析和感官组学基础上深入解析物质基础及其作用机理的研究阶段。这些研究成果为更精准的卷烟工业加香加料技术的开发应用提供了指导参考。然而,烟草研究者和消费者更期望通过调控烟草本源的糖类组分构成来改善卷烟的燃吸品质。今后需要围绕生长和加工过程中糖类前体的合成代谢和积累转化规律,糖类前体物质在不同烟草产品中的分布特征和作用阈值等方面开展深入系统研究,以期能从农艺措施调整、调制工艺优化、叶组配方创新改良、加香加料降本增效等全产业链助力烟草学者充分利用烟草糖类物质开展烟草风味品质的精准高效调控。另外,除本文所述的直接作用方式影响烟草香气品质外,其亦可通过调节 pH、水分、分子间相互作用间接影响气味感知。另一方面,糖类物质对吃味(甜味和苦味)的形成也有重要影响,因此,为更精准利用糖类物质提高烟叶品质,今后可以围绕糖类前体产生的主导嗅感物质与自身产生的味觉属性间交互作用以及糖类诱发的气溶胶理化性质改变与气味感知的相关性开展深入研究。

参考文献

- [1] BANOŽIĆ M, JOKIĆ S, AČKAR D, et al. Carbohydrates-key players in tobacco aroma formation and quality determination[J]. *Molecules*, 2020, 25: 1734.
- [2] 韩富根. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
HAN F G. Tobacco Chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010.
- [3] 王静. 卷烟制品中糖类物质对其甜味影响规律的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
WANG J. Study on the influence of sugars in cigarette on sweet taste of cigarette[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [4] 杨红旗. 中国烤烟主要香气前体物的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006.
YANG H Q. Studies on the chiefly fragrant precursor of the flue-cured tobacco in China[D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2006.
- [5] ZHOU S, XU Y, WANG C, et al. Pyrolysis behavior of pectin under the conditions that simulate cigarette smoking. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2011, 91(1): 232-240.
- [6] COLLARD F X, BLIN J. A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained

- from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 38: 594-608.
- [7] 赵高坤, 崔国民, 王亚辉, 等. 卷烟调制过程中果糖含量变化规律初探[J]. 河南农业科学, 2016, 45(4): 142-144.
ZHAO G K, CUI G M, WANG Y H, et al. Change regular of fructose content in flue-cured tobacco curing process[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(4): 142-144.
- [8] 王春利, 朱文辉, 文杰, 等. 烟叶糖含量与其感官舒适度的典型相关分析[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2013, 28(6): 6-8.
WANG C L, ZHU W H, WEN J, et al. Canonical correlation analysis of sugar content and sensory coziness of tobacco leaves[J]. Journal of Light Industry, 2013, 28(6): 6-8.
- [9] 程玉渊, 王建伟, 薛超群, 等. 烤前喷洒化学物质对上部烟叶品质的影响[J]. 烟草科技, 2009(10): 54-57.
CHENG Y Y, WANG J W, XUE C Q, et al. Effects of chemicals spraying before flue-curing on quality of upper leaves of flue-cured tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2009(10): 54-57.
- [10] 景延秋, 刘晓迪, 宫长荣, 等. 烤前喷施糖类物质对烤烟化学成分及香气物质含量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2013, 47(6): 663-666.
JING Y Q, LIU X D, GONG C R, et al. Effects of carbohydrate spraying before flue-curing on chemical components and aroma substances content of tobacco leaves[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2013, 47(6): 663-666.
- [11] 赵高坤, 任可, 陈妍洁, 等. 不同成熟度烟叶烘烤过程中大分子物质代谢动态研究[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 80-87.
ZHAO G K, REN K, CHEN Y J, et al. Metabolism of macromolecular substances in flue-cured tobacco with different maturity[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(9): 80-87.
- [12] 郭松. 我国烤烟烟叶果胶、纤维素含量分布特点及对评吸品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
GUO S. Distribution of the contents of pectin and cellulose and their effect on smoking quality in flue-cured tobacco in China[D]. Zhengzhou: Agricultural University of Henan, 2011.
- [13] 苏菲, 周海燕, 魏跃伟, 等. 不同类型烟草游离态和糖苷结合态中性香气成分含量比较[J]. 河南农业大学学报, 2012, 46(6): 601-608.
SU F, ZHOU H Y, WEI Y W, et al. Comparison of contents of free and glycosidic neutral aroma components in four different tobacco types[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2012, 46(6): 601-608.
- [14] 李英波, 宛晓春, 张正竹. 烟草糖苷类香气前体研究进展[J]. 烟草科技, 2006(3): 41-43.
LI Y B, WAN X C, ZHANG Z Z, et al. Advance in research of glycosides in tobacco[J]. Tobacco Science and Technology, 2006(3): 41-43.
- [15] 王林. 河南烤烟糖苷类物质鉴定及品质调控措施研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2016.
WANG L. Identification of glycosides and quality control measures of flue-cured tobacco from Henan province[D]. Zhengzhou: Agricultural University of Henan, 2016.
- [16] 阳会兵. 成熟期烟叶表面蔗糖酯的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
YANG H B. Research on tobacco leaf surface sucrose ester of during maturity[D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2007.
- [17] SALLAUD C, GIACALONE C, TÖPFER R, et al. Characterization of two genes for the biosynthesis of the labdane diterpene Z-abienol in tobacco (*Nicotiana tabacum*) glandular trichomes[J]. The Plant Journal, 2012, 72(1): 1-17.
- [18] 陈欢, 罗昭标. 烟草糖酯的分析与合成研究进展[J]. 农产品加工, 2019(9): 54-57.
CHEN H, LUO Z B. Research Progress on analysis and synthesis of sucrose esters from tobacco[J]. Farm Products Processing, 2019(9): 54-57.
- [19] 毛多斌, 梅勇, 牟定荣, 等. 7种葡萄糖四酯主要裂解产物在卷烟主流烟气中的转移分布[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(3): 1-6.
MAO D B, MEI Y, MOU D R, et al. The migration and distribution of main pyrolysis products of seven tetra-acyl glucose esters in mainstream cigarette smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011, 17(3): 1-6.
- [20] 雷声, 杨锡洪, 张玲, 等. 糖及糖衍生物在卷烟增香保润中的研究进展[J]. 农产品加工, 2016(12): 44-47.
LEI S, YANG X H, ZHANG L, et al. Research progress of sugar and sugar derivatives in the cigarette flavoring enhancement and moisturizing techniques[J]. Farm Products Processing, 2016(12): 44-47.
- [21] 张高峰. 潜香化合物的制备及在烟草中的应用研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2016, 2(2): 63-67.
ZHANG G F. The Research progress of preparation and application of aroma precursors in tobacco[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2016, 2(2): 63-67.
- [22] EINOLF W N, CHAN W G. Estimation of sucrose esters in tobacco by direct chemical ionization mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(4): 785-789.
- [23] LABUZA T P, REINECCIUS G A, MONNIER V M, et al. Maillard Reactions in Chemistry, Food and Health[M]. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2005: 11-19.
- [24] KANZLER C, SCHESTKOWA H, HAASE P T, et al. Formation of reactive intermediates, color, and antioxidant activity in the Maillard reaction of maltose in comparison to D-glucose[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(40): 8957-8965.
- [25] 毛多斌, 李山, 牟定荣, 等. 1-L-谷氨酸-1-脱氧-D-果糖的热裂解分析研究[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(2): 18-29.
MAO D B, LI S, MOU D R, et al. Pyrolysis analysis of 1-L-glutamic-1-deoxy-D-fructose[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(2): 18-29.
- [26] 张士怡, 李瑞, 张豫丹, 等. 两种 Amadori 衍生物的合成及其热降解产物研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 69-78.
ZHANG S Y, LI R, ZHANG Y D, et al. Synthesis and thermal degradation products of two Amadori derivatives[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 69-78.
- [27] 王晓瑜, 王昇, 刘鸿, 等. HPLC-MS/MS 法同时测定烟草中 22 种 Amadori 化合物[J]. 烟草科技, 2021, 54(4): 40-48.
WANG X Y, WANG S, LIU H, et al. Simultaneous determination of 22 Amadori compounds in tobacco leaves by HPLC-MS/MS[J]. Tobacco Science and Technology, 2021, 54(4): 40-48.
- [28] 苏强. 美拉德反应产物提高卷烟舒适度的研究[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2014.
SU Q. Study of improving cigarette's palatability by Maillard Reaction products[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2014.
- [29] 朱龙杰, 张华, 吴洋, 等. 碱性体系下美拉德反应产物中关键香味成分的种类及质量分数[J]. 烟草科技, 2020, 53(6): 41-47, 80.
ZHU L J, ZHANG H, WU Y, et al. Types and contents of key aroma components produced by alkaline Maillard reaction[J]. Tobacco Science and Technology, 2020, 53(6): 41-47, 80.
- [30] 胡安福, 范武, 夏倩, 等. 卷烟主流烟气焦甜、奶香和豆香特征成分组群的分布特征和感官贡献[J]. 烟草科技, 2020, 53(12): 32-41.
HU A F, FAN W, XIA Q, et al. Distribution characteristics in mainstream cigarette smoke and sensory contributions of burnt-sweet, creamy and bean aroma components[J]. Tobacco Science and Technology, 2020, 53(12): 32-41.
- [31] 李瑞丽, 徐达, 赵琪, 等. 美拉德反应产物对主流烟气碱性香味成分的影响研究[J]. 化学试剂, 2021, 43(2): 220-224.
LI R L, XU D, ZHAO Q, et al. Effect of Maillard reaction products on alkaline aroma components of mainstream smoke[J]. Chemical Reagents, 2021, 43(2): 220-224.
- [32] 苏加坤, 赵琪, 李瑞丽, 等. 葡萄糖和丙氨酸的美拉德反应及其在烟草中的应用研究[J]. 化学试剂, 2019, 41(11): 1201-1205.
SU J K, ZHAO Q, LI R L, et al. Maillard reaction of glucose and alanine and application in tobacco[J]. Chemical Reagents, 2019, 41(11): 1201-1205.
- [33] MITSUIA K, DAVID F, TIENPONT B, et al. Analysis of the reaction products from micro-vial pyrolysis of the mixture glucose/proline and of a tobacco leaf extract: Search for Amadori intermediates[J]. Journal

- of Chromatography A, 2015, 1422: 27-33.
- [34] 文冬梅. 美拉德反应制备烟用香精关键配料及工艺优化的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
WEN D M. The key ingredients and progress optimization of Maillard reaction for preparing tobacco essence[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [35] 刘勇, 李立新, 吴金富, 等. 烤前添加外源物质对烟叶质量的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(8): 91-96.
LIU Y, LI L X, WU J F, et al. Effects of adding exogenous substances before curing on quality of tobacco leaves[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(8): 91-96.
- [36] 时向东, 王旭锋, 林开创, 等. 不同调制方法对晒红烟品质的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(4): 55-58.
SHI X D, WANG X F, LIN K C, et al. Effect of different flue-curing methods on quality of dark sun-cured tobacco[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2013, 42(4): 55-58.
- [37] 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.
ZHANG R X, SU X, YANG C H, et al. Effect of stacking fermentation time on quality of wuzhishan cigar wrapper tobacco leaves[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(4): 57-61.
- [38] 王荣浩, 李林林, 陈栋, 等. 美拉德反应在烟草加工中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 345-350, 356.
WANG R H, LI L L, CHEN D, et al. Research Progress on application of Maillard reaction in tobacco production and processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 345-350, 356.
- [39] TALHOUT R, OPPERHUIZEN A, VAN AMSTERDAM J G C. Sugars as tobacco ingredient: Effects on mainstream smoke composition[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(11): 1789-1798.
- [40] SANDERS E B, GOLDSMITH A I, SEEMAN J I. A model that distinguishes the pyrolysis of d-glucose, d-fructose, and sucrose from that of cellulose. Application to the understanding of cigarette smoke formation[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2003, 66(1-2): 29-50.
- [41] BAKER R R, BISHOP L J. The pyrolysis of non-volatile tobacco ingredients using a system that simulates cigarette combustion conditions[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2005, 74(1-2): 145-170.
- [42] 陈熠熠. 烟草和蜂蜜中糖类的测定及其在烟草中热裂解行为的研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
CHEN Y Y. Determination of sugars in tobacco and honey and studying its thermal cracking in tobacco[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2013.
- [43] HAHN J, SCHAUB J. Influence of tobacco additives on the chemical composition of mainstream smoke[J]. Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research, 2014, 24(3): 100-116.
- [44] 郑坚强, 郭春生, 张峻松, 等. 果糖热裂解产物的气相色谱-质谱分析[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(10): 2415-2420.
ZHENG J Q, GUO C S, ZHANG J S, et al. Analyzing pyrolysates of fructose with gas chromatography mass spectrometry[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(10): 2415-2420.
- [45] 刘欢, 楚桂林, 何力, 等. 多糖的热裂解性质分析及其在卷烟中的应用[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 223-228.
LIU H, CHU G L, HE L, et al. Analysis of pyrolytic properties of polysaccharide and its application in cigarette [J]. Food and Machinery, 2020, 36(11): 223-228.
- [46] 李仙, 董伟, 段继铭, 等. 羊肚菌发酵烟草多糖及其在卷烟中的初步应用[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(3): 36-40.
LI X, DONG W, DUAN J M, et al. Polysaccharide isolated from *Morchella esculenta* (L.) Pers. fermented in tobacco matrix and its effects on smoking quality[J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(3): 36-40.
- [47] 艾绿叶, 冯雪研, 潘婷婷, 等. 羧甲基烟叶多糖的持水性及热解产物研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 31-36.
AI L Y, FENG X Y, PAN T T, et al. Study on water retention and pyrolysis products of carboxymethyl tobacco leaf polysaccharide[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 31-36.
- [48] 王建伟, 刘海轮, 段卫东, 等. 环秦岭植烟区烟叶主要化学成分特征及其与评吸质量的关系[J]. 烟草科技, 2016, 49(2): 7-13.
WANG J W, LIU H L, DUAN W D, et al. Characteristics of main chemical components in flue-cured tobacco leaves from areas around Qinling mountains and their relationship with cigarette smoking quality[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(2): 7-13.
- [49] 张改红, 徐改改, 白冰, 等. 麦芽酚-β-D-葡萄糖苷的便捷合成及其加香应用[J]. 精细化工, 2020, 37(5): 139-143.
ZHANG G H, XU G G, BAI B, et al. Facile preparation of maltol alcohol-β-D-glucopyranoside and its flavoring application[J]. Fine Chemicals, 2020, 37(5): 139-143.
- [50] 尚善斋, 雷萍, 刘春波, 等. 一种源自烟草的糖苷类化合物及其热裂解分析[J]. 香料香精化妆品, 2015, 152(5): 33-38.
SHANG S Z, LEI P, LIU C B, et al. A glycoside compound from K326 tobacco leaf in yunnan yuxi and analysis of its pyrolysis behavior[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2015, 152(5): 33-38.
- [51] ZHU H, FENG Y, YANG J, et al. Separation and characterization of sucrose esters from oriental tobacco leaves using accelerated solvent extraction followed by SPE coupled to HPLC with ion-trap[J]. Journal of Separation Science, 2013, 36, 2486-2495.
- [52] HUANG Z, BI Y J, SHA Y F, et al. Separation and analysis of sucrose esters in tobacco by online liquid chromatography-gas chromatography/mass spectrometry[J]. Analytical Sciences, 2018, 34, 887-891.
- [53] SEEMAN J I, LAFFOON S W, KASSMAN A J. Evaluation of relationships between mainstream smoke acetaldehyde and "tar" and carbon monoxide yields in tobacco smoke and reducing sugars in tobacco blends of U.S. commercial cigarettes[J]. Inhalation Toxicology, 2003, 15(4): 373-395.
- [54] RUSTEMEIER K, STABBERT R, HAUSSMANN H J, et al. Evaluation of the potential effects of ingredients added to cigarettes. Part 2: Chemical composition of mainstream smoke[J]. Food and Chemical Toxicology, 2002, 40(1): 93-104.
- [55] KOCADAĞ T, GÖKMEN V. Caramelization in foods: a food quality and safety perspective[J]. Encyclopedia of Food Chemistry, 2019, 2: 18-29.
- [56] SENGAR G, SHARMA H K. Food caramels: a review[J]. Journal of Food Science & Technology, 2004, 51(9): 1688-1696.
- [57] 朱远洋, 郭鹏, 郑美玲, 等. 焦糖化香料的制备及其在卷烟中的应用研究[J]. 化学试剂, 2020, 42(10): 1154-1159.
ZHU Y Y, GUO P, ZHEN M L, et al. Preparation of caramelized flavors and application in cigarettes[J]. Chemical Reagents, 2020, 42(10): 1154-1159.
- [58] 倪伟, 陈开波, 徐志强, 等. 使用 GC/MS 和 GC-O 鉴定皖南烟叶主要呈香组分[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(6): 137-143.
NI W, CHEN K B, XU Z Q, et al. Identification of main aroma compounds in tobacco leaves from southern Anhui using GC/MS and GC-O[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(6): 137-143.
- [59] 张峻松, 朱远洋, 赵明霞, 等. 一种负压条件下烟用焦糖香料及其制备方法: 中国 110846133A[P]. 2020-02-28.
ZHANG J S, ZHU Y Y, ZHAO M X, et al. The invention relates to caramel flavor for smoke under negative pressure and a preparation method thereof: CN110846133A[P]. 2020-02-28.
- [60] VAN GEMERT L J. Odour thresholds. Compilations of odour threshold values in air, water and other media (2 nd ed.) [M]. The Netherlands: Oliemans Punter & Partners BV. 2011.
- [61] 侯冰. 卷烟主流烟气单糖的测定及烟丝单糖转移率影响因素的初探[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
HOU B. Determination of monosaccharides in mainstream cigarette smoke and prime study on the influencing factors of transfer rate of monosaccharides of cigarette tobacco[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [62] TALHOUT R, OPPERHUIZEN A, VAN AMSTERDAM J G C. Sugars as tobacco ingredient: Effects on mainstream smoke composition[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(11): 1789-1798.
- [63] ROEMER E, SCHORP M K, PIADÉ J J, et al. Scientific assessment of the use of sugars as cigarette tobacco ingredients: A review of

- published and other publicly available studies[J]. Critical Reviews in Toxicology, 2012, 42(3): 244-278.
- [64] 周志磊. 卷烟主流烟气中主要甜味物质的鉴别及其形成机理[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
ZHOU Z L. Identification and formation mechanism of the main sweet compounds in flue-cured cigarette smoke[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [65] 司晓喜, 刘志华, 朱瑞芝, 等. 卷烟主流烟气中糖和多元醇在不同粒径气溶胶中的分布研究[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(2): 5-11.
SI X X, LIU Z H, ZHU R Z, et al. Distribution of sugar and polyhydric alcohol in aerosol of different particle size in mainstream cigarette smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(2): 5-11.
- [66] 吕健, 齐祥明, 徐海涛, 等. 卷烟主流烟气中单糖成分的分析研究[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(18): 30-32, 101.
LV J, QI X M, XU H T, et al. Study on analysis of monosaccharide in cigarette mainstream smoke[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(18): 30-32, 101.
- [67] 王吉中, 杨琛琛, 耿卢婧, 等. 硬毛盖孔菌胞外多糖组分分析及其在卷烟烟气中的转移率[J]. 烟草化学, 2012(6): 52-54.
WANG Z J, YANG S S, GENG L J, et al. Fraction analysis of exopolysaccharides produced by *Funalia trogii* fermentation and their transfer ratio to cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2012(6): 52-54.
- [68] XIE Y L, ZHU X Y, ZHAI Y J, et al. Effect of 6 polysaccharides extracted from the northwest region plants on moisture and pH in cigarette mainstream smoke[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(22): 189-191.
- [69] 雷声, 刘秀明, 李源栋, 等. 不同植物多糖对烟丝吸湿性和保润性的影响及其作用机制[J]. 食品与机械, 2019, 35(8): 49-54.
LEI S, LIU X M, LI Y D, et al. Moisture retention properties of polygonatum polysaccharide in tobacco and its mechanism[J]. Food and Machinery, 2019, 35(8): 49-54.
- [70] JOUQUAND C, AGUNI Y, MALHIAC C, et al. Influence of chemical composition of polysaccharides on aroma retention[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(6): 1097-1104.

《中国烟草科学》2022年征订启事

《中国烟草科学》是中华人民共和国农业农村部主管, 中国农业科学院烟草研究所、中国烟草总公司青州烟草研究所主办的国家级学术科技期刊。1979年创刊, 《中国烟草科学》主要刊载我国烟草科学研究和烟草生产技术方面的科研成果、生产新技术、现代化管理等学术论文, 此外还刊登烟草研究领域具有一定前瞻性的综述文章。辟有烟草遗传育种、栽培营养、调制加工、生理生态、综述与专论、品质化学等栏目。主要读者对象是国内烟草科技工作者、院校师生、烟草生产管理干部和技术人员等。

《中国烟草科学》被国内多家重要期刊数据库全文收录, 为中文核心期刊和中国科技核心期刊。

《中国烟草科学》在长期的实践中, 形成了自己的办刊风格, 有一支相对稳定的高水平作者群和广大的读者群, 发表的论文代表了我国烟草科学研究的先进水平, 为推进我国烟草科学技术创新和发展做出了很大贡献。我国许多著名烟草科学家均在本刊发表过许多颇具影响的重要学术论文, 至今影响深远。《中国烟草科学》是我国几代烟草科研和生产技术人员辛勤培育的一块重要学术园地。欢迎国内外广大科技工作者积极投稿。

《中国烟草科学》为双月刊, 逢双月末出版。国内统一刊号 CN 37-1277/S, 国际标准刊号 ISSN 1007-5119。本刊国内公开发行, 定价: 10.00元/期, 全年 60.00元/份。全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 24-30。2022年《中国烟草科学》现已开始征订, 请您速到当地邮局办理订阅手续。

投稿网站: www.zgyckx.com.cn

电 话: 0532-88703238

E-mail: zgyckx@21cn.com

联系地址: 山东省青岛市崂山区科苑经四路11号《中国烟草科学》编辑部

邮政编码: 266101

《中国烟草科学》编辑部