

陈斌, 徐玮杰, 汤朝起, 等. 水溶性糖对卷烟烟气焦油和醛类等有害成分的影响研究综述[J]. 中国烟草学报, 2023, 29(6). CHEN Bin, XU Weijie, TANG Zhaoqi, et al. Review on the influence of water-soluble sugar on tar and other harmful components in cigarette smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2023, 29(6). doi:10.16472/j.chinatobacco. 2022.T0195

水溶性糖对卷烟烟气焦油和醛类等有害成分的影响研究综述

陈斌¹, 徐玮杰¹, 汤朝起^{1*}, 王磊², 刘鹏², 隋相军², 王金明²

1 上海烟草集团有限责任公司技术中心, 上海市浦东新区秀浦路 3733 号 201315;

2 山东烟叶复烤有限公司, 山东省济南市高新区龙奥北路 1067 号 250101

摘要: 为准确理解水溶性糖对烟气有害成分的影响并指导水溶性糖的科学使用提供参考, 归纳了烟叶本身水溶性糖及外加糖含量对卷烟烟气焦油量的影响规律, 综述了水溶性糖含量对醛类成分及其他烟气有害成分释放量的影响研究进展, 并对水溶性糖与卷烟危害性关系研究进行了总结和展望。

关键词: 烟草; 水溶性糖; 烟气有害成分; 焦油; 醛类

糖类物质是烟叶主要化学成分之一, 且通常是含量最大的成分^[1]。烟叶中的糖主要包括葡萄糖、果糖、蔗糖等小分子水溶性糖, 以及淀粉、纤维素、果胶等多糖^[2-3]。通常所说的烟草总糖就指的是水溶性糖。水溶性糖是影响烟草吸味的最重要的化学成分之一^[4-5], 并且在烟草加工过程中, 多种水溶性糖或含有水溶性糖的料液会被添加到烟叶或烟丝中, 以用于改善卷烟吸味或用作保润剂等^[6-7]。水溶性糖作为烟叶最重要的化学成分之一和最常用的添加剂^[8-9], 在发挥其有益效果的同时, 还应当关注其对卷烟烟气有害成分的影响。这对于全面认识水溶性糖正反两方面的作用, 具有十分重要的意义。

卷烟烟气包含 7000 多种化学成分^[10], 其中有害成分的比例很小, 但种类却很多, 而且多存在于焦油中, 因此通常以烟气焦油量的多少作为代表烟气危害性大小的指标之一^[11-12]。但长期以来, 关于水溶性糖对烟气焦油量的影响及关系问题, 一直是国内烟草行业一个富有争议的话题。另外, 在水溶性糖的诸多热解产物中, 醛类成分(甲醛、乙醛、丙烯醛等)是最受关注的烟气有害成分之一^[13-14], 其中乙醛不仅直接对人体产生危害, 还被认为会和烟碱共同作用, 增加吸烟

成瘾性^[15-17]。几十年来, 在卷烟中加糖是否会导致烟气中醛类成分的增加这类课题也进行大量研究^[8, 18-24]。本文着重对水溶性糖(包括内源糖和外加糖)含量与卷烟烟气焦油量、醛类成分释放量的关系进行了梳理和综述, 以期能准确理解水溶性糖对烟气有害成分的影响, 为水溶性糖的科学使用提供参考。

1 水溶性糖对卷烟烟气焦油量的影响

1.1 烟叶内源水溶性糖含量对烟气焦油量的影响

表 1 引用文献共 18 篇, 国外文献有左天觉在美国农业部主持的一项里程碑式的研究报告^[25], 国内文献包含《中国烟草学报》《烟草科技》《中国烟草科学》(统称“烟草三刊”)从 1980 年代以来发表的关于烟叶内源水溶性糖含量与烟气焦油量关系研究的文章共计 13 篇^[26-32, 36-41], 以及发表在“烟草三刊”之外的引用率较高、影响力较大的 4 篇文章^[33-35, 42]。

表 1 可知, 无论是同一产地同一部位等级的烟叶样品^[36-38], 还是同一产地不同部位等级的烟叶样品^[25, 29-30, 35, 41-42]、不同产地同一部位等级的烟叶样品^[26-27, 33]、不同产地不同部位等级的烟叶样品^[28, 31-32, 34, 39-40], 烟叶水溶性糖含量与烟气焦油量之间都无明显相关性或呈负相关关系。因

基金项目: 上海烟草集团有限责任公司科技项目(K2020-1-009P); 山东烟叶复烤有限公司科技项目(FZC-W-1-20-085)

作者简介: 陈斌(1990—), 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 烟草原料质量分析, Tel: 021-61661185, Email: chenbinchn@hotmail.com

通讯作者: 汤朝起(1972—), Tel: 021-61661177, Email: zhaoqitang@sina.com

收稿日期: 2022-08-04; 网络出版日期: 2023-06-06

此, 可以认为, 烟叶内源水溶性糖含量对烟气焦油量影响较小或呈负面影响。但需要说明的是, 该结论仅是根据数据统计分析结果得出, 而该类研究中, 烟叶内源糖含量并不是唯一的变量, 数据统计分析结果受很多混杂因素的影响。

进一步的研究表明^[26-27,36,39-40,42], 与水溶性糖相比, 烟叶的烟碱、总氮及钾含量是对烟气焦油量影响更大的因素, 其中, 烟叶的烟碱、总氮含量与烟气焦油量呈显著或极显著的正相关关系, 钾含量与烟气焦油量呈显著或极显著的负相关关系。

表 1 烟叶内源水溶性糖含量与烟气焦油量的相关性

Tab.1 Correlation between endogenous water-soluble sugar content in tobacco leaves and tar contents in mainstream smoke

序号	参考文献	烟叶样品基本信息	烟叶水溶性糖含量/%	糖含量与焦油量的相关性
1	[25]	美国北卡罗来纳州 4 个品种、每个品种 8 个叶位烤烟样品共 32 个	2.80~7.95	无明显相关性
2	[26]	贵州、重庆、山东、陕西、黑龙江 2012 年产 C3F 样品共 31 个	均值 30.51	无明显相关性
3	[27]	全国 18 个省级产区 2010—2012 年产 C3F 样品共 812 个	不详	无明显相关性
4	[28]	全国 26 个产区及国外 2010 年产样品共 44 个	14.17~38.03	无明显相关性
5	[29]	湖南 2001—2003、2005、2006 年产 B2F、C3F、X2F 样品共 946 个	15~35	无明显相关性
6	[30]	云南 4 个地区 2004—2006 年产上中下 3 个部位样品共 586 个	不详	无明显相关性
7	[31]	云南、福建、湖南、山东、四川、贵州产样品共 478 个	不详	无明显相关性
8	[32]	全国 12 个省级产区样品共 60 个	3.50~34.55	无明显相关性
9	[33]	湖北、安徽、陕西 2013 年产 C3F 样品共 56 个	0.6~39	无明显相关性
10	[34]	全国 14 个产地 2002 年产 B2F、C3F、X2F 样品共 42 个	17.80~31.78	无明显相关性
11	[35]	河南省烤烟国家标准 (40 级) 仿制样品共 200 个	8.98~26.98	无明显相关性
12	[36]	吉林省延边州 2013 年产中部叶样品共 9 个	33.5~36.2	无明显相关性
13	[37,38]	河南 7 个产地产样品共 14 个	不详	无明显相关性*
14	[39]	全国 19 个省级产区 B2F、C3F、X2F 样品共 467 个	不详	显著负相关
15	[40]	全国 47 个产地 2009 年产上中下 3 个部位样品共 182 个	15.43~42.89	显著负相关
16	[41]	湖南 2001—2003、2005 年产 B2F、C3F、X2F 样品共 757 个	13.05~31.04	极显著负相关
17	[42]	湖南主产烟县 2007 年产 B2F、C3F、X2F 样品共 119 个	15.91~39.92	极显著负相关

注: *此处指还原糖含量与焦油量的相关性; 其余均为总糖含量与焦油量的相关性。

Note: *Here, it refers to the correlation between reducing sugar and tar; The others are the correlation between total sugar and tar.

1.2 外加水溶性糖对卷烟烟气焦油量的影响

关于外加水溶性糖 (单因素) 对卷烟烟气焦油量的影响研究, 国内外都鲜见专题报道。表 2 列出了近几十年来引用率较高、影响力较大的 4 篇文章^[43-46]。

Shelar 等^[43]研究了外加葡萄糖、果糖和蔗糖对白肋烟烟气指标和感官质量的影响 (表 2 中序号 1~6), 所有卷烟样品均为采用相同辅材制作的无滤嘴卷烟, 控制烟支的硬度基本一致。结果显示, 大部分加糖样品的焦油量高于相应的对照样品, 但焦油量的变化没有规律, 不会随加糖量的升高而线性增加。例如, 向中上部白肋烟中加入 0%、4%、8%、12%、16% 的葡萄糖, 卷烟烟气焦油量分别为 14.6 mg/cig、14.3 mg/cig、15.1 mg/cig、16.2 mg/cig、14.9 mg/cig。

Baker 等^[44]系统考察了多种糖料、多个添加量下, 外加糖对烟气成分的影响。该研究采用美式混合烟配方叶组 (不含非烟草添加物、薄片等) 作为参试烟草材料, 将食品级的糖料溶解到水中后采用滚筒加料的方式将其添加到烟草中, 卷烟样品采用相同辅材制作, 控制烟支重量基本一致。卷烟采用 ISO 标准抽吸法。结果表明, 无论是单因素多水平加糖试验 (表 2 中序号 7~8), 还是多因素单水平加糖试验 (表 2 中序号 9), 大部分加糖样品焦油量均低于相应的对照样品, 但变化不显著。他们认为, 加糖后导致卷烟焦油量降低的原因, 一是由于卷烟是重量控制, 加糖存在稀释效应, 会使烟草成分相对含量降低; 二是加糖对卷烟燃烧区燃烧和蒸馏过程平衡的影响。

Coggins 等^[45]采用混合型卷烟配方(35%烤烟,23%白肋烟, 15%香料烟, 27%薄片)作为参试烟草材料,向其中加入高、中、低 3 个梯度的多种烟草常用添加剂,考察其对主流烟气危害性的影响(表 2 中序号 10~13)。卷烟样品采用重量控制,测试方法采用 ISO 标准方法。结果表明,所有试验的糖类添加剂(包括果葡糖浆、蜂蜜、蔗糖、转化糖等)对焦油量均没有明显的影响。

Cheah 等^[46]向白肋烟中加入蔗糖、果糖和葡萄糖,

考察其对主流烟气成分的影响(表 2 中序号 14)。糖类采用溶液添加的方式,烟气分析方法采用 ISO 标准方法。结果表明,加 6%的果糖的样品和不加糖的对照样品相比,焦油量升高,但未达到显著性水平($P>0.05$)。

值得注意的是,目前关于外加糖对卷烟焦油量的影响的相关研究,参试烟草材料多为白肋烟或混合型卷烟。外加糖对烤烟或烤烟型卷烟焦油量的影响,还有待进一步研究。

表 2 外加水溶性糖对烟气焦油量的影响
Tab.2 Effect of adding water-soluble sugar on tar content in mainstream smoke

序号	参考文献	发表年份/年	参试烟草材料	加糖种类	加糖比例/%	加糖量对焦油量的影响
1	[43]	1992	中下部白肋烟	葡萄糖	0、2、4、8、16	无明显规律
2	[43]	1992	中上部白肋烟	葡萄糖	0、2、4、8、16	无明显规律
3	[43]	1992	中下部白肋烟	蔗糖	0、2、4、8、16	无明显规律
4	[43]	1992	中上部白肋烟	蔗糖	0、2、4、8、16	无明显规律
5	[43]	1992	中下部白肋烟	果糖	0、2、4、8、16	无明显规律
6	[43]	1992	中上部白肋烟	果糖	0、2、4、8、16	无明显规律
7	[44]	2006	美式混合型卷烟配方叶组	红糖	0、2.1、4.2、6.2、8.2	无明显影响
8	[44]	2006	美式混合型卷烟配方叶组	白糖	0、2.5、5.0、7.5、10.5	无明显影响
9	[44]	2006	美式混合型卷烟配方叶组	多种糖料*	0、7	无明显影响
10	[45]	2011	混合型卷烟配方叶组	果葡糖浆	0、3.3、6.6、10	无明显影响
11	[45]	2011	混合型卷烟配方叶组	蜂蜜	0、3.3、4.8、6.6	无明显影响
12	[45]	2011	混合型卷烟配方叶组	转化糖	0、2.5、5.0、10	无明显影响
13	[45]	2011	混合型卷烟配方叶组	蔗糖	0、3.3、7.2、10	无明显影响
14	[46]	2018	白肋烟	果糖	0、6	焦油量变化不显著

注: *多种糖料包括蜂蜜、葡萄糖、玉米糖浆、糖蜜、甘蔗糖浆、枫糖浆、转化糖等,每种糖料分别添加 7%。
Note: *A variety of sugars include honey, glucose, corn syrup, molasses, sugarcane syrup, maple syrup, invert sugar, etc. Each kind of sugar was added at ratio of 7%, respectively.

1.3 水溶性糖对成品卷烟烟气焦油量的影响

Pennings 等^[47]以欧洲市场在售的 53 种成品卷烟为研究对象,考察了糖类和保湿剂与烟气成分的相关性,结果表明卷烟焦油释放量和总糖含量呈弱负相关;Phillpotts 等^[20]考察了英国及除英国外其他欧洲国家市场上常见卷烟糖含量和烟气成分的关系,简单相关分析后发现英国市场 42 种卷烟含糖量和焦油释放量呈弱负相关,欧洲其他国家 40 种卷烟的含糖量和焦油释放量呈弱正相关,相关性均未达到显著水平。张志刚等^[48]对某种牌号卷烟的焦油量与其烟丝中的总糖、总氮等进行回归分析,结果表明总糖含量对卷烟焦油量贡献为正值,简单相关分析发现卷烟焦油释放量和烟丝总糖含量呈弱正相关,相关性未达到显著水平。

1.4 与传统认识的差异

长期以来,国内烟草行业一直有“糖高焦油高”的说法,认为加糖会使焦油升高^[9,49-50]。然而,从上文的论述中可知,内源水溶性糖含量与烟气焦油量之间无明显相关性或呈负相关关系(1.1 节),外加水溶性糖可能也不会导致卷烟焦油释放量增加(1.2 节、1.3 节)。因此,国内烟草行业“糖高焦油高”的传统说法可能有一定的局限性。

烟气焦油是烟草在不完全燃烧的情况下产生的,影响烟气焦油量的因素很多很复杂,不仅与烟草内源化学成分和外源添加剂有关,还与卷烟辅材及烟支设计参数有关^[51-54],从现有研究结果来看,水溶性糖含量不是主要的影响因素。

2 水溶性糖对卷烟烟气醛类成分的影响

糖类在燃烧过程中,仅有约 0.5%被转移到主流烟气中,大部分糖会热解或和烟气中其它成分反应^[55]。糖的热解试验^[13-14]表明,糖类自身裂解产物主要是呋喃衍生物(糠醛、5-甲基糠醛、5-羟甲基糠醛等)、小分子醛酮(甲醛、乙醛、丙烯醛、丙酮等)、有机酸(乙酸等)等。葡萄糖、果糖、蔗糖、转化糖等热解产物种类几乎是一样的,在比例上可能有一些差异。在卷烟燃烧过程中,糖类除了自身的热解,本身及其热解产物还会和烟草中的胺(铵化合物、氨基酸、蛋白质等)发生美拉德反应,而美拉德反应产物又可以进一步分解为醛类、酮类、吡嗪和吡啶等^[56-59]。在糖的诸多裂解产物中,醛类(甲醛、乙醛、丙烯醛)是最受关注的烟气危害性成分。

早期的研究大多认为,外加糖不会导致卷烟醛类成分释放量升高。1971年,Gager等^[60-61]在烟草中加入 C¹⁴ 标记葡萄糖和蔗糖,发现主流烟气中放射性醛类的含量极少(<0.07%)。1975年,Thomton等^[22]向白肋烟中加入大量(10.5%~17.8%)的果糖和葡萄糖后发现,主流烟气中挥发性醛类含量不但没有增加,反而略有减少,而糠醛等呋喃衍生物的含量大幅增加。同年,Phillpotts等^[20]的研究表明,主流烟气中的总醛产量与烟草的糖含量或平衡水分含量无关,而与焦油释放量之间存在正相关关系。Seeman等^[19]研究也得出相似结论,他们分析了大量美国市售成品卷烟的主流烟气中乙醛释放量和 CO 以及焦油的关系,发现乙醛释放量和焦油及 CO 显著性相关,和卷烟中还原糖含量并没有相关性。他们认为相比于还原糖,乙醛释放量受卷烟设计特性(例如滤嘴通风率等)决定的烟气成分总产量的影响更大。Sanders等^[21]认为,葡萄糖等水溶性糖类不是主流烟气中醛类成分的主要前体物,在相同重量下,糖并不会比烟草本身产生更多的醛类物质。烟草中本身存在的多聚糖,比如纤维素等,才是主流烟气中醛类的主要前体物。他们从分子结构的角度对机理进行了探讨,认为相比于多聚糖,小分子糖更容易形成五元环中间体(即呋喃前体物),因而热解时更容易形成呋喃类产物,而不是低分子量羰基化合物。

2006年,Baker^[44]开展了一项里程碑式的研究,系统考察了多种糖类对主流烟气成分,尤其是甲醛释放量的影响。该项研究使用典型美式混合烟配方(不含薄片及其它非烟草添加成分)作为参试烟草材料,

糖料溶解在水中后,采用滚筒加料的方式添加到烟丝中,烟支采用重量控制,每支烟的烟丝含量均为 710 mg 左右。甲醛及其它挥发性羰基化合物的测定,是将烟气通过酸化的 2,4-二硝基苯肼,将其中的羰基化合物转化为非挥发性腙,将溶液用吡啶稳定后,用 HPLC-uv 进行检测。他们的研究表明,在 ISO 抽吸模式下,所有糖类均会增加主流烟气中甲醛的产量;糖的在添加量为 10.5%以内时,甲醛释放量和糖的添加量呈线性相关,但与其他羰基化合物的相关性很小或没有相关性。

2010年,Hahn等^[23]考察了甘油、可可粉、蔗糖对卷烟主流烟气成分的影响。他们采用混合烟配方叶组(50%烤烟,20%白肋烟,20%梗丝,10%香料烟)作为参试烟草材料,添加量分低、中、高 3 个梯度,其中蔗糖最大添加量为 4.8%。卷烟烟支保持重量一致,采用 ISO 抽吸模式。甲醛和乙醛的测定方法与 Baker^[44]基本一致。结果表明,加糖后主流烟气中甲醛含量显著增加,但乙醛含量并没有明显增加。

2018年,Cheah等^[46]研究了蔗糖、果糖和葡萄糖对白肋烟主流烟气成分的影响。卷烟采用 ISO 抽吸模式,用单孔道吸烟机进行抽吸,醛类成分测定结果是 6 个重复的平均值,每个重复吸 1 支烟。用 Carboxen 572 采样盒对醛类成分采样后,用配备 SPD M20A 光电二极管阵列检测器的 HPLC 仪器进行分析,使用的流动相是超纯水/乙腈(1:1(V/V))。结果表明,加糖会导致主流烟气中乙醛、丙烯醛、巴豆醛、丙醛和丁醛的含量增加,增加幅度为 5%~40%。主流烟气中甲醛含量变化不大,与 Baker^[44]、Hahn等^[23]的研究结果不一致,原因可能是该研究中使用的醛类成分测定方法不适合甲醛,因为它具有高度挥发性和亲水性,在进入采样盒之前,有一部分甲醛已经被剑桥滤片捕获,从而导致甲醛测定结果不准确。另外,他们的研究表明,与蔗糖和葡萄糖相比,添加果糖后主流烟气中醛类增加幅度更大,可能和果糖反应活性更高有关^[62-63]。

Roemer等^[8]将 Baker^[44]、Coggins^[45]、Roemer^[64]的研究中相同抽吸模式下所有数据进行汇总,通过线性回归方法拟合出烟气成分和糖添加量的函数(不考虑糖的类型),并对所得斜率进行统计检验(与零斜率的差异)。结果发现甲醛、丙烯醛、2-丁酮、异戊二烯、苯、甲苯等成分含量随加糖量的增加而显著增加,其中甲醛的变化最为显著,在 5%的添加量下,与不添加糖的对照样品相比,甲醛含量最大增加了 25%。乙

醛含量和糖施用量之间不存在显著性关系。

外加糖对卷烟主流烟气中小分子醛类成分释放量的影响,目前还没有统一的结论。但近年来的研究大多表明,加糖可能会引起部分醛类成分,尤其是甲醛释放量的升高。

3 水溶性糖对卷烟烟气其它有害成分的影响

黄朝章等^[65]研究了单料烟主流烟气中 HCN 释放量与其烟叶常规化学成分含量间的相关性,发现主流烟气中 HCN 的释放量与烟叶中的总糖、还原糖呈显著负相关,蒯雁等^[66]研究也得出类似结论。袁秀秀等^[67]分析了烤烟常规化学成分含量对主流烟气 7 种有害成分的影响,结果表明随着烟叶糖含量增加,氨和 NNK 释放量减少,巴豆醛释放量略有增加,总糖、还原糖含量与巴豆醛释放量呈正相关,与苯酚释放量呈负相关,总糖含量与烟气整体危害性指数之间规律不明显。Cai 等^[68]考察了 73 种烟叶成分对主流烟气 7 种有害成分释放量及危害性指数的影响,结果表明对烟气危害性指数影响最大的烟叶化学成分是钾、苹果酸和生物碱含量,糖含量影响并不显著。

Hahn 等^[23]研究结果表明,和对照样品相比,混合烟配方中加入 1.5%~5%蔗糖后,主流烟气中 1,3-丁二烯含量明显升高,苯并[a]芘含量略有降低,烟草特有氮亚硝胺(TSNAs)含量整体略有降低。Roemer 等^[8]对多位研究者的数据汇总分析发现,2-丁酮、异戊二烯、苯、甲苯和苯并[k]荧蒽释放量随加糖量的增加而显著增加,1,3-丁二烯、苯酚、NNK、苯并[a]芘的释放量没有显著变化,N-亚硝基二甲胺、N-硝基鸟嘌呤和 4-氨基联苯则随加糖量的增加而显著减少;整体上,随着加糖量的增加,羰基成分产率增加,而含氮成分产率降低。

4 总结和展望

目前关于糖类对卷烟危害性烟气成分的影响的研究,国内主要侧重于烟叶本身水溶性糖和与焦油释放量的相关性,国外更关注外加糖对卷烟焦油和醛类成分释放量的影响。整体来看,内源水溶性糖含量对卷烟焦油释放量的影响较轻微,外加糖对可能对卷烟焦油释放量影响较小,但目前相关研究较少,仍然需要开展更多的研究,尤其以烤烟作为参试烟草材料的研究。水溶性糖对醛类释放量的影响方面仍然存在争议,但近期的研究大多表明,水溶性糖含量对部分醛类,

尤其是甲醛释放量存在影响。糖类成分作为烟叶中含量最大的化学成分,以及卷烟制造过程中最重要的添加剂之一,研究其含量对卷烟烟气危害性成分释放量的影响很有必要。通过上文综述,我们认为,关于水溶性糖对卷烟主流烟气醛类成分及其他有害成分释放量的影响还需要进一步深入研究。在研究过程中,要注意糖的最大添加量、卷烟样品选择、检测方法的精确性等细节问题,因为这些细节问题可能都会对该类研究的结论有一定影响。此外,烟气有害成分增加或减少,并不完全等同于对人体危害程度的增加或减少;要完全理解水溶性糖等烟草化学成分或添加剂对人体健康的影响,还需要开展相关的毒理学研究以提供更多的证据。

参考文献

- [1] 谢剑平. 烟草与烟气化学成分[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
XIE Jianping. Chemical composition of tobacco and tobacco smoke[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [2] 周冀衡. 烟草生理与生物化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996.
ZHOU Jiheng. Tobacco physiology and biochemistry[M]. Hefei: China University of Science and Technology Press, 1996.
- [3] Leffingwell J. Leaf chemistry: basic chemical constituents of tobacco leaf and differences among tobacco types. In: Davis D, Nielsen M. (Eds.), Tobacco: production, chemistry and technology. Oxford: Blackwell Science, 1999:265-284.
- [4] 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(06):92-98.
WANG Lin, ZHOU Ping, HE Pei, et al. Research progress on the influence of carbohydrates on tobacco aroma quality[J]. Chinese Tobacco Science, 2021,42(06):92-98.
- [5] 蒋佳芮, 许力, 杨文武, 等. 云产卷烟中 4 种水溶性糖含量及其与品质的关系[J]. 中国烟草科学, 2019,40(06):89-94.
JIANG Jiarui, XU Li, YANG Wenwu, et al. Analysis of four water-soluble sugars and their relationship with sensory quality in Yunnan produced cigarettes[J]. Chinese Tobacco Science, 2019, 40(06):89-94.
- [6] Klus H, Scherer G, Mueller L. Influence of additives on cigarette related health risks[J]. Beitrage zur Tabakforschung International, 2012,25(3):411-493.
- [7] Talhout R, Opperhuizen A, van Amsterdam J. Sugars as tobacco ingredient: Effects on mainstream smoke composition[J]. Food Chem Toxicol, 2006,44(11):1789-1798.
- [8] Roemer E, Schorp M, Piade J, et al. Scientific assessment of the use of sugars as cigarette tobacco ingredients: a review of published and other publicly available studies[J]. Crit Rev Toxicol, 2012,42(3):244-278.
- [9] 王月侠. 糖和酸在卷烟加料中的作用研究进展[J]. 烟草科技, 1998(04):11-13.
WANG Yuexia. Research Progress on the role of sugar and acid in cigarette feeding[J]. Tobacco Science & Technology, 1998(04): 11-13.
- [10] Rodgman A, Perfetti T. The chemical components of tobacco and tobacco smoke. New York: CRC Press, 2013.

- [11] 朱尊权. 烟叶的可用性与卷烟的安全性[J]. 烟草科技, 2000(08): 3-6.
ZHU Zunquan. Availability of tobacco leaves and safety of cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2000(08):3-6.
- [12] 杜咏梅, 肖协忠, 王允白. 烟气焦油与卷烟安全性[J]. 中国烟草科学, 2002(02):31-34.
DU Yongmei, XIAO Xiezhong, WANG Yunbai. Smoke tar and cigarette safety[J]. Chinese Tobacco Science, 2002(02):31-34.
- [13] Busch C, Streibel T, Liu C, et al. Pyrolysis and combustion of tobacco in a cigarette smoking simulator under air and nitrogen atmosphere[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2012, 403(2):419-430.
- [14] Baker R, Bishop L. The pyrolysis of tobacco ingredients[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004,71(1):223-311.
- [15] Belluzzi J, Wang R, Leslie F. Acetaldehyde enhances acquisition of nicotine self-administration in adolescent rats[J]. Neuropsychopharmacology, 2005,30(4):705-712.
- [16] Gray N. Reflections on the saga of tar content: why did we measure the wrong thing?[J]. Tob Control, 2000,9(1):90-94.
- [17] Henningfield J, Benowitz N, Connolly G, et al. Reducing tobacco addiction through tobacco product regulation[J]. Tob Control, 2004,13(2):132-135.
- [18] Cahours X, Verron T, Purkis S. Effect of sugar content on acetaldehyde yield in cigarette smoke[J]. Beitragezur Tabakforschung International, 2012,25(2):381-395.
- [19] Seeman J, Laffoon S, Kassman A. 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]. Inhal Toxicol, 2003,15(4):373-395.
- [20] Phillpotts D, Spincer D, Westcott D. The effect of the natural sugar content of tobacco upon the acetaldehyde concentration found in cigarette smoke[J]. Beitragezur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research, 1975,8(1):7-10.
- [21] Sanders E, Goldsmith A, Seeman J. 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.
- [22] Thornton R, Massey S. Some effects of adding sugar to tobacco[J]. Beitragezur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research, 1975,8(1):11-15.
- [23] Hahn J, Schaub J. Influence of tobacco additives on the chemical composition of mainstream smoke[J]. Beitragezur Tabakforschung International, 2010,24(3):100-116.
- [24] Baker R. Sugars, carbonyls and smoke[J]. Food Chem Toxicol, 2007,45(9):1783-1786.
- [25] TSO T. C. Simple correlation and multiple regression among leaf characteristics, smoke components, and biological responses of bright tobaccos[M]. Washington: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1977.
- [26] 常乃杰, 张云贵, 刘青丽, 等. 应用 SPSS 软件研究典型中间香型烤烟常规化学成分与烟气成分的关系[J]. 烟草科技, 2017, 50(04):31-36.
CHANG Naijie, ZHANG Yungui, LIU Qingli, et al. Relationships between routine leaf chemical components in typical medium flavor flue-cured tobacco and mainstream cigarette smoke components by SPSS[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(04):31-36.
- [27] 陈爱国, 刘光亮, 陶健, 等. 烤烟焦油释放量与化学成分的关系及其空间分布特征[J]. 中国烟草科学, 2017,38(04):51-57.
CHEN Aiguo, LIU Guangliang, TAO Jian, et al. The relationship and spatial distribution of tar content and chemical components of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2017,38(04): 51-57.
- [28] 郭东锋, 姚忠达, 汪季涛, 等. 烤烟烟叶常规化学成分与主流烟气成分的关系[J]. 烟草科技, 2013(02):46-51.
GUO Dongfeng, YAO Zhongda, WANG Jitao, et al. Relationships between routine chemical components in flue-cured tobacco and components in mainstream cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(02):46-51.
- [29] 邓小华, 周冀衡, 周清明, 等. 不同焦油量烤烟化学成分差异[J]. 中国烟草学报, 2011,17(02):1-7.
DENG Xiaohua, ZHOU Jiheng, ZHOU Qingming, et al. Differences in chemical components in flue-cured tobacco leaf with different tar delivery[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011,17(02): 1-7.
- [30] 张强, 王浩雅, 马剑雄, 等. 云南烤烟的烟气成分与烟叶化学成分的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2011,32(01):75-79.
ZHANG Qiang, WANG Haoya, MA Jianxiong, et al. Correlation between smoke components and chemical components of flue-cured tobacco in Yunnan province[J]. Chinese Tobacco Science, 2011,32(01):75-79.
- [31] 贺英, 徐海涛, 盛志艺, 等. 综合方法对烤烟化学成分和烟气组分的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2005(04):1-4.
HE Ying, XU Haitao, SHENG Zhiyi, et al. Correlation analysis of flue-cured tobacco chemical components and smoke components by comprehensive methods[J]. Chinese Tobacco Science, 2005(04): 1-4.
- [32] 王允白. 烤烟原料总粒相物与烟叶内在化学成分关系及预测模型研究[J]. 中国烟草学报, 1998(02):1-5.
WANG Yunbai. Study on the relationship between the total particle phase in mainstream smoke and the internal chemical components of tobacco leaves and the prediction model[J]. Acta Tabacaria Sinica, 1998(02):1-5.
- [33] 蔡长春, 李进平, 李锡宏, 等. 烤烟化学成分与焦油的相关性分析[J]. 浙江农业科学, 2014(12):1902-1905.
CAI Changchun, LI Jinping, LI Xihong, et al. Correlation analysis between chemical components and tar in flue-cured tobacco[J]. Zhejiang Agricultural Science, 2014(12):1902-1905.
- [34] 汤朝起, 窦玉青, 张俊. 烤烟物理特性和化学成分与烟气组分的关系[J]. 四川农业大学学报, 2009,27(04):427-432.
TANG Zhaoqi, DOU Yuqing, ZHANG Jun. Studies on the relationship between physical and chemical characteristics and smoke components of flue-cured tobacco[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2009,27(04):427-432.
- [35] 阎克玉, 李兴波, 赵学亮, 等. 河南烤烟理化指标间的相关性研究[J]. 郑州轻工业学院学报, 2000(03):20-24.
YAN Keyu, LI Xingbo, ZHAO Xueliang, et al. Study on the correlation between physical and chemical indexes of flue-cured tobacco produced in Henan Province[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry, 2000(03):20-24.
- [36] 徐旭光, 王雅妮, 陈爱国, 等. 氮钾用量对吉林烤烟焦油释放量及重要化学性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2015,36(02):55-59.
XU Xuguang, WANG Yani, CHEN Aiguo, et al. Effects of nitrogen and potassium fertilization on tar delivery and the important chemical properties of flue-cured tobacco in Jilin [J]. Chinese Tobacco Science, 2015,36(02):55-59.
- [37] 李国栋, 于建军, 董顺德, 等. 河南烤烟化学成分与烟气成分的相关性分析[J]. 烟草科技, 2001(08):28-30.
LI Guodong, YU Jianjun, DONG Shunde, et al. Correlation

- analysis between chemical components and smoke components of flue-cured tobacco produced in Henan Province[J]. Tobacco Science & Technology, 2001(08):28-30.
- [38] 于建军, 章新军, 毕庆文, 等. 烤烟烟叶理化特性对烟气烟碱、CO、焦油量的影响[J]. 中国烟草科学, 2003(03):5-8.
YU Jianjun, ZHANG Xinjun, BI Qingwen, et al. Effects of physical and chemical properties of flue-cured tobacco leaves on nicotine, CO and tar content in smoke[J]. Chinese Tobacco Science, 2003(03):5-8.
- [39] 厉昌坤, 周显升, 王允白, 等. 烤烟烟叶焦油释放量与部分化学成分的关系研究[J]. 中国烟草科学, 2004(02):25-27.
LI Changkun, ZHOU Xiansheng, WANG Yunbai, et al. Study on the relationship between tar release and some chemical components of flue-cured tobacco leaves[J]. Chinese Tobacco Science, 2004(02):25-27.
- [40] 张涛, 段沆沆, 陈进雄, 等. 初烤烟叶 25 种化学成分与焦油的相关、逐步回归及通径分析[J]. 烟草科技, 2012(08):60-65.
ZHANG Tao, DUAN Yuanxing, CHEN Jinxiong, et al. Correlation, stepwise regression and path analysis of twenty-five chemical components in cured tobacco leaves with tar[J]. Tobacco Science & Technology, 2012(08):60-65.
- [41] 邓小华, 周冀衡, 赵松义, 等. 单料烤烟烟气粒相物与质量评价指标间的相关性研究[J]. 中国烟草科学, 2010,31(01):60-64.
DENG Xiaohua, ZHOU Jiheng, ZHAO Songyi, et al. Correlation analysis between smoke particulate matters and evaluating indices of quality in unblended cigarette of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2010,31(01):60-64.
- [42] 汪修奇, 邓小华, 李晓忠, 等. 湖南烤烟化学成分与焦油的相关、通径及回归分析[J]. 作物杂志, 2010(02):32-35.
WANG Xiuqi, DENG Xiaohua, LI Xiaozhong, et al. Correlation, path and regression analysis between chemical components and tar in flue-cured tobacco leaves in Hunan[J]. Crops, 2010(02):32-35.
- [43] Shelar G, Bernasek P, Furin O, et al. Sugar/nicotine study[N/OL]. (1992)[2022-07-25]. http://tobaccodocuments.org/product_design/510697389-7410.html.
- [44] Baker R. The generation of formaldehyde in cigarettes--overview and recent experiments[J]. Food Chem Toxicol, 2006,44(11):1799-1822.
- [45] Coggins C, Wagner K, Werley M, et al. A comprehensive evaluation of the toxicology of cigarette ingredients: carbohydrates and natural products[J]. Inhal Toxicol, 2011,23(S1):13-40.
- [46] Cheah N, Borst S, Hendrickx L, et al. Effect of adding sugar to burley tobacco on the emission of aldehydes in mainstream tobacco smoke[J]. Tobacco Regulatory Science, 2018,4(2):61-72.
- [47] Pennings J, Cremers J, Becker M, et al. Aldehyde and volatile organic compound yields in commercial cigarette mainstream smoke are mutually related and depend on the sugar and humectant content in tobacco[J]. Nicotine Tob Res, 2020,22(10):1748-1756.
- [48] 张志刚, 王二彬, 苏东赢. 卷烟常规化学成分与焦油的线性回归分析[J]. 烟草科技, 2003(11):32-33.
ZHANG Zhigang, WANG Erbin, SU Dongying. Linear regression correlation analysis between tar delivery and routine chemical components of cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2003(11):32-33.
- [49] 陈庆林. 关于在烟叶配方中使用糖料对焦油影响的看法[J]. 烟草科技, 1988(05):19-21.
CHEN Qinglin. Views on the influence of sugar on tar in tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 1988(05):19-21.
- [50] 朱大恒, 李彩霞, 张爱忠, 等. 烟气有害成分与烟叶化学成分的关系[J]. 烟草科技, 1999(04):25-27.
ZHU Daheng, LI Caixia, ZHANG Aizhong, et al. The relationship between harmful components of smoke and chemical components of tobacco leaves[J]. Tobacco Science & Technology, 1999(04):25-27.
- [51] 陈昆燕, 戴亚, 周学政, 等. 多元非线性回归法探讨细支烟材料参数对焦油释放量的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2022,47(02):50-55.
CHEN Kunyan, DAI Ya, ZHOU Xuezheng, et al. Influence of cigarette material parameters on tar deliver in mainstream smoke of slime cigarette based on multivariate nonlinear regression method[J]. Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition), 2022,47(02):50-55.
- [52] 金勇, 王诗太, 李克, 等. 接装纸打孔参数对卷烟烟气焦油及 7 种有害成分释放量影响的 PLS 回归分析[J]. 烟草科技, 2016, 49(04):37-44.
JIN Yong, WANG Shitai, LI Ke, et al. Effects of tipping paper perforation level on release of tar and seven harmful cigarette smoke components using partial least squares regression[J]. Tobacco Science & Technology, 2016,49(04):37-44.
- [53] 杨松, 岳保山, 孙培健, 等. 通风对细支烟主流烟气常规成分及 7 种有害成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2020,53(12):37-46.
YANG Song, YUE Baoshan, SUN Peijian, et al. Effects of ventilation on releases of routine components and seven harmful components in mainstream smoke of slim cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(12):37-46.
- [54] 李庆华, 杨叶昆, 王保兴, 等. 卷烟纸、接装纸和滤嘴丝束对卷烟烟气水分和焦油的影响[J]. 烟草科技, 2008(02):42-44.
LI Qinghua, YANG Yekun, WANG Baoxing, et al. Effects of cigarette paper and tipping paper on moisture and tar contents in cigarette smoke[J]. Tobacco Science & Technology, 2008(02):42-44.
- [55] Rodgman A. Some studies of the effects of additives on cigarette mainstream smoke properties. II. Casing materials and humectants[J]. Beitrage zur Tabakforschung International, 2002, 20(4):279-299.
- [56] Coleman W, Chung H. Pyrolysis GC-MS analysis of Amadori compounds derived from selected amino acids and glucose[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2002,62(2):215-223.
- [57] Coleman W, Chung H. Pyrolysis GC-MS analysis of Amadori compounds derived from selected amino acids with glucose and rhamnose[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2002,63(2):349-366.
- [58] Yaylayan V, Wnorowski A, Perez L. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide[J]. J Agric Food Chem, 2003,51(6):1753-1757.
- [59] 张敦铁, 殷发强, 何佳文. 三种 Amadori 化合物的热解研究[J]. 中国烟草学报, 2006(02):13-16.
ZHANG Duntie, YIN Faqiang, HE Jiawen. Study on pyrolysis of three Amadori compounds[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2006(02):13-16.
- [60] Gager F, Nedlock J, Martin W. Tobacco additives and cigarette smoke. Part I. Transfer of d-glucose, sucrose, and their degradation products to smoke[J]. Carbohydrate Research, 1971,17(2):327-333.
- [61] Gager F, Nedlock J, Martin W. Tobacco additives and cigarette smoke. Part II. Organic, gas-phase products from D-glucose and sucrose[J]. Carbohydrate Research, 1971,17(2):335-339.
- [62] Ahmed N, Furth A. Failure of common glycation assays to detect glycation by fructose[J]. Clin Chem, 1992,38(7):1301-1303.
- [63] Semchyshyn H. Reactive carbonyl species in vivo: generation and dual biological effects[J]. Scientific World Journal, 2014: 417842.
- [64] Roemer E, Wittke S, Sticken E, et al. The addition of cocoa,

- glycerol, and saccharose to the tobacco of cigarettes: implications for smoke chemistry, in vitro cytotoxicity, mutagenicity and further endpoints[J]. Beitrage zur Tabakforschung International, 2010, 24(3):117-138.
- [65] 黄朝章, 蔡国华, 赵艺强, 等. 单料烟主流烟气 HCN 与烟叶常规化学成分的相关性[J]. 烟草科技, 2013(02):62-64.
HUANG Chaozhang, CAI Guohua, ZHAO Yiqiang, et al. Correlation between hydrogen cyanide in mainstream cigarette smoke and routine chemical components in tobacco leaves[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(02):62-64.
- [66] 蒯雁, 杜咏梅, 张怀宝, 等. 烤烟主流烟气中氢氰酸释放量的差异性及其主要影响因素分析[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(03): 85-89.
KUAI Yan, DU Yongmei, ZHANG Huaibao, et al. Difference and major influencing factors of hydrogen cyanide release of flue-cured tobacco in mainstream smoke[J]. Chinese Tobacco Science, 2014, 35(03):85-89.
- [67] 袁秀秀, 冯银龙, 李春光, 等. 施氮量对烤烟常规化学成分含量及主流烟气中7种有害成分释放量的影响[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(02):37-41.
YUAN Xiuxiu, FENG Yinlong, LI Chunguang, et al. Effect of nitrogen application rate on routine chemical components in fluecured tobacco and delivery of seven harmful components in mainstream smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(02):37-41.
- [68] CAI B, LI Z, WANG R, et al. Emission level of seven mainstream smoke toxicants from cigarette with variable tobacco leaf constituents[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2019, 103:181-188.

Review on the influence of water-soluble sugar on tar and other harmful components in cigarette smoke

CHEN Bin¹, XU Weijie¹, TANG Zhaoqi^{1*}, WANG Lei², LIU Peng², SUI Xiangjun², WANG Jinming²

1 Technical Center, Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 201315, China;

2 Shandong Tobacco Redrying Co., Ltd., Jinan, Shandong 250101, China

Abstract: In order to provide reference for accurately understanding the influence of water-soluble sugar on harmful components in cigarette smoke and guiding the scientific use of water-soluble sugar, this paper summarized the influence of the content of water-soluble sugar and added sugar in tobacco on the release of tar, systematically reviewed the research progress of the influence of water-soluble sugar content on the release of aldehydes and other harmful components in cigarette smoke, prospected the research on the relationship between water-soluble sugar and cigarette harmfulness.

Keywords: tobacco; water-soluble sugar; harmful components in mainstream smoke; tar; aldehyde

*Corresponding author. Email: zhaoqitang@sina.com

《中国烟草科学》2023 年第 5 期目次

- 遗传育种
江苏中烟核心原料产区烤烟品种遗传分析及分子身份证构建
..... 田 震, 李 媛, 孙晋浩, 等
- 栽培营养
生物炭用量与追肥次数对烤烟生长及氮素积累的影响
..... 杨佳宜, 何罗驭阳, 唐 昕, 等
育苗盘孔径、微生物菌剂和移栽叶龄对烤烟生长发育的影响
..... 王新月, 张 阳, 蔡 奇, 等
- 生理生态
氮钾运筹对烤烟养分吸收、产量与品质的影响
..... 陈娜娜, 朱子健, 吴月莹, 等
西南地区烟草潜在适生区预测
..... 孙佳照, 冉渝澳, 冯 俊, 等
基于表型组和转录组数据研究光对烟草早期幼苗发育的影响
..... 曹廷茂, 罗贞宝, 刘奇源, 等
- 植物保护
TMV、CMV 和 PVY 三重荧光定量 PCR 同步检测方法的建立
..... 白静科, 牛龙龙, 吴彦辉, 等
- 烟草靶斑病 LFD-RPA 快速检测方法的建立
..... 黎妍妍, 邱梦娟, 李锡宏, 等
- 广西烟草炭疽病病原鉴定及生物学特性研究
..... 石 洁, 桑维钧, 卢燕回, 等
- 品质化学
基于游离氨基酸的烤烟配打模块香型判别方法研究
..... 陈红丽, 周 航, 杨永锋, 等
基于碱性和酸性氨基酸比值的陈化烤烟烟叶适用时间判断
..... 周显升, 周金辉, 魏玉磊, 等
- 晾晒烟
联合代谢产物和重要农艺性状鉴定不同雪茄烟品系
..... 李雪山, 黄德文, 吕 芳, 等
- 现代烟草农业
基于连续投影算法的土壤全氮和碱解氮含量高光谱估测
..... 张 恒, 梁太波, 冯文强, 等