

烟草·烟气 化学及分析

李汉超 于淑娟 编著

河南科学技术出版社

前 言

近年来，随着人们对吸烟与健康问题的普遍关注，加之分析化学的理论和技术的迅速发展，烟草与烟气化学很快发展成为一门崭新的学科，而且成为卷烟工业和烟草生产的重要理论基础。

为了满足人民群众对卷烟产品的质量和安全性日益增长的需求，我们应当学习国内外烟草化学研究的新成果；了解烟草和烟气的化学组成；根据烟叶原料和卷烟生产加工过程中一系列的化学变化，以及这些变化与卷烟产品质量的关系，深入研究卷烟烟气的形成机理和影响烟草香味的化学成分；探索烟气中不利人体健康的有害物质及其降低措施，并掌握烟草与烟气的化学分析技术。

这本《烟草与烟气化学及分析》是在我们为中国烟草总公司干部专修科所编《烟草化学讲义》的基础上编写而成的。在编写过程中，除注意理论性、系统性外，还介绍了国内外烟草化学研究的新进展，并附有实验指导，很适合烟草行业干部、技工培训和烟草大中专学校有关专业学习参考。

本书第一章绪论着重介绍了烟草化学的形成和发展的历史以及当今的发展趋向，并叙述了烟草化学的研究内容和学习烟草化学的目的和意义。第二章到第五章，分述了烟叶的基本化学组成及其与烟叶品质的关系。如：第二章碳水化合物；第三章含氮化合物；第四章与烟草香味有关的其他有机成分；第五章无机成分。第六章讨论了不同类型烟叶在调制中化学成分的变化，并比较详

细地介绍了烟叶在陈化和发酵过程中的化学变化，使读者了解不同调制方法对不同类型烟叶化学特性形成的影响，这对改进调制工艺和原料配方将有一定的指导意义。第七章讨论了烟叶的品质因素与烟叶内在化学成分的关系。第八章讨论了烟支燃烧及烟气的形成过程。第九章介绍了卷烟烟气的主要化学成分，讨论和研究了烟气化学的基本理论。第十章对广大群众所关心的、涉及烟草生产命运的吸烟与健康的问题进行了探讨，较全面地介绍了国外有关烟气有害成分及其生物活性的研究动态。第十一章介绍了降低烟气中有害成分的措施。最后一部分附录，是烟草与烟气化学分析的实验。

在编写过程中，由于水平所限，缺点和错误之处，敬希同志们批评指正。

在此，对中国烟草总公司郑州烟草研究院高级工程师孙瑞申等同志提供资料并给予指导和帮助深表感谢。

编者

一九九一年四月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 烟草与烟气化学的形成	(1)
第二节 当今烟草与烟气化学的进展	(4)
一、卷烟烟气成分的研究.....	(4)
二、烟草与烟气中香味成分的探索.....	(5)
三、对卷烟安全性的日益关注.....	(6)
四、新型加香方法的研究.....	(7)
五、烟草药理学研究.....	(9)
第三节 烟草与烟气化学研究的内容	(10)
第四节 学习烟草与烟气化学的目的和意义	(10)
第二章 碳水化合物	(13)
第一节 总论	(13)
第二节 烟草中的糖类	(14)
一、单糖类.....	(14)
二、双糖类.....	(16)
三、多糖类.....	(19)
第三节 烟草生长发育过程中的糖量变化	(21)
第四节 糖类含量与烟叶色泽和品质的关系	(25)
第五节 碳水化合物的裂解产物	(26)
一、碳的氧化物的主要来源.....	(26)
二、挥发性醛和酮类的来源之一.....	(26)

三、酚类化合物的主要前身	(29)
第三章 含氮化合物	(32)
第一节 胺类化合物	(32)
一、脂肪胺类化合物	(32)
二、芳香胺类化合物	(33)
三、酰胺类化合物	(33)
四、亚硝胺类化合物	(34)
第二节 含氮杂环化合物	(38)
一、吡咯类化合物	(40)
二、吡啶类化合物	(42)
三、吡嗪类化合物	(43)
四、非稠合多环含氮杂环化合物	(45)
五、稠环氮杂环化合物	(51)
第三节 氨基酸、蛋白质及其有关化合物	(53)
一、氨基酸	(53)
二、糖—氨基酸化合物	(56)
三、蛋白质	(57)
四、其他含氮化合物	(57)
第四章 与烟草香味有关的其他有机成分	(63)
第一节 烟草香味的探索	(63)
一、烟草香味的概念	(63)
二、不同类型烟草致香成分的分离和鉴定	(65)
三、烟草香味化学成分的影响因素	(66)
第二节 烃类化合物	(67)
一、脂肪烃	(67)
二、芳香烃	(70)

第三节	有机酸	(71)
一、	非挥发酸	(80)
二、	挥发酸	(83)
三、	有机酸的分析方法简介	(85)
第四节	酚类化合物	(86)
一、	多酚类化合物	(100)
二、	简单酚	(104)
第五节	醇类化合物	(105)
第六节	酯类化合物	(108)
第七节	羰基化合物	(111)
第五章	无机元素	(122)
第一节	必要元素	(122)
一、	多量元素	(122)
二、	微量元素	(132)
第二节	烟草吸收的各种无机成分之间的关系	(137)
一、	氮素与其他无机成分的关系	(137)
二、	其他元素之间的相互作用	(139)
三、	全正离子与全负离子的吸收关系	(141)
第三节	无机成分对烟质的影响	(141)
一、	无机成分与烟叶的燃烧性	(142)
二、	灰分与烟叶品质	(143)
第六章	烟叶在调制、陈化和发酵中的化学变化	(145)
第一节	采收的新鲜烟叶的化学成分	(146)
第二节	烟叶调制中的生物氧化作用	(149)
第三节	烟叶中的酶及其在调制中的作用	(151)
一、	烟草中酶的种类	(152)

二、在调制过程中起主要作用的酶·····	(152)
三、烟叶调制过程中酶的活性变化·····	(156)
第四节 烤烟调制过程中的化学变化·····	(158)
一、碳水化合物变化·····	(161)
二、含氮化合物的变化·····	(161)
三、植物色素的变化·····	(161)
四、酚类的变化·····	(166)
五、变黄工艺条件对烟叶化学成分的影响·····	(166)
第五节 烟叶晾制中的化学变化·····	(168)
一、晾制中氮组分的变化·····	(169)
二、有机酸的变化·····	(173)
三、植物色素的变化·····	(174)
四、不同晾制方法对烟叶和烟气 化学成分的影响·····	(177)
第六节 在烟叶陈化和发酵中的非酶棕色化反应·····	(180)
第七节 非酶棕色化反应产生的代表性香味物质·····	(190)
第七章 烟叶质量与烟叶化学成分的关系·····	(194)
第一节 成熟度与烟叶化学成分·····	(195)
一、游离氨基酸含量的变化·····	(195)
二、不同成熟度烟叶的总糖、 还原糖含量的变化·····	(196)
三、不同成熟度烟叶的多酚含量·····	(196)
四、不同成熟度烟叶石油醚提取物含量的变化·····	(197)
五、不同成熟度烟叶的总氮、 蛋白质及烟碱含量·····	(198)
六、钾、氯含量的变化·····	(199)

第二节	色泽与烟叶化学成分	(201)
一、	不同黄色烟叶的化学成分	(202)
二、	青黄烟的化学成分	(203)
三、	光泽与烟叶的化学成分	(204)
第三节	油分与烟叶的化学成分	(205)
第四节	部位与烟叶的化学成分	(206)
一、	烤烟	(206)
二、	香料烟	(207)
第五节	控制因素对烟叶化学成分的影响	(208)
一、	杂色对烟叶化学成分的影响	(208)
二、	残伤对烟叶化学成分的影响	(209)
三、	破损对烟叶化学成分的影响	(210)
第六节	烟叶化学成分与内在质量的关系	(211)
一、	香气	(211)
二、	吸味	(212)
三、	刺激性	(214)
四、	生理强度	(215)
第七节	利用化学成分鉴定烟叶品质	(216)
一、	庇利基品质指数	(216)
二、	施木克值	(217)
三、	比值	(218)
四、	糖氮比和糖烟碱比	(222)
五、	烟碱与总挥发碱的比值	(223)
六、	烟气中的总粒相物与烟碱比 或焦油与烟碱比	(224)
七、	从烤烟烟叶的各种特征预测	

烟气中主要组分的含量·····	(224)
八、优质烤烟的化学指标·····	(227)
第八章 烟支燃烧及烟气的形成 ·····	(230)
第一节 烟支的燃烧机理 ·····	(230)
一、主流烟气和支流烟气·····	(230)
二、烟支燃烧时的温度分布·····	(231)
三、燃烧烟支的三个主要反应区·····	(236)
四、烟支燃烧中的堵塞效应·····	(240)
第二节 烟气气溶胶的形成 ·····	(241)
一、气溶胶的形成过程·····	(241)
二、气溶胶的主要组成·····	(242)
三、气溶胶的粒子浓度、大小分布 和粒子电荷量·····	(244)
第三节 标准吸烟条件及烟气的收集 ·····	(245)
一、吸烟过程中的重要变量·····	(245)
二、抽吸条件及方法·····	(245)
第四节 支流烟气和主流烟气化学成分的比较 ·····	(247)
第五节 烟叶中某些代表成分的高温裂解产物 ·····	(249)
一、三十二烷·····	(249)
二、碳水化合物·····	(250)
三、烟碱·····	(250)
四、含氮化合物·····	(251)
五、苹果酸·····	(252)
第九章 卷烟烟气的主要化学成分 ·····	(255)
第一节 卷烟烟气化学成分的分离和鉴定 ·····	(255)
第二节 烟气粒相物的主要化学成分 ·····	(259)

一、脂肪烃·····	(259)
二、芳香烃·····	(259)
三、萜类化合物·····	(260)
四、羧类化合物·····	(261)
五、酚类化合物·····	(263)
六、有机酸·····	(265)
七、氮杂环化合物·····	(266)
八、N-亚硝胺·····	(266)
九、金属元素·····	(267)
第三节 烟气的相物的主要化学成分·····	(268)
一、 O_2 、 N_2 、 A_r 、 H_2 ·····	(268)
二、 CO_2 、 CO ·····	(268)
三、挥发性烃类·····	(269)
四、挥发性脂类·····	(270)
五、呋喃类·····	(270)
六、挥发性腈类·····	(271)
七、其他挥发性成分·····	(272)
第十章 吸烟与健康问题·····	(274)
第一节 概论·····	(274)
第二节 卷烟烟气的相中的主要有害物质·····	(278)
一、一氧化碳·····	(279)
二、苯·····	(280)
三、挥发性醛及酮·····	(280)
四、氯代烃·····	(281)
五、氮的氧化物·····	(281)
六、氰化氢·····	(281)

第三节	卷烟烟气粒相中的主要有害物质·····	(282)
一、	稠环芳烃·····	(282)
二、	儿茶酚·····	(284)
三、	芳香胺·····	(284)
四、	N-亚硝胺·····	(285)
五、	烟碱·····	(285)
第四节	开发安全性卷烟产品的展望·····	(287)
一、	发展混合型卷烟·····	(287)
二、	改造传统的烤烟型卷烟·····	(287)
三、	发展新混合型卷烟·····	(288)
四、	开发其他新型产品·····	(288)
第十一章	降低卷烟焦油量和选择性减少有害成分·····	(290)
第一节	通过烟草育种降低有害成分·····	(291)
一、	培育有害物质生成量较少的烟草品系·····	(291)
二、	培育不同烟碱含量的品系·····	(291)
三、	培育高烟碱的烟草品系以降低焦油/烟碱比·····	(292)
四、	培育多酚含量低的烟草品系降低儿茶酚·····	(293)
五、	育种改变烟叶固醇含量·····	(294)
六、	育种降低茄尼醇减少稠环芳烃·····	(294)
第二节	掺用烟草薄片和均质烟叶·····	(297)
一、	烟草薄片·····	(297)
二、	均质烟叶·····	(298)
第三节	应用膨胀技术·····	(300)
一、	膨胀原理简介·····	(300)
二、	膨胀烟丝对降低烟气中有害成分的效果·····	(301)
第四节	改进卷烟纸·····	(303)

第五节	滤嘴和通风稀释对烟气成分的影响	(306)
一、	滤嘴打孔降低烟气吸入量的原理	(306)
二、	滤嘴和打孔滤嘴对烟气成分的影响	(307)
第六节	添加剂和吸附剂	(311)
一、	添加剂	(311)
二、	吸附剂	(314)
第七节	发展低焦油混合型卷烟	(315)
附录	烟草与烟气化学分析实验	(318)
实验一	烟草样品的采集、制备	(318)
实验二	样品水分的测定	(320)
实验三	烟叶中水溶性总糖的测定	(322)
实验四	烟叶中还原糖和非还原糖的测定	(327)
实验五	烟草中总氮的测定	(332)
实验六	烟草中蛋白质的测定	(335)
实验七	烟草中总烟碱的测定	(337)
实验八	烟草中总挥发碱类的测定	(342)
实验九	烟草中总灰分的测定	(344)
实验十	烟草中氯含量的测定	(345)
实验十一	烟草中钾离子的测定	(348)
实验十二	卷烟烟气分析样品的制备	(351)
实验十三	卷烟焦油量的测定	(352)
实验十四	卷烟滤嘴中植物碱截留量测定	(358)
实验十五	卷烟烟气中一氧化碳的测定	(360)

第一章 绪 论

第一节 烟草与烟气化学的形成

烟草作为一种嗜用植物，其栽培历史大多以哥伦布 1492 年发现美洲新大陆为起点。事实上人类利用烟草的历史是由来已久的。可是，对于烟草化学成分的研究，只是从 20 世纪 30 年代才开始的。

从那时起，烟草科学工作者，都着重于烟草化学成分的分析研究，企图以烟草的几种化学成分的数量比例关系，来推断烟草的品质。到了 20 世纪 40 年代，对于烟草的化学成分，若从化合物的大类来划分，可以说已有了基本的了解。1936 年德国烟草化学家布吕克纳尔 (Bruckner) 曾按烟叶成分在吸用吃味和香气的作用做了如下的分类：

第一，劲头 (强度)：含氮化合物—总氮、蛋白质、氨、烟碱。

第二，芳香性物质：单宁、树脂。

第三，醇和性物质：糖、淀粉、草酸。

第四，刺激性物质：一是细胞膜物质—果胶、五碳糖、纤维素、木质素；二是烟灰成分—总灰分、钾与硝酸盐；三是有机酸—柠檬酸。

布吕克纳尔进一步拟出一个烟草的品质指数又称布氏品质指数，以下列经验式表示：

$$\begin{aligned} \text{布氏品质指数} &= \frac{\text{促进品质物质总和} \times 400}{\text{限制品质物质总和}} \\ &= \frac{(\text{糖} + \text{淀粉} + \text{草酸} + \text{单宁} + \text{树脂}) \times 400}{\text{细胞膜物质} + \text{灰分} + \text{柠檬酸} + \text{含氮化合物} + \text{PH 值}} \end{aligned}$$

布吕克纳尔根据这个经验式，举了一个研究的例子，即中上部烟叶的品质指数为 199.2，下部烟叶为 127.3。布吕克纳尔报道这种表达与许多烟叶制品烟气的评价颇为一致。

其后，相类似的更加简单的品质指数在 50 年代相继提出。苏联烟草化学家施木克在对香料烟进行了大量的分析研究后，1953 年提出利用糖氮比原理，即以可溶性糖与蛋白质含量的比，作为东方型烟叶和烤烟的品质指数。

$$\text{施木克值} = \frac{\text{水溶性总糖}}{\text{蛋白质}}$$

Dyriki (1958) 也提出过和布吕克纳尔相类似的品质指数。但是关于烟草化学成分对烟草品质的影响问题，在烟草研究工作者中未能得到一致的意见。例如 Phillips 和 Bacot 认为烟叶成分可分为三类：一是对烟叶品质起好作用的，主要是糖类和淀粉（在调制过程中，淀粉应绝大部分转化为糖）；二是对烟叶品质起坏作用的，主要是氮、蛋白质、果胶质、聚戊糖、纤维素、木质素、草酸、柠檬酸、烟碱。三是对烟叶品质影响还不够清楚的，有多酚类、石油醚提取物、单宁、树脂与蜡。显而易见，以上三种成分的分类与布吕克纳尔把草酸、单宁、树脂列入有利于烟质的成分是不一致的。

综上所述，在 20 世纪 30 年代到 40 年代，烟草科技工作者对于烟草化学成分的分析研究作了大量的工作。虽然那时受到分析

技术的限制，然而，他们所断言的绝大部分成分至今仍有一定的意义。使我们对烟草的化学成分按大类来分有了大致的了解。而且，他们所提出的表示烟叶品质指标的经验式，在评定烟叶品质中有一定的参考价值。例如，施木克值在当今的烟叶品质评定中，在一定的条件下，仍然得到应用。

可是，应当指出的是，他们提出的品质指标的各种经验式，都有很大的局限性。产生这种局限性的主要原因，是由于这种简单的计算方法不能包括烟草在燃烧过程中产生的大量极其复杂的化合物，以及他们之间所产生的极其复杂的相互作用。

当然，对于烟草品质的评定，最直接的方法莫过于对卷烟的烟气进行分析。在烟气成分的分析鉴定方面，最初，模拟人的吸烟动作的逐口机械抽吸缺乏一致性。Bradford、Harlan 和 Hanmer 于 1936 年就非常清醒地发觉定量烟气分析在那时面临着某些问题：已经出版的烟气研究结果几乎都是不一致的，这些不一致主要是由于抽吸技术上的差异。程序的标准化可以使研究工作更经济，同时也使各种调查研究协调一致。他们提出了什么是成功的烟气分析标准条件，即：

一是它应该是能再现的；

二是抽吸程序、被抽的卷烟和抽吸的环境都应有一定的特点；

三是它应尽量接近人们抽吸卷烟的条件。

20 世纪 50 年代初期，吸烟与健康问题的提出，使对烟气成分研究的热情得到了进一步的高涨。人们可以猜想得到，滤嘴的使用提出了滤嘴从烟气中过滤了多少东西和过滤了什么东西等问题。这就需要一种定量的测量技术。随着烟草与烟气化合物分离技术的改进，模拟人类吸烟行为的精密吸烟机诞生，标准的吸烟条件“恒量”制度的确定，以及新技术的应用等，都为进一步取

得烟气的分析资料创造了必要的条件。20世纪50年代 Frankenburg 等在美国化学会志上发表关于雪茄烟发酵的化学和在此过程中烟碱分子的降解,就是运用新技术的一个典范。在那个年代,一个有机化学工作者的研究成果,能经该会的审查和认可而登载于会志上,不但说明研究工作的严整性,且赢得尊敬的地位,而且证明烟草科学研究已被认为与其它天然产物的化学研究具有同等的重要性。总之,人们对于烟气大量分析研究,使烟草与烟气化学进入一个崭新的阶段。

第二节 当今烟草与烟气化学的进展

一、卷烟烟气成分的研究

卷烟烟气是一种多相混合物的气溶胶,其化学成分非常复杂。为了对烟气进行分析,首先要收集烟气。目前是采用吸烟机抽吸烟支,烟气通过玻璃纤维滤片后(剑桥滤片 Cambridge filter),把烟气气溶胶中的粒相物质分离出来。通过滤片后的气相部分可用低温(-70°C)把它冷凝收集起来,这样约可收集气相中的90%,如果要把气相中100%的化合物都收集起来,则需要液态氮冷却(冷却温度要低于 -190°C)。例如将一支长85mm重1g的卷烟的烟气在液氮中全部冷凝,其重量约为500mg。当然烟气的收集应在国际标准条件下进行。

由于分析仪器和分析技术的发展,才使对收集的烟气进行分离鉴定成为可能。烟气和烟草中的化学成分究竟有多少?根据近年来的文献资料报道,被分离鉴定的化合物已达5000多种。M. F. Dube 和 C. R. Green 在1982年10月召开的36届美国烟草化学工作者会议上(TCRC)的述评中报道,存在于烟气和烟草中的化学

成分如下：

烟气和烟草中都存在的	1135种	} 共 5289种
只在烟草中存在的	1414种	
只在烟气中存在的	2740种	

卷烟烟气是怎样组成的呢？卷烟在燃烧过程中产生两种烟气，即主流烟气和支流烟气。通常所说的烟气成分是指主流烟气而言。主流烟气的组成总的可以分为两部分，即粒相和气相。一支卷烟的主流烟气，总重400—500mg。气相部分约占92%，粒相部分约占8%。烟气中的总粒相物质减去烟碱和水分后即是焦油，其组成是相当复杂的。据报道焦油中已被鉴定出数以千计的化学成分。而气相物质是烟气气溶胶中的气态物质，包括来自空气中的各种气体以及主要挥发组分，如水、低分子的烃类、醛类、酮类、含氮化合物、杂环化合物等蒸汽。

二、烟草与烟气中香味成分的探索

认识和了解烟草所产生令人愉快香味的化学过程的本质，是烟草化学工作者始终最感兴趣的问题。可是直到60年代初，对于这个问题仍限于肤浅的概念。

烟草的香味的质与量无疑是烟草中的最重要的因素。可是由于形成香味的物质种类繁多，含量极微，且有各种致香成分间的相互作用，因而使这个问题长期以来得不到解决，只是在70年代以来，国外对烟草香味成分的研究和应用才取得了初步的突破。

各国的化学家们在1974年圣弗郎西斯科举行的第六次国际香精油会议上发表了一系列论文。他们对于一系列天然烟草的致香物质进行了大量的研究工作。他们在白肋烟叶中鉴别了300多种成分。这些研究工作使香味化学工作者对白肋烟精油获得了一个总体感觉。据鉴定白肋烟精油中约有1/3是类似于异佛尔酮，紫