

第一章 绪 论

烟草是一种重要的经济作物，它是消费品和税收的重要来源。20 世纪以前，全世界生产烟叶不足 1 亿千克，卷烟 10 亿支；1940 年生产烟叶 2.93 亿千克，卷烟 4 900 亿支。目前估计全世界烟叶总产量约为 61.5 亿千克，卷烟约为 5 万亿支。20 世纪 80 年代以来，卷烟消费增长的势头有所减缓，其原因在于价格上涨、税收增加，人们对吸烟危害健康的认识提高以及世界性的经济衰退等。其中，工业发达国家近几年来卷烟生产量持平或有所减少，但消费量下降；发展中国家卷烟生产量和消费量大都有所增加。我国烟草种植的总面积、总产量以及卷烟生产量均居世界首位，占世界卷烟总量的比例较大，有着举足轻重的影响。但人均消费量与发达国家相比还是少的，甚至只是发达国家的一半。

烟草生产是自然再生产过程和经济再生产过程结合起来的物质生产。自然条件、社会需求和社会经济技术条件是制约烟草生产的重要因素。可能性与必要性结合决定了烟草生产及其规模的大小。

多年来，人们对烟草的质量状况十分关注，提高烟草及其制品质量的意识不断增强，各种新的技术措施不断涌现。为了获得理想的经济效果，必须严格遵循自然规律和经济规律发展烟草生产，提高烟草及其制品的质量。

烟草的化学成分是决定烟草品质的内在因素。品质因素在很大程度上决定着烟草的经济价值。烟草的化学成分与烟草的类型、品种、栽培、调制、加工有相当密切的关系。烟草从栽培到制成供人们消费的烟制品，经历了一系列的变化过程，在这些过程中，对于烟草吸食品质起主导作用的化学成分质和量的变化，直接影响烟制品的质量。

不同的生长环境和田间管理技术导致烟叶内干物质的质和量的差异；采收后的烟叶经过调制和以后的贮存、陈化等加工，使烟叶中的化学成分发生变化；不同的叶组配方和加工工艺直接决定烟制品的质量；燃吸卷烟时，卷烟燃烧的本质也是复杂的化学反应过程。

为了阐明上述各种过程中所发生的化学反应的实质，就必须用科学的方法揭示烟草及其制品的化学组成、结构、性质及其相关的化学变化规律，于是从化学角度研究烟草的新学科——烟草化学应运而生，并不断形成和发展。

研究烟草化学的目的就在于运用现代科学理论和测试技术阐明烟草生长、调制、加工等过程以及烟草使用的化学本质，系统地总结和推广先进生产经验和科研成果，指导烟草的工农业生产，使科学技术转化为生产力，提高卷烟生产的经济效益，改进烟草吸食品质，满足不断变化的消费需求，提高吸烟的安全性。无数事实已经证明，烟草化学已经成为指导烟草工农业生产的重要理论学科，对于烟草行业的发展和减少对消费者健康的危害已经发挥并将继续发挥重要作用。

第一节 烟草化学成分与质量的关系

烟草作为特殊的经济作物有其本身的质量要求，烟草制品作为特殊的消费品也有其本身的质量要求，烟叶质量是烟草制品质量的基础。传统的质量概念包括色、香、味三个方面，即色泽美观、香气浓郁、吃味醇和、无杂气和刺激性。然而，随着“吸烟与健康”问题的提出，对烟叶及其制品质量的要求和过去有较大的不同，不仅注重色、香、味，而且更加注重其安全性。烟草制品要求浓郁的香气，饱满的吃味，适当的劲头，焦油量和烟碱含量低。对烤烟原料来说，要求高浓度、高香味、高烟碱、低焦油的烟叶。这就要求生产的烟叶必须成熟，有协调的化学成分和有利的物理性能。

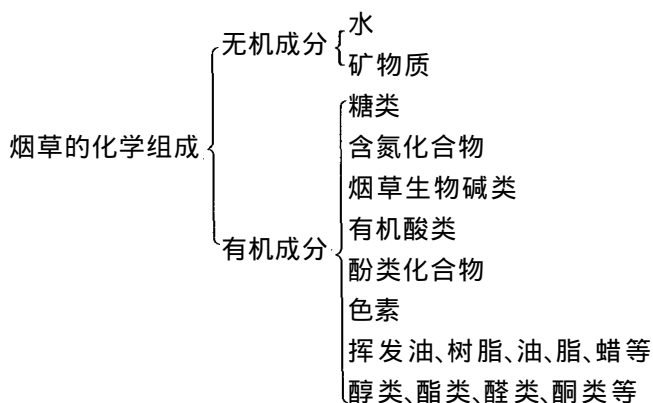
烟草及其制品的质量是由许多因素形成的，而且因时、因地、因人而变化。概括起来，包括五个方面。外观质量，指人们的感官直接感触和识别的烟叶外观因素，如烟叶大小、形状、颜色、光泽、成熟度、组织结构、油分等。内在质量，靠人们的口腔、鼻腔、喉部等感官感觉鉴别，如烟叶和烟制品的香气、吃味、刺激性、杂气、生理强度等。外观质量与内在质量有密切的关系：外观质量好者，其内在质量好；外观质量差者，其内在质量也较差。外观质量在很大程度上反映了其内在质量的特点和好坏。物理特性，烟叶物理特性是衡量烟叶质量的又一个方面，如吸湿性、燃烧性、弹性、填充性、单位面积重量等，在不同程度上反映了烟叶的内在质量及其工艺价值。化学成分，化学成分是决定烟叶及其制品质量的内在因素。⑤安全性，烟叶及其制品的安全性也是质量中一项重要的不可缺少的内容，是当前人们极为关注的问题。各种烟制品是供人们吸用的，其安全性直接关系到广大消费者的身体健康。外观质量、内在质量、物理特性和安全性都与化学成分有着密切的关系。然而，化学成分与烟叶质量的关系是一个复杂的问题，几十年来，国内外烟草工作者对各类型的烟草进行了大量的化学研究，已弄清楚烟叶和烟气的化学成分有5 000多种，对某些化学成分与内在质量的关系也已基本搞清，但是还有一些尚未知道的成分，用化学成分表示烟叶质量的全貌，还没有得出定论。烟叶化学成分与烟草的类型、栽培、调制和加工有密切的关系，烟气化学成分与烟支的加工工艺和燃吸状态有密切的关系，因此，烟叶和烟气化学成分的进一步深入研究，对于阐明烟叶质量的全貌、指导烟草栽培、指导烟草工业生产、提高烟叶及其制品的质量都具有重要意义。

第二节 烟草的化学组成

烟草在生长发育过程中，不断地从土壤里和空气中吸收水分、养分和二氧化碳，通过植株内部的生理生化作用，形成了许多复杂的化学物质。由于烟草利用的主要是叶片，而且叶片必须经过适当调制才具有使用价值和商品价值，所以人们主要研究调制后的烟叶的化学成分。

烟叶中的化学成分虽然是多种多样和极为复杂的，但是根据化学元素的组成，可以概

括地分为三大类：第一类是含有碳、氢、氧三种元素的化合物；第二类是除含有碳、氢、氧外，还含有氮元素的化合物；第三类是矿物质。然而，每一大类化合物中由于结构和性质以及对烟质的影响差异较大，为了研究的方便，可进一步分类，表示如下：



第三节 烟草化学的形成和发展

一、烟草化学的形成

烟草化学是运用化学的理论和方法对烟草和烟气的化学组成、理化特性、变化机制、不同成分对烟质的影响等进行研究的一门新兴的学科。它的形成可以追溯到 20 世纪初，当时即对烟草的化学组成和大类的划分有了基本的了解。到了 20 世纪 30 年代，许多科研工作者企图从烟草化学成分含量及其相互之间的关系得出能够评定烟质的客观指标。这些努力取得了一定的进展，例如从水溶性糖类、含氮化合物和生物碱类的含量比例测定其与烟质之间的相关性，就是这种努力的结果。

1936 年布鲁克纳 (H. Bruckner) 根据烟草中各种成分对烟质的影响，将它们分为四类。

第一 与烟气强度有关的成分 如含氮化合物 包括总氮量、蛋白质和烟碱等。

第二 影响香气的成分 如单宁、多酚 和树脂等。

第三 影响烟气醇和性和芳香性的成分 如糖分、淀粉、草酸等。

第四 与刺激性有关的成分 如细胞壁物质、果胶、聚戊糖、纤维素和本质素、灰分 (总灰分、钾和硝酸盐)、柠檬酸等。

此外，他还认为烟叶的 pH 值表示碱性含氮物的强度和碱性矿物质的刺激性，间接影响到香气，列入不良因素之一。布鲁克纳应用上述概念，提出计算烟草品质指数的方程式：

$$\begin{aligned} \text{布鲁克纳品质指数} &= \frac{\text{提高品质的成分}}{\text{减低品质的成分}} \times 400 \\ &= \frac{\text{糖分} + \text{淀粉} + \text{草酸} + \text{单宁} + \text{树脂}}{\text{细胞壁物质} + \text{灰分} + \text{柠檬酸} + \text{含氮化合物} + \text{pH 值}} \times 400 \end{aligned}$$

1948 年培瑞基 (C. Pyriki) 简化布鲁克纳的计算公式 提出以“(还原性物质 + 溶解性糖类 + 多酚 + 树脂 + 蜡)×400 ”为提高烟质的成分 以“ 烟碱 + 总氮 + 灰分 ”为减低烟质的成分。1958 年又作了进一步的修改, 其计算公式如下:

$$\text{培瑞基品质指数} = \frac{\text{总还原糖} + \text{树脂} + \text{蜡}}{\text{灰分} + \text{烟碱} + \text{蛋白质} + \text{氮氮量} + \text{其他含氮化合物}} \times 400$$

按这两个方程式计算所得的结果基本上是一致的, 并且都与评吸结果相符合。当时, 美国曾规定烟叶品质指数的范围为 1 ~ 100 , 品质指数越大, 烟叶品质越好。除美国以外, 加拿大、津巴布韦等国家也曾用品质指数来评价烟叶品质的高低。但是, 由于这两个品质指数需要许多成分的分析数据, 有利成分和不利成分只是量的叠加, 忽视了不同成分对烟质影响的大小, 与实际情况也有出入, 因此在生产上未被广泛采用。

1953 施木克 (Schmuck) 在对香料烟和烤烟进行大量研究的基础上, 提出以水溶性糖类和蛋白质含量之比来衡量香料烟和烤烟的质量, 即施木克值。分析的项目虽不多, 但应用于烟叶或卷烟产品时, 表现出一定的规律性。从施木克值的性质来分析, 实质上是一个酸碱平衡的协调问题, 因为烟叶中水溶性糖类在燃吸时产生酸性反应, 而蛋白质则产生碱性反应。在实际应用中, 并不是施木克值越高越好, 因为烟气的酸性过强, 同样产生刺激性; 而且含氮化合物过少, 一般烟味平淡, 香气不足, 所以施木克值的应用是有一定范围的。

类似的研究还有很多, 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; 二是对烟叶品质起坏作用的, 主要是总氮、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、树脂和蜡。

综上所述 在 20 世纪 30 年代前后, 烟草科技工作者对烟草化学成分的研究做了大量的工作, 这使我们对烟草化学成分与烟叶品质的关系有了大致的了解。他们所提出的表示烟叶品质指标的各种经验式, 在评定烟叶品质中具有一定的参考价值。然而, 这些经验式大都是简单地把烟叶中的起好作用的化学成分和起坏作用的化学成分分为两类, 把好的成分作为分子, 坏的成分作为分母, 比值大就表示烟叶质量好, 比值小就表示烟叶质量差。因此用这些经验式所评定的烟叶品质指标, 只能相对地在吃味方面表示出烟质好坏, 即只能说明烟气的醇和性, 而对于内在质量的其他方面则无从表示。加之烟草类型和品种的不同以及应用习惯上的差别, 一些结论也难以普遍应用于所有的烟草, 产生这种局限性的更重要的原因是这些简单的经验式不包括烟叶在燃吸过程中产生的大量化合物, 以及它们之间产生的极其复杂的相互作用。

二、烟草化学的发展

烟草质量的优劣最终是通过燃吸产生的烟气反映到人们的感官, 以感觉来评价的。对于烟草及其制品质量的评定, 最直接的方法是对烟气成分进行分析鉴定。烟草在燃吸过程中 通过热解、合成、蒸馏、干馏各种反应而形成复杂的烟气 烟气成分中一部分与烟

草中原有的成分相同，而大部分是燃烧过程中的新生产物。烟气分析始于 20 世纪 30 年代，限于当时的分析技术，分析数据的重现性和可比性差，研究进展缓慢。50 年代提出了“吸烟与健康”问题以后，烟气分析在需要与可能的条件下得到迅速发展。烟草化学的研究脱离了经典分析的范畴，进入了一个较高水平的阶段。许多国家的卫生部门、医学学会和科研单位都开展了吸烟与健康问题的广泛研究，例如，形态学、病理学、生理学和药理学研究，测试诱变剂和致癌剂方法的发展，烟草成分在生物有机体中的生化研究，吸烟与心血管系统、呼吸系统、内分泌系统，新陈代谢、孕妇与胎儿的关系以及被动吸烟等问题的研究等。随着各项研究的不断深入，吸烟与健康的关系日趋明朗。与此同时，烟草科技也得到了较大发展，出现了许多新工艺、新技术、新材料、新产品。安全型低焦油卷烟的出现表明了烟草生产从单纯经营型转向与追求社会效益相结合，烟草工业有了新的变革和发展。正是在这些研究中，化学、生物、医学等学科的科学家和烟草科学家一起运用当代最新测试技术和方法，比较全面地分析了烟叶和烟气的化学成分，探讨了相应的化学反应机制，进一步研究了烟气成分与烟质的关系，使人们对烟草和烟气的本质有了比较全面的认识，至此，烟草化学才发展成为一门独立的学科。

（一）卷烟烟气成分的研究

新仪器和新技术的发展使烟草和烟气成分在分析、分离、鉴定、灵敏度、准确性和分析速度等方面都取得了巨大的进步。例如精密吸烟机的诞生、标准吸烟条件的确定、分离技术的改进，都为进一步取得烟草和烟气的分析资料创造了条件，烟草化学也随之得到了更快的发展。

对烟支的燃烧状态和烟气性质的分析研究是烟草化学研究中的一个新发展。研究发现，在燃吸卷烟的过程中，当温度上升到 300℃ 时，来自烟草的挥发性物质进入烟气；到 450℃ 时，烟草发生焦化；600℃ 时，烟草就被点燃而开始燃烧；抽吸时最高温度可达 900℃。正在抽吸时，燃烧主要发生在燃烧锥底部周围的旁通区，气流中的氧几乎耗尽，有限度的燃烧导致形成大量的新化合物，氧化过程不起主要作用，二氧化碳也不是唯一产物。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。

正在抽吸时产生的烟气称为主流烟气，两次抽吸的间隔时间内烟支自由燃烧产生的烟气称为侧流烟气。两种烟气产生的条件不同，其性质和化学组成也有很大差异，根据研究目的不同而分别进行收集和分析鉴定。主流烟气是进入吸烟者口腔而被接受的烟气，因此对它的研究较多。主流烟气成分分为粒相部分和气相部分，粒相部分约占 8%，气相部分约占 92%。粒相部分减去烟碱和水分即是焦油，焦油的组成是相当复杂的；气相部分主要是来自空气中的各种气体以及烟气中低分子易挥发的组分。

烟气的收集方法有多种，如过滤、静电沉积、喷射撞击、冷阱、固体吸附、溶剂捕集等。目前收集主流烟气中粒相部分最常用的方法是过滤捕集。在标准条件下，用吸烟机抽吸烟支，烟气通过玻璃纤维滤片（剑桥滤片，Cambridge Filter）可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℃）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℃），例如将一支长 85 mm 重 1 g 的卷烟的烟气在液氮中全部冷凝，其重量约为 500 mg。

由于分析仪器和分析技术的发展,使对收集的烟气进行分离鉴定成为可能。关于烟叶和烟气的化学成分的种类和数量的统计报道,几乎随时都在变化着,因为发展太快了。据 1982 年 M. F. Dube 和 C. R. Green 的综述,烟叶中已被鉴定的化学成分有 2 549 种,烟气中有 3 875 种,其中 1 135 种是烟叶和烟气中共有的。烟叶和烟气中已鉴定的化学成分总计为 5 289 种,单独存在于烟叶中的有 1 414 种,单独存在于烟气中的有 2 740 种。更近期的报道 D. L. Roberts, 1988 年) 烟叶中有 3 044 种化学成分,烟气中有 3 996 种,其中 1 172 种是烟叶和烟气中共有的,总计为 5 868 种。这些化合物按官能团分为:羧酸类、氨基酸、内酯类、酯类、酰胺和酰亚胺类、酞类、醛类、糖类、腈类、酮类、醇类、酚类、硫化物、N-杂环化合物(吡啶、吡咯和吡咯、吡嗪、非芳香性的、多环芳香族的及其他)、醚类、烃类(饱和脂肪烃、不饱和脂肪烃、单环芳香烃、多环芳香烃)其他、无机物和金属。

(二) 烟草香味成分的研究

人们抽烟最主要的目的是欣赏烟草在燃吸过程中所产生的愉快香味,从而得到心理上和生理上的享受,因此烟草香味是质量因素中的中心因素。研究烟草香味形成的化学过程的本质、烟气中香味成分与烟草化学成分的关系、工艺加工过程中对烟草香味的增强或削弱等,一直是烟草科学工作者最感兴趣的问题。可是直到 20 世纪 60 年代初,对于这些问题仍限于肤浅的概念。这是由于形成烟草香味的物质种类繁多,含量极微,各种致香成分间存在着极其复杂的相互作用,而且烟草的农业生产、工业加工、工艺配方、加香加料等都对烟草香味产生影响,因此使这些问题长期以来得不到很好的解决。只是从 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。

国际上各大烟草公司、科研机构、基金会和学术团体都集中力量努力提高烟草香味,改善吃味。他们按照混合型卷烟的组合,从烤烟、白肋烟、香料烟中取得的蒸馏精油、溶剂提取物及其燃吸时的烟气进行香味成分的分析;同时对烟气的物理化学性质、特定化学成分在不同温度下的化学反应、吸烟的生理卫生等进行了广泛研究,从而找出了对香味起关键作用的某些组分,通过分离和合成,用以增补烟香,矫正吃味。国际上著名的香精香料公司先后应用红外光谱、色谱、质谱、电子计算机等高精密度的现代仪器分析技术,对各类烟草和烟气中的香味成分进行更深入的研究,从中找出对烟草香味具有重要作用的化学成分,并发现了过去未知的微量香味物质。目前,国际上对烟用香精的研究和开发十分活跃,已经取得了突破性进展。

许多挥发性化合物直接产生烟草香气,许多非挥发性化合物是烟草热解产生香味和香气的先驱物。烟草中的糖类如单糖、糖脂、糖苷、阿马杜里(amarorin)化合物、含氮杂环化合物如吡嗪、吡咯、吡啶类,含硫杂环化合物等都是烟草香味物质或先驱物。烟草中的萜烯类化合物对烟气的质量和香气具有特殊的重要性。精油、酸类、酚类、脂类和蜡质是烟草香味的主要贡献者。有报道提供木质素的代谢产物也是烟草香味的可能来源和香味潜力物。烟草在农业生产和工业加工中形成香味物质的机制可能涉及:①酶的水解;②氧化转变;③常温非酶的转化;④因热引起的非酶转化。形成吡嗪的机制可能包括热解和氨基糖的反应。

J. C. Leffingwall 1976 年综述了烟草中与烟气质量和香气有关的化学成分,将其归纳

为五类：①异戊间二烯类和降异戊间二烯类，包括类胡萝卜素、无环类异戊间二烯、带环的类胡萝卜素降解产物、无环的类胡萝卜素降解产物、双萜烯类、西柏烯类、降-西柏烯类、赖百当类、降-赖百当类、碳环的倍半萜烯和单萜烯；②苯丙氨酸和木质素代谢产物；类脂的代谢产物（包括从类脂衍生的低相对分子质量化合物），甘油酯类、糖酯类、磷脂类、神经鞘脂类；④糖和氨基酸反应产物；⑤生物碱及其转化产物。

随着烟草香味化学成分研究的进展，使人工合成具有烟草本身特征香味物质成为可能。目前已鉴定出对烟草香味起重要作用的类胡萝卜素降解产物约有 80 多种，其中环柠檬醛是类胡萝卜素降解产物中的重要成分，通过它可以制备多种具有烟草香味的物质，如 β -紫罗兰酮、 β -大马酮、 β -二氢大马酮、氧化异弗尔酮等。已经将类胡萝卜素在一定条件下降解产生的混合物直接用于烟草制品加香，或者人工合成某些类胡萝卜素的降解产物用于烟草调香的单体香料，都取得了很好的效果。各种氨基酸和糖类进行非酶棕色化反应的产物，具有与烟香协调的浑厚香气，如 3,4-二甲基吡啶、3-甲基吡啶、4-甲基吡啶、N-甲基-2-乙酰基吡咯、N-乙基-2-乙酰基吡咯、2-甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2-乙酰基吡嗪等。现已将各种氨基酸和糖在一定条件下反应产生非酶棕色化反应混合物直接用于烟草制品加香，或者人工合成某些产物用于烟草调香的单体香料，都取得了很好的效果。近十多年来，人工合成新型烟草用单体香料的专利不断涌现，根据化学结构和性质来分，有各种类西柏烷和赖百当类的降解产物，各种类胡萝卜素的降解产物，以及各种呋喃酮、吡喃酮、萜烯衍生物、酯类、内酯类、醛类、醇类等，大都是模拟烟草中香味成分的新型单体香料。

（三）卷烟烟气有害成分的研究

自从 1954 年英国皇家医学学会和 1964 年美国医政总署先后根据流行病学的统计资料，提出吸烟与肺癌率有关的报告以来，一方面在当时降低了烟草及其制品的生产和消费，一方面激起了人们对吸烟与健康的普遍关注和广泛研究。除许多国家的卫生部门和医学部门进行研究外，世界烟草行业更把这个问题看做是烟草事业兴衰的关键，一直在不遗余力地采取各种措施，减少吸烟对健康的危害。研究内容包括烟草和烟气的化学成分、有害物质、致癌物质、促癌物质，以及防止和减少这些有害物质的生成、提高吸烟安全性的措施等。经过几十年的努力，取得了巨大的进展。

已有的研究表明，烟气的相组分中的有害成分主要有一氧化碳、氰化氢、氧化氮类、亚硝胺类、硫化氢等。粒相中的有害成分主要集中在焦油中。烟碱既分布在气相中，又分布在粒相中。

烟草焦油对人身健康的影响不仅表现在含量上，也表现在生物活性上。工业发达国家对安全烟的研究，除降低焦油的含量外，还研究了降低焦油生物活性的技术。美国肯塔基大学烟草与健康研究所于 20 世纪 70 年代末期就建立了焦油的短生物活性实验室。科技人员采用 Ames 实验和放射性核素示踪的方法进行烟气冷凝物、馏分的化学毒性、致突变和致癌试验。对烟草品种（品系）及可能生产“安全烟”的方法也进行了研究。日本正在研制低焦油、低烟碱、低生物活性的“安全烟”。

左天觉先生研究得出烟焦油中 99.4% 的物质是无害的，0.6% 的是有害的，其中

0.2%是具有致癌活性物质 0.4%是癌的促进物质。一般认为焦油中的稠环芳烃，特别是3,4-苯并芘是最重要的致癌物质，酚类和亚硝胺是促进致癌物质。因此降低焦油是提高卷烟安全性的一个总趋势。世界上主要牌号卷烟的焦油和烟碱都已大大降低。在美国20世纪80年代低焦油卷烟在市场所占比例已上升到60%，德国各种卷烟的焦油也从原来的支降到80年代的15 mg/支；在日本70年代卷烟焦油在20 mg/支左右到80年代降至15.1 mg/支。我国卷烟焦油以前均较高，达40 mg/支左右80年代以来采取了各种降低焦油的措施，现在各种牌号卷烟焦油几乎全部达到中等水平，即15~18 mg/支，低焦油卷烟的开发研制也在迅速进行。

烟碱是烟草最重要的组分，能产生生理作用，使吸烟者感到兴奋和得到特有的香味享受因此烟草和烟气中含有一定量的烟碱是完全必要的。但是烟碱确实有害轻者能引起呼吸器官疾病，重者危害心血管系统，降低烟气中烟碱含量也能提高安全性。美国卷烟平均烟碱含量从20世纪50年代的2.6 mg/支降到80年代的1.0 mg/支。日本卷烟平均烟碱含量从70年代的1.6 mg/支降到80年代的1.0 mg/支。德国卷烟平均烟碱含量60年代为支，年代为0.7 mg/支80年代为0.8 mg/支。我国卷烟的烟碱含量一般都较低在1.0 mg/支左右。

降低焦油和烟碱也存在着矛盾。焦油和烟碱都对健康有害，从两者的危害程度来看，焦油中含有微量的稠环芳烃和亚硝胺类等致癌物质，其危害性远比烟碱大。目前认为烟碱与致癌无关，吸烟者对烟碱有一定的需要。在需要吸入一定量烟碱的情况下，如果烟碱含量低则需增加吸烟支数导致吸入的焦油增多如果烟碱含量高则吸烟支数减少进入人体的焦油也减少。因此，人们认为烟气中焦油/烟碱可作为吸烟安全性的一个重要指标并且认为其比值在10左右为宜。

（四）提高卷烟安全性的研究

烟气成分除受烟叶原料化学成分的影响外，还受工艺加工和烟支燃烧条件的影响。因为烟气成分除从烟草中的化学成分直接挥发、蒸馏、干馏而来以外，其余则是高温热解和热解后再合成产生的。因此烟草原料、配方结构、烟丝物理特性、卷烟盘纸、过滤嘴、烟支规格、燃吸时的温度等都与生成烟气的成分有很大关系。降低卷烟焦油和烟碱等有害物质，需要由农业和工业两个方面来完成。烟草作物能以多种方式做出生理和遗传反应，因而有可能通过调整农业生产技术来改变烟草的生长状况及性质，以减少加工后烟草制品的有害成分。经过烟草科学工作者的努力，已经培育出既保持烟草香味特征、有害物质生成量又较少的烟草品系，不同烟碱含量水平的烟草品系，降低焦油/烟碱比值的烟草品系，降低儿茶酚含量的烟草品系，降低茄尼醇含量减少稠环芳烃的烟草品系等。尤其值得提出的是1976年左天觉博士等提出了新的主张，即在利用大田生长的新鲜烟叶生产均质重组烟草薄片的同时，生产出营养价值很高的食用蛋白。这种技术如能进一步成功发展，将会改变烟草栽培的主要目的和经济目标，将是烟草行业的一项重大改革。

降低焦油及其他有害成分工艺措施更有效，而且容易做到。目前采用的工艺措施综合起来有以下几种。改革原料配方结构，生产混合型卷烟。因为混合型卷烟中使用了部分晾晒烟，因而比烤烟型卷烟产生的焦油低。增加滤嘴烟的生产和提高滤嘴过滤效

率。由于滤嘴可以截留烟气中 40% ~ 50% 的焦油, 同时还可节约一部分烟丝, 国外普遍采用这一措施来发展低焦油卷烟。美、英、日、德等国家只用了几十年的时间(20 世纪 50 年代到 80 年代) 就把滤嘴烟的比重提高到 90% 以上。为了提高滤嘴过滤效率, 国外滤嘴品种花样繁多, 有的采用复合滤嘴即在滤嘴中加入一些有选择性吸附作用的滤材, 如碱土金属氧化物、脱水磷酸钠、活性炭、硅胶或炒米粉 来选择性吸附氰氢酸、甲醛、烟碱、焦油等。 配方中掺用烟草薄片。因薄片的制造过程改变了烟草的成分和燃烧性而降低了卷烟焦油。 采用梗丝和烟丝膨胀技术, 减少每支卷烟的烟丝用量和烟丝密度, 改善燃烧性, 相应地降低焦油。 采用通风滤嘴和高透气度盘纸。不仅能稀释烟气, 而且能使主流烟气的气流速度相应地降低, 因而可以使粒相物质作分子运动的时间延长, 粒相物质的粒子直径增大, 容易被滤嘴拦截。不仅有效地提高了过滤效率, 而且由于这种方法可使烟柱体内的烟气与外界空气进行交换, 一些有害的气相成分如一氧化碳可以通过微孔逸散到空气中。⑥改变烟支规格, 烟支加长和圆周变细都有降低焦油的作用。因为烟支加长后, 吸阻增加, 气流速度减慢, 烟气与空气交换的机会增多。据测定结果表明, 烟支圆周减少 15% 抽吸口数减少 19%, 吸入的焦油也随之减少。⑦对烟丝进行化学处理, 以降低焦油和其他有害成分。例如烟丝中加微量元素硒或锌, 有降低焦油的效果; 鞣酸添加剂能降低卷烟焦油致突变性的研究, 也有报道。

我国在卷烟安全性方面也做了大量工作, 就降低卷烟焦油和其他有害成分含量来说, 通过采取改进烟叶品质、推广膨胀烟丝、推广烟草薄片和滤嘴打孔等新工艺新技术, 对降低焦油和其他有害成分含量起了积极作用, 从而提高了卷烟的安全性。但是由于我国起步晚, 加之技术不配套等原因, 有些方面的研究尚不系统、不深入。

第四节 烟草化学的研究内容

烟草化学是指导烟草农业生产和卷烟工业生产以及烟草科学研究的重要基础理论之一。它是一门新兴的学科, 既与化学有关, 又与烟草科学有关。它研究的主要内容有: 农业方面的气候、土壤、肥料、水分和栽培技术对烟草质量和产量的影响, 特别是对烟草化学成分和吸食特点的影响 ②烟草的主要化学成分及其与烟草品质的关系; ③烟叶在加工过程中(如调制、发酵、陈化、制丝等) 的化学成分变化及其与加工条件的关系 ④燃吸过程中烟草化学成分的变化及其与烟支规格、加工质量的关系; ⑤烟草化学成分与香气、吃味等内在质量的关系和烟草制品加香加料问题; ⑥吸烟与健康问题, 包括有害物质的去除和创造安全性卷烟等。

由此可知, 烟草化学这门课程, 不仅与烟草栽培、调制、加工工艺等专业知识相联系, 而且几乎涉及化学的各个方面 如无机化学、有机化学、分析化学、生物化学、物理化学等, 都是学好烟草化学的基础。因为烟气是在燃吸过程中产生的, 既是一个化学过程, 又是一个物理过程, 其反应机制就更为复杂, 要研究烟支的燃烧机制和分离鉴定烟气的化学成分, 需要的知识更广更深。

第五节 学习烟草化学的目的及意义

随着现代科学技术的发展和人们消费水平的提高，烟草行业不仅要生产足够的烟草原料和卷烟产品 满足消费者的需求 而且要提高烟草原料质量 提高卷烟产品质量 提高卷烟安全性，更好地为消费者服务。烟草化学是烟草原料生产和卷烟工业生产的重要基础理论，无疑对于烟草化学的学习和研究具有重要意义。

首先 烟草是特种经济作物 烟草制品是特殊消费品 烟叶质量直接影响烟草制品质量。烟叶质量是在生长发育过程中形成的 与气候、土壤、肥料及栽培方法、调制技术有着密切的关系。其化学成分的协调性是决定烟叶质量的内在因素，生产出来的烟叶最终要用化学指标来衡量其质量的优劣。因此，学好烟草化学是指导烟草农业生产，提高烟叶质量的基础。

其次 烟草化学是指导卷烟工业生产的理论基础 与烟草工艺学的关系十分密切。从烟叶调制、复烤、发酵直到卷烟生产的整个过程 烟叶将发生一系列极其复杂的化学变化。要想使这些变化向着有利于产品质量的方向发展，就必须采取适宜的工艺技术条件，促进或控制这些变化。工艺先进与否包括两个方面：一是设备；二是生产过程和操作条件。卷烟生产工艺是生产符合人们需要的卷烟产品的手段，如果不能按烟草化学指出的方向进行生产，工艺的先进性就无从谈起。也就是说，卷烟工艺的设计诸如配方设计、加香加料设计、制丝工艺条件设计、烟支卷制规格等 都必须以烟草化学研究的结论为依据。

其三，随着人们对吸烟与健康问题的普遍关注，提高卷烟安全性已成为一个总趋势。烟草作为一种天然材料，由几千种化学成分所组成，卷烟在燃吸过程中，由于高温和不同燃烧状态的作用，又产生大量的新生化合物，其中确实存在微量的对人体健康有害的成分。烟草及其制品的生产一方面要满足消费者需求，另一方面要对消费者的健康负责，这就需要研究烟草及烟气成分中哪些是对质量有利的，哪些是对健康有害的，研究它们的结构、性质、含量 从而采取有效措施促进有利于品质的成分产生 有选择地降低有害成分，提高卷烟安全性。这些研究是一个复杂的系统工程，需要多学科共同努力，其中烟草化学的研究是极其重要的。

其四 在烟草行业中 从烟草栽培、烟叶收购、卷烟生产、烟叶及其制品的仓储与运输，直到吸烟的整个过程，以及吸烟与健康的研究，均需要一系列的分析和检测工作。这些分析和检测工作对于提高烟叶生产的产量和质量，提高卷烟质量及其生产水平，都具有直接的指导意义。同时还是研制和生产低毒安全型卷烟必要的基础性工作，分析和检测得到的科学数据是烟草行业发展和变革的依据。烟草及其制品的理化性质以及由此所体现的外观质量和内在质量，都是由化学成分决定的，为稳定和提高烟草原料和卷烟产品的质量而进行的质量检测，也必须以烟草化学的理论为基础。因此，只有学好烟草化学，才能更好地进行烟草分析和质量检测。

综上所述 学习和研究烟草化学的目的 就是为了促进烟草行业的科技进步 提高烟草原料和卷烟产品的质量及安全性，既满足消费者的需求，又对消费者健康负责。目前降

低卷烟焦油及其他有害成分是一个重要而紧迫的问题，不仅关系到巩固和扩大国内外消费市场，为国家积累更多的资金和外汇，而且是更好地为消费者服务的根本问题。只有努力学习和掌握烟草化学的理论与技术，才能为加速我国烟草工农业科学技术的发展做出贡献。面对吸烟与健康问题的激烈讨论，烟草及其制品的特殊性使烟草行业成为一个与众不同的行业，它既要满足广大消费者的需求，又不能无限制地发展，随着人们生活水平的提高，广大消费者日益重视身体健康，对烟草制品提出了低毒、少害、安全等新的要求。传统的产品是无法满足这种要求的，要接受这一来自社会的挑战，烟草行业必须进行重大变革，作为指导烟草工农业生产的理论学科——烟草化学肩负着重要使命，应当顺应时代的潮流，接受社会的挑战，在理论发展的深度和广度方面不断踏上新的台阶。

思 考 题

1. 为什么说烟草及其制品的化学成分是其质量因素中的中心因素？
2. 简述烟草化学的形成和发展。
3. 烟草化学的研究内容有哪些？
4. 试述学习烟草化学的目的和意义。

第二章 烟草水分

烟叶水分又称烟叶含水率、烟叶含水量，水分是烟草及其制品的重要组成部分之一。烟叶水分影响烟叶力学性质和热学性质，它又是影响烟叶物理特性的因素之一。在工艺加工过程中要严格控制烟叶水分，因此它也是重要的工艺质量指标之一。

水分在烟草生产和加工过程中都起着重要作用。

烟草在生长发育过程中水分是体内化学作用的介质，也参与很多生物化学反应，是组织和细胞所需营养和代谢物在体内运输的载体。一部分水和构成原生质的很多其他物质的分子或离子相结合，水分的多少影响原生质体的存在状态。水分多时，原生质呈溶胶状态，生命活动旺盛；水分少时，原生质呈凝胶状态，生命活动缓慢。在烟草不同的生育时期，需要供应与之相适宜的水分，既能保证进行正常的新陈代谢活动，又有利于鲜烟叶质量的形成。

在烟叶初加工、卷烟制丝加工和烟叶及其制品贮存保管等一系列环节中，烟叶需要有不同的含水量与之相适应，才能达到加工的目的，保证加工质量。在加工过程中烟叶水分含量多少，不但直接影响其弹性、韧性、填充性和燃烧性等物理特性，而且直接影响其颜色、光泽、香气、吃味等外观和内在质量，同时也影响烟叶内部微弱的生物化学变化，如各种酶的活动、霉菌的繁殖、内含物质的分解转化等。在各个加工环节中，对烟叶水分都有严格的控制和要求。

因此，研究烟叶水分的来源、存在的形态、增减规律等，对于改进加工条件、提高加工质量，具有重要意义。

第一节 水的结构与性质

一、水的组成和结构

水分子是由两个氢原子和一个氧原子以单键结合成的非线性极性共价化合物。氢原子的电子结构是 $1s^1$ ，氧原子为 $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$ 。可以认为两个氢原子的 $1s$ 电子云与氧原子中两个 $2p$ 电子云交盖而成两个共价键，所以水分子的几何形状是三角形。本来 p 轨道是互相垂直的，故 $H-O-H$ 的键角应该是 90° ，可是由于 $O-H$ 键具有较强的极性，形成共价键的两对电子，与氧原子外层电子中两对未共用的孤对电子的相互排斥，使得此键角为 104.5° ，键长为 0.9572 埃。

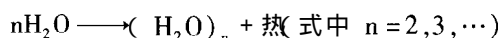
水的分子结构及其电子分布的意义是重大的。首先，从它的键角和键矩可以看出，水分子具有一个相当大的偶极矩 ($\mu = 1.84 \text{ D}$, $\text{D} = 10^{-18}$ 静电单位)；其次，氧原子中的两对

孤对电子所具有的负电荷，在其固定的方向上伸张，故使氧原子对正电荷具有吸引力，最多可以有两个单独的正电实体与此孤对电子结合起来。水分子的独特结构使得它具有独特的性质。

二、水的重要性质

纯水是无色、无味、无臭的透明液体，在一个大气压下水的凝固点是 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，沸点是 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。水的比热较一般液体高，为 $4.2\text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$ ($14.5\sim 15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)。一般物质的密度总是液相低于固相，水则例外。一般液体的密度总是随温度的升高而降低，但水的密度在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时有一个最大值。水凝固时体积膨大，冰的密度在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时只有 0.92 g/ml 。

水之所以特殊是因为水分子的缔合。液态的水并不是单分子存在，而是几个分子结合成较大的分子：



它们处于平衡状态。这种由单个分子结合而成为分子集团，且不引起化学性质改变的作用称为缔合。缔合是放热过程，因此，降温显然会使平衡向缔合的方向进行。在冰点时，水分子可全部结合在一起而形成一个巨大的缔合分子。冰的结构是一个很松散的结构，故冰的密度小，而且结冰时体积膨胀。温度升高，这些集团拆散的愈多，分子堆积的密度愈紧密，密度也就愈大。故在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，水的密度有一个最高值。由于破坏这种结构需要额外的能量，所以水的比热、凝固点、沸点和气化热等数值都比氧族其他氢化物要高得多。

进一步的研究证明，缔合的原因是由于分子间形成了氢键。氢键的形成是由于氢原子的特殊结构所引起的。因为氢只有一个 $1s$ 电子，在水分子中，它与电负性极强的氧原子中未成对的 $2p$ 电子形成极性很强的 $\text{O}-\text{H}$ 键后，电子云强烈地偏向氧的一边，于是氢原子变成了一个几乎没有电子云的、半径极小的、带正电的核（裸露的质子），因此有与负电荷靠近的趋势。水分子中的氧有两对孤对电子，故一个水分子中的氢能与另一个水分子中氧的孤对电子相吸引而形成氢键。可见两分子间形成氢键的条件：一是有一个与电负性很强的元素（如 F 、 O 、 N 等）以共价键结合的氢原子；二是有一个具有孤对电子且电负性很大的原子。 HF 、 H_2O 和 NH_3 等分子都符合上述条件，故都能自身相互形成氢键。另外，凡符合上述条件的不同分子间，如水、乙醇和氨等也可以产生氢键。

从键能上看，氢键只有 $8\sim 33\text{ kJ/mol}$ 左右，虽然比一般的化学键如共价键的键能 $210\sim 420\text{ kJ/mol}$ 要弱，但比一般的分子间力 $0\sim 2.52\text{ kJ/mol}$ 要强。所以通常把它看成是一种特殊的分子间力。

（一）水的沸点较高

在一个大气压下水 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时沸腾汽化，但在减压下，沸点则降低。这种性质可用于指导烟叶的回潮和干燥操作以及烟叶含水量的测定。常压干燥法的原理，就是将已知重量的待测烟草样品放在热气流中，干燥温度为 $(100\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，干燥 2 h 即可达到恒重，然后称重，计算与原始重量的差，以求出含水量，用百分数表示。减压干燥法或真空干燥法也是利用这种性质，排除水分快，需要温度低，大大减少氧化作用，能得到较准确的结果。

解重量分析法是常规干燥程序的最新改进方法，热解重量分析的装置是一个能自动测定和记录样品重量变化的热天平，加热过程中的重量变化是时间和温度的函数，仪器记录下的曲线称为热称重曲线，在测定过程中水从样品中不断地蒸发，仪器就不断地记录样品重量变化，直到恒重为止，整个过程是自动进行的。

（二）水的比热较大

水的比热之所以较大，是因为当温度升高时，除了水分子动能增大需要吸收热量外，同时缔合分子转化为简单分子还要吸收热量。由于水的比热大，使得水温不易随气温的变化而变化。这种性质对烟草加工过程中的加热、冷却、干燥具有很大的实用价值。烟草比热随着水分含量的变化而变化，其规律是烟草的比热—水分曲线都呈“S”形，说明烟草的比热在水分含量低时增加是缓慢的，到水分含量为 5% ~ 10% 时，烟草的比热则增加很快，到水分含量超过 10% 时，烟草的比热随着水分含量的增加而增加也是缓慢的。然而不论烟草的比热随水分含量的增加而增加的快慢如何，但总是随之增加而增加的，这说明水的比热较大在起作用。

（三）水的介电常数高

电容器极板间充满某种电介质时电容增大的倍数，就叫做这种电介质的介电常数。在 20℃ 时水的介电常数是 80.36 而大多数生物体的干物质包括烟草的介电常数为 2.2 ~ 4.0。在理论上，任何物质其含水量增加 1% 介电常数将增加近 0.8。测定烟草水分含量的介电容量法就是以此原理为依据的。

（四）水的溶解能力强

由于水的介电常数大，因此水溶解离子型化合物的能力较强；至于非离子极性化合物如糖类、醇类、醛类、酮类等有机物质亦均可与水形成氢键而溶于水中。即使不溶于水的物质，如脂肪和某些蛋白质，也能在适当的条件下分散在水中形成乳浊液或胶体溶液。

第二节 烟叶水分的存在形态

一、烟叶水分的来源

鲜烟叶的水分主要来自土壤和空气。干烟叶水分的来源包括两个方面：一是收获后的鲜烟叶经调制处理后残存在烟叶中的水分，以及生产加工过程中加入的水分（如分级时、发酵时、真空回潮时加入的水分）这些水分含量的多少与加工过程中的调整控制有关，直接关系到烟叶的加工质量；二是烟叶从空气中吸收的水分，这种水分的多少与空气的温湿度有关，直接关系到烟叶贮存和运输管理的安全性。

二、烟叶水分的存在形态

烟叶中的水分是以结合态和自由态两种形态存在的。结合水是指胶体颗粒或其他亲水性物质牢牢吸附着的水，不易自由移动，不易丧失，在零下温度不易结冰，也不能作溶剂。自由水是指能够在烟叶内自由移动的水，容易从烟叶中散失，在零下温度容易结冰，

能够作为溶剂。

鲜烟叶中的蛋白质、纤维素、果胶质等大分子物质均匀分散在水中，水中溶有简单糖类、有机酸、无机盐等形成胶体体系。在鲜烟叶中一般是大分子颗粒为分散相，水为分散介质，称为溶胶。在于烟叶中大分子颗粒形成网状，水分子分散在颗粒网中，称为凝胶。大分子物质形成胶粒，具有巨大的表面，可吸附许多物质。大分子物质表面带有电荷，水分子又具有极性，因而胶粒发生水合作用，与胶粒越近的水分子结合越紧越强，越远的越弱。与胶粒结合紧的水层称为束缚水或结合水，束缚水以外的水叫自由水。

当空气中的水蒸气和烟叶表面接触时，空气中水蒸气的压力大于烟叶表面上水蒸气的压力，由于吸附作用使部分水蒸气凝结在烟叶表面上。当烟叶表面水分饱和后，水分使胶体离子表面可溶性胶体部分溶解为溶剂层，而逐步向烟叶内部渗透。这种渗透作用只有当空气相对湿度较高时才可能发生。当烟叶和水直接接触时，渗透作用会大大加强。

烟叶的多孔体有无数毛细管，具有很大的内表面。当毛细管处于缺水状态时，就有力地使空气吸收水分，称为凝结水。很细的毛细管内形成弯月面，这种弯月面是由凝结水与毛细管壁的接触而引起的。在弯月面的凹形表面上，其饱和水蒸气压力比在平面水表面上的小，因此如果多孔体周围空气中水蒸气压力高于弯月面所需要的饱和水蒸气压力水平，则水蒸气在毛细管内凝结，在这种情况下，毛细管将为水分所充满。自由态的水存在于烟叶组织的细胞内和细胞间隙中。

水之所以能以各种形态存在于烟叶组织中，主要是由于水能被两种作用力即氢键结合力和毛细管力联系着。由氢键结合力联系着的水一般称为结合水（或束缚水），以毛细管力联系着的水称为自由水（或游离水）。但是结合水和自由水之间的界限很难定量地作截然区分，只能根据物理、化学性质作定性区分。

自由水是以毛细管凝聚状态存在于细胞内外的水分，可用简单加热的办法从烟叶中分离出来。这部分水与一般的水没有什么不同，在烟叶中会因蒸发而散失，也会因吸潮而增加，容易发生增减变化。

结合水是在烟叶中与蛋白质、纤维素、果胶质等成分通过氢键而结合着的。各种有机分子的不同极性基团与水形成氢键的牢固程度又有所不同。X射线衍射的研究表明，蛋白质多肽链中赖氨酸和精氨酸残基侧链上的氨基、天冬氨酸和谷氨酸残基侧链上的羧基、肽链两端的氨基和羧基，以及果胶质中的未酯化的羧基，无论是在晶体还是溶液里，都是呈电离或离子状态的基团（ $-\text{NH}_3^+$ 和 $-\text{COO}^-$ ）。由于这两种基团与水分子形成氢键，键能大，结合得牢固，且呈单分子层，故称为单分子层结合水。蛋白质中的酰胺基、淀粉、果胶质、纤维素等分子中的羟基，与水分子也能形成氢键，但键能小，不牢固，称为半结合水或多分子层结合水。

结合水和自由水在性质上有着很大差别，首先，结合水的量与烟叶中有机大分子的极性基团的数量有比较固定的比例关系。据测定，每 100 g 蛋白质可结合水分平均高达 50 g，每 100 g 淀粉的持水能力在 30 ~ 40 g 之间。其次，结合水的蒸气压比自由水低得多，所以在一般温度（100 ℃）下结合水不能从烟叶中分离出来。结合水沸点高于一般水，而冰点却低于一般水，甚至环境温度下降到零下 20 ℃ 时还不结冰。结合水不易结冰这个特点具有重要的实际意义，由于这种性质，烟草种子（其中几乎不含自由水）能在很低的

温度下，保持其生命力。

结合水对烟叶中可溶性成分不起溶剂作用。自由水能为微生物所利用，结合水则不能。因此，在一定条件下，烟叶是否为霉菌感染而霉烂变质，并不决定于烟叶中水分的总含量，而仅仅决定于烟叶中自由水的含量。

第三节 烟叶的吸湿性和平衡水分

一、烟叶的吸湿性

烟叶能依空气温湿度的变化从空气中吸收水分或向空气中散发水分，这种性能称为吸湿性。烟叶之所以具有吸湿性，是由于烟叶属于胶体毛细管多孔物质，其组织结构是具有毛细管的多孔体，而内含成分有胶体物质（如蛋白质、果胶质、纤维素等）和晶体物质（如水溶性糖类、有机酸、无机盐等）。

（一）表面吸附和扩散作用

空气中的水蒸气凝结在某种物体表面的现象，叫做吸附。一种物质自发地进入另一种物质之中，彼此相互掺和的作用，叫做扩散。空气中的水蒸气与烟叶表面接触，当空气中的水蒸气压力大于烟叶表面上的水蒸气压力时，因吸附作用使部分水蒸气凝结在烟叶表面上，这是烟叶吸湿的开始。如果烟叶表面上水蒸气压力大于空气中水蒸气压力，则烟叶表面上的水蒸气就会向空气中扩散，使烟叶的水分向空气中蒸发。水分扩散的速度与空气温度有关，温度越高，扩散也就越快。这是由于温度代表物质分子运动的平均速度，增高物质温度，也就是增加物质分子运动的速度。一方面提高温度，分子运动速度加快，空气中的水蒸气更容易和烟叶接触，同时也加快了水蒸气向烟叶表面的移动，这个过程称作外扩散；另一方面，由于烟叶表面温度升高，又加速了水蒸气或液体水由烟叶表面向内层移动，这个过程称作内扩散。

（二）毛细管的凝结作用

当烟叶周围空气的相对湿度越低，毛细管越细，水分就越要在毛细管内凝结，即空气相对湿度低于 100% 时，很细的毛细管也仍会发生凝结现象。在毛细管直径大到一定程度时，弯月面的凹度就很浅，其表面饱和水蒸气压力和在水平面上的压力差不多是一样的，这时管内不会发生水分凝结现象。

液体表面存在着表面张力，毛细管凝结水分的作用就是由表面张力所形成的。但是，液体表面张力是随着温度的升高而降低，因而，毛细管的内弯月面凹度也将随着温度的升高而变浅。因此，当液体表面上的饱和水蒸气压力增大时，毛细管的水分只有在空气的湿度很大时才会凝结。所以当烟叶周围空气相对湿度保持一定时，毛细管的水分数量将随温度的升高而减少。

（三）胶体的渗透作用

胶体的潮润是由于表面水分饱和而造成水分向物质结构内部渗透的结果。水分可使胶态离子表面可溶性胶体部分溶解为溶液层，通过不溶性胶质膜壁，渗透到里面的水溶性

胶体部分。只有当水分在内外可溶性部分形成浓度差时，渗透作用才能发生。而这种差异只有在空气相对湿度接近饱和，形成溶剂膜相当大时才会发生。烟叶由渗透而吸收水分，就是依靠水分通过烟叶的细胞壁而渗入的。在烟叶和水直接接触时，渗透作用就会大大增强，烟叶表面就会造成可溶性物质浓度更低的现象，这种现象就是引起烟叶水分增加的原因。

（四）晶体的潮解作用

在一定相对湿度的空气中，晶体物质和胶体物质二者对水分的吸收是不相同的。晶体物质与水接触时，将产生水化物。在具有一定相对湿度的空气里，晶体物质能够转变为饱和溶液，即晶体物质从空气中吸收水蒸气而溶化，若空气的相对湿度保持不变，则这种吸收一直进行到晶体完全变成溶液为止。晶体水化物能够从空气中吸收水蒸气并产生饱和溶液，这种现象只有当饱和溶液表面的饱和蒸气压力小于周围空气和晶体水化物表面水蒸气压力时才会发生，否则晶体水化物即被风化。若空气中水蒸气压力大于晶体水化物表面的水蒸气压力，但小于水化物的饱和溶液表面的水蒸气压力，那么无论如何，吸收水分和风化都不会发生。

随着温度的上升，晶体吸收水分是增加的，所以烟叶的平衡水分随着温度的升高而增加，这可以作为晶体吸收水分现象的一个特征。

综上所述，烟叶在不同的作用下吸收水分后，由于水分和物质的结合有着各种不同的形式，其性质也不一样。水化物中的水和通过渗透结合的水都是和物质紧密结合在一起的，在一般情况下，是很难除掉的，这部分水就是结合水。毛细管凝结水很难被物质牢固保持，常呈游离状态，易于排除，这部分水就是自由水，由于水分和物质结合形式不同，不同形式所吸收和保持的水数量也有各种不同的比例关系。这些不同的比例关系，是由烟叶的组织结构及化学成分的差异造成的，它直接影响着烟叶的吸湿性。

二、烟叶的平衡水分

烟叶的吸湿性，使它在任一空气温湿度条件下含水量相应地保持在一定的水平上。这种含水量与周围空气温湿度保持着一定的平衡关系，即烟叶表面上水蒸气压力与周围空气中水蒸气分压力相平衡，因此称为平衡水分。

当空气温湿度改变时，原有的平衡关系被破坏，烟叶水分也随之发生变化，直到烟叶水分与空气温湿度建立起新的平衡，即达到新的平衡水分为止。烟叶水分的变动可能是吸收水分，也可能是散发水分，这完全依烟叶的实际水分与当时空气温湿度下应有的平衡水分而变化。当实际水分低于平衡水分，便从空气中吸收水分；反之，便向空气中散发水分。当实际水分等于平衡水分时，则既不吸收水分，也不散发水分。必须了解，事实上在烟叶从空气中吸收水分的同时，也在向空气中散发水分；在向空气中散发水分的同时，也从空气中吸收水分。只不过吸收水分时，吸收速度大于散发速度；散发水分时，散发速度大于吸收速度而已。达到平衡时，从空气中吸收水分的速度恰好等于向空气中散发水分的速度，因此表现为烟叶含水量的相对稳定，这种平衡是动态的平衡。