

烟草燃烧性研究综述

孟黎明, 王维超, 姚云鹏, 杨永彬, 蔡宝才, 王正浩*

(许昌市烟草公司禹州分公司, 河南许昌 461670)

摘要 介绍了烟草燃烧性概念, 综述了烟草燃烧性的测定方法、烟草燃烧性与烟叶品质的关系、影响烟草燃烧性的因素, 并对烟草燃烧性改善进行了展望。

关键词 烟草; 燃烧性; 烟叶品质; 测定方法

中图分类号 TS41 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)11-0018-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.11.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

A Review of Tobacco Flammability Research

MENG Li-ming, WANG Wei-chao, YAO Yun-peng et al (Xuchang Tobacco Company Yuzhou Branch, Xuchang, Henan 461670)

Abstract The concept of tobacco combustion was introduced, the measurement methods of tobacco combustion, the relationship between tobacco combustion and tobacco quality, the factors affecting the combustion of tobacco were reviewed, and the improvement of tobacco combustion was proposed.

Key words Tobacco; Flammability; Quality of tobacco; Determination method

烟叶燃烧性不仅是烟叶物理特性的一项指标, 而且是烟叶感官质量的一项重要指标, 其燃烧性的好坏直接关系着烟叶的可用性和安全性, 一般来讲, 结构疏松、有机物质丰富、有机钾含量高的烟叶燃烧性较好, 能够减少卷烟抽吸口数, 从而减少焦油产生量, 提高安全性; 燃烧性不好的烟叶, 燃烧不充分, 灰分灰色或黑色, 能够较多的产生 CO、焦油等有害物质的含量。笔者在前人研究的基础上对烟草燃烧性研究进行了综述。

1 烟草燃烧性的概念及内容

1.1 烟叶的燃烧性 烟叶的燃烧性是指烟叶点燃后的燃烧程度, 它对烟气质量有显著影响。衡量烟叶的燃烧性包括阴燃性和烟灰颜色 2 个方面, 其中阴燃性又包括阴燃持火力、燃烧速度、燃烧完全性和燃烧均匀性 4 个方面。

1.1.1 阴燃持火力。阴燃持火力是指烟叶点燃无火焰后持续保持阴燃的能力, 也就是无焰燃烧的能力。一般要求烟叶的阴燃持火力不少于 2 s, 否则为熄火烟。熄火烟燃烧不完全, 香气和吃味差, 焦油量高。

1.1.2 燃烧速度。燃烧速度是指单位时间内烟叶或卷烟燃去的烟叶量或长度。燃烧速度缓慢为好, 燃烧过快, 会使吸烟者口腔灼热不适。

1.1.3 燃烧完全性。燃烧完全性是指烟叶内所含物质燃烧的充分程度。烟叶燃烧后所剩下的残渣称为灰分, 灰分的特性与烟叶燃烧的完全程度有直接地关系。充分燃烧的烟叶, 燃烧后的灰分呈白色或浅灰色, 而且黏结性好。燃烧不充分, 烟灰会变黑而且夹杂有杂色斑点。

1.1.4 燃烧均匀性。燃烧均匀性是指烟叶及卷烟在燃烧时各部分保持均匀燃烧速度的程度。一般燃烧不均匀者, 阴燃持火力差。

1.1.5 灰色和凝聚性。灰色和凝聚性是指烟叶或其制品燃烧后的颜色和凝聚能力。灰分颜色在很大程度上反映焦油量的高低和内在质量的优劣。灰色以洁白为最好, 浅灰色次之, 黑色最差。此外, 还要求烟灰有较好的黏结性。

1.2 卷烟制品的燃烧性 成支状态下的烟支燃烧是卷烟纸和烟丝的协同持续阴燃, 因而, 烟丝的燃烧状况还受卷烟纸燃烧性的较大影响, 如果卷烟纸的燃烧性较差, 将会由于供氧量的减少而造成烟丝燃烧性变差并最终导致烟支熄火^[1]。

2 烟草燃烧性的测定方法

2.1 烟叶阴燃时间的测定方法

2.1.1 试验材料。每个样品选取 10~20 片, 每片烟叶按叶尖、叶中、叶基 3 个部位对称地从叶脉两侧取样, 每片烟叶取 6 块, 每块大小约 2×3 cm²。样品在温度 22±2 ℃、相对湿度 60%±5% 的恒温恒湿条件下平衡 7 d, 所有样品烟叶平衡含水率在 11%~15% 范围内。

2.1.2 试验工具。以调温电炉作为点火器, 将电炉丝的其中一段弯成凸型, 并使烟片在点火时所接触的面积 0.5×1.0 cm²。精度为 1/1 000 的秒表。

2.1.3 试验方法。接通电炉电源, 调节温度在 540 ℃左右, 待凸型部分的电炉丝发亮稳定后, 用镊子夹着待测烟片放在电炉丝上, 等待数秒后, 烟叶被点燃, 移开电炉丝, 并立即摁下秒表, 开始计时。注意观察烟片阴燃情况, 待最后一个火点熄灭时, 再次摁下秒表, 并记录阴燃时间, 取最后平均值即为样品的阴燃时间^[3]。

2.2 卷烟燃烧速率的测定方法

2.2.1 基于机器视觉的卷烟阴燃速率测试的方法。首先把被测试卷烟样品水平放在测试的卷烟夹持装置上, 点燃卷烟, 工业相机及采集卷烟的图像进行处理, 识别卷烟的位置, 每隔 5 s 进行一次图像采集, 按照一定的算法进行卷烟燃烧线的跟踪和判断卷烟是否熄灭, 最终记录卷烟阴燃长度、阴燃时间, 计算出卷烟阴燃速率^[4]。

2.2.2 基于红外测温的测定卷烟阴燃速率的方法。不断地

作者简介 孟黎明(1987—), 男, 河南商丘人, 助理农艺师, 硕士, 从事烟草栽培与质量评价研究。*通信作者, 助理农艺师, 硕士, 从事烟草病虫害防治研究。

收稿日期 2018-06-12; **修回日期** 2019-02-18

向周围空间发出红外辐射能量的物体一定都是高于绝对零度的物体,红外测温原理是将物体发射的红外线辐射能转化为电信号,红外线辐射能的大小与物体本身的温度呈正相关,根据转变成电信号的大小,可以确定物体的温度^[5]。燃烧区域是卷烟表面温度最高的位置,通过步进电机带动红外温度传感器移动,配有合适的算法控制电机的运动轨迹,可以实现跟踪卷烟的燃烧线及判断卷烟的燃烧状态^[6]。

2.2.3 YSZ-II 卷烟自由燃烧速度测定仪测定。按 GB/T 16447 对样品进行调节,并在相应的环境条件下进行测试。按 YC/T 28.4~5 分别对烟支进行称量和吸阻分选。采用间接法^[7-8]测定各单料烟样品的自由燃烧速度。取 20 支样品烟,分成两组,每组各 10 支,调节 2 根棉线之间的距离为 40 mm,插上烟支并点燃,测量每支卷烟自由燃烧至一定长度所需的时间,并依照下式计算出烟支的自由燃烧速度:

$$\text{自由燃烧速度} = \text{烟支燃去长度} / \text{所需时间}$$

3 烟叶燃烧性与烟叶品质的关系

一般情况下燃烧性好的烟叶或烟支其外观质量和内在质量也比较好;反之亦然。而且烟叶燃烧性的好坏直接影响到烟气中烟碱、总粒相物和总挥发性酚含量的多少,进而影响了烟叶的安全性。燃烧性较好的烟叶一般也表现出成熟度好、组织结构疏松、厚薄适中、油份足、色泽鲜亮、香吃味良好、风格突出等特点,虽然燃烧性作为烟叶的一个物理特性,但同时是烟叶感官质量评价的一个重要指标,它很大程度上影响了烟叶的品质。

3.1 烟叶燃烧性与外观质量的关系 烟叶的外观质量主要包括成熟度、色泽、油分、组织结构、身份等,赵瑞蕊^[9]通过对外观成熟度得分与感官质量评价得分的灰色关联分析的研究表明,成熟度对烟叶燃烧性的影响与刺激性相对较小,不同成熟度档次间表现出的差异较显著,但“成熟”“成熟+”和“成熟-”档次间差异不显著。而蔡宪杰等^[10-11]研究表明烤烟上、中、下 3 个部位的烟叶中:成熟度与燃烧性呈极显著正相关,可能是因为成熟度高的烟叶发育充分,细胞呈疏松状,细胞间隙增大,内含物质丰富,比例协调等。可能是因为成熟度好的烟叶,叶片组织结构疏松程度增加。闫洪洋等^[12]对河南烤烟的感官质量与外观质量进行了简单相关关系分析,表明外观质量指标中的颜色、油分、色度、身份、组织结构与燃烧性均存在极显著正相关关系;而胡战军等^[13]研究了燃烧性与外观质量之间的关系,表明与燃烧性呈显著正相关的是成熟度、身份、油分、色度指标,呈极显著正相关是颜色、组织结构指标,而且同部位橘黄烟叶的自由燃烧时间一般明显长于柠檬黄烟叶,自由燃烧速度都比柠檬黄的慢;上部位红棕烟叶的自由燃烧时间比柠檬黄的长,比桔黄的短,自由燃烧速度比柠檬黄的慢,比桔黄的快。影响烟叶燃烧性的重要因素也包括身份,身份过厚可能会造成烟叶燃烧受阻,一般来讲,烟叶身份分为厚、稍厚、中等、稍薄、薄 5 个等次,自由燃烧速度随着烟叶的厚度增加而减慢^[14]。据李章海等^[15]研究表明,烟叶的油分与燃烧性有密切的关系,烟叶油分足,可以有助于烟叶的燃烧,即随着烟叶油分的增加,烟叶的燃

烧性会得到改善。

3.2 烟叶燃烧性与物理特性的关系 物理特性可以分为烟叶的外部形态和物理性能,包括烟叶的叶长、叶宽、单叶重、含梗率、填充值、抗张强度和叶质重等,时向东等^[16]研究表明,烟叶的开片度较好时,单叶重轻、厚度小、叶质重小,不仅可以使烟气中的杂气、刺激性降低,而且能使香气质量和烟叶燃烧性得到提高;而任胜超等^[17]研究表明燃烧性随着叶质重的增加总体上呈现先增加后下降的趋势,并且燃烧性得分达最大值时叶质重处于 70.00~75.00 g/m²;王育军等^[18]对烤烟物理特性与评吸质量进行了研究,表明烤烟叶质重、填充值、平衡含水率与烤烟评吸质量关系最为密切,主要影响烤烟的刺激性、燃烧性、余味和灰色。有研究认为烤烟抗破碎性与燃烧性呈正相关关系,抗破碎指数较高的烟叶燃烧性也较好^[19]。

3.3 烟叶燃烧性与化学成分的关系 烟叶的燃烧性是烟叶中的多种化学成分在高温下相互作用的结果,不过烟叶中的化学成分种类较多,但主要的化学成分对燃烧性的影响前人研究的较多,葛巍巍等^[20]研究表明,烟叶的着火温度跟总糖含量呈正相关的关系,即随着总糖含量的提高,着火温度也会有所提高,总植物碱、总氮含量对燃烧性的影响较小,而烟叶钾氯比越高,烟叶的燃烧性明显越好,烟草中的淀粉、纤维素、果胶等碳水化合物是烟叶的重要组成部分,约占烟叶总质量的 20%~40%,它们对烟叶的燃烧性也有一定的影响。李洪勋等^[21]对贵州主产烟区的烟叶化学成分与感官质量关系的研究表明,还原糖、总糖含量以及两糖差值与燃烧性均呈极显著的正相关,而蛋白质、总氮含量则与燃烧性呈极显著的负相关。

常爱霞等^[22]研究表明烟叶中总钾含量提高,烟叶杂气较轻,燃烧性提高,烟灰颜色较白,整体感官质量变好,而氯含量过高时,燃烧性降低、灰色变差,无机硫与燃烧性也呈显著负相关,糖碱比和氮碱比较高时,燃烧性较好,两糖比与燃烧性相关性不显著。胡皓月^[23]对烟草中的挥发酸、挥发碱与感官质量之间的关系进行了研究发现,随着挥发酸含量的增加,烟叶燃烧性的分值显著的提升,尤其是以高挥发酸类群烟叶的得分最高,此外,挥发酸与燃烧性的回归方程也达到了显著水平;在不同挥发碱含量类群间烟叶燃烧性的差异均达到了极显著水平,随着挥发碱含量的增加,燃烧性的分值明显降低,其回归方程也达到了显著水平。Weeks^[24]研究表明初烤后烟叶中残留的淀粉会对燃烧速度和燃烧完全性有着不良的影响,同时在燃吸时这些淀粉会产生焦糊气味,对烟气产生不良影响,这与王聪等^[25]、王东胜^[26]、张强等^[27]研究结果一致。

3.4 烟叶燃烧性与感官质量的关系 烟叶的感官质量是指烟叶燃烧时,吸烟者对香气、吃味的综合感受,包括香气、吃味、劲头、刺激性、余味等,闫克玉等^[28]研究了河南烤烟(40 级)烟叶样品主要理化指标与评吸质量的关系,认为:与单料烟支的阴燃时间呈显著正相关的是烟叶的香气质、香气量、浓度、杂气,且单料烟的阴燃时间越长,越有利于烟叶余味的

产生,同时可以减小烟支刺激性,从烟叶整体的内在品质来看,影响烟叶内在品质的重要因素与单料烟的阴燃时间有关。同时,李向阳等^[29]发现,如果烟支点燃出现熄火,烟叶一般表现为香气质差、香气量少、杂气重、浓度很淡、劲头小、刺激性大、余味不干净、口感不舒适、烟灰为灰黑色;烟叶燃烧性的提高,可以明显改善烟叶评吸质量,使烟叶香气质、量提高,杂气减少,吃味醇和、浓度增大,劲头增强,刺激性减弱,余味干净舒适,烟灰逐渐转为白色。

3.5 烟叶燃烧性与安全性 目前认为对吸烟产生危害的原因主要有两方面,一方面是化学农药残留,另一方面是卷烟烟气中的有害物质,而燃烧性对卷烟烟气成分影响较大。刘华山等^[30]研究指出,显著提高烟叶中的钾含量得益于烟株在打顶后喷施降碱增钾制剂,提高烟叶燃烧性,进而降低烟气中的焦油含量;同时,于建军等^[31]通过对静燃速率与焦油量关系的研究得出,静燃速率对烟气中焦油量影响最大,两者之间的表现出极显著负相关关系,静燃速率还会影响人们的抽吸口数,进而影响焦油量。张国等^[32]对烤烟评吸质量与烟气成分的关系进行了研究,认为燃烧性分别与烟气中总粒相物、烟碱和水分、焦油量呈极显著和显著负相关,即认为随着燃烧性的改善,烟气中有害物质会相应的减少。

4 影响烟草燃烧性的因素

影响烟叶和烟支燃烧性的因素非常多,主要包括烟叶水分含量、叶片的组织结构、各种有机化学成分和矿物质元素的含量及其比例关系等。

4.1 烟叶水分含量 有研究认为^[33],烟草的燃烧性随着烟草含水量的增加而降低,烟草水分在12%~14%时,最适合供应吸烟者评吸。张宏宇等^[34]对烟丝含水率对其燃烧性的影响研究指出,平衡湿度与烟丝含水率、平均燃烧速度间均呈现显著正相关,烟丝的燃烧特性指数随着平衡湿度的增加而减小,即含水率过高降低了烟丝的燃烧性,含水率低有利于增加烟丝的燃烧性,但含水率过低会使烟丝燃烧速度过快,影响烟丝的评吸质量。

4.2 烟叶的组织结构 组织是指烟叶细胞的排列状况,外观表现为粗糙、疏松或紧密。通常优质的烟叶要求叶片组织结构疏松,厚薄适中,这样的烟叶持火力强;相反,重而紧实的烟叶持火力较差,可能是因为组织结构疏松的烟叶自然孔隙多且大,透气性好,因此空气的有效供应量较充足,烟叶接触氧气的机增多,燃烧更加充分。烟叶自由燃烧时间短,速度快,表明烟叶组织结构疏松,自由燃烧时间长,速度慢表明烟叶处于尚疏松和稍密的状态;烟叶身份对自由燃烧时间和速度的影响十分明显,呈现一定的规律性,表现为自由燃烧时间是稍厚>中等>稍薄>薄,自由燃烧速度是薄>稍薄>中等>稍厚^[14]。目前在卷烟工艺上广泛运用的烟丝膨胀技术就是改变烟丝的组织结构,使烟叶内部空隙增加,接近未调制之前的状态,提高其工业可用性。

4.3 烟叶的有机成分含量及其比例 烟草中的有机物质种类繁多,主要包括水溶性糖、蛋白质、淀粉、纤维素、果胶质、木质素、水溶性的有机酸的钠盐和钾盐以及低分子的氮素物

质等。它们均具有燃烧性,但是有些有机物质有利于改善烟叶的燃烧性,有些物质阻碍烟叶的燃烧性,有些则无影响。有研究表明与烟叶燃烧性无明显相关性的有总糖、还原糖;呈显著的负相关的有烟碱、总氮,说明烟碱、总氮含量增加时,烟叶的燃烧性、灰色变差;糖碱比、氮碱比与燃烧性呈显著正相关,即糖碱比和氮碱比较高时,燃烧性较好,灰色较白;两糖比与燃烧性、灰色相关性不显著^[22]。

4.4 矿质元素及其比例 钾是烟草的品质元素,钾元素对烟叶质量有重要的影响,主要影响烟叶的燃烧性和吸湿性上,它可以明显改善叶片的身份和颜色,许自成等^[35]通过对烟叶中钾含量与感官质量进行回归分析,发现烟叶燃烧性在一定范围内随着烤烟烟叶钾含量的提高而得到改善,当烤烟中钾含量超过20 g/kg时,其燃烧性分值可稳定在最高水平,经 F 测验,二者的回归方程达到了0.01极显著水平。窦玉青等^[36]对北方烟区钾氯含量与燃烧性的关系进行了分析,表明与北方烟区烟叶燃烧性呈现很高的相关性的有氧化钾、氯及钾氯比,其中,与烟叶燃烧性正相关的是烟叶氧化钾和钾氯比,与烟叶燃烧性负相关的是烟叶氯含量,同时,以钾含量、氯含量、钾氯比为自变量,以烟支线性燃烧速率和质量燃烧速率为因变量,进行逐步回归分析和通径分析研究表明,烟叶中氯含量对燃烧性起着决定性作用,且是负作用;而氧化钾含量是第二位的影响因素,起正作用。烟草中钾含量一般在2%左右^[37],当烟叶氯含量高于1.0%^[38]时,烟叶会表现出吸湿性强、燃烧性差、易熄火、杂气重、利用价值极低;当烟叶氯含量低于0.3%时,叶片枯燥、油分少、弹性差、成丝率低、香吃味变劣,烟叶中氯含量在0.3%~0.8%, $K+/Cl^->4$ 比较理想^[39];冉法芬等^[40]研究发现,钾氯比<4时,钾氯比与灰色、燃烧性、总分和余味的简单相关系数均为正相关,且均达到极显著水平,相关系数大小为灰色>燃烧性>总分>余味,说明,随着钾氯比的增加,烟叶燃烧性会得到明显提高。

烟草虽然是公认的“忌氯”作物,但氯也是烟草生长的重要的必需营养元素之一。烤烟作为一种忌氯作物,要向增加烟叶的弹性和油润性,降低烟叶破碎率,提高烟叶的内、外品质,适当的氯很有必要^[41-43]。邓小华等^[44]对烟叶中氯含量与烟叶燃烧性和灰色的关系进行了研究发现,从燃烧性上看,氯含量偏高时,燃烧性分值低于全部样本的平均值,燃烧性分值以氯含量适宜时最高;从灰色来看,氯含量偏高时,灰色分值低于全部样本的平均值,灰色分值以氯含量偏低时最高。而许自成等^[45]对烤烟氯含量与感官质量的关系做了研究,发现烤烟氯含量低于0.7%,随着氯含量的增加,烟叶的燃烧性分值变化不明显,燃烧性处于较好状态,但当氯含量高于0.7%时,燃烧性分值急剧下降,燃烧性变差,超过1.0%时降至最低,烟叶燃烧性变得很差,且氯含量在0.3%~0.5%时,灰分分值最高。

硫元素作为植物的必需营养元素之一,是许多植物蛋白质、酶和生理活性物质的重要组成元素,而且硫与烟叶的燃烧性密切相关,邓小华等^[46]对烤烟燃烧性与烟叶硫含量的量化关系进行了研究,表明烤烟燃烧性分值会随着烟叶硫含

量的增加而降低,烟叶燃烧性变差。可能是因为硫是构成蛋白质不可缺少的元素,同样几乎所有的烟草蛋白质都含有硫,随着烟草吸硫量的增加,大量 SO_4^{2-} 运输到叶片中,被还原形成含硫化物^[47],另外,叶片中的硫酸根的过量积累使钾与有机酸的结合的机会减少,导致有机钾的含量降低甚至出现负值,而草酸钾、柠檬酸钾等有机酸钾与卷烟的燃烧性和焦油产生量关系密切^[48]。烟草中的硫含量一般为 0.2%~0.7%^[49],同时,温玉转^[50]通过硫肥试验对燃烧性的影响研究表明随着硫用量的增加,阴燃时间逐渐缩短,燃烧性逐渐变差。可见硫元素对烟叶的燃烧其阻碍作用,但是硫含量的过少就会使烟株生长发生异常,所以应尽量使烟叶硫含量达到适宜水平^[51]。

5 展望

烟支燃烧性的好坏直接关系到烟气的成分和焦油量的大小,因此,在提高烟草燃烧性方面应继续加大投入,对烟叶原材料的燃烧性进行改善。一般说来,大田生产中对烟叶燃烧性的改善主要从提高烟叶中钾元素着手,最直接的办法就是增加钾肥的施用量,然而,由于土壤大环境的限制,随着钾肥施用量的增加,烟叶中的钾并没有随之增加,有研究表明,烟叶的燃烧性与有机钾指数呈正相关,而有机钾指数又与硫、氯呈负相关,可以采取降低硫、氯的含量,以增加有机钾指数,进而提高烟叶的燃烧性。

参考文献

[1] 于建军. 卷烟工艺学[M]. 北京:中国农业出版社,2012:18-19.
[2] 韩富根. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社,2010:265-266,270-272.
[3] 闫克玉,李兴波,谢华. 河南烤烟(40级)各等级烟叶阴燃时间测定报告[J]. 烟草科技,1994(2):12-14.
[4] 高震宇,冯茜,刘勇,等. 基于机器视觉的卷烟阴燃速率测试系统设计[J]. 传感器与微系统,2013,32(3):134-137.
[5] 张建奇,方小平. 红外物理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
[6] 赵继俊,张龙,高震宇,等. 卷烟阴燃速率测试系统的设计[J]. 数字技术与应用,2013(6):169-172.
[7] 江振声. 烟草质检手册[M]. 北京:科学出版社,1998:143-156.
[8] 王瑞新,韩富根,杨素勤,等. 烟草化学品质分析法[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1990.
[9] 赵瑞蕊. 曲靖烟区生态因素对烤烟成熟度的影响及成熟度与品质的关系[D]. 郑州:河南农业大学,2012.
[10] 蔡宪杰,尹启生,王信民,等. 成熟度与烟叶质量的定量相关关系及提高成熟度的几点建议[C]//中国烟草学会 2004 年学术年会论文集. 北京:中国烟草学会,2004.
[11] 蔡宪杰,王信民,尹启生. 成熟度与烟叶质量的量化关系研究[J]. 中国烟草学报,2005,11(4):42-46.
[12] 闫洪洋,闫洪喜,吉松毅,等. 河南烤烟外观质量与感官质量的相关性[J]. 烟草科技,2012(7):17-23.
[13] 胡战军,马林,程昌新,等. 烤烟外观质量与感官评吸指标间的关系分析[J]. 云南农业大学学报,2011,26(6):809-814.
[14] 闫克玉,李兴波,张勇,等. 河南烤烟(40级)自由燃烧速度研究[J]. 郑州轻工业学院学报,1995,10(3):73-78.
[15] 李章海,刘登乾,韩忠明,等. 烤烟油分与烟叶理化特性关系的初步研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(3):1088-1089,1105.
[16] 时向东,张晓娟,王卫武,等. 栽培密度对雪茄外包皮烟叶片化学成分和物理特性的影响[J]. 中国烟草学报,2005,11(2):40-42.
[17] 任胜超,闫新甫,陈越立,等. 曲靖烤烟叶质重与主要化学成分及感官质量的关系分析[J]. 南方农业学报,2014,45(7):1258-1263.
[18] 王育军,邵建平,赵杰,等. 曲靖烟叶质量评价指标间的相关性分析

[J]. 作物研究,2014,28(5):496-500,505.
[19] 烟叶吸湿性、填充值、抗碎性、燃烧性与水分含量[J]. 上海烟业,1989(1):89-90.
[20] 葛巍巍,张宏宇,顾坚. 烟叶化学成分与燃烧特性的相关性[J]. 消防科学与技术,2012,31(10):1032-1035.
[21] 李洪勋,潘文杰,李建伟,等. 烤烟内在化学成分含量与感官评吸指标的关系分析[J]. 湖北农业科学,2014,52(8):1836-1841.
[22] 常爱霞,杜咏梅,付秋娟,等. 烤烟主要化学成分与感官质量的相关性分析[J]. 中国烟草科学,2009,30(6):9-12.
[23] 胡皓月. 烤烟挥发酸、挥发碱含量分布特点及与品质指标的关系[D]. 郑州:河南农业大学,2011:26-31.
[24] WEEKS W W. Chemistry of tobacco constituents influencing flavor and aroma[J]. Rec Adv Tob Sci,1985,11:175-200.
[25] 王聪,于建军,叶协锋,等. 四川凉山烟叶淀粉含量与品质的关系[J]. 江苏农业科学,2012,40(10):270-272.
[26] 王东胜. 烟草栽培学[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2002.
[27] 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(1):75-79.
[28] 闫克玉,王建民,屈剑波,等. 河南烤烟评吸质量与主要理化指标的相关分析[J]. 烟草科技,2001(10):5-9.
[29] 李向阳,邓云龙,邓建华,等. 普洱市烤烟评吸质量特性及其区域差异研究[J]. 中国农学通报,2010,26(11):86-91.
[30] 刘华山,韩锦峰,曾涛,等. 烤烟喷施降碱增钾制剂的生理效应及对品质的影响[J]. 华北农学报,2005,20(3):46-49.
[31] 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(3):5-8.
[32] 张国,朱列书,李小忠,等. 湖南烤烟评吸质量与化学成分、烟气成分关系的研究[J]. 中国农学通报,2006,22(2):94-97.
[33] 徐亚中. 决定烟叶燃烧性的因素和物质[J]. 烟草科技,1987(2):37-40.
[34] 张宏宇,刘春波,申钦鹏,等. 烟丝含水率对其燃烧性的影响研究[J]. 分析测试学报,2014,33(11):1279-1284.
[35] 许自成,郑聪,李丹丹,等. 烤烟钾含量与主要挥发性香气物质及感官质量的关系分析[J]. 河南农业大学学报,2009,43(4):354-358.
[36] 窦玉青,汤朝起,王平,等. 北方烤烟钾氯含量及其与吸食品质的关系研究[J]. 中国农学通报,2010,26(17):86-92.
[37] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:149-158.
[38] 许自成,黎妍妍,肖汉乾,等. 湖南烟区土壤交换性钙、镁含量及对烤烟品质的影响[J]. 生态学报,2007,27(11):4425-4433.
[39] 霍沁建,石孝均,关博谦. 重庆植烟土壤氯素含量[J]. 西南农业大学学报(自然科学版),2004,26(4):494-497.
[40] 冉法芬,许自成,李东亮,等. 我国主产烟区烤烟钾、氯、钾氯比与评吸质量的关系分析[J]. 西南农业学报,2010,23(4):1147-1150.
[41] 张翔,范艺宽,黄元炯,等. 烤烟吸收氯的主要来源及其在体内分布的研究[J]. 土壤肥料,2006(2):62-64.
[42] 温明霞,易时来,李学平,等. 烤烟中氯与其他主要营养元素的关系[J]. 中国农学通报,2004,20(5):62-64,67.
[43] 吕春伟. 云南烤烟 40 级钾氯元素含量及规律研究[J]. 安徽烟草科技,1999(4):12-18.
[44] 邓小华,周冀衡,陈冬林,等. 湖南烤烟氯含量状况及其对评吸质量的影响[J]. 烟草科技,2008(2):8-12,16.
[45] 许自成,李丹丹,毕庆文,等. 烤烟氯含量与挥发性香气物质及感官质量的关系研究[J]. 中国烟草学报,2008,14(5):27-32.
[46] 邓小华,周冀衡,赵松义,等. 湖南烤烟硫含量的区域特征及其对烟叶评吸质量的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(12):2853-2859.
[47] 张龚,曾光明,蒋益民,等. 湖南省酸雨变化特征、现状及成因分析[J]. 环境科学研究,2003,16(5):14-17.
[48] 刘勤,曹志洪. 烟草硫素营养与烟叶品质研究进展[J]. 土壤,1998(6):320-323,327.
[49] TSO T C. Production, physiology, and biochemistry of tobacco plant[M]. Beltsville: Maryland IDEALS, Inc. 1990.
[50] 温玉转. 施钾和施硫水平对香料烟燃烧性及品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2011:34-35.
[51] 曹志洪. 优质烤烟生产的钾素与微肥[M]. 北京:中国农业出版社,1995:36-46.