

烤烟烘烤环境条件对烟叶品质影响研究进展

李富强¹, 宋朝鹏¹, 宫长荣¹, 陈江华², 陈红华¹

1 河南农业大学农学院, 郑州市文化路95号 450002;

2 中国烟草公司, 北京 100055

摘要: 烘烤环境的动态变化与烟叶的生理生化变化直接相关, 影响甚至决定着烤后烟叶的质量。系统地介绍了温湿度、酶、微生物、微波、气体组分和烤房设备等烘烤环境因子在烤烟烘烤过程中的效应, 并对以后烘烤环境因子的研究方向作了探讨。

关键词: 烤烟; 烘烤; 环境因子; 气体组分

中图分类号: TS441

文献标识码: A

文章编号: 1004-5708(2007)04-0072-05

Research advances in improving flue-cured tobacco quality by changing curing conditions

LI Fu-qiang¹, SONG Chao-peng¹, GONG Chang-rong¹, CHEN Jiang-hua², CHEN Hong-hua¹

1 School of Agronomy, Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002, China;

2 China National Tobacco Corporation, Beijing 100055, China

Abstract: The dynamics of curing environment relate strongly with physiological and biochemical changes in tobacco leaves. They may influenced or even decide quality of flue-cured tobacco leaves. The effects of temperature and humidity, enzyme, microbes, microwave on flue-cured tobacco leaves during curing process was discussed and future research focus were also discussed.

Key words: flue-cured tobacco; flue-curing; environmental factor; gas phase compositions

烟叶烘烤是环境温湿度、气体组分、酶、微生物及烟叶内在组分共同作用的复杂的生理生化反应过程。目的是获得内在化学成分协调的烟叶。烟叶内部所发生的反应均受烘烤环境条件的影响和制约, 人们可以根据烟叶的内在质量调控这些环境条件, 进而提高烘烤品质。近年来, 关于烘烤过程中环境条件对烤烟内在物质的代谢转化研究获得了一定的进展。

1 环境因子在烤烟烘烤过程中的效应

1.1 温湿度

温湿度是烘烤环境的最重要因子, 烟叶中的一切生理生化活动都是以水为介质进行的, 烤房内的温湿度对烟叶水分和温度的影响直接决定着叶组织细胞内

生化变化的速度和方向, 最终影响烟叶的烘烤质量。

1.1.1 对酶类的影响

烘烤过程中温湿度的高低在很大程度上决定了烟叶内部各种酶活性的变化。

淀粉酶在烘烤的不同阶段活性有差异^[1-3]。在变黄阶段, 淀粉酶在环境温度 38℃ 以下时活性相对较低, α -淀粉酶和总淀粉酶的活性在环境温度 38℃ ~ 45℃ 之间随温度升高而增强, 45℃ 以后 2 种酶活性都开始降低并于烘烤后期又升高。 α -淀粉酶可耐 70℃ 高温, 则 β -淀粉酶不耐高温。环境湿度对烟叶淀粉酶活性关系: 在烘烤前期, 随着烘烤的进行和环境相对湿度的逐渐降低, 烟叶内淀粉酶活性上升, 在 0 h ~ 36 h, 由于温度的升高和环境湿度的降低, 淀粉酶活性迅速升高并达到一高峰, 随后活性降低, 在 72 h 又开始升高, 在烟叶水分含量和环境湿度较低时淀粉酶仍保持较高的活性, 当相对湿度低于 75% 时淀粉酶活性开始降低, 到 70% 左右时淀粉降解基本停止。这与邱妙文等^[4]、王怀珠等^[5]、王松峰等^[6]的研究结果基本相同。而龚顺禹等^[7]研究报道: 烘烤结束时淀粉酶活性

作者简介: 李富强, 男, 在读硕士, 主要从事烟草栽培生理生化研究。

E-mail: lifuqiang101@126.com

宫长荣 (通讯作者), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草调制与加工研究。

基金项目: 国家烟草专卖局基金项目“烤烟适度规模种植配套烘烤设备研究与推广应用”(110200302007)

收稿日期: 2007-04-02

较低。

淀粉磷酸化酶活性在烘烤过程中出现 2 次高峰^[5], 分别处于烘烤的变黄中期和定色前期, 鲜烟叶中淀粉磷酸化酶活性较高, 随着烘烤的进行活性有所降低, 至 36 h 又有所升高, 随后降低, 至 60 h 达到低谷, 随后于 72 h 左右达第二次高峰, 至烘烤结束时活性迅速降低。李洪勋等^[8]的研究结果与此不完全一致, 淀粉磷酸化酶随着烘烤进程有所降低, 随后升高至 24 h 时活性达第一次高峰, 之后降低, 至 48 h 时出现低谷, 也于 72 h 达第二次高峰。这可能与酶活性的测定方法有关。

蛋白酶在烘烤期间活性呈先上升后下降趋势^[9-11]。高温变黄条件下蛋白酶在开始烘烤后快速上升, 但失活较快; 低温变黄能使蛋白酶活性维持更长时间。李常军等^[12]用甲醛滴定法测定蛋白酶活性: 蛋白酶在低湿条件下活性低, 高湿烘烤条件下活性较高。

硝酸还原酶和去甲基酶的活性受烘烤环境湿度影响较大^[11-12], 高温或低湿变黄条件都导致硝酸还原酶活性的存活时间缩短。但变黄期湿度的影响最大, 进入定色期之前, 硝酸还原酶在多数情况下已经失活, 高湿变黄条件下硝酸还原酶活性较高。烘烤温湿度高时, 去甲基酶活性高, 温湿度低时, 活性小。

超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)是植物本身消除活性自由基, 防御活性氧伤害的 2 种重要酶类。宫长荣等^[13-15]研究认为, 随着烘烤时间的推进, SOD 和 POD 活性均大幅度下降, 直至终止。2 种酶活性均以高温快烤快速升温定色下降速度最快, 终止最早; 高温慢烤次之, 低温快烤再次之, 低温慢烤酶活性下降最慢, 持续时间最长, 且高温变黄酶活性下降最快, 低温变黄酶活性下降最慢; 快速升温定色酶活性持续时间短, 慢速升温定色酶活性持续时间长。

抗坏血酸过氧化物酶(APX)和谷胱甘肽还原酶(GR)的活性随水分不断散失, 在 0~24 h 期间缓慢下降, 24 h~48 h 期间, 在相对较低温度下适当延长变黄时间, 其 APX 和 GR 活性高峰出现较晚且其峰期持续时间长^[16]。

酯氧合酶(LOX)是类胡萝卜素和 C₁₈ 不饱和脂肪酸降解的关键酶, 有研究^[17-18]表明, 烟叶 LOX 活性在烘烤 0 h~24 h 期间缓慢上升, 在 24 h~48 h 期间急剧上升并达到高峰, 而后开始下降直至完全消失。低湿条件下变化幅度大, 高峰来的早且高峰较高, 高湿条件下变化幅度小, 高峰来的时间迟且峰值较低。

多酚氧化酶(PPO)是酶促棕色化反应的重要因素, 据韩富根等^[19]研究, 在环境温度 40 °C 以下时活性

较高且相当稳定, 当温度达到 55 °C 以上时, 就会被钝化。在变黄和定色阶段, 随温度的上升, 热稳定性逐渐降低。45 °C~47 °C 时, 烟叶失水量小于 50%, 空气相对湿度较高, 酶活性强, 会出现一个或高或低的上升高峰, 当温度达到 47 °C~49 °C, 烟叶失水量超过 50%, 环境湿度相对较低时, 多酚氧化酶活性很微弱。

1.1.2 对烟叶内在物质的降解和转化的影响

随着烘烤湿度的提高, 淀粉降解量、水溶性糖的含量都有增大的趋势, 邱妙文等^[4]研究表明, 淀粉降解量, 低温高湿 > 低温中湿 > 低温低湿, 宫长荣等^[20]研究表明, 在环境湿度较高的阶段, 烟叶内淀粉降解速度和降解量最大, 65%~70% 的相对湿度是淀粉降解的限制值。环境湿度快速降低, 淀粉降解较快, 但到后期淀粉降解停滞的也早; 湿度慢速降低时, 烟叶内淀粉降解较慢, 降解持续时间较长, 当湿度降到 70% 以下时, 淀粉含量趋于稳定。王怀珠等^[5]研究了不同烘烤温湿度淀粉的降解, 结果表明, 淀粉的降解集中在烘烤的变黄期, 进入定色前期淀粉降解缓慢, 定色后期至烘烤结束时, 淀粉降解甚微。低温低湿变黄, 慢速升温定色的烟叶中淀粉降解量、降解速率均较高, 烤后烟叶淀粉含量较低, 水溶性总糖、还原糖含量较高。烘烤过程中淀粉和可溶性糖含量呈明显消长关系^[21]。

含氮化合物对烘烤环境湿度比较敏感, 李长军等^[22]研究表明, 高温变黄蛋白质降解缓慢, 低温变黄较快, 而低温拉长变黄能使蛋白质降解更彻底。高湿有利于蛋白质降解, 低湿处理蛋白质降解较少, 变黄期环境湿度对蛋白质降解的影响较之定色期大。烤后烟叶蛋白质含量: 高温变黄 > 低温变黄 > 低温拉长变黄, 且差异显著。氨基酸含量在变黄期和定色期快速上升, 其中尤以定色期氨基酸积累速度较快, 高湿变黄和高温定色烘烤条件下, 烤后烟叶氨基酸含量较高。烤后烟叶氨基酸含量: 低温拉长变黄 > 低温变黄 > 高温变黄。NO₂⁻ 和 NO₃⁻ 的含量与硝酸还原酶的活性成正相关^[10-11], 低温或高湿变黄、高温定色等条件, 均有利于 NO₂⁻ 和 NO₃⁻ 的快速积累, 烤后生成量较多。而 NO₂⁻ 和 NO₃⁻ 是 TSNA 的前体物质, 在 NO₂⁻ 和 NO₃⁻ 转化为 TSNA 的非酶催化过程中, NO₂⁻ 和 NO₃⁻ 的积累与 TSNA 含量呈显著正相关关系。宫长荣等^[23]研究认为, 变黄阶段湿度大(干湿球温度差小), 总 N 和烟碱有略低的倾向, 高温下变黄, 总 N 和蛋白质略高, 烟碱有略低倾向。

定色阶段湿度大小对总氮影响不大, 但低湿度条件下, 烟叶总 N、蛋白质和烟碱含量均略高。低温干筋

烟碱稍高,而总N偏低。张保全等^[24]研究了烤烟不同变黄温、湿度条件下烟碱、去甲基烟碱含量的动态变化。结果表明:高温变黄,烤后烟碱含量低于烤前;低温变黄,烤后烟碱含量高于烤前。湿度对烟碱含量影响无明显的规律性。去甲基烟碱含量烤后较烤前增加,而且变黄期高温高湿均有利于去甲基烟碱的形成和积累。

酚类物质在烟叶调制期间直接决定烟叶的颜色。宫长荣等^[25]采用三段式烘烤工艺进行烘烤,总酚含量在0~24 h缓慢上升,之后缓慢下降至72 h达最低值,72 h后急剧上升至烘烤结束。绿原酸含量在烘烤过程中变化规律与总酚相似,呈极显著正相关;芸香苷含量总体上呈逐渐增加的趋势,酚类物质的变化与PPO密切相关。

色素的降解量与烘烤期间LOX的活性呈显著相关^[26]。叶绿素在LOX作用下氧化成新植二烯。低温低湿并拉长变黄时间,类胡萝卜素降解的多,降解产物含量高,不利于类胡萝卜素的积累。在烘烤过程中,叶绿素和类胡萝卜素的含量变化与水分含量呈极显著正相关,与总糖和还原糖含量呈极显著负相关。

有机酸类在烟叶调制过程中的含量变化比较复杂。左天觉^[27]认为烘烤过程中烟叶高级脂肪酸含量减少,而且最显著的变化发生在烟叶烘烤的变黄阶段,降低程度约与脂肪酸的不饱和度成正比。宫长荣等^[17]研究表明,烤烟叶片在调制过程中月桂酸、油酸和亚油酸含量大幅度增加,而豆蔻酸、棕榈酸和亚麻酸含量显著减少。烟叶在较低的温度条件下实现变黄,然后再以较慢的速度升温排湿达到脱水干燥,烤后烟叶中大部分高级脂肪酸的含量较高。低级脂肪酸含量甲酸、乙酸、异戊酸在烘烤的0 h~48 h逐渐升高,48 h达到高峰,而后下降。72 h后趋于稳定,丙酸、异丁酸、戊酸含量一直上升,且在变黄开始的48 h内上升的快,72 h后趋于稳定。

1.2 外加酶和微生物

生物技术尤其是酶解和微生物在烟草中的应用研究已渐成为烟草科技人员关注的热点课题。王怀珠等^[28]研究了烘烤过程中外加淀粉类酶对淀粉降解的影响。结果表明,烘烤过程中,通过外加淀粉类酶来降解烤烟中的淀粉是有效的。烘烤变黄初期,不同外加淀粉类酶烟叶淀粉降解动态基本一致;变黄后期至定色前期,淀粉降解随外加酶量增加而加剧。烤后烟叶淀粉含量随外加酶量增加而减少,水溶性糖和还原糖含量随外加酶量增加而增加。牛燕丽等^[29]采用外加

淀粉酶和糖化酶的办法进行试验,结果发现,酶处理后烟叶的淀粉含量均有所降低。

微生物在烟草烘烤阶段对烟叶中烟碱含量有一定的影响^[30-32]。李梅云等^[33]用微生物菌株培养液喷洒烤烟,烘烤结束后发现供试菌株对烟叶化学成分和评吸品质均有一定的影响。各菌株对烤烟的烟碱含量影响显著,而且处理后香气量有所提高,香气质有改善,劲头明显下降,刺激性明显减弱,杂气明显减轻,余味好于对照。

微生物在TSNAs的形成中起着重要作用,在烘烤过程中改变微生物活性和数量,也必然会影响到TSNA的累积。有研究认为^[34]在变黄期微生物系统的群集增加,并且微生物的增加与亚硝酸盐的增加一起促进了TSNAs的生成。另外,烘烤前用利福平、链霉素等药物处理过的叶片,表面的微生物群数减少,烘烤后TSNAs含量降低^[35]。

1.3 微波

微波技术可以降低TSNAs的含量,不影响烟草的香气和吸味,且能保证正常的烟碱含量^[36-37],试验^[38-39]证明,用微波辐射调制的烟叶与用其它方法调制的烟叶相比,至少有一种TSNAs的含量有所降低。较理想的结果是,经微波处理烟叶的TSNAs(NNN, NNK, NAB及NAT)含量低于0.2 μg/g,甚至低于0.1 μg/g;NNN含量低于0.15 μg/g,甚至低于0.05 μg/g;NNK含量低于0.002 μg/g,甚至低于0.0005 μg/g。宫长荣等^[40]研究了烤烟调制初期及变黄过程中,微波处理对烟草特有亚硝胺(TSNAs)、硝酸盐、亚硝酸盐及其它含氮化合物的影响。结果表明:在烤烟调制初期和变黄过程中用频率为2450 MHz的微波对烟叶进行适当处理均能降低TSNAs的含量。其中以在烟叶完成变黄后进行微波处理90 s最为明显,总体来说,在烟叶变黄后对烟叶进行微波处理效果优于对鲜烟叶进行处理,然而微波处理对总氮、蛋白质等含氮化合物的影响不很明显。

1.4 气体组分

烟叶烘烤过程中CO₂对烟叶变黄也存在着不可忽视的作用。韩锦峰等^[41]研究了在烘烤过程中补充一定量的CO₂气体对烟叶的烘烤效应,发现含量在0.9%~1.35%范围内增多时,能加速烟叶失水变黄,提高淀粉酶活性,促进叶绿素降解,抑制棕色化反应,有利于提高烟叶烘烤质量。当CO₂含量超过1.35%,达到1.8%以上时,将抑制烟叶变黄,甚至造成CO₂中毒,降低烘烤品质。

对鲜烟用 O_3 处理,结果可使烤后烟叶的化学成分产生较大变化^[42],其中绿原酸、尼古丁、茄呢醇、新植二烯、 C_{18} 酸等降低 50% 左右,明显地减少了烟气中令人不愉快的化学组分前提物。对烤烟质量产生重要影响的糖分,如果糖、蔗糖、 α -葡萄糖、 β -葡萄糖等含量也会随之大幅度下降;经过 2 d 烘烤之后的烟叶用 O_3 熏蒸,新植二烯下降 49.5%,其它组分减少了 10% ~ 20%;对 4 d 烘烤后的烟叶进行 O_3 熏蒸处理,所测组分与对照基本相同。

美国一公司 1976 年就曾作过试验使用乙烯能使烟叶变黄时间缩短 18 h ~ 24 h,且烤后颜色更加鲜亮。徐增汉等^[43]采用烤房内熏蒸法,使乙烯进入烟层,熏蒸 4 h ~ 6 h 乙烯能显著改变烟叶的烘烤特性,使烟叶变黄的速度加快。还有试验^[44]证明乙烯在烘烤过程中能显著改善烟叶的烘烤品质。

1.5 烤房设备

不同烤房设备烤后烟叶 TSNA_s、硝酸盐和亚硝酸盐含量也不一样^[45],表现为:密集烤房 > 立式炉普通烤房 > 水泥预制板平板式换热器烤房。

美国雷诺士公司^[46]开发出了用热交换器代替直接使用烤炉烘烤烟叶的技术,可大大降低普通烟叶中某些物质,如烤烟中特有的亚硝胺(TSNA_s)的含量。

1.6 其他调制技术

美国 Star Scientific Inc.(星科)公司^[47]开发出了一种可以有效防止烘烤后烟叶中形成 TSNA_s 的烟叶调制技术,该专利技术的主要原理是:在烤烟的调制过程中,通过一种特殊的处理(可能是无氧处理),致使产生亚硝胺的大部分细菌死亡,剩下的一部分细菌则通过大型微波炉杀死,从而即可防止或减少烟草制品 TSNA_s 的形成。该技术不会对烟草的口味、色泽以及烟碱含量产生影响。

V_c 是植物抗氧化剂,也是亚硝酸盐抑制剂。喷施 V_c 可降低 TSNA_s。在烘烤前,将切碎的烟丝放入含 1% V_c 的水溶液中,使 V_c 渗入烟叶,烘烤后结果表明,用 V_c 处理过的烟叶中的 TSNA_s 和亚硝酸盐水平要比对照烟叶低很多^[48]。

2 探讨

综上所述,目前对烟叶烘烤环境的研究主要集中在烤房内温湿度的变化对烤烟品质的影响,而其他烘烤环境因子没有得到足够的重视。从理论上讲提高烟叶烘烤品质要加强以下 2 个方面的研究:

(1) 气体组分是烟叶烘烤过程中各种因素的关键。

它的动态变化与烟叶的生理生化变化直接相关,影响甚至决定着烤后烟叶的质量。但是,有关烘烤过程中不同气体组分对烘烤烟叶质量的影响缺乏深入的研究。人们只是关注于温湿度变化对烘烤过程中烟叶化学成分的影响,而很少涉及不同气体在烘烤过程中对烤烟的生理生化的作用。为了进一步提高烟叶烘烤质量、降低烘烤成本、动态控制烟叶生理生化反应过程,应该系统地研究不同气体对烟叶烘烤过程中生理生化反应的影响,探索反应机理,找到最佳的烘烤气体介质,进一步提高烟叶烘烤品质。

(2) 酶和微生物最重要的特点是能以几个数量级的幅度提高反应速度,降低从底物转变成产物所需的活化能。烟叶在烘烤过程中,温度和湿度等外在条件的控制极大地影响着烟叶内在成分的种种变化,这与酶的作用特点非常有关。因此,酶和微生物在烟叶的烘烤过程中起着极其重要的作用,我们可以利用适当的外援酶和微生物来调控某些影响烟叶品质的主要化学成分的含量,使烟叶内在各种成分的比例更趋于协调,达到提高烟叶品质的目的。今后应加大酶和微生物在烘烤中的研究力度。详细研究不同微生物在烘烤过程中的作用及其产生的酶、类酶物质或其它物质。

参考文献

- [1] 宫长荣,袁红涛,陈江华. 烘烤过程中环境湿度和烟叶水分与淀粉代谢动态[J]. 中国农业科学, 2003, 36(2): 155-158.
- [2] 宫长荣,袁红涛,陈江华. 烤烟烘烤过程中烟叶淀粉酶活性变化及色素降解规律的研究[J]. 中国烟草学报, 2002, 8(2): 16-20.
- [3] Bilderback D E. A simple method to differentiate between α - and β -amylase[J]. Plant Physiol, 1973, 24: 506-512.
- [4] 邱妙文,凌寿军,王行,等. 不同烘烤湿度条件下烟叶淀粉含量变化关系[J]. 中国烟草科学, 2004, 25(3): 6-8.
- [5] 王怀珠,杨焕文,郭红英. 烘烤过程中温湿度对烤烟淀粉降解及相关酶活性的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(2): 313-316.
- [6] 王松峰,王爱华,宋朝鹏,等. 装烟密度对密集烘烤过程中烟叶主要生理指标的影响[J]. 河南农业科学, 2005(5): 21-25.
- [7] 龚顺禹,杨焕文,王怀珠,等. 烟叶中淀粉降解酶活性与烘烤温湿度的关系研究[J]. 华北农学报, 2005, 20(4): 17-20.
- [8] 李洪勋,杨焕文,王怀珠,等. 烘烤环境对烟叶淀粉酶和淀粉磷酸化酶活性的影响[J]. 中国烟草科学, 2005(3): 33-35.
- [9] 李常军,李锐. 烘烤过程中烟叶蛋白质与硝态氮代谢规律研究[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(1): 47-49.

- [10] 官长荣,李常军,李锐,等. 烟叶烘烤过程中氮代谢研究[J]. 中国农业科学,1999,32(6):89-92.
- [11] 李常军,官长荣,周义和. 烤烟烘烤过程中变黄温度对氮素代谢的影响[J]. 中国烟草学报,2000(2):31-35.
- [12] 李常军,官长荣,陈江华. 烘烤湿度条件对烟叶氮代谢的影响[J]. 华北农学报,2001,16(2):141-144.
- [13] 汪耀富,官长荣,赵铭钦,等. 烤烟烘烤过程中叶片膜脂过氧化特性的研究[J]. 河南农业大学学报,1995(3):247-250.
- [14] 官长荣,陈江华,汪耀富. 烘烤过程中的膜脂过氧化作用及其对烟叶内在质量的影响[J]. 中国烟草学报,1999(3):11-15.
- [15] 官长荣,李艳梅,李常军. 烟叶烘烤过程中烟叶脂氧合酶活性与膜脂过氧化的关系[J]. 中国烟草学报,2000,6(1):39-41.
- [16] 官长荣,宋朝鹏,张骏,等. 烘烤条件下烟叶抗坏血酸-谷胱甘肽循环系统的变化[J]. 中国农学通报,2005,21(10):185-187.
- [17] 官长荣,林学梧,李艳梅,等. 烟叶在烘烤过程中脂氧合酶活性及其作用的研究[J]. 西北农业学报,1999,8(4):63-66.
- [18] 李艳梅,官长荣,林学梧. 烟叶在烘烤过程中脂氧合酶、脱落酸和色素关系的研究[J]. 中国烟草学报,2001,7(3):46-48.
- [19] 韩富根,韩锦峰,赵铭钦,等. 烤烟叶片多酚氧化酶和抗坏血酸氧化酶活性影响因素研究[J]. 河南农业大学学报,2004,38(4):432-435.
- [20] 官长荣,周义和,杨焕文. 烤烟三段式烘烤导论[M]. 北京:科学出版社,2006:143-145.
- [21] 官长荣,袁红涛,周义和,等. 烟叶在烘烤过程中淀粉降解与淀粉酶活性的研究[J]. 中国烟草科学,2001(2):9-11.
- [22] 李常军,官长荣,肖鹏,等. 施氮水平和烘烤条件对烤后烟叶品质和含氮组分的影响[J]. 中国烟草科学,2001(1):4-7.
- [23] 官长荣,孙福山,刘奕平,等. 烘烤环境条件对烟叶内在品质的影响[J]. 中国烟草科学,1999(2):8-9.
- [24] 张保全,刘华山,王凌,等. 烤烟烘烤过程中烟碱、去甲基烟碱的变化初探[J]. 河南农业科学,2004(5):18-20.
- [25] 官长荣,王爱华,王松峰. 烟叶烘烤过程中多酚类物质的变化及与化学成分的相关分析[J]. 中国农业科学,2005,38(11):2316-2320.
- [26] 杨立均,官长荣,马京民. 烘烤过程中烟叶色素的降解及与化学成分的相关分析[J]. 中国烟草科学,2002(2):5-7.
- [27] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M],朱尊权,等译. 上海:上海远东出版社,1992:416-417.
- [28] 王怀珠,杨焕文,郭红英,等. 淀粉类酶降解鲜烟叶中淀粉的研究[J]. 中国烟草科学,2005(2):37-39.
- [29] 牛燕丽,张鹏,宋朝鹏,等. 酶法降解河南烤烟烟叶B2F、C3F和X2L淀粉的初步试验[J]. 烟草科技,2005,3:26-28.
- [30] 张彦东,罗昌荣,王辉龙,等. 微生物降解烟碱研究应用进展[J]. 烟草科技,2003(12):3-7.
- [31] Lawrence E, Gravelly, Louisville Ky, et al. Process for reduction of nitrate and nicotine content of tobacco by microbial Treatment: US Patent #557280,1978[P].
- [32] English C F, Bell E J. Isolation of Thermophiles from Broadleaf Tobacco and Effect of Pure Culture Inoculation On Cigar Aroma and Mildness[J]. Appl Microbio,1967,15:117-119.
- [33] 李梅云,雷丽萍,郭荣君,等. 微生物对烤烟叶片烟碱含量的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(9):94-96.
- [34] Annartnik. 晾晒对烟草化学组分的影响[R]/1995年CORESTAI烟气与工艺联合会议文集. 北京:中国烟草学会,1996:69-85.
- [35] 刘万峰,王元英. 烟叶中烟草特有亚硝胺(TSNA)的研究进展[J]. 中国烟草科学,2002(2):11-14.
- [36] Williams Jonnie R. Method of treating tobacco to reduce nitrosamine content and products produced thereby[J]. PCT Int Appl,1998,1(12):64.
- [37] 王英,沈彬,朱建华,等. 选择性去除香烟烟气中亚硝胺的研究[J]. 环境化学,2000,19(3):277-283.
- [38] 魏玉玲,宋普球,缪明明,等. 降低烟草特有亚硝胺含量的微波处理方法综述[J]. 烟草科技,2002,3:18-19.
- [39] Bush I P, Cui M, Shi H, et al. Formation of tobacco-specific nitrosamines in air-cured tobacco[J]. Recent Advance in Tobacco Science, 2001,27:23-46.
- [40] 官长荣,宋朝鹏,许自成,等. 烤烟调制过程中微波处理对烟草特有亚硝胺含量的影响[J]. 云南农业大学学报,2006,21(4):534-536.
- [41] 韩锦峰,官长荣,贾琪光. 改变烘烤环境的气相成分对烘烤的效应[J]. 河南农业大学学报,1986,20(4):389-397.
- [42] 程传策,李广才,程占省. 臭氧处理对烤烟主要化学成分的影响[J]. 河南农业大学学报(增刊),1999,33:30-32.
- [43] 徐增汉,王能如,何孔松. 烤烟上部叶烤青问题的综合治理[J]. 安徽农业科学,2002,30(3):440-442.
- [44] 官长荣,王能如,汪耀富. 烟叶烘烤原理[M]. 北京:科学出版社,1994:190-191.
- [45] 潘建斌,宋朝鹏,王卫峰,等. 氮素形态和烘烤处理对烟草特有亚硝胺及其前体物的影响[J]. 西北农林科技大学学报,2005,33(11):9-12.
- [46] 采用热交换器烘烤烟叶可减少烟叶中有害成分[N]. 东方烟草报,1999-12-24(3).
- [47] 美烤烟新技术降低烟草毒害[J]. 亚洲烟草,1999(7):68.
- [48] 赵华玲. 烟草中特有的亚硝胺化合物[J]. 烟草科技,1998,3:24-26.