气候因子对烤烟香气物质的影响研究进展

李玲燕[1,2,3]，徐宜民[1*]，王树声[1*]

（1.中国农业科学院烟草研究所，农业部烟草生物学与加工重点实验室，青岛 266101；2.中国农业科学院研究生院，北京 100081；3.青岛农业大学农学与植物保护学院，青岛 266109）

摘 要：气候因子是决定烤烟品质的重要因素，主要影响烤烟香气物质的含量和组成比例，进而主导烤烟的香气风格。笔者综述了国内外气候因子对烤烟香气物质影响所涉及的研究领域，对包括烟叶质体色素及其降解产物、西柏烷类及其降解产物、美拉德反应产物、酚类化合物及其降解产物、生物碱及其降解产物、脂类化合物及其降解产物 6 个方面的研究现状进行了比较分析，以期为烤烟生态条件与烟叶品质的关系研究提供一定的理论依据。

关键词：烤烟；香气物质；气候因子

中图分类号：S572.04 **文章编号：**1007-5119（2015）01-0107-07 DOI：10.13496/j.issn.1007-5119.2015.01.020

Advance in Effects of Climatic Factors on Aroma Components of Flue-cured Tobacco

LI Lingyan[1,2,3], XU Yimin[1*], WANG Shusheng[1*]

(1.Tobacco Research Institute of CAAS, Key Laboratory of Tobacco Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Qingdao 266101, China; 2.Graduate School of CAAS, Beijing 100081, China; 3.College of Agriculture and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109 , China)

Abstract: Climatic factors are most important to determine the quality of flue-cure tobacco and control the aroma style by affecting the content and composition of aroma components. In this paper, in order to provide theoretical bases for further study on the relationship between ecological conditions and flue-cure tobacco quality, researches on effects of climatic factors on aroma components of flue-cured tobacco, including the following six aspects: plastid pigment, cembranoids, maillard reaction products, phenolic compounds, alkaloids, lipids compounds and their degrading products, were reviewed.

Keywords: flue-cured tobacco; aroma component; climatic factor

烟草是一种重要的经济作物，由于它对生态环境的适应性较强，所以在世界多地广泛种植，但作为叶用植物，其烟叶的长相、组织结构、物质转化与积累状况等因素直接影响质量。从烟叶质量角度看，烟草又对生态环境的变化十分敏感。生态环境的差异及栽培措施的不同，不仅影响烟株形态和农艺性状，还导致烟叶内在化学成分的变化，进而影响烟叶品质[1]。长期以来，人们从生态环境[2-6]、品种[7]、栽培措施[8]、调制[9]等与烟叶质量的关系方面开展了大量研究，并提出了生态环境、品种、栽培技术对烟叶质量的贡献率分别为 56%、32%、10%左右的说法[10]。生态环境是决定烟叶品质最重要的因素，主要体现在生态环境影响烟叶香气物质含量和组成比例，进而主导烤烟香气风格[11-13]，并使烟叶香气和吃味彰显典型的地域特征等方面[14-15]。生态因素中，气候因子对烟叶香型和感官质量指标的影响及贡献率最大[16-17]，人们围绕气候因子与烟叶香气物质的关系开展了系列研究，但大多局限在某一特定地区的单一气候因子与烤烟香气物质之间关系研究。本文对近年国内外发表的气候因子对烤

基金项目：国家烟草专卖局重大专项“特色优质烟叶开发”（TS-02-20110012）

作者简介：李玲燕，女，讲师，在读博士，研究方向为烟草品质与生态。E-mail：lilingyan2395@sina.com

*通信作者，E-mail：xuyimin@caas.cn；E-mail：wangshusheng@caas.cn

收稿日期：2014-07-22 **修回日期：**2014-11-22

烟香气物质影响的研究进行了综合列述，期望为气候因子与烟叶品质的关系研究提供一定的帮助。

气候因子主要包括光照、湿度、降水量、温度等；烤烟香气物质按照其前体物主要分为质体色素及其降解产物、西柏烷类及其降解产物、美拉德反应产物、酚类化合物及其降解产物、生物碱及其降解产物、脂类化合物及其降解产物六大类[18-20]。本文主要围绕气候因子对烤烟香气物质前体物及其降解产物影响的研究现状进行探讨。

1 气候因子对烟叶质体色素及其降解产物的影响

烟叶质体色素包括叶绿素和类胡萝卜素等，叶绿素是质体色素中的含量最高的物质。新植二烯是叶绿素重要的降解产物，在中性挥发性香气物质中含量最高，可进一步降解为植物呋喃等香气阈值较低的化合物。类胡萝卜素分为胡萝卜素类和叶黄素，其降解产物二氢猕猴桃内酯、β-紫罗兰酮、香叶基丙酮、巨豆三烯酮、β-二氢大马酮、β-大马酮等是烤烟细腻、高雅和清香气的主要成分[14,21-22]。质体色素降解产物的含量约占烟叶挥发性香气物质总量的 85%~96%，对烟叶色泽、质量和香气风格有重要影响，其含量越高，可能越有利于烤烟清香型风格的凸显[13,15]。

烤烟质体色素及其降解产物对光敏感。新植二烯、β-胡萝卜素和叶黄素等物质含量随着光照强度减弱而明显增加，弱光能促进它们的合成，光照越弱，促进作用越大[20,23]。也有研究认为，随光照减弱，类胡萝卜素降解产物占中性挥发性香气物质总量的比例下降，这可能与类胡萝卜素降解产物对光的响应比较复杂有关，强光可以增加香叶基丙酮、二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮 A 等的含量；中强光可以增加巨豆三烯酮 B、C、D 的含量[24]。类胡萝卜素能将吸收的光能传递给叶绿体进行光合作用，弱光条件下其含量增加是一种适应性反应。遮阴可导致烟叶叶绿素和类胡萝卜素含量增加，可能是由于遮阴不利于烟叶老化落黄，叶绿素和类胡萝卜素的降解受阻，使新植二烯和 β-大马酮、巨豆三烯酮等降解产物含量降低[25]。烟叶中类胡萝卜素含量与短波光呈正相关关系[20]，蓝光处理的烟叶 β-胡萝卜素含量明显升高。紫外线（UV）强度增加会提升烟叶中类胡萝卜素含量，其含量的增加与消除活性氧自由基，维持类囊体膜系统的稳定性有关。UV-A 或 UV-B 处理均能够明显提高烤烟类胡萝卜素的含量，而叶绿素合成严重被抑制[26]；低温和紫外线强度低的烟区，烟叶类胡萝卜素的合成减少[27]。

成熟期低温会抑制烤烟叶绿素和类胡萝卜素的降解，若成熟期温度低于 18 ℃，会对烤烟的色泽和香气质量产生不良影响。有效积温和无霜期的增加均对类胡萝卜素的降解有促进作用[28]；在年积温 4000 ℃以上，种植期均温 18 ℃以上，无霜期超过 230 d 的生态范围内，烤烟类胡萝卜素降解产物含量较高[29]。强光、高温处理后，烤烟叶片中与光合作用光反应有关的蛋白、抗逆及防御相关蛋白的表达量上升；而参与光合电子传递的酶和细胞物质合成代谢相关蛋白的表达量下降；叶片差异蛋白位点中，只有叶绿体应激蛋白与基因型关系密切，而其它都主要受光温条件的调控[30]。

降水或灌溉可以增加烤烟质体色素含量，在一定范围内，叶绿素含量均随土壤含水量的增加而提高[29]。淹水或严重干旱均使叶绿素含量降低，甚至破坏叶绿素结构，导致新植二烯含量降低。有研究认为，全生育期或中、后期干旱条件下，新植二烯含量增加比较明显，而巨豆三烯酮等类胡萝卜素降解产物含量则显著下降[31]。土壤干旱和土壤水分过多均使烤烟类胡萝卜素类物质含量降低；烟叶成熟过程中，适当干旱有利于其积累。土壤相对含水量在 80%~85%，可使烤烟烟叶类胡萝卜素类含量降低，原因可能是土壤水分过多阻碍了这类化合物的合成[32]。适度干旱可能更有利于质体色素降解产物等香气物质的积累，接近烟叶定长期的土壤干旱或成熟期间断干旱均可提高积累量[20,32]。

2 气候因子对烟叶西柏烷类及其降解产物的影响

西柏烷类化合物由烟叶腺毛的腺头细胞合成，

是腺毛分泌物的主要成分，以表面蜡质形式存在于角质层中，主要降解产物为茄酮及其衍生物[33-34]。茄酮由西柏三烯类物质降解产生，可进一步转化为茄醇、降茄二酮等香气物质。移栽时间与烟叶腺毛分泌物含量有密切关系，移栽时间不同导致烤烟大田生育期内的热量条件、温度条件、光照强度、降水量等气候条件不同，从而使烟叶光合特性及干物质积累发生变化，进而影响烟叶质量。移栽过早，烟苗生长前期常遇低温和光照不足；移栽过迟，烟苗生长前中期气温偏高，均对烟叶品质不利。推迟移栽通常可以显著提高类西柏三烯醇等腺毛分泌物的含量，但不同烟区的表现并不一致[18]，在河南烟区，推迟移栽使烤烟腺毛中与光合色素代谢及类萜生物合成有关的基因高表达；而在云南烟区，烤烟腺毛中与碳水化合物、蛋白质分解代谢过程有关的基因高表达；叶面腺毛的基因表达水平受生态因素调控，生态因素通过调控腺毛的物质代谢和分泌，从而对烟叶风格形成产生影响[35]。

西柏烷类及其降解产物是浓郁香型的典型代表，易受烤烟产区生态条件的影响，尤其与成熟期水分状况关系密切。茄酮对生态条件变化十分敏感，不同烤烟产区茄酮含量差异很大，茄酮含量过高时，烤烟香味品质变差[36]。西柏烷类化合物含量较高与烤烟大田生长期热量丰沛和降雨充足等生态条件有关[37]。成熟期轻度干旱不利于西柏烷类降解产物总量的提高[38]。烤烟成熟期短时干旱后西柏烷类物质含量升高，持续干旱时降低，严重干旱对西柏烷类物质的形成不利，越接近烟叶定长期的干旱，对提高茄酮和降茄二酮的含量越有利[20]。在烤烟生长发育任一时期土壤干旱，茄酮等含量呈增加趋势，而西柏三烯则仅以痕量存在，成熟期强度干旱有利于烟叶香气物质的产生[31]。降雨量和降雨分布可以影响烟田空气湿度、土壤水分状况以及烟叶表面腺毛分泌物，灌水可以提高烟叶中西柏三烯二醇含量，而降雨则能淋洗大量烟叶表面类脂成分[39]。较高的温度有利于西柏烷类物降解产物积累，光照强弱对其影响不大[28]，但也有研究认为，随光照的减弱，西柏烷类降解产物占香气物质的比例下降[24]，不同研究结果之间的差异可能与具体实验条件有关。

3　气候因子对烟叶美拉德反应产物的影响

美拉德反应是氨基酸与还原糖之间非酶促棕色化反应，该反应与烤烟烟叶的颜色和香味关系密切，最终生成具有特征香气的杂环化合物，它们赋予烤烟浓郁香气，产生烤焙香、坚果香和甜焦糖味，起到掩盖杂气，增加香气质的作用[40]。糠醛、糠醇、乙酰基吡咯等主要美拉德反应产物含量高是烤烟形成浓郁香型和高香气量的主要原因之一[14]。轻度干旱（土壤相对含水量 70%左右）有利于糠醇、糠醛等美拉德反应产物的积累[38]，成熟期长时间干旱对美拉德反应产物积累不利；短时干旱对美拉德反应产物生成有益，但进入适熟期后干旱不利于美拉德反应产物的积累[20]。也有研究认为，烤烟生育期内的相对湿度、云量及平均气温是与美拉德反应物相关性较大的气候因子，而日照时数、降水量与美拉德反应产物的形成没有直接关系。年积温、无霜期与美拉德反应产物之间的关系密切[28]，年积温 5000 ℃左右和无霜期 230 d 左右，美拉德反应产物较高。

4　气候因子对烟叶酚类化合物及其降解产物的影响

烟草中多酚由芳香族氨基酸脱氨经由肉桂酸和香豆素形成[41]，通常以糖苷或酯形式存在，与烟草生长发育、烟叶色泽、烟气质量有关。烟叶中酚类化合物的总含量在 0.4%～6.0%，其中绿原酸、芸香苷和莨菪亭是最主要的酚类化合物，占烟草总多酚含量的 80%以上[42]。烤烟中的绿原酸含量可达 3%以上，芸香苷的含量在 1%左右，而莨菪亭的含量较低。烤烟中多酚类物质的含量与烟叶品质呈正相关，等级较好的烟叶中，绿原酸和芸香苷的含量较高[43-44]。

光照对烤烟多酚类物质的合成影响较大[45]，绿原酸和芸香苷含量随光照强度和时数的增加而增

加[46]；光强减弱，多酚类前体物含量下降。酚类化合物是紫外吸收的主要物质，增强光照中 UV-B 比例可以提高烤烟多酚的含量[47]，降低 UV-B，烟叶中绿原酸、芸香苷的含量和多酚氧化酶的活性都会下降[48]。光周期对烟叶多酚的含量有较大影响，长日照条件下的烤烟多酚物质含量较高[27]。多酚类物质有利于清香风格的凸显[49]，南北方烟区烤烟多酚物质含量差异显著，北方烟区无霜期较短，烟叶成熟度不足，会导致烟叶协调性欠佳[50]。

在烟株发育过程中，多酚类物质可以提高烤烟抗逆性，低温胁迫时，地上部的多酚类物质含量均会大幅度升高，烤烟中绿原酸和莨菪亭等含量的变化与受寒温度密切相关，骤寒之后，根部以外的部位，绿原酸浓度可增加 4~5 倍[51]。干旱胁迫时，烤烟多酚类物质含量也会显著上升[45]。

5 气候因子对烟叶生物碱及其降解产物的影响

烟草中生物碱大部分是以与有机酸结合成盐的形式存在。烟碱是烤烟生理强度的主要物质，约占生物碱总量的 95%以上。烟碱高温下分解产生的 3-取代吡啶类化合物是重要的香气物质[18]。烟碱含量与烤烟的香气呈正相关，在适当范围内，对烟叶质量有促进作用；超过一定值后，会产生负面的影响[52]。烟叶的化学成分组成中，糖碱比在 10 左右较好，超过 15 香气不足，劲头小，淡而无味；低于 6 香气和劲头都很大，但香气粗糙、刺激性强，吃味苦涩辛辣[53]。

影响烟碱含量的主要因素是气候因子[3]，阳光充足、气候干燥，烟碱含量增加，不同地区上部烟叶的烟碱含量普遍高于下部烟叶，烟碱含量与光照时间和光线波长有密切的关系[54-55]，与光照时间呈正相关关系，光照过强，烟碱含量过高，香吃味变劣[56]；但光能利用条件差的叶片非蛋白氮成分含量较多，较难成熟，对烟叶品质也不利[57]；红光对烟叶的总植物碱含量有提高作用，总植物碱的含量则与短波光的存在呈显著负相关关系[58-59]。

烟碱含量与各生育期平均地温和平均气温呈正相关[54]；烟叶成熟期的高温会导致烟碱积累增强[20]，成熟期夜间低温，昼夜温差大是烟碱含量高的又一生态原因，南方烟区成熟期昼夜温差较小，烟碱含量较低[55]。

戴冕[57]研究表明，雨湿因素对烟碱的积累有极显著正效应，生育期降水总量和分布与烟碱含量密切相关；夏凯等[60]也有相似的研究结果，认为烟碱含量与大田生育期内的降水量以及日照时数呈极显著正相关，与有效积温呈极显著负相关。但韦成才等[61]研究认为，陕南烟区烟碱含量与大田期 5~8 月的平均降水量及 7 月的平均相对湿度呈负相关；蔡晓步等[62]认为，西藏烤烟烟碱含量与降水量呈较大的负相关。之前的研究中，降水与湿度对烟碱含量的影响尚存在着一定争议，可能与试验样本的分布区域、具体的试验年份雨热是否同步及供试土壤的质地有关，需要进一步的试验验证。生育期内水分适宜，则烟叶组织疏松，总氮和烟碱含量适中；干旱条件下，烤烟叶片扩展受阻，叶片小而厚，烟碱和总氮含量高[20,55]，烟碱含量过高，烤烟香气品质下降。

6 气候因子对烟叶脂类化合物及其降解产物的影响

烟叶中脂类化合物在光、空气或酶的作用下可转化成小分子量的挥发性致香成分，如异戊酸等有机酸。烟草中有机酸约占总干物质量的 12%~16%。非挥发性有机酸以二元、三元酸为主，对烟草香味没有明显直接作用，但可调节游离态烟碱的比例和烟气的酸碱度，使吃味醇和[63]。烤烟中苹果酸、草酸、柠檬酸和琥珀酸的含量较高，约占总酸含量的 70%，其衍生物是烟草香味的主要成分。烟草中低级脂肪酸可以转化形成有甜果味和乳酪香味的小分子香气物质，如戊酸、异戊酸和 β-甲基戊酸等。烟草中饱和高级脂肪酸大多是半挥发性酸，赋予烤烟脂味及柔和气味；而不饱和高级脂肪酸及其甲酯热裂解可生成有己醛、己烯等强烈刺激性和杂气的物质，增加烟气刺激性和粗糙感[64]。

同一光质处理对不同生育时期烟叶中有机酸的含量影响不一致，有的时期表现为正效应，有的时期表现为负效应，同一光质对同一时期不同种类的有机酸含量影响也不一致，例如，旺长期增加红光和紫光比例有利于提高烟叶中总有机酸含量，但多元有机酸与高级脂肪酸含量随光质的变化表现出差异[65]。

不同香型烟叶中非挥发性有机酸总量有显著差异，主要是与苹果酸、草酸、柠檬酸含量的差异有关；脂肪酸总量也有显著差异，主要与棕榈酸、油酸、硬脂酸等含量的差异有关[66]。不同烟区烤烟中一些半挥发性酸性成分（15-18 碳酸等）的含量也有差异[67]。有研究认为，烤烟中草酸、苹果酸、柠檬酸含量与生态因子有密切关系，但高级脂肪酸与生态因子无关[19]。也有研究认为烤烟中的非挥发性有机酸和高级脂肪酸含量与烟叶基因型之间存在密切关系，同一种有机酸含量在不同基因型类群间差异较大，而在类群内则差异较小[68]。

7　展　望

气候因子是烟叶品质特点和区域风格特色形成的基础条件，对烟叶质量风格具有重要雕琢作用[69-70]。人们围绕着烤烟烟叶化学成分、香气物质与烟区气候条件的关系开展了大量研究，试图探索气候条件与烟叶香气物质形成之间的规律性，但由于气候因子间的交互作用及香气物质含量和比例的差异，使烤烟香气物质与气候因子的关系极其复杂；一些研究之间，由于试验地点的不同及气候因子调控手段的不同，研究结果存在较大差异甚至得出相悖的结论，迄今没有关于不同生态区烤烟关键香气物质指标及影响香气物质含量和比例的关键气候因子的系统、明确阐述。今后，有必要通过生态区域之间大跨度试验验证，进一步研究气候因子与烤烟香气物质之间的关系。同时，应采取生理生化及分子生物学的手段开展气候因子调控的烤烟香气物质代谢途径、差异蛋白位点及具体相关基因的表达研究，深入解析气候因子对烤烟香气物质形成过程产生影响的机理。

坚持“生态决定特色”的原则[71]，以生态因子为突破口，结合烤烟典型特色风格产区的香气物质测定分析，开展烤烟品质区划，为明确我国典型烤烟产区特色优质烟叶形成的关键生态因子，突显烟区生态优势，优化烤烟原料生产基地布局提供可靠依据[72]。

参考文献

[1] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海：上海科学技术出版社，2005.

[2] X F Ye, H E Liu, X W Ye, et al. Distribution characteristics of osmiophilic granules' content in tobacco leaves at different altitudes and the relationship with the content of neutral aroma components[J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2013, 11(1): 1176-1181.

[3] 彭新辉，蒲文宣，易建华，等. 湖南不同烟区烤烟烟碱含量差异的生态原因[J]. 应用生态学报，2010，21（10）：2599-2604.

[4] 钱华，杨军杰，史宏志，等. 豫中不同土壤质地烤烟烟叶中性致香物质含量和感官质量的差异[J]. 中国烟草学报，2012，18（6）：17-22.

[5] 沈晗，周冀衡，赵百东，等. 云南保山市植烟土壤养分状况与烤烟化学成分相关分析[J]. 中国土壤与肥料，2012（4）：22-26.

[6] J Duan, Y Huang, Z Li, et al. Determination of 27 chemical constituents in Chinese southwest tobacco by FT-NIR spectroscopy[J]. Industrial Crops and Products, 2012, 40: 21-26.

[7] 肖雅，马继良，曹凡宝，等. 云南烤烟品种 K326 化学成分分析及聚类评价[J]. 西南农业学报, 2012, 25（1）：44-47.

[8] F Yun, G S Liu, H Z Shi, et al. Interactive effects of light intensity and nitrogen supply on the neutral volatile aroma components and organic acids of flue-cured tobacco[J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2013, 11(1): 1187-1194.

[9] 姚忠达，吴克松，周初跃，等. 不同烘烤方法对烟叶质量及香味成分的影响[J]. 中国烟草科学, 2010, 31（6）：68-71.

[10] 左天觉, 朱尊权. 烟草的生产，生理和生物化学[M]. 上海：上海远东出版社，1993.

[11] 刘培玉，王新发，汪健，等. 不同生态地区烤烟主要致香物质含量的变化[J]. 浙江农业学报，2010，22（2）：239-243.

[12] 史宏志，刘国顺. 烟草香味学[M]. 北京：中国农业出版社，1998.

[13] 赵铭钦，陈秋会，陈红华. 中外烤烟烟叶中挥发性香气物质的对比分析[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26（6）：875-879.
[14] 周冀衡，王勇，邵岩，等. 产烟国部分烟区烤烟质体色素及主要挥发性香气物质含量的比较[J]. 湖南农业大学，2005，31（2）：128-132.
[15] 周冀衡，杨虹琦，林桂华，等. 不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究[J]. 湖南农业大学学报：自然科学版，2004，30（1）：20-23.
[16] 刘好宝. 清甜香烤烟质量特色成因及其关键栽培技术研究[D]. 北京：中国农业科学院，2012.
[17] 李强. 曲靖烤烟品质特征及主要生态因素对其影响的研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2011.
[18] 郑丹. 烤烟香气物质的成分及其影响因素研究进展[J]. 江西农业学报，2009，21（3）：23-26.
[19] 杨红旗. 中国烤烟主要香气前体物的研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2006.
[20] 李鹏飞. 主要生态因素和烘烤对烤烟致香物质含量的影响[D]. 长沙：湖南农业大学，2009.
[21] 卢乐华. 云南清香型卷烟特征香味成分剖析与鉴定[D]. 无锡：江南大学，2012.
[22] 胡建军，周冀衡，李文伟，等. 烤烟香味成分与其感官质量的典型相关分析[J]. 烟草科技，2007（3）：9-15，22.
[23] 杨兴有, 刘国顺. 成熟期光强对烤烟理化特性和致香成分含量的影响[J]. 生态学报, 2007, 27（8）:3450-3456.
[24] 乔新荣，杨兴有，刘国顺，等. 弱光胁迫对烤烟化学成分及中性挥发性致香物质的影响[J]. 烟草科技，2008（9）：56-58，65.
[25] 刘典三，刘国顺，贾芳芳，等. 不同光强对烤烟质体色素及其降解产物的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28（1）：234-238.
[26] 黄勇. 烟叶结构与代谢产物差异及光因素影响的研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2007.
[27] 杨虹琦，周冀衡，杨述元，等. 不同产区烤烟中主要潜香型物质对评吸质量的影响研究[J]. 湖南农业大学学报：自然科学版，2005，31（1）：11-14.
[28] 张永安，王瑞强，杨述元，等. 生态因子与烤烟中性挥发性香气物质的关系研究[J]. 安徽农业科学，2006，34（18）：4652-4654.
[29] 过伟民，尹启生，宋纪真. 烟草质体色素及其降解产物影响因素研究进展[J]. 华北农学报，2008，28（23）：358-362.
[30] 皇甫晓琼. 不同基因型烤烟对光温环境的生理生化响应研究[D]. 福州：福建农林大学，2012.
[31] 韩锦峰，汪耀富，杨素勤. 干旱胁迫对烤烟化学成分和香气物质含量的影响[J]. 中国烟草，1994（1）：35-38.
[32] 李祖良. 成熟期不同土壤水分状况对烤烟生长发育及品质和产量的影响[D]. 郑州：河南农业大学，2012.
[33] I Wahlberg, K Karlsson, D J Austin, et al. Effects of flue-curing and ageing on the volatile, neutral and acidic constituents of Virginia tobacco[J]. Phytochemistry, 1977, 16(8): 1217-1231.
[34] 何承刚，曾旭波. 烤烟香气物质的影响因素及其代谢研究进展[J]. 中国烟草科学，2005（2）：40-43.
[35] 崔红，冀浩，杨惠绢，等. 不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达[J]. 生态学报，2011，31（11）：3143-3149.
[36] 王能如，李章海，王东胜，等. 我国烤烟主体香味成分研究初报[J]. 中国烟草科学，2009，30（3）：1-6.
[37] 师君丽，杨虹琦，宋春满，等. 云南不同生态烟区烤烟主要挥发性香气物质含量的比较[J]. 云南农业大学学报：自然科学版，2011，26（6）：790-794，827.
[38] 王可，刘静静，刘强，等. 调亏灌溉对成熟期烤烟中性致香物质的影响[J]. 中国农学通报，2011，27（19）：105-109.
[39] R F Severson, R F Arrendale, O T Chortyk, et al. Quantitation of the major cuticular components from green leaf of different tobacco types[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(3): 566-570.
[40] J Leffingwell, D Leffingwell. Chemical and sensory aspects of tobacco flavor[J]. Rec Adv Tob Sci, 1988, 14: 169-218.
[41] 阎新甫，韩锦锋. 烟草多酚类化合物的研究进展[J]. 华北农学报，1987（2）：31-38.
[42] 李章海，王能如，王东胜，等. 烤烟香气指数的建立及其与烟叶质量特征的关系[J]. 安徽农业科学，2007（4）：1055-1056，1073.
[43] 周恒. 中国主产烟区烤烟香气指数状况及与其他品质指标的关系[D]. 郑州：河南农业大学，2010.
[44] 周恒，许自成，赵会纳，等. 烟草多酚类物质的研究进展[J]. 浙江农业科学，2009（5）：949-953，955.
[45] 温永琴，徐丽芬，陈宗瑜，等. 云南烤烟石油醚提取物和多酚类与气候要素的关系[J]. 湖南农业大学学报：自然科学版，2002，28（2）：103-105.
[46] 冼可法，沈朝智，戚万敏，等. 云南烤烟中性香味物质分析研究[J]. 中国烟草学报，1992，1（2）：1-9.
[47] J Mann. Secondary metabolism[M]. Clarendon Press Oxford, U K, 1987.
[48] M Zucker, C Nitsch, J Nitsch. The Induction of Flowering in Nicotiana. II. Photoperiodic Alteration of the Alteration of the Chlorogenic Acid Condentration[J]. American Journal of Botany, 1965: 271-277.
[49] 常爱霞，张建平，杜咏梅，等. 烤烟香型相关化学成分

主导的不同产区烟叶聚类分析[J]. 中国烟草学报，2010，16（2）：14-19.

[50] 武丽，徐晓燕，朱小茜，等. 我国不同生态烟区烤烟的部分化学成分和多酚类物质含量的比较[J]. 华北农学报，2008，28（23）：153-156.

[51] D Koeppe, L Rohrbaugh, E Rice, et al. The Effect of Age and Chilling Temperature on the Concentration of scopolin and caffeoylquinic Acids in Tobacco[J]. Physiologia Plantarum, 1970, 23(2): 258-266.

[52] 刘培玉. 不同生态区烤烟基因型间烟叶主要致香物质含量的差异分析[D]. 郑州：河南农业大学，2010.

[53] 周昆，周清明，胡晓兰. 烤烟香气物质研究进展[J]. 中国烟草科学，2008，29（2）：58-61.

[54] 肖金香，刘正和，王燕，等. 气候生态因素对烤烟产量与品质的影响及植烟措施研究[J]. 中国生态农业学报，2003，11（4）：158-160.

[55] 刘丽，文俊，林锐锋，等. 浓香型烟叶特征及影响因素研究进展[J]. 安徽农业科学，2010，38（18）：9504-9506，9514.

[56] 王伯毅. 烟碱的形成及提高烟碱量的栽培措施[J]. 烟草科技，1984（2）：22-24.

[57] 戴冕. 我国主产烟区若干气象因素与烟叶化学成分关系的研究[J]. 中国烟草学报，2000，6（1）：28-35.

[58] 过伟民，张艳玲，蔡宪杰，等. 光质对烤烟品质及光合色素含量的影响[J]. 烟草科技，2011（9）：65-70.

[59] 李继泉, 金幼菊. 环境因子对植物他感化合物的影响[J]. 河北林果研究，1999，14（3）：285.

[60] 夏凯，齐绍武，郭汉华，等. 湖南省不同生态区域烤烟品质变化研究[J]. 长江大学学报自然科学版：农学卷，2009，6（2）：6-8.

[61] 韦成才，马英明，艾绥龙，等. 陕南烤烟质量与气候关系研究[J]. 中国烟草科学，2004（3）：38-41.

[62] 蔡晓步, 钱成. 氮肥形态和用量对藏东南地区烤烟产量和质量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14（1）:66-70.

[63] W Weeks. Chemistry of tobacco constituents influencing flavor and aroma[J]. Recent Advance of Tobacco Science, 1985, 11: 175-200.

[64] 周正红，高孔荣，张水华. 烟草中化学成分对卷烟色香味品质的影响及其研究进展[J]. 烟草科技，1997（2）：22-25.

[65] 邬春芳. 光质对云南烤烟生长发育及品质的影响[D]. 北京：中国农业科学院，2011.

[66] 郑湖南. 不同香气风格烤烟常规化学成分和香气物质的差异研究[J]. 安徽农业科学，2008，36（31）：13700-13702，13728.

[67] 李炎强，冼可法，赵明月，等. 云南、河南烤烟中挥发性、半挥发性游离及结合态脂肪酸的研究[J]. 中国烟草学报，2000，6（1）：2-7.

[68] 卢秀萍，许仪，许自成，等. 不同烤烟基因型非挥发性有机酸和高级脂肪酸含量的变异分析[J]. 中国烟草学报，2007，13（3）：47-51.

[69] 许自成，刘国顺，刘金海，等. 铜山烟区生态因素和烟叶质量特点[J]. 生态学报，2005，25（7）：1748-1753.

[70] 程昌新，卢秀萍，许自成，等. 基因型和生态因素对烟草香气物质含量的影响[J]. 中国农学通报，2005，21（11）：137-139，182.

[71] 唐远驹，刘钟祥，潘文杰. 烤烟“中间香型”的困惑[J]. 中国烟草科学，2014，35（2）：1-6.

[72] 王树声. 特色优质烟叶开发重大专项立项背景[J]. 中国烟草科学，2010，31（1）：83-84.