

光照对烤烟生长发育及质量形成的影响研究进展

顾少龙, 史宏志*

(河南农业大学 国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南 郑州 450002)

摘要: 光照是作物生长发育所必需的重要生态条件, 与烟草的生长发育和内在质量有着密切的关系。为此, 综述了光照对烤烟生长发育、光合作用、生理代谢和内在质量的影响, 并展望了未来的研究方向。

关键词: 光照; 烤烟; 生长发育; 光合作用; 生理代谢; 质量

中图分类号: S572.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2010)05-0120-05

光是影响植物生长发育的重要因子之一。它不仅影响植物的光合作用, 还以环境信号的形式作用于植物, 通过光敏色素等作用途径调节植物生长、发育和形态建成, 使植物更好地适应外界环境。关于光照对植物生长发育、光合特性及品质的影响已有很多报道^[1-4]。烟草(*Nicotiana tabacum* L.)是一种喜光作物, 在大田生长发育和品质形成过程中需要充足适宜的光照^[5], 光照强度、光照时间和光质都会对烟株的形态、生长发育、光合作用、化学成分等内在质量产生极大的影响。为了揭示光在烤烟生长发育及质量形成过程中的作用, 综述了光照对烤烟生长发育、光合作用、内在质量的影响以及光照与烟叶化学成分的关系, 并展望了未来的研究方向, 旨在为该方面的研究提供一些理论指导。

1 光照对烤烟生长发育的影响

光是作物进行光合作用的能量来源, 光合作用合成的有机物质是作物进行生长和发育的物质基础。细胞的增大和分化, 作物体积的增长和质量的增加都与光照有着密切的关系。光还能促进组织和器官的分化, 制约器官的生长发育速度。植物体各器官和组织保持发育上的正常比例, 也与一定的光照有关^[6]。不同的作物因其本身的特性而受光照强度、光照时间和光质的影响不一致。

1.1 光照强度对烤烟生长发育的影响

烟草是喜光作物, 和煦而充足的光照对烟叶的生长发育及品质形成十分有利, 当阳光充足并且有

适度的高温时, 有利于烟草生长和干物质积累。但过于强烈的光照则会使烟叶的栅栏组织和海绵组织加厚, 导致叶片厚而粗糙, 叶脉凸出, 形成“粗筋暴脉”, 过分强烈的日光还会引起日灼病, 使叶尖、叶缘和叶脉产生褐色的枯死斑, 这对烟草本身极为不利^[7]。光照不足, 烟株生长纤弱, 速度缓慢, 干物质积累也相应减慢, 致使叶片大而薄。由于生长不良, 后期叶片不能达到真正的成熟, 进而影响叶片的质量; 较弱的光照强度对烤烟生长的影响主要表现在茎变细, 叶片数减少, 出叶速度变慢, 叶片长宽比增大, 生物量减少, 生育期延长^[8]。肖金香等^[9]对烤烟进行遮阳处理的试验结果表明, 光照强度减弱使烤烟现蕾期和开花期推迟, 且烟株的根、茎、叶等农艺性状变差。潘莉^[10]等以 NC89 为材料, 研究不同光照强度 (0 lx、500 lx、1 000 lx、1 500 lx、2 000 lx) 对烤烟子房形成的影响, 结果表明, 光照强度对子房的膨大程度、颜色变化, 胚状体的颜色、大小、数量等都有一定的影响。

1.2 光质对烤烟生长发育的影响

光质对烟草的形态建成和生理代谢有广泛的调节作用, 烟株通过光受体感受光质与光强的微妙变化, 这些光受体激发信号传递途径来改变发育中的形态建成。目前知道的光受体可分为 4 类: 光敏色素主要感受红光 (波长 620 ~ 700 nm) 和远红光 (波长 700 ~ 800 nm); 隐花色素和 NPH1 (向光蛋白 1) 主要调控对 UV-A (波长 320 ~ 400 nm) 和蓝光 (波长 380 ~ 350 nm) 的应答; 还有一个或者几个尚未鉴

收稿日期: 2009-11-27

基金项目: 国家烟草专卖局科技项目 (30300318)

作者简介: 顾少龙 (1984-), 男, 河南登封人, 在读硕士研究生, 研究方向: 烟草栽培生理。E-mail: gushaolong1984@163.com

* 通讯作者: 史宏志 (1963-), 男, 河南滑县人, 教授, 博士, 主要从事烟草生理生化研究。

定的 UV-B(波长 280 ~ 320 nm)受体。这些光受体感受不同光质,然后通过它们之间的差异调节且相互作用来调控烟草的生长发育^[11]。不同光质对烟叶外部的生长发育有显著影响,如接受远红外光线照射的烟叶与吸收红外光线的烟叶相比要更窄一些,颜色淡绿,叶片粗糙^[12]。史宏志等^[13]研究发现,蓝光对叶片生长具有显著的抑制效应,表现为在总辐照度相同的条件下,蓝光与白光相比,可使叶片长、宽和叶面积减小,但可促使比叶重和干鲜比增加,叶片加厚;红光对叶面积的抑制作用相对较小,但可使比叶重降低,叶片变薄。在复合光中增加红光比例对叶面积的增加有一定的促进作用,但使比叶重降低,叶片变薄,较高的红光比例可使叶绿素含量下降,叶色变淡,增加蓝光比例对叶片生长具有一定的抑制效应,叶片长、宽和叶面积减小,但可促使比叶重和干鲜比增加,叶片加厚,叶绿素含量增加^[14]。过量 UV-B 处理使烟苗株高、茎粗、叶宽、叶长等性状呈下降趋势,且辐射强度越大,下降越明显,但微量的 UV-B 有利于主根的生长^[15]。戴冕等^[16]指出,高密度种植的烟株要比低密度种植的烟株茎秆长一些,叶子短而窄,这可能与植株生长发育过程中所接受的光源组成有关。

1.3 光照时数对烤烟生长发育的影响

烟草对日照长短的反应因品种而异。烤烟生长最合适的光照条件:全年日照百分率大于 50%,日照时数大于 2000h,大田生长期日照百分率 40%左右,日照时数大于 500h,此时的烤烟质量最为理想^[7]。訾天镇等^[17]指出,烟草大田生长期日照时数应为 500~700h。大多烟草品种对日照长短的反应为中性,即不敏感。只有多叶型品种是明显的短日性,它们要在日照较短的条件下才能现蕾开花^[18]。在一定范围内,光照时间长,延长光合作用时间,可以增加有机物质的合成。当光照时间减少到每天 8h 以下时,烟株生长缓慢,茎的伸长延迟,叶数减少,植株矮小,叶色黄绿,甚至发生畸形^[19]。

2 光照对烤烟光合作用的影响

烟草的光合作用受许多外界条件和内部因素的影响,其中,光照是影响光合作用最为重要的外界条件^[20]。光照是烟草进行光合作用的基础,影响着烟叶在光合作用过程中同化力形成所需的能量、光合作用关键酶的活化、气孔的开放以及调节光合机构的发育。光照不足会严重影响光合同化力,从而限制光合碳同化,同时,光合作用关键酶的活化也受到

影响,最终影响到烟叶光合作用中物质的合成;光照过强又往往引起烟叶光抑制,同样也影响烟叶的光合作用^[21]。在弱光条件下,烟草的光合速率很低,随着光照强度的增加,光合速率的增加幅度逐渐减小,当达到一定光强时,光合速率便达到最大值,此后,即使继续增加光照强度光合速率也不再增加,这种现象被称为光饱和现象,开始达到光饱和现象时的光照强度称为光饱和点。各种作物的光饱和点的差异较大。对于烟草来说,单株叶片虽达到光饱和点,而群体内层的光照强度仍在光饱和点以下,中、下层叶片仍能进一步利用群体中的透射光和反射光,随光照强度的增加,群体的光合速率继续增加,因此,群体的光饱和点比单株的高得多,甚至看不到光饱和点^[3]。Thimijan 等研究指出,烟草的光饱和点大概在 $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ^[22]。

光照强度影响作物的光饱和点和光补偿点。随着光强的增加,作物的光饱和点和光补偿点都有所下降,下降幅度因作物种类的不同而有所差别^[21]。对于喜光的烤烟来说,光照强度的大小在一定程度上对烟叶的光合作用及干物质的积累有着重要的作用,肖协忠等^[23]指出,在一定范围内,光照强度增加,烟叶光合作用增强,干物质积累增加。但是光照强度达到饱和点时,光照强度的增加与光合速率的增加不成比例。覃鹏等^[24]用不同的光照强度处理盛花期 K326 叶片,结果表明,随着光强逐渐增加至光饱和点时,烟叶的净光合速率逐渐升高,当光强继续增加时,净光合速率持续下降,气孔导度和蒸腾速率也逐步降低,同时,随着光照强度的变化,其烟株的水分利用率也随之变化。黄一兰等^[25]等研究不同光强对不同烤烟品种光合性状的影响,结果表明,随着光合有效辐射的提高,烤烟气孔导度、净光合速率和蒸腾速率均增加,而胞间 CO_2 浓度则下降,品种间变化趋势相似。江力等^[26]对 3 个烟草品种(K326、RG11、GB-1)进行不同光照强度处理,结果表明,随着处理光强的增加,烟叶的光系统 I (PS I)、光系统 II (PS II) 及全电子传递活性和碳酸酐酶(CA)活性变化呈现先上升后下降趋势,在 $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 下达到最大值,其中 PS II 电子传递活性及 CA 活性在 $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后下降迅速;RuBP 羧化酶(RuBPCase)初始活性先上升直至光强达到 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,之后随光强增加而下降,RuBPCase 总活性则随光强增加变化不大,而在大于 $900 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的强光下,烟叶就会发生光抑制现象。刘国顺等^[27]以盆栽烟草为研究对象,并

进行50%遮光处理,研究发现,遮光促进叶片叶绿素、类胡萝卜素积累,导致叶片叶绿素a/b和叶绿素/胡萝卜素值下降;遮光和自然光转换导致净光合速率(P_n)、实际光化学效率($\varphi_{PS II}$)、最大光能转换效率(F_v/F_m)、光化学猝灭系数(qP)的急剧下降。

在太阳辐射中,只有可见光对光合作用是有效的。在可见光区域,用不同波长的单色光照射植物叶片,测得的光合速率不同。在600~680 nm红光区,光合速率有一个大的峰值,在435 nm左右的蓝光区有一个小的峰值^[11]。红光和远红光协同调节光合作用中聚光色素(LHC)蛋白和光合碳循环中的Rubisco大亚基的编码基因 $rbcL$ (在叶绿体中)和小亚基的编码基因 $rbcS$ (在核基因组中)的转录,红光和远红光是在转录水平上调节光合机构的组装,从而直接影响植物的光合作用^[28]。蓝光和近紫外光主要通过调控气孔的开启、叶绿体的分化和运动以及调节光合作用酶的活性来对光合作用产生影响^[29]。气孔导度的增大就特异地受蓝光的诱导。蓝光可活化保卫细胞质膜上的H-ATP酶泵,它不断地泵出质子,形成跨膜的电化学梯度,推动 K^+ 经 K^+ 通道进入保卫细胞,导致细胞内渗透势下降,保卫细胞吸水膨胀,气孔开启^[30]。远紫外光UV-B辐射抑制许多植物的光合作用,危害陆生生物。UV-B辐射通过抑制破坏光反应系统,特别是PS II的反应中心,引起光合电子传递效率下降,并导致光抑制现象出现,致使叶绿体放氧活性下降;也可通过破坏光合作用关键酶—Rubisco,尤其是它的大亚基($rbcL$),从而使其羧化效率下降。另外,UV-B辐射增加了烟叶(气孔)对外界环境的敏感程度,气孔限制增加,CO₂净同化率下降,导致光合作用能力降低^[11]。

3 光照对烤烟生理代谢的影响

大量研究结果表明,光照强度对烟草体内的许多酶活性有较大影响^[23]。Bugos等^[31]的研究表明,强光能迅速提高VDE(紫黄质-环氧酶)含量水平。朱祝军^[32]研究表明,强光下,供应铵态氮的烟株叶片中抗坏血酸过氧化物酶(AsA-POD)活性明显高于供应硝态氮的叶片;而在弱光下其差异则不明显。增加光照强度能明显提高叶片中AsA-POD活性。刘敏等^[33]对UV-B胁迫条件下烟草叶片相关生理生化指标的变化进行研究,结果发现,UV-B辐照后,烟草叶片内光合色素(叶绿素a、叶绿素b)含量

比对照分别上升21%和10%;烟草叶片内过氧化物酶活性明显上升,同工酶图谱分析证实,有一种新的过氧化物酶同工酶表达,烟草叶片GGP(牻牛儿基牻牛儿基焦磷酸)合成酶(GGPS)的表达量显著提高。史宏志等^[4]研究发现,光质对碳氮代谢会有很大的影响,在复合光中增加红光比例可使叶绿素含量下降,转化酶活性提高,C/N明显增加,碳代谢增强;增加蓝光比例可以提高硝酸还原酶活性和呼吸速率,使氮代谢增强,C/N降低;在施氮水平过高时,生育后期增加红光比例有利于促进碳氮代谢的协调。

4 光照对烤烟内在质量的影响

4.1 光照对烤烟化学成分的影响

烤烟主要化学成分是评价烤烟内在品质优劣的重要指标^[34]。光照不足,糖和蛋白质的比例降低,香气、油分不足;光照过强,烟碱含量过高。光能利用条件好的叶片,总糖含量高;光能利用条件差的叶片,由于氮素的积累和同化,消耗了一些碳链,故糖分积累量相对减少,非蛋白氮成分含量较多,较难成熟,对烟叶品质不利^[12]。杨兴有等^[35]研究发现,遮荫条件下烟株干物质积累下降,叶片组织变薄,色素含量升高,落黄成熟时间延长,烟碱、总氮和钾含量增加,总糖和还原糖含量降低,中性致香成分含量增加。乔新荣等^[36]研究发现,弱光降低了总糖、还原糖、淀粉的含量,增加了营养元素含量。温永琴等^[37]发现,云南烟叶在光照较强的年份石油醚提取物含量较高,认为太阳辐射对云南烤烟多酚类致香物的质、量及脂溶性致香物的量的影响均为正效应,以对多酚类致香物的影响最为强烈,日均光照强度是影响烤烟大田期的主要气候要素之一。戴冕^[38]指出,光照与烟叶还原糖积累呈显著负相关。

光质对植物的形态建成和生理代谢有广泛的调节作用,因而光质对作物的化学成分也有重要影响。Kasperbauer^[39]研究表明,遮荫烟叶比未遮荫烟叶接受的远红外光照多于红外光照,从而导致烟株烟碱、多酚等含量不同。在复合光中,较高的红光比例可使叶片总碳、还原糖含量增高,总氮、蛋白质含量下降,C/N比明显增加,较高蓝光比例使叶片总氮、蛋白质、氨基酸含量提高,使氮代谢增强,C/N降低^[14]。黄勇等^[15]研究表明,UV-B能提高烟叶 β -类胡萝卜素、总类胡萝卜素和多酚的含量,显著降低了烟叶中糖、烟碱的含量,且与UV-B处理时间、处理强度呈正相关。Anderson等^[40]应用可见

光加上紫外光(300~400 nm)对烟株进行处理,可以明显增加其展开叶片内绿原酸(异构体)、总可溶性酚醛酸、植物碱、可溶性糖的含量,但总氮含量明显降低。杨虹琦^[41]发现,高海拔地区烤烟多酚含量高于低海拔地区,推断与较强的紫外辐射有关。

据研究^[42],陕南烟叶中蛋白质含量与烤烟成熟期7月、8月的日照时数呈负相关,钾的含量与烟叶成熟期7月、8月和大田期5—8月日照时数呈负相关,说明烤烟成熟期和大田过多的日照不利于钾的积累。氯的含量与烤烟旺长期6月的日照时数及大田期5—8月日照时数呈正相关,表明烤烟大田期日照时数的增加有利于氯含量的提高。谢敬明等^[43]发现,红河州烟叶的总糖含量受成熟期(8月)日照时数的影响,施木克值和钾的含量受旺长期到成熟期(6月下旬至8月下旬)日照时数的影响较大;钙含量主要受6月日照时数的影响。王彪等^[44]对云南烟区的烟叶主要化学成分与当地主要气象因子的关联度进行分析,结果表明,水溶性总糖、还原糖、蛋白质与旺长期和成熟期的日照时数的关联度最高。

4.2 光照对烤烟品质的影响

烤烟产量的高低、品质的优劣与光照强度、光照时数、光质有很大的关系。充足而不强烈的光照强度是形成优质烟叶的重要条件^[45]。如果光照强度不足,叶片油分少,香气量少,香气质差,呼吸感觉常为“有劲无味”。若光照过强,烟叶刺激性增强,吃味辛辣,烟叶品质受到严重影响^[7]。

据王广山等^[46]研究可知,光照强度太低不能满足强光光合作用的需要,形成的碳水化合物多数被呼吸消耗,所产烟叶品质较差。黄中艳^[47]等研究认为,云南烤烟生长期间光温水的时段分配和匹配具有独特性;大田前期的多光少雨、气温偏高,中后期的寡照多雨、气温偏低;大田生长期(6—9月)正值雨季,是云南时晴时雨的“花旱天”,天空时常有云层,此期光照时数为550~650h,日照百分率为35%~40%,与烤烟生长最合适的光照条件相符合,从而决定了云烟的清香型风格。

不同生态环境条件下生长的烟叶质量有显著差异,其与光质比例有一定的关系。一般认为,海拔升高有利于生产优质烟叶,这与较高海拔条件下云雾较多,漫射光比例高是一致的,但如果海拔过高,蓝紫光比例增加,生长受抑,烟叶小而厚,品质反而降低^[14]。

5 展望

目前国内外就光照对烤烟的影响已进行了大量

的研究,但这些研究还比较肤浅单一,光照对烤烟影响的机制和基本规律还不明确。我国地域广阔,生态环境差别很大,不同生态环境条件下生长的烟叶质量有显著差异,而不同地区的生态差别(纬度、海拔、地形等)都是通过影响光、温等最基本的生态因子实现的。所以研究光照、温度、水分、土壤对烤烟质量的综合效应及其机制和基本规律是很有必要的。此外,随着我国中式卷烟对优质特色原料的需求越来越大,优质特色烟区的自然气候条件与其特色烟叶形成的关系等必将成为目前乃至今后一段时间烟草科研工作的研究重点之一。同时今后的研究应该采用多种研究手段,如分子生物学、细胞学等,并把这些手段有机结合起来,以求全面了解光照对烟草内在品质影响的机制,这将对今后烟草种植区划及特色烟叶形成机制研究产生重大意义。

参考文献:

- [1] 吴能表,谈锋,肖文娟,等.光强因子对少花桂幼苗形态和生理指标及精油含量的影响[J].生态学报,2005,25(5):1159-1164.
- [2] 刘贤赵,康绍忠.不同生长阶段遮荫对番茄光合作用、干物质分配与叶N、P、K的影响[J].生态学报,2002,22(12):2264-2271.
- [3] 李潮海,栾丽敏,尹飞.弱光胁迫对不同基因型玉米生长发育和产量的影响[J].生态学报,2005,25(4):824-830.
- [4] 宋建民,田纪春,赵世杰.植物光合碳和氮代谢之间的关系及其调节[J].植物生理学通讯,1998,34(3):230-238.
- [5] 洪其琨.烟草栽培[M].上海:上海科学技术出版社,1983:28-30.
- [6] 董钻,沈秀瑛.作物栽培学总论[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [7] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [8] 刘国顺,乔新荣,王芳,等.光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响[J].西北植物学报,2007,27(9):1833-1837.
- [9] 肖金香,王燕,李晖,等.遮阳网覆盖对烤烟生长及产量的影响研究[J].中国生态农业学报,2003,11(4):152-154.
- [10] 潘莉,郑奇君.烟草未授粉子房单倍体诱导及影响因素的研究[J].河南农业大学学报,1999,33(1):48-52.
- [11] 时向东,蔡恒,焦枫,等.光质对作物生长发育影响研究进展[J].中国农学通报,2008,24(6):226-230.
- [12] 彭新辉,易建华,周清明,等.气候对烤烟内在质量的

- 影响研究进展[J]. 中国烟草科学 2009, 30(1): 68-72
- [13] 史宏志, 韩锦峰, 张国显, 等. 单色蓝光和红光对烟苗叶片生长和碳、氮代谢的影响[J]. 河南农业大学学报, 1998, 32(3): 258-262
- [14] 史宏志, 韩锦峰, 远彤, 等. 红光和蓝光对烟叶生长、碳氮代谢和品质的影响[J]. 作物学报, 1999, 25(2): 215-220.
- [15] 黄勇, 周冀衡, 郑明, 等. UV-B 对烟草生长发育及次生代谢的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 140-144
- [16] 戴冕, 冯福华, 周会光. 光环境对烟草叶片的若干生理生态影响[J]. 中国烟草, 1985(1): 1-5.
- [17] 訾天镇. 烟草栽培[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1985: 54-55.
- [18] 陈瑞泰. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 62-63.
- [19] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 薛德榕译. 上海: 上海科学技术出版社, 1987
- [20] 卢刘义次. 作物的光合作用与物质生产[M]. 薛德榕译. 北京: 科学出版社, 1979.
- [21] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 262-276
- [22] Thimijan R W, Heins R D. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure; A review of procedures for interconversion[J]. Hort Sci, 1983, 18(6): 818-822.
- [23] 肖协忠, 李德臣, 吴帼英, 等. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
- [24] 覃鹏, 曾淑华, 刘飞虎, 等. 光强对 K326 盛花期光合作用的影响[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2003, 25(增刊): 97-100
- [25] 黄一兰, 李文卿, 林毅, 等. 光强对烤烟光合作用影响的初步研究[J]. 烟草科技, 2000(9): 36-38
- [26] 江力, 曹树青, 戴新宾, 等. 光强对烟草光合作用的影响[J]. 中国烟草学报, 2000, 6(4): 17-20
- [27] 刘国顺, 赵献章, 韦凤杰, 等. 旺长期遮光及光照转换对不同烟草品种光合效率的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2368-2375
- [28] 陈汝民. 现代植物科学引论[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1995: 199-201
- [29] 邵玲. 光对植物光合作用的调节[J]. 西江大学学报, 1999(4): 72-75.
- [30] 李韶山. 植物的蓝光效应[J]. 植物生理学通讯, 1993, 29(4): 248-252.
- [31] Bugos R C, Chang S, Yamamoto H Y, *et al.* Developmental expression of violaxanthin de-epoxidase in leaves of tobacco growing under high and low light [J]. Plant Physiology, 1999, 121(1): 207-213.
- [32] 朱祝军. 不同光强和不同形态氮素对烟草叶片中抗坏血酸过氧化物酶[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(5): 330-332.
- [33] 刘敏, 李荣贵, 范海, 等. UV-B 辐射对烟草光合色素和几种酶的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 291-296
- [34] 周冀衡, 朱小平, 王彦亭, 等. 烟草生理与生物化学[M]. 北京: 中国科学技术大学出版社, 1996
- [35] 杨兴有, 刘国顺, 伍仁军, 等. 不同生育期降低光强对烟草生长发育和品质的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1014-1020.
- [36] 乔新荣, 刘国顺, 郭桥燕, 等. 光照强度对烤烟化学成分及物理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2007(5): 40-43.
- [37] 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, 2002, 28(2): 103-105.
- [38] 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, 2003, 6(1): 27-34.
- [39] Kasperbauer M J. Spectral distribution of light in a tobacco canopy and effects of end-of-day light quality on growth and development [J]. Plant Physiology, 1971, 47: 775-778.
- [40] Andersen R, Kasperbauer M J. Chemical composition of tobacco leaves altered by near-ultraviolet and intensity of visible light [J]. Plant Physiol, 1973, 51(4): 723-726
- [41] 杨虹琦. 烤烟主要潜香型物质研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006
- [42] 韦成才, 马英明, 艾绶龙, 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
- [43] 谢敬明, 尹文有. 浅析红河州中低海拔日照时数对烟叶品质的影响[J]. 贵州气象, 2006, 30(1): 34-36.
- [44] 王彪, 李天福. 气象因子与烟叶化学成分关联度分析[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(5): 742-745.
- [45] 张家智. 云烟优质适产的气候条件分析[J]. 中国农业气象, 2005, 21(2): 17-21.
- [46] 王广山, 陈卫华, 薛超群, 等. 烟碱形成的相关因素分析及降低烟碱技术措施[J]. 烟草科技, 2001(2): 38-41.
- [47] 黄中艳, 朱勇, 王树会, 等. 云南烤烟内在品质的关系[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 83-90