

不同叶位整形模式对白肋烟生长及烟叶多酚物质含量的影响

崔佰慧^{1,2}, 杨春雷³, 杨锦鹏³, 刘毅¹, 陈防^{1,4*}

(1. 中国科学院水生植物与流域生态重点实验室/中国科学院武汉植物园, 武汉 430074; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 湖北省烟草科学研究院, 武汉 430030; 4. 国际植物营养研究所(IPNI)中国项目部, 武汉 430074)

摘要: 叶位整形是一项促进烟叶生长和品质提高的栽培管理措施, 为明确不同叶位整形模式对白肋烟生长及多酚物质含量的影响, 我们在白肋烟主产区—湖北省恩施州研究了不同叶位整形模式下不同生育期白肋烟的叶面积、叶绿素含量(CCI值)、各器官生物量和上下位叶片中多酚物质含量。结果表明: 叶位整形显著影响了白肋烟生长和烟叶多酚物质含量, 不但增大了不同叶位烟叶的叶面积及CCl值, 还协调了各器官生物量、营养物质的合理分配以及不同叶位烟叶中多酚物质的含量; 但不同叶位整形模式对白肋烟的生长影响不同, 即旺长期整形(WZ)处理对白肋烟整株的促进作用较好, 而团棵后期整形(TH)处理仅对上位叶效果较好。本研究采用的叶位整形栽培管理技术在保证白肋烟产量的同时, 可在一定程度上促进白肋烟生长及烟叶品质的提高。

关键词: 叶位整形; 白肋烟; 叶面积; 生物量; 多酚物质

中图分类号: Q945.1

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2015)02-0226-11

Effect of Different Leaf Pruning Patterns on Growth and Leaf Polyphenol Content in White Burley

CUI Bai-Hui^{1,2}, YANG Chun-Lei³, YANG Jin-Peng³, LIU Yi¹, CHEN Fang^{1,4*}

(1. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Tobacco Research Institute of Hubei Province, Wuhan 430030, China; 4. China Program of International Plant Nutrition Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: Leaf pruning is a new practical technology for improving tobacco growth and leaf quality. To study the impacts of different leaf pruning patterns on growth and leaf polyphenol content in white burley, field experiments were carried out in Enshi Prefecture of Hubei Province. The leaf area, chlorophyll content index (CCl), biomass of each organ, and superior and inferior leaf polyphenol content were investigated. Results showed that leaf pruning significantly influenced the growth and leaf polyphenol content in white burley. Field leaf pruning increased the leaf area and CCl value at different leaf positions, and regulated and improved the translocation of organ biomass and nutrient substances, as well as the distribution of polyphenols in different leaf positions. At the same time, the response of different leaf pruning patterns was varied. Leaf pruning at the fast-growing stage (WZ) improved leaf quality for the whole tobacco plant, while leaf pruning at the later rosette stage (TH) only improved leaf quality for the upward leaves. In conclusion, based on traditional cultural and production conditions, leaf pruning could improve white burley growth and leaf quality.

Key words: Leaf pruning; White burley; Leaf area; Biomass; Polyphenol content

收稿日期: 2014-10-14, 退修日期: 2014-11-26。

基金项目: 湖北省烟草公司重点科技计划项目(HBSYKSKJHT2 013-005)。

作者简介: 崔佰慧(1989-), 女, 硕士, 主要从事农业生态学方面的研究。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: fchen@ipni.ac.cn)。

白肋烟(*Nicotiana tabacum* L.)起源于美国俄亥俄州^[1,2],主要分布在美洲、亚洲和欧洲。中国以湖北省恩施州为白肋烟主产区,并以其原烟“色、香、味”俱佳的优势在国际市场上备受欢迎^[2],但与国际优质烟叶相比,我国白肋烟烟叶的生产还存在着一定差距。

烟叶品质受栽培措施、遗传因素、生态条件等影响^[3-6]。打顶作为一项重要的栽培管理措施,能够调整烟株的养分分配,改变烟叶性状和根系生长,协调烟叶内含物质代谢、合成和积累^[7-10],但打顶时间及留叶数均会影响烟株的生长和烟叶品质^[5,7,8]。有研究表明,打顶会促进烟株根系生长^[3,11],不同的留叶数对烟叶产量及品质的影响也有差异^[5,12,13]。目前,对烟叶品质的评价多集中在烟碱含量方面^[3,5,14,15],而对不同叶位烟叶中多酚物质含量及积累的研究较少。烟叶中的多酚可以反映烟草的遗传特性和生长发育状态,并对烟叶的颜色、烟气的质量和生理强度起着明显的作用^[16]。

经湖北省烟草科学研究院在湖北省恩施州崔坝试验基地开展的多年烟草田间栽培试验显示,在团棵后期摘掉烟株的第13、14、15(从下到上)片叶,或在旺长期摘掉第15、16、17片叶的整形方式有利于获得稳产优质的烟叶。这种叶位整形方式不同于常见的打顶处理,因为打顶是把烟草的顶芽去除,实施部位为烟草的最顶端,而叶位整形技术的部位是在烟株的中部和中上部。为区别于打顶,我们暂时将这项栽培管理技术命名为“叶位整形”,其中“整形”主要针对“调整优化株型”的概念产生,“整”是借鉴于园艺学中“整枝”、“修剪”等概念提出的。株型控制着烤烟上、中、下3个部位烟叶的结构分配、烟叶单叶重状况等,对烟叶品质的形成及特色突显有重要作用^[17],且不同的株型特征与栽培技术的调整有着密切关系^[18,19]。姜洪甲等认为优质烤烟的最佳株型是似筒型^[20]。经过多年栽培试验发现,叶位整形有利于烟株由塔形或橄榄形向筒形转变。本研究拟以湖北省恩施州白肋烟为材料,探讨不同叶位整形模式对白肋烟生长及烟叶品质的影响及作用机理,为提高白肋烟产量和品质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

供试白肋烟品种为“鄂烟一号”(也称“建白80”),田间栽培试验于2013年在湖北省恩施州进行。试验区海拔850 m,土壤为黄棕壤, pH 6.89、有机质为24.47 g/kg、碱解氮为163.10 mg/kg、速效磷为43.48 mg/kg、速效钾为281.59 mg/kg。

1.2 试验设置

叶位整形共设3个处理:(1)对照(CK),不整形,留叶22片;(2)团棵后期(TH),去除烟株的第13、14、15片叶,留足22片(6月18日实施);(3)旺长期(WZ),去除烟株的第15、16、17片叶,留足22片(6月27日实施)。每个处理设3个重复(共270株),随机排列;每小区植烟株5垄,每垄18株,株行距为50 cm×120 cm。移栽前20 d施烟草专用复合肥(N:P:K=1:1:2)183 g/m²、过磷酸钙65.6 g/m²作为基肥;移栽后20 d施硝酸铵26.2 g/m²、硫酸钾31.5 g/m²作为追肥一次性施入。在烟株的培养过程中,尽量保持其他非试验处理的技术环节和栽培条件一致。

1.3 试验取材

移栽后55 d(7月4日)、72 d(7月21日)、89 d(8月7日,成熟收获期)分别于各试验小区随机选取3株进行取样。将烟株刨出后用清水洗净,分为根、茎和叶3部分。从下往上测量每片烟叶的长和宽,并用CCM-200叶绿素仪测定烟叶CCI值(SPAD值的相对含量)。叶位标准(从下往上数):下位叶为1~15叶位,上位叶为16叶位~顶端叶。分叶位选取代表性下位叶和上位叶进行杀青和烘干,粉碎、过筛后自封袋保存,用于多酚物质(绿原酸、咖啡酸、芸香苷和没食子酸)含量的测定(高效液相色谱法)。烟株及其各器官鲜样经105℃杀青2 h后置于烘箱内70℃烘干、称重,计算其生物量;在团棵后期整形时(6月18日)也采用此方法测定白肋烟各器官生物量。

1.4 数据处理

使用Excel 2007进行数据处理与绘图,采用软件SPSS 17.0进行数据的统计分析,并检测各

处理间的差异显著性。

叶面积参照中国烟草行业标准《烟草农艺性状调查方法》(YC/T142-1998)^[21]计算, 即叶面积 = 叶长 × 叶宽 × 0.6345。

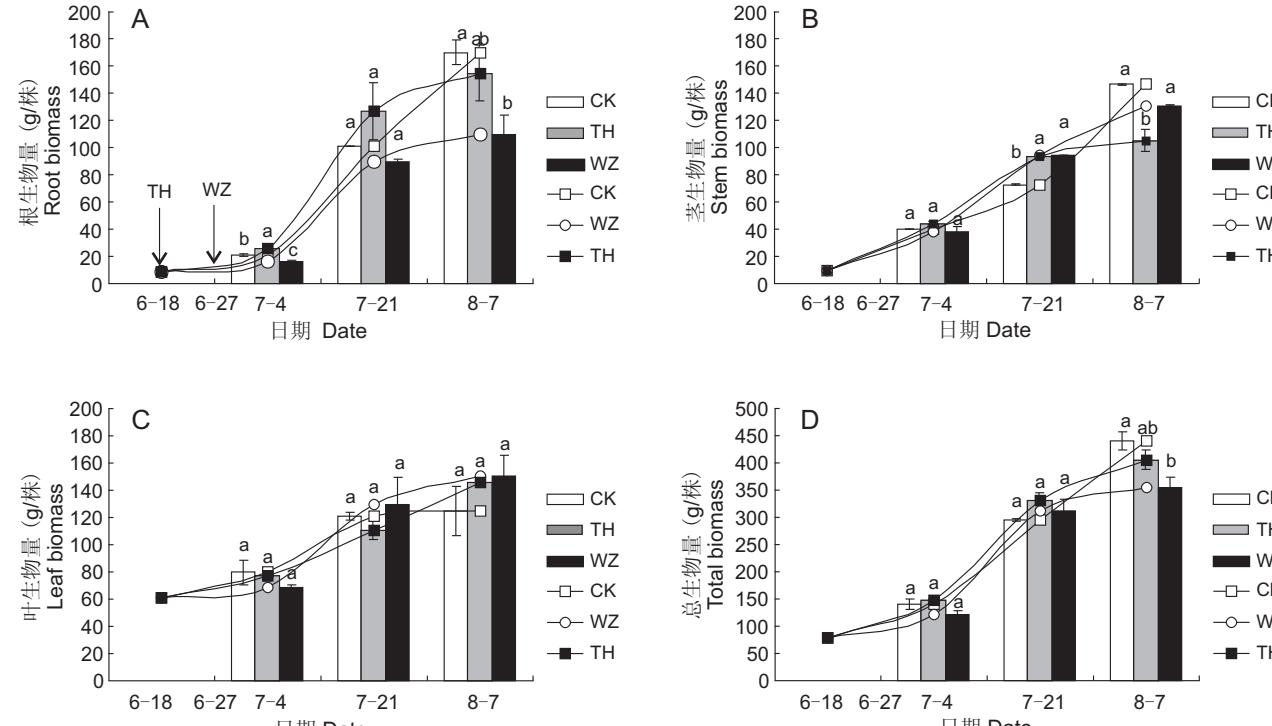
2 结果与分析

2.1 不同叶位整形模式对白肋烟生物量的影响

不同叶位整形模式下白肋烟各器官生物量的变化动态如图1所示。从根生物量的累积来看(图1: A), 实施整形时(6月18日)各处理根系生物量均保持较低水平; 叶位整形后(6月19日-27日)在一定程度上降低了根生物量累积, 并且在收获时(8月7日)各处理间呈现出明显差异, 表现为CK > TH > WZ, 说明叶位整形处理促进了较多的营养物质转移到地上部分, 致使整形烟株具有较低的根生物量。各处理的茎生物量均呈持续上升趋势(图1: B), 直至收获时茎生物量达到最大。7月

21日采样时, 整形处理的茎生物量显著高于CK, 而2种叶位整形处理(TH和WZ)间无显著差异; 8月7日收获烟株时, 整形处理的茎生物量显著低于CK, 表明在白肋烟生长过程中叶位整形有利于促进其茎的生长, 但在烟株成熟收获时整形处理又促使更多的营养物质转移到了烟叶中。

叶片作为烟株的重要收获器官, 不同整形处理并未显著影响其生物量(图1: C)。说明整形处理虽摘除了叶片, 但并未显著降低烟株的叶生物量, 反而在收获时略高于CK, 这可能是整形促进了植株留余叶片的快速生长, 增加了叶面积及其质量。从不同整形模式下白肋烟总生物量来看(图1: D), 整形处理(7月4日-21日)的烟株总生物量与对照无显著差异; 而在8月7日收获烟株时, 整形处理的总生物量显著低于CK, 尤其是WZ处理, 这可能与整形处理降低了收获时的根生物量有关。



CK, 对照; TH, 团棵后期; WZ, 旺长期。图中数据为3次重复的平均值。不同小写字母表示不同叶位整形模式间差异显著($P < 0.05$)。下同。

CK, Control; TH, Later rosette stage; WZ, Fast-growing stage. Dates in the figure are the means of three replicates. Different normal letters indicate significant differences between different leaf pruning patterns. Same below.

图1 不同叶位整形模式下白肋烟生物量的变化动态

Fig. 1 Biomass dynamics of white burley under different leaf pruning patterns

2.2 不同叶位整形模式对白肋烟叶面积及叶片 CCI 值的影响

叶面积可有效反映作物群体光合作用及物质生产能力。烟草植株地上器官均可截获光能, 但以叶片为主要光合器官。对白肋烟叶面积的分析结果表明(图 2, 图 3), 在旺长期(WZ)进行整形处理后短时间内(6月 27 日–7月 4 日)降低了白肋烟的总叶面积和下位叶叶面积, 而对上位叶叶面积无明显影响。整形处理一段时间后(7月 21 日)白肋烟总叶面积并没有降低, 团棵后期(TH)进行的整形处理虽显著降低了下位叶叶面积, 但其上位叶叶面积显著增加; 相对于整形初期, WZ 处理的烟株下位叶及上位叶叶面积增加速率都较大。虽然摘除了 3 片烟叶, 但收获烟株时整形处理的总叶面积并没有降低。不同整形处理对不同叶位的叶面积影响不同, 摘除下部叶片的 TH 处理使下位叶叶面积显著降低, 上位叶叶面积显著增加; 而摘除上部叶片的 WZ 处理并没有显著降低烟株上位叶和下位叶叶面积, 这说明整形处理可以促进上位叶的生长, 而 WZ 处理还可以保证下位叶的较好生长。从各叶位烟叶的平均叶面积来看, 旺长期(WZ)整形处理后短时间内(6月 27–7月 4 日)抑制了叶片生长, 造成了平均叶面积降低; 整形一段时间后(TH 处理和 7月 21 日采样的 WZ 处理烟株), 叶片生长加快, 叶面积显著增加, 尤其是叶位整形实施时期较早的 TH 处理(6月 18 日), 在收获前其各叶位叶面积都显著高于其他处理。收获时(8月 7 日), 各处理各叶位叶面积无显著差异, 这说明生育后期各处理叶片已接近最大叶面积, 而较早达到最大叶面积的 TH 处理在这一时期主要是增加叶片厚度及改善叶片质量, 其相对较高的叶生物量也间接证明了这一结果(图 1)。

烟叶中叶绿素含量变化导致的叶色变化在生产上通常作为烟株营养管理和叶片成熟度判断的重要标志。对白肋烟不同叶位 CCI 值的分析结果表明(图 4, 图 5), 不同叶位整形模式显著影响了叶片 CCI 值。旺长期(WZ)进行叶位整形处理后短时间内(6月 27–7月 4 日)降低了白肋烟叶片的总 CCI 值; 整形处理一段时间后白肋烟叶片总 CCI 值增加, 至收获时(8月 7 日)显著高于 CK, 且 WZ 处

理显著高于 TH。就不同叶位叶片来讲, 摘除了下部叶片的 TH 处理其下位叶片总 CCI 值显著低于其他处理, 而上位叶 CCI 值则显著大于其他处理; 摘除了上部 3 片烟叶的 WZ 处理其上位叶和下位叶的 CCI 值均显著高于对照, 下位叶 CCI 值高于 TH 处理, 且总 CCI 值也显著高于其他处理, 这与不同处理的叶面积变化规律基本一致。从平均 CCI 值来看, 除了团棵后期(TH)进行整形处理后短时间内(6月 18 日–7月 4 日)的平均 CCI 值显著低于 CK 外, 整形处理的烟株平均 CCI 值均与 CK 相近或显著高于 CK, 且 WZ 处理的下位叶平均 CCI 值也显著高于 TH。这说明整形处理有利于白肋烟烟叶叶绿素的增加及其生长期的延长; WZ 处理对上位叶及下位叶的 CCI 值均有显著促进作用, 但 TH 处理对下位叶无明显促进作用。综上, 整形处理不但可以促进白肋烟烟叶的生长, 还有利于提高其质量, 但整形处理实施时间较早的 TH 处理对下位叶的促进作用却不显著。

2.3 不同叶位整形模式对白肋烟多酚物质含量的影响

多酚类化合物在烟叶的生长发育、调制特性、烟叶色泽、等级、烟气香吃味和烟气生理强度等方面起着重要作用, 是衡量烟叶品质的一个重要因素。绿原酸、咖啡酸、芸香苷和莨菪亭是烟叶中最主要的酚类化合物, 不同采样时期的白肋烟烟株中多酚类化合物含量变化较大(图 6)。从绿原酸含量来看, 对照烟株中含量最高, 且上位叶大于下位叶; 整形处理不同程度的降低了绿原酸含量, 但不同处理的烟株中绿原酸含量随时间的变化规律不同。下位叶中绿原酸含量随整形处理后时间的延长缓慢增加, 收获时(8月 7 日)WZ 处理显著低于 TH 和 CK; 上位叶中各处理烟株中绿原酸含量随整形处理后时间的延长变化差异较大, 且收获时 TH 处理显著低于 WZ 和 CK。就咖啡酸含量而言, 下位叶中的含量均随整形处理后时间的延长呈先降后升的趋势, 且收获时 WZ 处理显著低于 TH 和 CK; 上位叶中咖啡酸含量随整形处理后时间的延长差异也较大, 且收获时 TH 处理低于 WZ 和 CK。从芸香苷含量的变化动态来看, 下位叶中的含量均随整形处理后时间的延长呈先略升后降低的趋势,

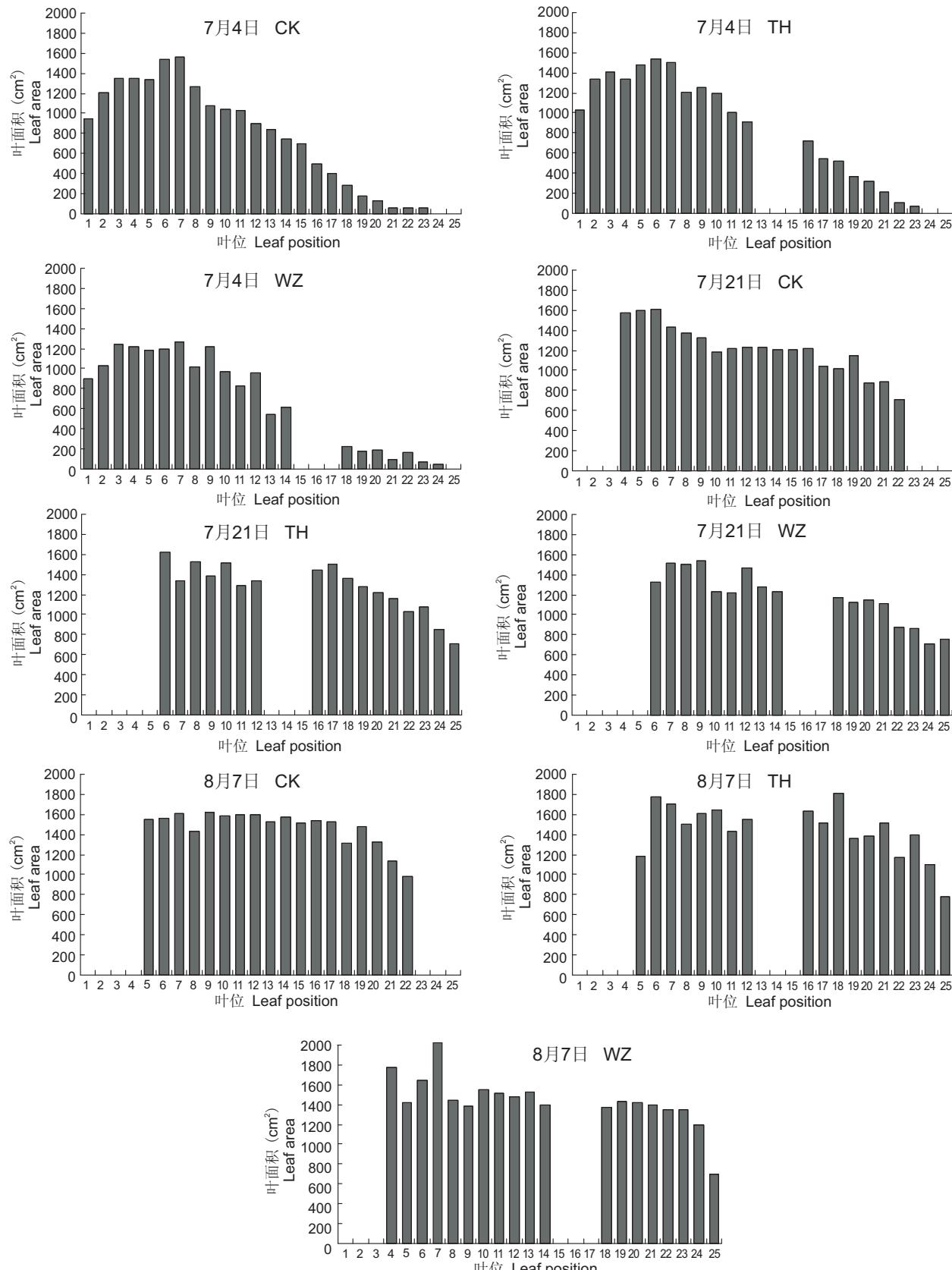


图2 不同叶位整形模式下白肋烟不同叶位叶面积的变化动态

Fig. 2 Dynamics of leaf area at different leaf positions under different leaf pruning patterns in white burley

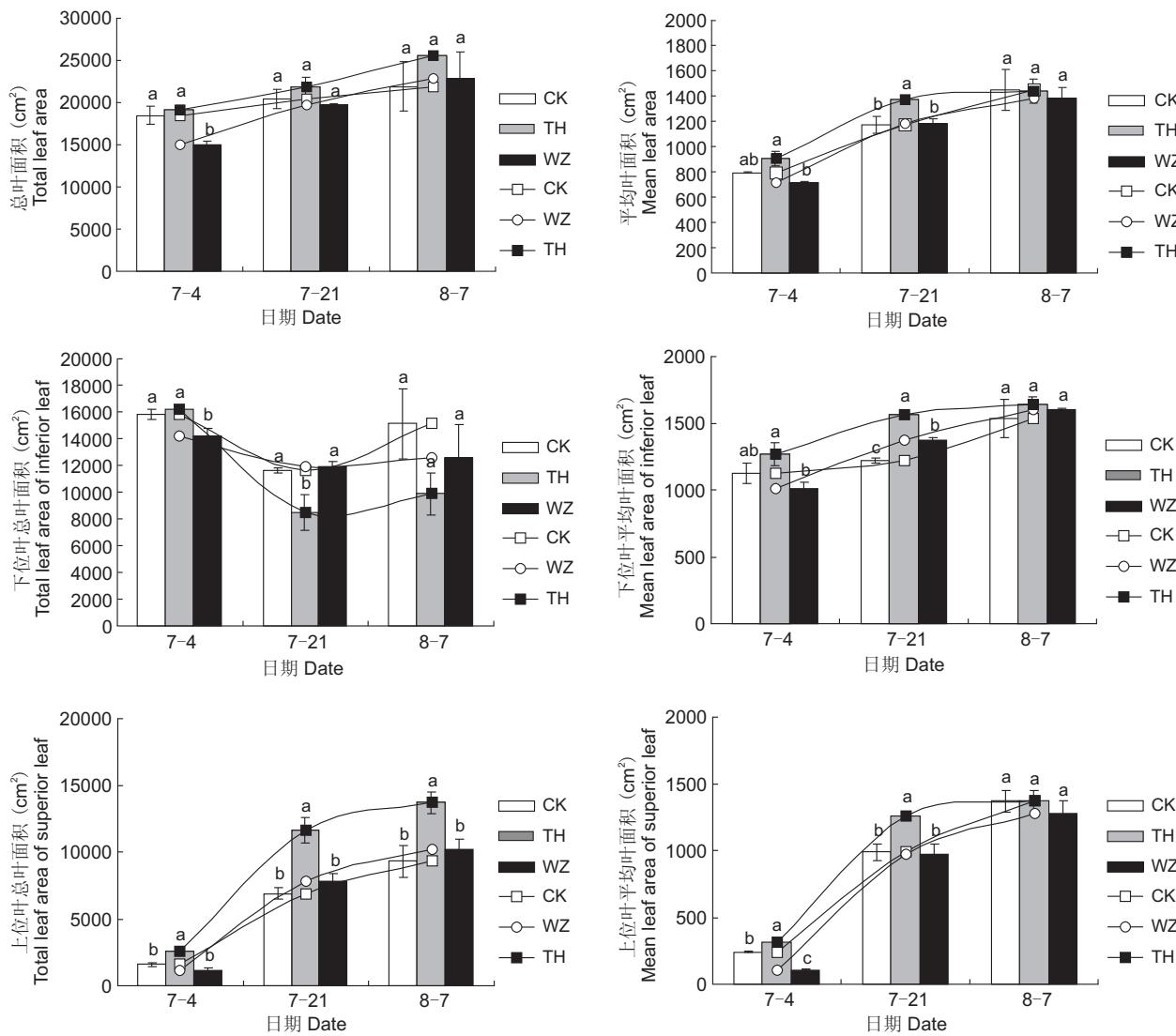


图 3 不同叶位整形模式下白肋烟叶面积的变化动态

Fig. 3 Dynamics of leaf area under different leaf pruning patterns in white burley

且收获时 WZ 处理显著低于 TH 和 CK; CK 和 TH 处理的烟株上位叶中芸香苷含量与下位叶中的变化规律相似(呈先略升后降低的趋势), 而 WZ 处理的上位叶中芸香苷含量则逐渐升高, 且整形处理显著高于 CK。就莨菪亭含量而言, TH 处理显著提高了下位叶中的莨菪亭含量, 降低了上位叶中的莨菪亭含量; WZ 处理显著降低了下位叶中的莨菪亭含量, 但对上位叶中的莨菪亭含量无显著影响。从烟叶中多酚类物质的含量变化(图 6)可以看出, 整形处理降低了含量较高的绿原酸、咖啡酸含量, 增加了含量较低的芸香苷和莨菪亭含量, 总体来说整形处理降低了白肋烟多酚物质含量。对不同叶位烟

叶中多酚物质含量来讲, TH 处理更有利于上位叶中多酚物质含量的降低, 而 WZ 处理更有利于下位叶中多酚物质含量的降低。

3 讨论

叶片是烟株进行光合作用的最重要器官, 也是其采收的经济器官。本研究分析了不同叶位整形模式对白肋烟生长的影响, 发现整形后的白肋烟烟株具有更多的烟叶叶面积和生物量以及较为合理的叶绿素、养分分配(图 1~图 4), 这可能是整形处理改善了田间光照条件并增强了烟叶的扩展特性^[4, 22]。因为较弱光照会导致烟株生长缓慢、叶片

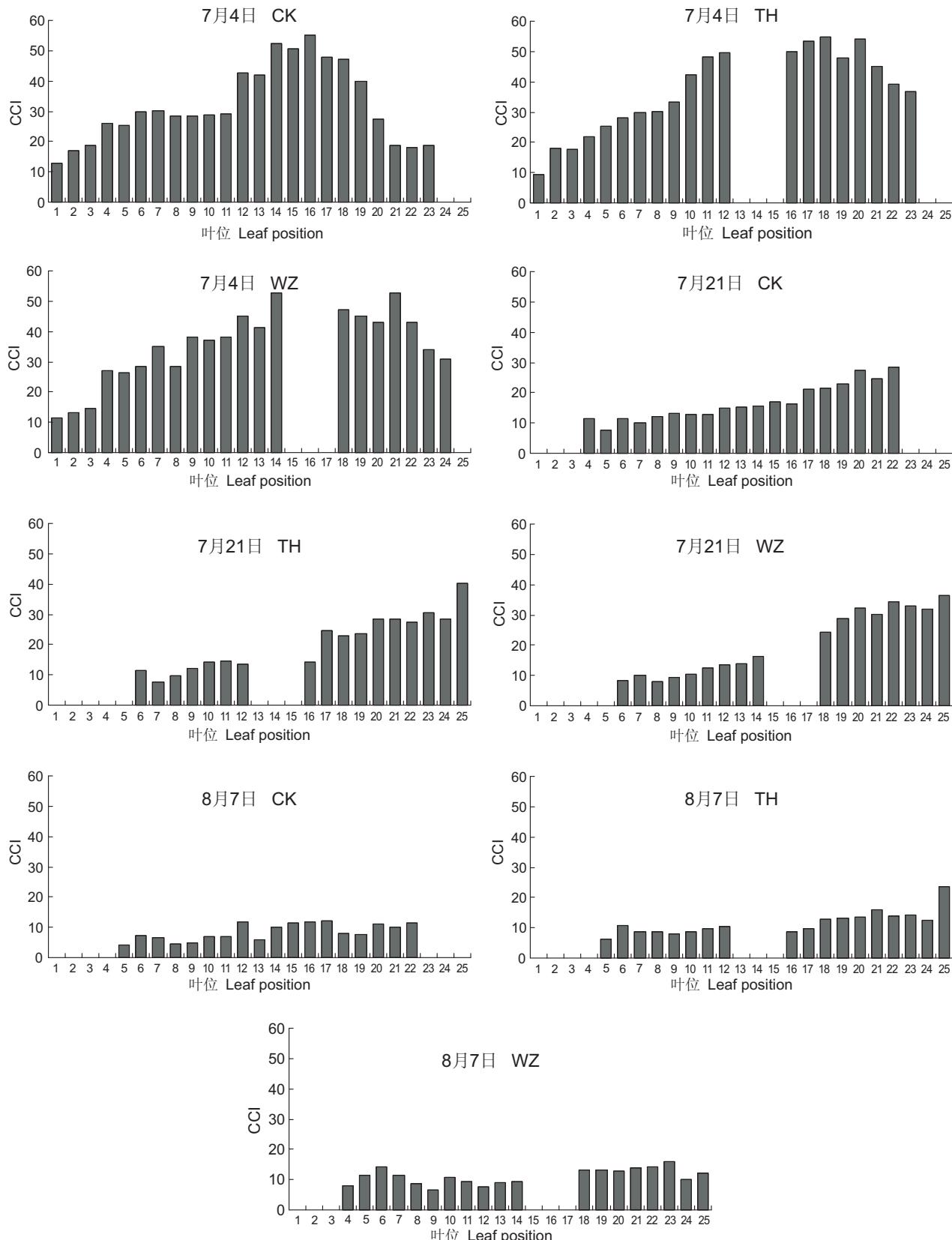


图 4 不同叶位整形模式下白肋烟不同叶位 CCI 值的变化动态

Fig. 4 Dynamics of chlorophyll content index at different leaf positions under different leaf pruning patterns in white burley

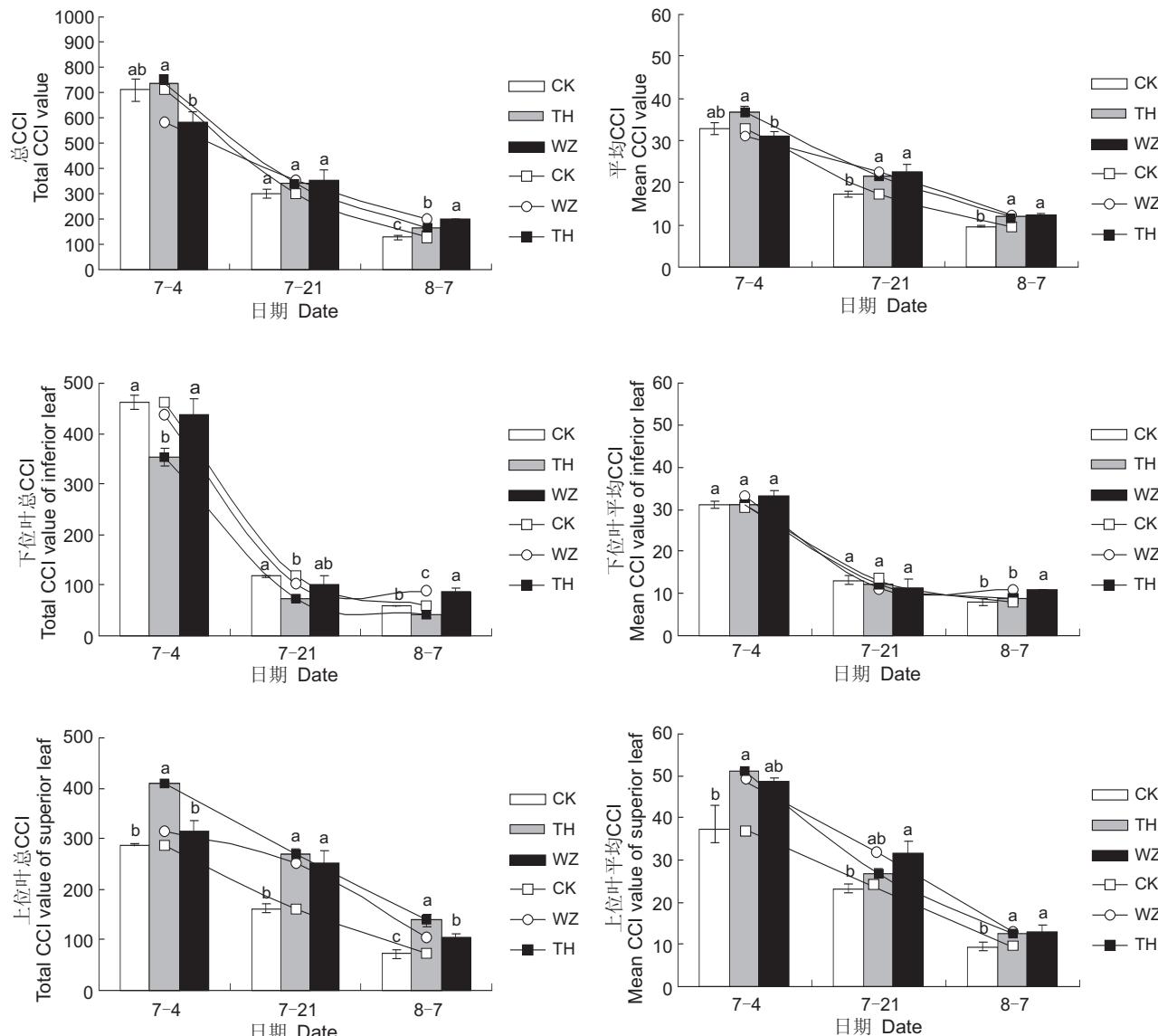


图 5 不同叶位整形模式下白肋烟 CCI 值的变化动态
Fig. 5 Dynamics of leaf CCI values under different leaf pruning patterns

面积较小、单叶重小, 不利于烟叶品质提高^[4,6,23]。不同叶位整形模式下白肋烟烟叶的生长动态不同, 与 TH 处理相比, WZ 处理更能促进下位叶生长及叶绿素含量的提高。团棵后期进行叶位整形时白肋烟叶片还不是太大, 对下部叶片的光照影响很小; 但随着处理后时间的延长, 烟株上部及下部叶片的扩展都较快, 上部叶片叶面积的快速增加在后期可能影响了下部叶片对光照的获取; 而 WZ 处理较好的兼顾了上部和下部叶片对光照的获取, 并且相对较高的整形位置更利于上部叶片为下部叶片提供更多的生长空间, 这可能与不同时期打顶具有类似的效果^[3,8,12,24]。干物质积累的动态可反映烟株的生

长发育状况^[16,24], 生长发育过程中白肋烟根、茎、叶各器官互为依存、相辅相成, 某一器官生长受抑制或受到损伤必将影响其它器官乃至整个植株的生长发育, 因此要提高烟叶产量、增进品质, 需采取必要的调控措施来保证根系良好生长的同时, 也能促进地上部尤其是叶的正常生长^[24,25]。本研究叶位整形后白肋烟烟株生长良好, 在生长后期将更多的养分转移到地上部分且优先分配给了叶片生长(图 4, 图 5)。从不同叶位整形的效果来看, 整形处理实施时间较早的 TH 处理更有利于白肋烟根系良好生长, 而整形位置较高的 WZ 处理更有利于养分转移至烟株地上部分的叶片中。

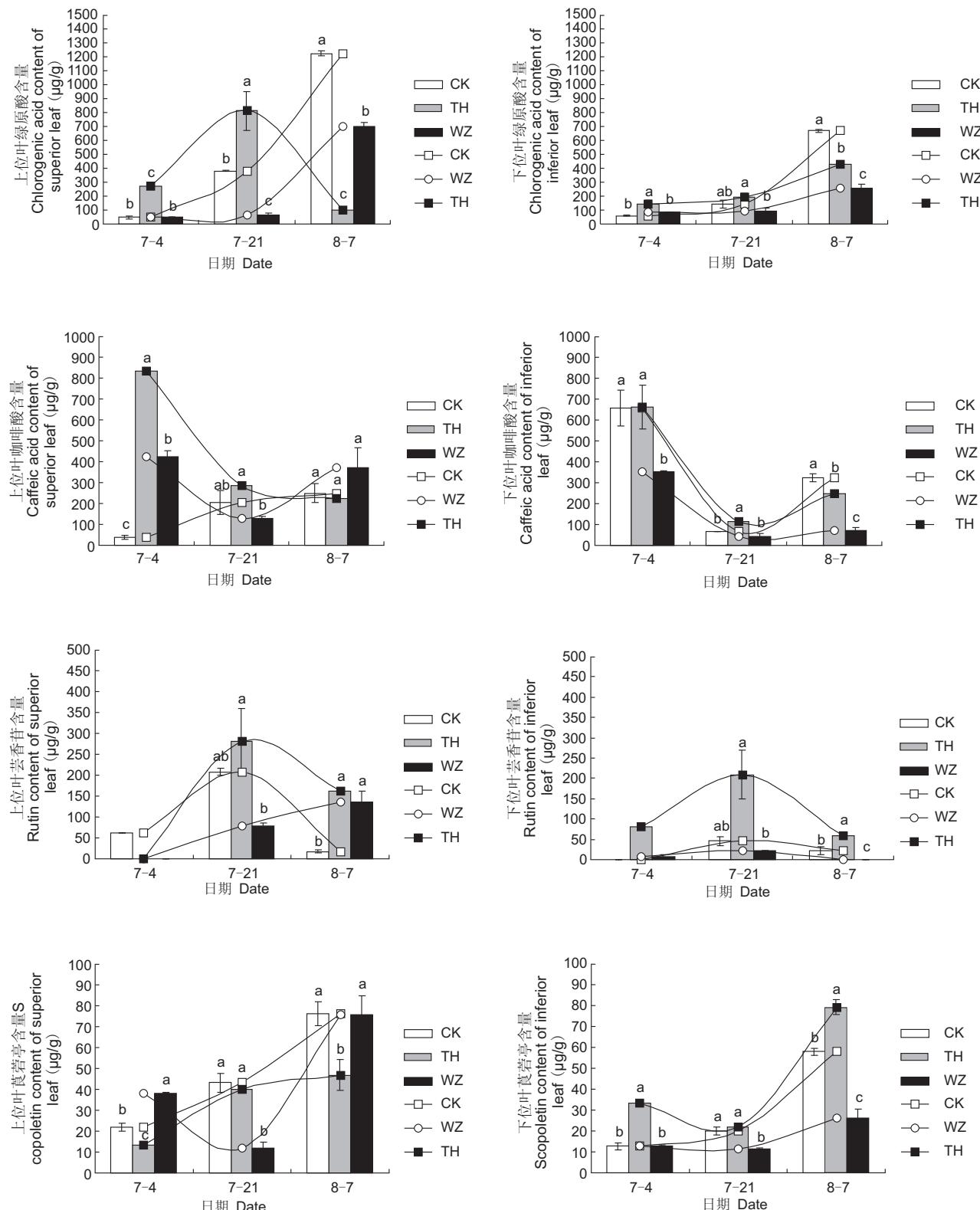


图 6 不同叶位整形模式下白肋烟多酚物质含量的变化动态

Fig. 6 Dynamics of polyphenol content under different leaf pruning patterns in white burley

白肋烟各器官的生长发育动态不但可以影响植株各器官间养分的转移,还会影响烟叶中化学成分含量的变化,进而影响烟叶品质^[7,24,26]。对不同叶位烟叶中多酚物质含量的分析结果显示,整形降低了含量较多的绿原酸、咖啡酸含量,增加了含量较少的芸香苷、莨菪亭含量(图6)。有研究表明,烟叶中多酚的含量与烟叶品质呈正相关关系^[10,27],但烟叶中的多酚同时也是烟气中儿茶酚等促癌成分的主要前体物质^[28,29]。本试验结果表明叶位整形有利于白肋烟烟气质量的保持,同时还可降低致癌的风险,但具体品质鉴定还需进一步的深入研究。不同整形模式对不同叶位烟叶中多酚物质含量的影响不同,WZ处理更有利于下位叶叶片中多酚物质含量的降低,而TH处理更有利于上位叶叶片中多酚物质含量的降低,这与不同叶位整形模式整形时间不同引起的光照条件差异有关。光照充足有利于白肋烟光合作用的进行、叶片内含物质的富集和化学成分的趋于协调^[4,15,22],但白肋烟生长要求光照充足而不强烈,光照过强可能会引起烟叶机械组织发达、烟碱及多酚含量等过高,这可能是整形处理实施时间较早的烟株下位叶多酚物质含量较高的原因。此外,烟株留叶数对叶片中化学成分和感官品质都有直接影响,特别是对上部叶片影响更大^[1,7,12]。随着烟株留叶数的增加,总氮、烟碱、钾含量以及多酚物质含量递减^[5,11,12],这是打顶在促进产量增加的同时对烟叶品质造成的损害。而本研究对烟株进行不同叶位整形处理不但可以保证烟叶产量,还能在一定程度上提高不同叶位烟叶品质。叶位整形在一定程度上发挥了打顶的作用即促进下部叶片的生长,同时又不会导致较多酚类物质的大量积累,但其作用机理的阐明还需进一步研究。

致谢:本研究在样品采集、实验方法选择以及数据分析方面得到中国科学院地理科学与资源研究所程传鹏博士的指导与帮助,在此深表谢意!

参考文献:

- [1] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [2] 朱清社. 白肋烟生产发展路在何方——对于湖北省白肋烟生产的思考[C]//中南片2003年烟草学术交流会论文集. 2004: 152-154.
- [3] 易建华, 贾志红, 孙在军. 打顶时间对烤烟根系形态及烟碱含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2762-2777.
- [4] 刘国顺, 乔新荣, 王芳, 杨超, 郭桥燕, 云菲. 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.
- [5] 史宏志, 李志, 谢子发, 尹文文, 陈志华, 刘国顺, 鲁喜梅. 白肋烟留叶数对叶片中性香气成分和生物碱含量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(4): 375-379.
- [6] 杨兴有, 崔树毅, 刘国顺, 邢小军, 余祥文, 叶协锋, 张建慧. 弱光环境对烟草生长、生理特性和品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 635-638.
- [7] 冯连军, 朱列书, 杨亚. 打顶对烟草上部叶质体色素和钾素含量动态变化的影响[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(1): 110-113.
- [8] 张永安, 周冀衡, 黄义德, 杨述元, 王瑞强. 不同打顶时期对上部烟叶物理性状及化学成分的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(21): 5567-5569.
- [9] Elliot JM. The effects of stage of topping flue-cured tobacco on certain properties of flue-cured leaves and smoke characteristics of cigarettes [J]. *Tob Sci*, 1975, 19(7): 7-9.
- [10] 王昇, 谢复炜, 吴鸣, 赵明月, 聂聪. 多酚在白肋烟生长、采收、调制过程中的变化研究[J]. 中国烟草学报, 2004, 10(5): 1-7.
- [11] 王广山, 尹启生, 张树模, 谭辞平, 张祥林. 运用栽培技术调节白肋烟氮碱比提高其可用性研究[J]. 烟草科技, 2001(6): 38-42.
- [12] 申宴斌, 刘彦中, 马剑雄, 刘剑金, 常剑, 李军, 林云红, 张光煦, 郭怡卿. 不同留叶数对烤烟新品种NC297生长及产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 57-60, 64.
- [13] 黄一兰, 王瑞强, 王雪仁, 彭怀俊. 打顶时间与留叶数对烤烟产质量及内在化学成分的影响[J]. 中国烟草科学, 2004, 25(4): 18-22.
- [14] 彭新辉, 易建华, 周清明, 蒲文宣, 周冀衡, 蒋小林, 陈启新. 土壤与气候及其互作对湖南烤烟还原糖与总植物碱含量的影响[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(1): 11-15, 19.
- [15] 罗井清, 蒋小林, 陈启新, 彭新辉. 土壤与气候及其互作对湖南三大烟区烤烟烟碱含量的影响[J]. 湖南文理学院学报: 自然科学版, 2011, 23(3): 81-84.
- [16] 左天觉. 烟草的生产、生理与生物化学[M]. 上海: 上海远东出版社, 1993.

- [17] 晋艳, 杨宇虹, 邓云龙, 雷永和. 施肥水平对烟株长势及烟叶质量的影响[J]. 烟草科技, 1999(6): 39-41.
- [18] 李章海, 王定福, 何崇文, 蒙祥旭, 王能如, 徐增汉, 朱显灵. 几种栽培技术和烤房类型对K326香型和香气品质特征的影响[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(2): 5-9.
- [19] 王丰, 丁伟, 冯勇刚, 田必文. 烤烟优质适产理想株型探讨[J]. 种子, 2007(5): 39-41, 84-87.
- [20] 姜洪甲, 马维广, 邢世东, 邓贵义. 烤烟不同栽培密度与留叶数对烟叶品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 124-128.
- [21] 国家烟草专卖局 (State Tobacco Monopoly Bureau). <http://www.yntsti.com/Services/Forecast/2005/823/20673.html>.
- [22] 王峥嵘, 魏建荣, 周兴华, 赵勇, 周适荔, 段树苍, 尹剑藤, 胡小曼, 李佛琳, 杨焕文. 不同光照强度对烤烟生长及品质的影响[J]. 云南农业大学学报, 2011, 26(S2): 14-20.
- [23] 王建伟, 张艳玲, 过伟民, 蔡宪杰, 王维超, 曹晓涛, 李伟观, 尹启生. 气象条件对烤烟烟叶主要化学成分含量的影响[J]. 烟草科技, 2011(12): 73-76, 84.
- [24] 柴家荣. 白肋烟干物质积累动态及地下部与地上部相关性研究[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(2): 33-36.
- [25] 陈懿, 潘文杰, 李章海, 陈伟, 李洪勋, 张纪利. 气候与土壤因子对烟叶特征物质的影响[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(6): 12-16.
- [26] Patel NM. Correlation analysis in studying influence of root growth in yield and quality of Bidi tobacco[J]. *Tobacco Res*, 1988, 14: 25-27.
- [27] Chotinuchit P, Vorabhleuk S. Studies on phenolic-compounds in Thai flue-cured tobacco [J]. *Thai J Agr Sci*, 1986, 19: 147-154.
- [28] Hecht SS, Carmella S, Mori H, Hoffmann D. A study of tobacco carcinogenesis. XX. Role of catechol as a major cocarcinogen in the weakly acidic fraction of smoke condensate [J]. *J Natl Cancer Inst*, 1981, 66(1): 163-169.
- [29] Schlotzhauer WS, Martin RM, Snook ME, Williamson RE. Pyrolytic studies on the contribution of tobacco leaf constituents to the formation of smoke catechols [J]. *Journal Agric Food Chem*, 1982, 30(2): 372-374.

(责任编辑: 刘艳玲)