

密集烘烤定色期烟叶类胡萝卜素降解及相关酶活性变化

宋朝鹏^{1,2}, 高远², 武圣江², 许自成², 宫长荣², 张卫建¹

(¹南京农业大学农学院, 南京 210095; ²河南农业大学烟草学院, 郑州 450002)

摘要:【目的】研究密集烘烤定色阶段烤烟类胡萝卜素降解及相关酶活性的变化, 为密集烤房烘烤工艺优化和完善提供理论依据。【方法】采用河南农业大学设计的电热式温湿自控密集烤烟箱, 按照低温中湿变黄、中湿定色烘烤工艺, 对比研究定色期不同升温速度对类胡萝卜素各组分含量变化及相关酶活性的影响。【结果】类胡萝卜素含量随烘烤过程推进逐渐降低, 慢速升温烘烤(T1)类胡萝卜素各组分(β -胡萝卜素、叶黄素、新黄质、紫黄质)降解量相对较大, 比快速升温烘烤(T2)分别高10%、2%、32%和32%, 但处理间差异不显著($P>0.05$)。烘烤条件对酶活性影响显著, 并且脂氧合酶(LOX)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)对烟叶烘烤质量的影响是双向的, 定色前期相对较高的酶活性有利于生成更多的香气前体物质。【结论】慢速升温定色能很好地调控各种酶活性的变化, 使细胞氧化还原反应达到一种动态平衡, 使类胡萝卜素充分降解, 又能避免酶促棕色化反应的发生, 为进一步改善烟叶品质和优化密集烤房增香工艺提供参考。

关键词: 密集烘烤; 定色期; 类胡萝卜素; 降解机理; 酶

The Degradation Mechanism of Carotenoids in Flue-Cured Tobacco and the Changes of the Related Enzymes Activities at Leaf-Drying Stage During the Bulk Curing Process

SONG Zhao-peng^{1,2}, GAO Yuan², WU Sheng-jiang², XU Zi-cheng², GONG Chang-rong², ZHANG Wei-jian¹

(¹College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; ²College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Abstract: 【Objective】 The degradation mechanism of carotenoids and the changes of related enzymes activities in flue-cured tobacco at leaf-drying stage during the bulk-curing process were studied in order to provide a theoretical basis for optimization and perfection of curing technology. 【Method】 The effect of different rising speeds of temperature on the degradation of carotenoids and the related enzymes activities at the color-fixing stage during the bulk curing process was studied by using the electric-heated flue-curing barn designed and made by He'nan Agricultural University on the basis of curing technology with yellowing at low temperature middle humidity and leaf drying at middle humidity. 【Result】 The results showed that the contents of carotenoids decreased gradually at color-fixing stage during the bulk curing process; the degradation contents of carotenoids components (β -carotene, lutein, neoxanthin, violaxthin) of the slow heating curing (T1) was relatively large and was higher than the rapid heating curing (T2) by 10%, 2%, 32% and 32%, respectively, but there were no differences among treatments ($P>0.05$). Effect of different conditions of curing on the activities of enzymes were significant and lipoxygenase, phenylalanine ammonia-lyase, peroxidase and polyphenol oxidase had a bidirectional effect on the quality of tobacco leaves. It was beneficial to form more premise matter of aroma based on the higher enzymes activities at early leaf-drying stage. 【Conclusion】 The slow heating could regulate the change of various enzymes activities reasonably, make cell redox reaction reach to dynamic balance and make the degradation of carotenoids adequately. Meanwhile it could avoid the occurrence of browning reaction and provide a reference for improving the quality of tobacco and optimizing technology of bulk curing and aroma-enhancing further.

收稿日期: 2008-12-16; 接受日期: 2009-05-22

基金项目: 国家烟草专卖局资助项目(3300806156)

作者简介: 宋朝鹏(1978—), 男, 河南邓州人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为烟草调制生理。Tel: 13523451660; E-mail: ycszp@163.com; 通信作者宫长荣(1948—), 男, 河南荥阳人, 教授, 研究方向为烟草调制与加工。Tel: 0371-63558380; E-mail: gongchr009@126.com

Key words: bulk curing; leaf-drying stage; carotenoids; degradation mechanism; enzyme

0 引言

【研究意义】密集烤房已成为中国烤房设备的发展方向。但是,近年来的试验和调研情况表明,密集烤房烘烤的烟叶容易出现颜色浅淡、光滑等现象,致使油分、香气量等降低,难以满足“中式卷烟”的原料需求,工业企业的反响尤为突出^[1]。烘烤工艺与设备不配套已成为制约密集烤房推广应用的关键问题。如何优化密集烘烤工艺,提高烟叶香吃味和工业可用性是当前关注的焦点。类胡萝卜素是烟叶重要的致香前体物质,烤后烟叶类胡萝卜素及其降解产物含量和协调性,直接影响烤烟的香气风格、香气质和香气量^[2]。因此,在国内外烟草行业中对类胡萝卜素类色素的研究一直是热点。【前人研究进展】周冀衡等^[2-3]指出,烟叶类胡萝卜素主要有 β -胡萝卜素、叶黄素、新黄质和紫黄质组成,其降解产生的香味物质阈值相对较低、刺激性较小、香气质较好、对烟叶香气贡献率大。在烟叶总挥发性香气成分中类胡萝卜素降解产物的含量占8%~12%,仅次于叶绿素降解产物。王瑞新等^[4]研究指出,类胡萝卜素降解的 β -大马酮、新植二烯等为河南4个烤烟品种的主要香气物质。谢卫等^[5]对福建不同部位烟叶中香味成分进行了分析,结果表明,与河南烤烟类胡萝卜素降解产物明显不同。烟叶成熟前期类胡萝卜素色素含量整体上升,随着成熟期的推进逐渐降低^[6]。宫长荣等^[7-8]、王爱华等^[9]认为,调制中类胡萝卜素在变黄期降解速度较快,40℃变黄处理类胡萝卜素降解最快,烤后烟叶质量以38℃变黄处理综合表现最优。Weeks^[10]、Roberts等^[11]发现,在烟叶质量提高的同时,类胡萝卜素降解物含量明显增加,这与Wright^[12]对发酵烟的研究结果是一致的。但卷烟烟丝中较高含量的 β -胡萝卜素、叶黄素不利于卷烟抽吸品质的提高^[13-14]。【本研究切入点】迄今为止,有关类胡萝卜素及其降解产物的研究,主要集中在对香气组分及烟叶品质和评吸质量的影响上。有关烟叶类胡萝卜素降解规律和降解机理的研究多集中在发育、成熟和醇化等时期,对密集烘烤过程中类胡萝卜素降解规律和降解机理的研究,国内外尚不多见^[15]。【拟解决的关键问题】本试验采用河南农业大学设计的电热式温湿自控密集烤烟箱,研究密集烘烤定色期烤烟类胡萝卜素各组分(β -胡萝卜素、叶黄素、新黄质和紫黄质)的降解规律、相关酶活性变化及不

同的烘烤措施对它们的影响,旨在为密集烘烤工艺优化和完善提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2007—2008年进行。试验材料取自河南省宜阳县。试验田土壤质地为红黏土,土壤肥力中等。供试品种为中烟100,5月5日移栽,种植株行距50 cm×120 cm。土壤碱解氮49.52 mg·kg⁻¹,速效磷6.8 mg·kg⁻¹,速效钾145.31 mg·kg⁻¹,pH 8.49。施纯氮45.0 kg·hm⁻²,N:P₂O₅:K₂O=1:2:3。田间管理按优质烤烟栽培生产技术规范进行。以中部叶(第11~12位叶)为试验材料,依据成熟标准,烟叶成熟时按照叶位单叶采收。

1.2 烘烤处理

采用河南农业大学设计的电热式温湿自控密集烤烟箱烘烤,烘烤时装烟密度为70 kg·m⁻³。烟叶低温中湿变黄(干球温度36~38℃,相对湿度85%~80%),中湿定色(保持湿球温度38~39℃,相对湿度85%~80%),并设置两个处理:T1慢速升温定色:42~45℃(1℃/5 h),45~47℃(1℃/4 h),47~50℃(1℃/3 h),50~52℃(1℃/2 h),52~54℃(1℃/1 h),在54~55℃不停留。T2快速升温定色:从42℃开始升温,1℃/h,达到52℃后充分延长时间(12~20 h)。

分别于定色开始(0 h)后每隔6 h取1次样,切去叶尖和叶基部,留叶中部分用于生理生化指标的测定。另一份在烘箱中105℃杀青5 min,60℃烘干、粉碎,过60目筛,用于类胡萝卜素类物质组分的测定。处理结束后转入正常烘烤。重复3次。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 酶活性的测定 脂氧合酶(LOX)活性采用许长城等^[16]的方法,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚显色法^[17],苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性测定参照Ma等^[18]的方法,多酚氧化酶(PPO)活性采用比色法^[19]。

1.3.2 类胡萝卜素类物质含量测定 β -胡萝卜素、叶黄素、新黄质、紫黄质测定方法为反相高效液相色谱法。工作条件为:Auto system XLGC配FID检测器和自动进样器(美国PE公司),Turbo Mass色质联用仪(美国PE公司),甲醇为Sigma公司生产的色谱纯试剂,异丙醇为J. T. Baker公司生产的色谱纯试剂;

β -胡萝卜素植物色素标准物购于 Sigma 公司, 叶黄素、新黄质、紫黄质植物色素标准物均购于日本 WAKO 公司。称取不同烘烤时期烤烟叶片杀青样品 1 g, 放入 100 ml 三角瓶, 用 60 ml 90% 丙酮 (内含 0.1% BHT) 于摇床振荡萃取 30 min, 过滤, 滤渣用 10 ml 90% 丙酮 (内含 0.1% BHT) 洗涤 2~3 次, 定容到 100 ml, 取其中 6 ml 到离心管, 加入 0.1 g 醋酸铅, 10 000 r/min 4℃ 低温离心 5 min, 用 0.45 μ m 针头过滤器过滤。整个测定过程在黑暗中进行。

1.3.3 数据分析 数据处理及作图采用 Microsoft Excel 2003 进行, 用 SPSS 13.0 软件对数据进行方差分析和相关分析。

2 结果与分析

2.1 烘烤过程中烟叶类胡萝卜素降解酶活性变化

2.1.1 脂氧合酶活性变化 LOX 活性与自由基含量呈密切正相关, 是类胡萝卜素降解的关键酶^[8,20]。本试验结果 (图 1) 表明, T2 处理 LOX 活性在烘烤定色阶段的 0~12 h 内急剧下降, 12 h 时为 $2.16 \text{ g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ FW}$, 而后趋于平缓。T1 处理 LOX 活性在烘烤过程中呈直线下降, 但降速和降幅均小于 T2 处理。方差分析表明, 不同烘烤时间和不同处理间 LOX 活性差异极显著, 其 F 值分别为 86.34、63.55 ($P < 0.01$)。

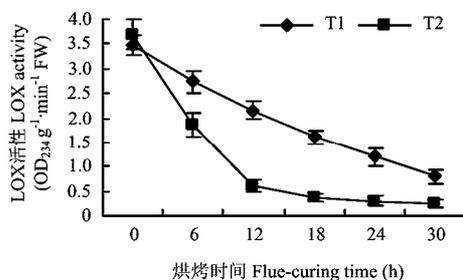


图 1 烘烤过程中 LOX 活性变化

Fig. 1 Change of the activity of LOX in tobacco leaves during the flue-curing process

2.1.2 苯丙氨酸解氨酶活性变化 PAL 是形成酚类物质的关键酶和限速酶^[21], 它催化苯丙氨酸向肉桂酸转变, 使之生成苯甲醛、苯甲醇等与香吃味有关的物质。本试验结果 (图 2) 表明, T1 处理 PAL 活性在烘烤定色阶段的 0~12 h 内缓慢上升, 12 h 达到峰值, 为 $15.01 \text{ g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ FW}$, 12~18 h 有所下降, 随后又急剧上升。T2 处理 PAL 活性在烘烤定色阶段的 0~12 h

缓慢降低, 12 h 达到最低值, 为 $10.61 \text{ g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ FW}$, 之后急剧上升。24 h 后, T1 处理 PAL 活性比 T2 较高。方差分析表明, PAL 活性在不同烘烤时间差异极显著 ($P < 0.01$), 在不同处理间差异不显著, 其 F 值分别为 45.91、4.26 ($P > 0.05$)。

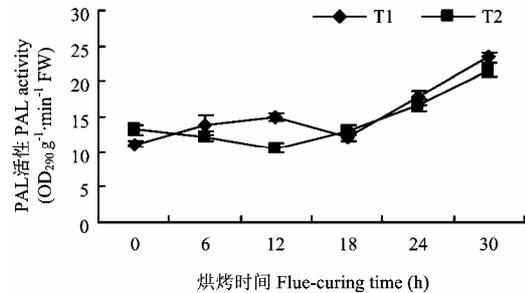


图 2 烘烤过程中 PAL 活性变化

Fig. 2 Change of the activity of PAL in tobacco leaves during the flue-curing process

2.1.3 多酚氧化酶活性变化 PPO 是一类以 Cu^{2+} 为辅基的氧化还原酶, 是调制过程中决定烟叶色泽的重要酶类, 调制不当, 它可氧化各种酚类物质生成醌, 再经聚合形成黑色素, 导致棕色化反应^[22-23]。本试验结果 (图 3) 表明, T1 处理 PPO 活性在烘烤定色阶段的 0~12 h 内急剧下降, 之后趋于平缓直至失活。T2 处理 PPO 活性在烘烤定色阶段的 0~6 h 内急剧下降, 之后趋于平缓直至失活。12 h 后, 二者差异不明显。方差分析表明, 不同烘烤时间和不同处理间 PPO 活性差异极显著, 其 F 值分别为 354.27、32.45 ($P < 0.01$)。

2.1.4 过氧化物酶活性变化 POD 是一类以血红素为辅基的酶, 主要催化 H_2O_2 和有机过氧化物, 加速多

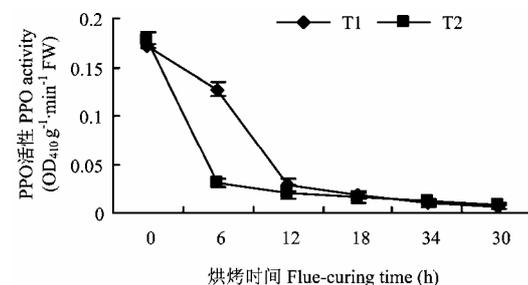


图 3 烘烤过程中 PPO 活性变化

Fig. 3 Change of the activity of PPO in tobacco leaves during the flue-curing process

种有机物和无机物的氧化,清除活性氧,参与类胡萝卜素的降解和酚类物质的氧化^[21-22]。本试验结果(图4)表明,随着烘烤的进行,环境温度的升高,T1处理POD活性在定色阶段的0~18 h内一直升高,18 h为 $92.35 \text{ g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ FW}$,之后下降。T2处理POD活性在定色阶段的0~6 h内急剧上升至峰值,之后急剧下降。定色后期T1处理POD活性较高。方差分析表明,不同烘烤时间和不同处理间POD活性差异极显著,其 F 值分别为56.18、15.39 ($P < 0.01$)。

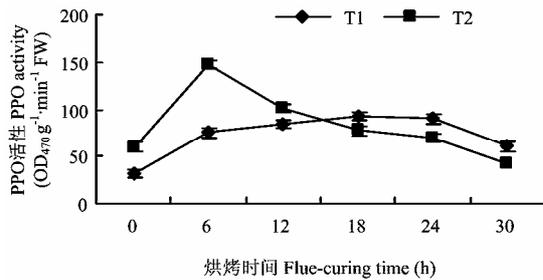


图4 烘烤过程中POD活性变化

Fig. 4 Change of the activity of POD in tobacco leaves during the flue-curing process

2.2 烘烤过程中类胡萝卜素组分含量的变化

类胡萝卜素组分中 β -胡萝卜素含量最高,叶黄素次之,紫黄质含量最少,各类色素均随烘烤过程的进行发生降解(图5)。试验结果表明,T1处理 β -胡萝卜素在烘烤定色阶段的0~6 h内降解比较缓慢,而后直线下降。T2处理 β -胡萝卜素在烘烤定色阶段的0~12 h内降解速度较快,12~24 h趋于平缓,24 h后降解速度又加快。在整个烘烤过程中,T1、T2处理 β -

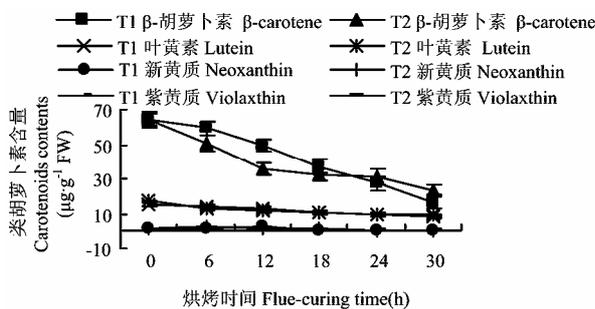


图5 烘烤过程中类胡萝卜素各组分含量变化

Fig. 5 Changes of the main components content of carotenoids during the flue-curing process

胡萝卜素含量分别由 $64.37 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $63.95 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 减少为 $16.74 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $22.94 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$,降幅分别为74%和64%。说明慢速升温定色有利于 β -胡萝卜素的降解。同时方差分析表明, β -胡萝卜素含量在烘烤过程中差异极显著, F 值为36.96 ($P < 0.01$),在不同处理间差异不显著, F 值为1.73 ($P > 0.05$)。

叶黄素含量在烟叶类胡萝卜素中仅次于 β -胡萝卜素(图5)。试验结果表明,T1处理叶黄素在烘烤定色阶段的0~12 h内降解速度较慢,12~18 h内降解速度较快,之后趋于平缓。T2处理叶黄素在烘烤定色阶段的0~6 h内降解速度较快,之后趋于平缓。在整个烘烤过程中叶黄素含量分别由 $15.13 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $16.94 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 减少为 $7.98 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $9.18 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$,降幅分别为47%和45%。方差分析表明,叶黄素含量在烘烤过程中差异极显著, F 值为24.31 ($P < 0.01$),在不同处理间差异不显著, F 值为0.047 ($P > 0.05$)。

新黄质含量在烘烤过程中呈先增加后减少的趋势。其中T1处理新黄质在烘烤定色阶段的0~12 h缓慢上升,12~18 h急剧下降,之后趋于平缓。T2处理新黄质在烘烤定色阶段的0~6 h内缓慢上升至峰值,6~12 h急剧下降,之后趋于平缓。在整个烘烤过程中,新黄质含量分别由 $1.35 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $1.32 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 减少为 $0.33 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $0.74 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$,降幅分别为76%、44%。方差分析表明,新黄质含量在烘烤过程中差异极显著, F 值为21.63 ($P < 0.01$),在不同处理间差异不显著, F 值为0.051 ($P > 0.05$)。

紫黄质含量在烘烤过程中呈直线下降的趋势。其中T1、T2处理紫黄质含量分别由 $0.22 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $0.17 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 减少为 $0.07 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$ 、 $0.11 \mu\text{g g}^{-1} \text{ FW}$,降幅分别为66%和34%,以T1处理紫黄质降速快、降幅大。方差分析表明,紫黄质含量在烘烤过程中差异极显著, F 值为0.28 ($P < 0.01$),在不同处理间差异不显著, F 值为8.59 ($P > 0.05$)。

2.3 烘烤过程中类胡萝卜素类色素与酶活性的相关分析

相关分析(表)表明, β -胡萝卜素和叶黄素与其它类胡萝卜素组分间均呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关,但新黄质与紫黄质之间的相关关系不明显($P > 0.05$)。 β -胡萝卜素、叶黄素、紫黄质与LOX活性均呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关,新黄质与LOX相关关系不明显。各类胡萝卜素组分均与PAL活性呈负相关,但只有T1处理的

β -胡萝卜素含量与 PAL 活性相关关系显著($P < 0.05$), 说明 PAL 活性升高在一定程度上有益于定色过程中烟叶类胡萝卜素的降解。 β -胡萝卜素、叶黄素、T1 紫黄质与 PPO 活性均呈显著($P < 0.05$)或极显著($P <$

0.01) 正相关, 新黄质、T2 紫黄质与 PPO 活性相关关系不显著($P > 0.05$)。T1 处理类胡萝卜素各组分与 POD 活性呈负相关($P > 0.05$), T2 处理则与之相反, 但均不显著。

表 烘烤过程中类胡萝卜素与酶活性的相关分析

Table Correlation between carotene and enzyme activities in tobacco leaves during the flue-curing

处理 Treatment	类胡萝卜素 Carotenoids	β -胡萝卜素 β -carotene	叶黄素 Lutein	新黄质 Neoxanthin	紫黄质 Violaxthin	LOX	PAL	PPO	POD
T1	β -胡萝卜素 β -carotene	1	0.991**	0.812*	0.956**	0.980**	-0.835*	0.871*	-0.386
	叶黄素 Lutein		1	0.860*	0.956**	0.970**	-0.782	0.845*	-0.409
	新黄质 Neoxanthin			1	0.701	0.718	-0.517	0.539	-0.085
	紫黄质 Violaxthin				1	0.993**	-0.727	0.949**	-0.635
T2	β -胡萝卜素 β -carotene	1	0.959**	0.717	0.949**	0.967**	-0.563	0.865*	0.324
	叶黄素 Lutein		1	0.539	0.890*	0.968**	-0.534	0.944**	0.124
	新黄质 Neoxanthin			1	0.781	0.613	-0.493	0.316	0.784
	紫黄质 Violaxthin				1	0.890*	-0.655	0.739	0.500

*表示差异显著, **表示差异极显著 * indicate significant difference at 5% level, ** indicate very significant difference at 1% level

3 讨论

LOX 是一种热稳定性较差的酶。本试验结果表明, 与 T1 相比, T2 处理 LOX 活性随烘烤进行速度降低快, 幅度大, 处理间差异极显著。LOX 的作用涉及色素、脂类及酮类等多种物质, 其活性与自由基含量密切正相关, 是类胡萝卜素降解的关键酶, 对烟叶烤黄、烤香有重要影响^[8,20]。本试验结果表明, 在整个定色阶段, T1 处理比 T2 处理 β -胡萝卜素、叶黄素、新黄质和紫黄质各类胡萝卜素组分分别降低了 10%、2%、32%和 32%, 可以看出 T1 有利于烟叶类胡萝卜素的降解。调制过程中色素降解充分, 能使香气增加, 烟叶质量和等级显著提高^[24]。虽然烟叶类胡萝卜素各组分含量在处理间的差异不显著, 但定色期间温度过高会抑制色素的降解^[23], 最终影响烟叶品质。相关分析表明, LOX 与类胡萝卜素各组分除新黄质外均呈显著或极显著正相关。

生物膜在植物生理生化过程中扮演重要的角色。LOX 以不饱和脂肪酸为底物, 启动膜脂过氧化, 导致膜透性的增加和 MDA 的积累, 细胞区域化被破坏, 在多酚氧化酶、过氧化物酶等作用下, 形成酚类物质, 进一步氧化成褐色物质^[25]。PPO 和 POD 都参与酚类物质的氧化, 与 PAL 同属于细胞的防御酶系统。其中 PPO 是烟叶调制中决定烟叶色泽的重要酶类^[22-23], 其

活性在定色过程中呈下降趋势。T2 处理 PPO 活性较 T1 处理下降快, 表明 PPO 对温度敏感, 高温能够抑制其活性^[26], 但高温也有可能影响色素等^[23]大分子物质的降解。

POD 是植物组织内分解 H_2O_2 的重要标志性酶, 能够防御细胞膜损伤和酚类物质过度氧化发生褐变反应^[22]。与 T2 处理相比, T1 处理 POD 活性峰值低, 但其活性始终维持在一个相对较高的水平上。因此, 应该利用 POD 的高活性而不是类胡萝卜素的高含量来清除活性氧对细胞膜的破坏作用。通过维持活性氧代谢平衡, 避免过多的自由基产生, 从而减少自由基对膜的破坏和伤害, 防止烟叶棕色化变褐。相关分析表明, PPO 与类胡萝卜素各组分除新黄质、T2 处理的紫黄质外均呈显著或极显著正相关。但是 PPO 与类胡萝卜素降解之间是否存在必然联系, 还有待进一步探讨。POD 与 T1 处理类胡萝卜素各组分均呈负相关, 与 T2 处理均呈正相关, 虽然都未达到显著性水平, 但这也从侧面说明了慢速升温定色有利于类胡萝卜素的降解。PAL 是参与苯丙烷类代谢的重要酶^[21], 对烟叶的香吃味有十分重要的影响。在烘烤定色过程中, PAL 活性总体呈上升趋势, 但处理之间差异不显著。在定色前期 PAL 活性产生小幅波动, 这与酚类物质的变化规律^[22]一致, 印证了 PAL 是形成酚类物质的关键酶和限速酶^[21]。

定色过程中烟叶的酶促反应和脱水干燥过程是紧密相连的。烟叶定色是一个复杂的生理生化反应过程,在这个过程中伴随水分的大量丧失,烟叶内大分子有机物质在呼吸酶、水解酶、氧化还原酶等一系列酶作用下不断分解和转化,小分子有机物质不断积累,烤烟特有的香气和吸味、劲头性状逐渐形成。此阶段是香气前体物质发生聚缩,形成大量香气物质的重要时期。因此,应该创造适宜的环境条件,定色前期慢速升温(1℃/3 h~5 h),后期相对较快(1℃/2 h~1 h),湿度适中(相对湿度 85%~80%),使 LOX、PPO、POD、PAL 等酶保持较高的活性,使烟叶内酶系统的氧化还原反应达到一种动态平衡,防止褐色素物质的积累,持续相对较长的时间,降低烟叶水分含量,同时使类胡萝卜素充分降解,生成更多的香气前体物质,又能避免酶促棕色化反应的发生,从而改善烟叶的外观质量和内在品质。这对优化中国目前密集烘烤工艺和解决烤后烟叶香气不足等问题,改善和提高烟叶品质是有借鉴意义的。但具体升温速度、持续的时间等还有待进一步探讨。

4 结 论

通过对烤烟密集烘烤定色阶段主要酶活性变化规律的分析发现,类胡萝卜素降解相关酶活性的变化对烟叶品质的影响是双向的,在烟叶烘烤的定色阶段以中湿慢速升温定色效果较佳。定色前期应该减缓 LOX 活性下降的速度,并维持高的 POD 活性,主要依靠 POD 而不是类胡萝卜素来清除活性氧对细胞膜的破坏作用。后期应使苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性高而多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性低,从而既有利于烟叶中类胡萝卜素的降解和酚类物质的生成,又能防止烟叶酶促褐变的发生。同时也有利于提高烟叶的香气物质含量,优化密集烤房增香工艺。

References

- [1] 徐秀红,孙福山,王永,赵兵,刘建永,邓启强,丁志勇.我国密集烤房研究应用现状及发展方向探讨.中国烟草科学,2008,29(4):54-56,61.
Xu X H, Sun F S, Wang Y, Zhao B, Liu J Y, Deng Q Q, Ding Z Y. Current situation and further direction on research and application of bulk curing barn in China. *Chinese Tobacco Science*, 2008, 29(4): 54-56, 61. (in Chinese)
- [2] 周冀衡,王勇,邵岩,杨虹琦,李永平,朱列书.产烟国部分烟区烤烟质体色素及主要挥发性香气物质的含量比较.湖南农业大学学报:自然科学版,2005,31(2):128-132.
Zhou J H, Wang Y, Shao Y, Yang H Q, Li Y P, Zhu L S. The comparison on the content of chromoplast pigments and volatile aromatic materials of flue-cured tobacco from domestic and abroad. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science*, 2005, 31(2): 128-132. (in Chinese)
- [3] 周冀衡,杨虹琦,林桂华,杨述元.不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究.湖南农业大学学报:自然科学版,2004,30(1):20-23.
Zhou J H, Yang H Q, Lin G H, Yang S Y. Studies on the main volatile aroma components in tobacco from different flue-cured tobacco production regions. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science*, 2004, 30(1): 20-23. (in Chinese)
- [4] 王瑞新,马常力,韩锦峰,王延亭.烤烟不同品种香气物质成分的定量分析.河南农业大学学报,1991,25(2):151-154.
Wang R X, Ma C L, Han J F, Wang Y T. Quantitative determination on aroma matter of varieties in flue-cured tobacco. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1991, 25(2): 151-154. (in Chinese)
- [5] 谢卫,刘江生,杨斌,赖伟玲,蔡国华,林艳.不同部位烤烟中香味成分的分析研究.福建分析测试,2003,12(2):1740-1742.
Xie W, Liu J S, Yang B, Lai W L, Cai G H, Lin Y. Analysis of flavor constituents in different parts of tobacco. *Fujian Instrumental Analysis*, 2003, 12(2): 1740-1742. (in Chinese)
- [6] 韦凤杰,刘国顺,杨永锋,王芳,李亚娟,郭巧燕.烤烟成熟过程中类胡萝卜素变化与其降解香气物质关系.中国农业科学,2005,38(9):1882-1889.
Wei F J, Liu G S, Yang Y F, Wang F, Li Y J, Guo Q Y. Relations between carotenoids and aromatic components from the carotenoids in flue-cured tobacco (*Nicotina tabacum* L.) leaves at different mature periods. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(9): 1882-1889. (in Chinese)
- [7] 杨立均,宫长荣,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.中国烟草科学,2002,(2):5-7.
Yang L J, Gong C R, Ma J M. Degradation of pigment in tobacco leaf during flue-curing process and relative analysis with chemical compositions. *Chinese Tobacco Science*, 2002, (2): 5-7. (in Chinese)
- [8] 李艳梅,宫长荣,陈江华,陈海涛.烟叶在烘烤过程中脂氧合酶、脱落酸与色素降解的关系.中国烟草学报,2001,7(3):46-48.
Li Y M, Gong C R, Chen J H, Chen H T. Relationship between lipoxygenase, ABA and degradation of chlorophyll and carotenoid at curing in flue-cured tobacco. *Acta Tabacaria Sinica*, 2001, 7(3): 46-48. (in Chinese)
- [9] 王爱华,徐秀红,王松峰,毕庆文,汪建,孙福山,王传义,王晓

- 宾. 变黄温度对烤烟烘烤过程中生理指标及烤后质量的影响. 中国烟草学报, 2008, 14(1): 27-31.
- Wang A H, Xu X H, Wang S F, Bi Q W, Wang J, Sun F S, Wang C Y, Wang X B. Effect of temperature in yellowing stage on physiological indices and quality of flue-cured tobacco. *Acta Tabacaria Sinica*, 2008, 14(1): 27-31. (in Chinese)
- [10] Weeks W W. Chemistry of tobacco constituents influencing flavor and aroma. *Recent Advance of Tobacco Science*, 1985, 11: 175-200.
- [11] Roberts D L, Rohde W A. Isolation and identification of flavor components of burley tobacco. *Tobacco Science*, 1972, (16): 107-112.
- [12] Wright H E, Burton W W, Berry R C. Soluble browning reaction pigments of aged burley tobacco. I. The nondialyzable fraction. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1960, 86: 94-101.
- [13] 杨伟祖, 谢刚, 王保兴, 侯英, 杨勇, 徐济仓, 杨燕, 王玉. 烟草中 β -胡萝卜素的热裂解产物的研究. 色谱, 2006, 24(6): 611-614.
- Yang W Z, Xie G, Wang B X, Hou Y, Yang Y, Xu J C, Yang Y, Wang Y. Study of pyrolysates of β -carotene in tobacco. *Chinese Journal of Chromatography*, 2006, 24(6): 611-614. (in Chinese)
- [14] 侯英, 徐济仓, 王保兴, 杨燕, 杨勇, 王玉, 刘静. 叶黄素的热裂解产物分析. 烟草科技, 2007, (12): 27-32.
- Hou Y, Xu J C, Wang B X, Yang Y, Yang Y, Wang Y, Liu J. Analysis of pyrolytic products of lutein. *Tobacco Science & Technology*, 2007, (12): 27-32. (in Chinese)
- [15] 孟可爱, 聂荣邦, 肖春生, 唐春闰. 密集烘烤过程中烟叶水分和色素含量的动态变化. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 32(2): 144-148.
- Meng K A, Nie R B, Xiao C S, Tang C G. Changes of pigment and moisture content in cured tobacco leaves during bulk curing process. *Journal of Hu'nan Agricultural University: Natural Sciences*, 2006, 32(2): 144-148. (in Chinese)
- [16] 许长城, 邹琦. 干旱对大豆叶片脂氧合酶活性及乙烯、乙烷释放的影响. 植物学报, 1993, 35: 31-37.
- Xu C C, Zou Q. Effect of drought on lipoyxygenase activity, ethylene and ethylene production in leaves of soybean plants. *Acta Botanica Sinica*, 1993, 35: 31-37. (in Chinese)
- [17] 张志良. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- Zhang Z L. *A Laboratory Guidance of Plant Physiology Experiment*. Beijing: Higher Education Press, 2002. (in Chinese)
- [18] Ma C H, Zhai C X, Wang L A, Chen X, Li Y C, Guo X L, Cui S P, Li G M. Induced resistance by the toxin filtrate of *Bipolaris maydis* race T cultivation. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(9): 678-684.
- [19] Ma Y, Zhang J Y, Wong M H. Microbial activity during composting of anthracene-contaminated soil. *Chemosphere*, 2003, 52: 1505-1503.
- [20] Goodwin T W, Mercer E I. *Introduction to plant Biochemistry (2nd ed)*. Oxford, New York: Pergama Press, 1983: 304-306.
- [21] 庞学群, 黄雪梅, 李军, 张昭其. 热水处理诱导香蕉采后抗病性及其对相关酶活性的影响. 农业工程学报, 2008, 24(2): 221-225.
- Pang X Q, Huang X M, Li J, Zhang Z Q. Hot water dipping induced resistance to disease colletotrichum musae on banana fruits and its effect on related enzymes. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(2): 221-225. (in Chinese)
- [22] 宫长荣, 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. 中国农业科学, 2005, 38(11): 2316-2320.
- Gong C R, Wang A H, Wang S F. Changes of polyphenols in tobacco leaves during the flue-curing process and relative analysis of some chemical components. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(11): 2316-2320. (in Chinese)
- [23] 汪峰, 郑永华, 苏新国, 张兰, 冯磊, 陆兆新. 热处理对食荚豌豆贮藏品质的影响. 农业工程学报, 2003, 19(4): 197-200.
- Wang F, Zheng Y H, Su X G, Zhang L, Feng L, Lu Z X. Effect of heat treatment on post harvest quality of edible podded pea. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19(4): 197-200. (in Chinese)
- [24] Enzell C R, Wahlberg I. Leaf composition in relation to smoking quality and aroma. *Recent Advance of Tobacco Science*, 1980, 6: 64-122.
- [25] 胡位荣, 刘顺枝, 张昭其, 季作梁. 荔枝果实采后脂氧合酶活性的变化. 华中农业大学学报, 2005, 24(3): 285-289.
- Hu W R, Liu S Z, Zhang Z Q, Ji Z L. Changes of lipoyxygenase activity of postharvest litchi fruit. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2005, 24(3): 285-289. (in Chinese)
- [26] 雷东锋, 蒋大宗, 王一理. 烟草中多酚氧化酶的生理生化特征及其活性控制的研究. 西安交通大学学报, 2003, 37(12): 1316-1320.
- Lei D F, Jiang D Z, Wang Y L. Physiological and biochemical characteristic of tobacco polyphenol oxidase and control way for its activity. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2003, 37(12): 1316-1320. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)