

# 采收成熟度对雪茄烟叶晾制过程中颜色变化的影响

高云鹏<sup>1,2</sup>, 方松<sup>1</sup>, 王以慧<sup>3</sup>, 谭效磊<sup>4</sup>, 马志远<sup>5</sup>, 温亮<sup>4</sup>,  
刘莉<sup>4</sup>, 孟霖<sup>1</sup>, 宁扬<sup>1</sup>, 徐秀红<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 农业农村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. 山东中烟工业有限责任公司, 济南 250100; 4. 山东临沂烟草有限公司, 山东 临沂 276000; 5. 山东淄博烟草有限公司, 山东 淄博 255000)

**摘要:** 为探究雪茄烟叶采收成熟度对晾制过程中颜色变化的影响, 以雪茄烟品种 QX103 中部叶为试验材料, 研究了不同烟叶成熟度 (M1、M2、M3) 对晾制过程中颜色表征指标、质体色素含量、含水率、丙二醛 (MDA) 含量、多酚氧化酶 (PPO) 活性、多酚含量等的影响。结果表明, 晾制过程中烟叶整体变黄速率表现为  $M3 > M2 > M1$ , 变褐速率表现为  $M2 > M3 > M1$ , 且 M2 晾制后烟叶褐色较深, 各处理叶绿素 a、b 大幅度降解, 降解幅度均表现为  $M3 > M2 > M1$ , 失水幅度表现为  $M2 > M3 > M1$ 。各处理叶片 MDA 含量在晾制 10 d 内呈上升趋势, 第 10 天的含量表现为  $M2 > M3 > M1$ ; 各成熟度烟叶 PPO 活性在晾制 0~10 d 上升, 第 10 天活性表现为  $M2 > M3 > M1$ , 处理间差异显著, 在 10~15 d 下降, M2 下降幅度最大。在晾制过程中 M1 处理绿原酸、芸香苷、茛菪亭被氧化较少, 多酚类物质积累较多。综上, 在晾制过程中不同采收成熟度雪茄烟叶水分散失速率和膜脂过氧化程度存在差异, 使得烟叶色素降解与多酚氧化速率不同, 进一步影响雪茄烟叶颜色变化进程及晾制后烟叶颜色深浅。  
**关键词:** 雪茄烟叶; 成熟度; 颜色; 含水率; 酶活性

中图分类号: TS44<sup>+</sup>1

文献标识码: A

文章编号: 1007-5119 (2023) 04-0087-07

## Effects of Harvest Maturity on Color Change of Cigar Tobacco Leaves During Air-curing

GAO Yunpeng<sup>1,2</sup>, FANG Song<sup>1</sup>, WANG Yihui<sup>3</sup>, TAN Xiaolei<sup>4</sup>, MA Zhiyuan<sup>5</sup>,  
WEN Liang<sup>4</sup>, LIU Li<sup>4</sup>, MENG Lin<sup>1</sup>, NING Yang<sup>1</sup>, XU Xiuhong<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Tobacco Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. China Tobacco Shandong Industrial Co., Ltd., Jinan 250100, China; 4. Linyi Tobacco Company of Shandong Province, Linyi, Shandong 276000, China; 5. Zibo Branch of Shandong Tobacco Company, Zibo, Shandong 255000, China)

**Abstract:** To explore the influence of maturity of cigar tobacco leaves on color change during air-curing, the middle leaves QX103 were used to study the effects of different maturity (M1, M2, M3) on color characterization index, plastid pigment content, water content, malondialdehyde (MDA) content, polyphenol oxidase (PPO) activity and polyphenol content during air-curing. The results showed that during the air-curing process, the yellowing rate of cigar tobacco leaves was  $M3 > M2 > M1$ , and the browning rate was  $M2 > M3 > M1$ . After air-curing, M2 leaves were darker in brown; the chlorophyll a and b of each treatment were greatly degraded, and the degradation range was  $M3 > M2 > M1$ . The water loss range was  $M2 > M3 > M1$ . The MDA content in leaves of each treatment showed an upward trend within 10 days of drying, and the content on the 10th day was  $M2 > M3 > M1$ . The PPO activity of different maturity tobacco leaves increased during 0-10 days of air-curing, and the activity was  $M2 > M3 > M1$  on the 10th day and the differences among the treatments were significant. PPO activity decreased during the 10-15 days, and M2 leaves decreased the most. During air-curing chlorogenic acid, rutin and scopoletin in the M1 treatment were less oxidized, and finally the phenolic content accumulated more. In summary, the degree of water loss and membrane lipid peroxidation of cigar tobacco leaves with different harvest maturity during air-curing was different, which made the rate of pigment degradation and polyphenol oxidation of tobacco leaves different, and further affected the color change process of cigar tobacco leaves and the color depth of tobacco leaves after air-curing.

**Keywords:** cigar tobacco leaves; maturity; color; moisture content; enzyme activity

基金项目: 中国烟草总公司山东省公司科技重点项目 (202206); 山东淄博烟草有限公司项目 (2022370300270154); 山东中烟工业有限责任公司科技项目 (202201022); 中国农业科学院科技创新工程 (ASTIP-TRIC03)

作者简介: 高云鹏 (1997-), 男, 在读硕士, 研究方向为烟草调制加工。E-mail: 1436895520@qq.com

\*通信作者, E-mail: xuxiuhong@caas.cn

收稿日期: 2023-03-10

修回日期: 2023-06-16

雪茄是一种纯烟叶卷制而成的特殊的烟草制品,外观质量是衡量其品质的重要方面,而雪茄烟叶晾制过程中的颜色变化对其外观质量具有直接影响<sup>[1-2]</sup>。在晾制过程中,烟叶水分逐渐散失,丙二醛(MDA)含量和多酚氧化酶(PPO)活性受到影响<sup>[3]</sup>,色素降解与褐色物质沉积,雪茄烟叶外部呈现由绿变黄,再由黄变褐的过程<sup>[4]</sup>。MDA是细胞膜脂过氧化的最终产物,高水平MDA积累体现了细胞中膜脂过氧化程度加剧和活性氧物质增加<sup>[5]</sup>。膜脂过氧化作用和活性氧累积使细胞内的膜系统遭到破坏,不仅导致叶绿素大量降解<sup>[6-7]</sup>,引起叶片内部组织色素比例变化,且使多酚类物质得以从液泡中释放,进一步被氧化<sup>[8-9]</sup>。PPO是酶促棕色化反应中重要的介导体,能够将多酚类物质氧化为醌,醌经过累积聚合成褐色物质<sup>[10]</sup>。在较高湿度条件下,PPO活性上调,使得烟叶多酚氧化水平升高<sup>[11]</sup>。

成熟度是烟叶品质形成的重要因素<sup>[12]</sup>。不同成熟度烟叶活性氧积累差异较大<sup>[13]</sup>,MDA含量不同<sup>[14]</sup>,因此雪茄烟叶在晾制过程中多酚类物质氧化程度不一,影响雪茄烟叶颜色。颜色变化是晾制进程是否合理的直接反映,是体现雪茄茄衣烟叶外观质量的一个重要方面。现阶段,前人研究大多集中于采收成熟度对晾制后雪茄烟叶品质的影响<sup>[15-16]</sup>,对不同采收成熟度雪茄烟叶晾制过程中颜色变化的研究较少。本文主要探讨采收成熟度对雪茄烟叶晾制过程中颜色指标及相关色素、含水率、MDA、多酚和相关酶活性等的影响,明确其颜色变化规律,以期对雪茄烟叶成熟采收及晾制颜色的定向调控提供理论和技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2022年在山东省临沂市沂水县进行,供试品种为雪茄烟品种QX103。试验田土壤有机质14.82 g/kg,速效氮83.82 mg/kg,速效磷28.27 mg/kg,速效钾120.61 mg/kg,pH 5.8。烟株遮荫栽培,其他大田管理按当地优质雪茄烟叶生产技术规程管理措施执行。

### 1.2 试验设计

在采收期选取大田长势基本一致的烟株,设

M1、M2、M3三个成熟度,各处理烟叶外观特征见表1。在中部叶(第11~12叶位)达到相应成熟标准时进行采收编竿,每个处理标记6竿,每竿随机选取3片烟叶测定SPAD值。编烟密度为38~40片/竿,竿距为35 cm。按照当地优质雪茄烟叶生产技术规程进行晾制。选取代表性烟叶3片,在晾制的第0(鲜烟叶)、5、10、15、20天测定水分指标,另选3片去除主脉后置于液氮中并转移至-80℃冰箱保存,用于生理指标的测定。自晾制第0天起选3片叶在测定颜色参数后使用数码相机采集图像,至第25天晾制结束。所有指标均进行3次生物学重复。

表1 不同成熟度试验设计  
Table 1 Different maturity test design

成熟度处理 Maturity treatments	外观特征 Appearance characteristics
M1	叶色绿色,主脉1/3变白,支脉1/4变白,茸毛未脱落,茎叶角度<60°
M2	叶色绿黄,主脉2/3变白,支脉3/4变白,茸毛部分脱落,茎叶角度在60°~75°
M3	叶色黄绿,主脉、支脉全白,茸毛大部分脱落,茎叶角度>75°

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 SPAD值 使用SPAD-502叶绿素测定仪沿烟叶一侧叶缘分别测定叶尖、叶中、叶基SPAD值,取3点平均值为SPAD值。

1.3.2 含水率 采用烘箱法<sup>[17]</sup>测定。

1.3.3 MDA含量 利用MDA试剂盒(南京博研生物科技有限公司)进行测定。

1.3.4 PPO活性 利用PPO酶试剂盒(南京博研生物科技有限公司)进行测定。

1.3.5 多酚类物质 采用YC/T 202—2006<sup>[18]</sup>的方法测定。

1.3.6 质体色素含量 采用紫外分光光度法<sup>[19]</sup>测定。

1.3.7 颜色表征 利用专利技术<sup>[20]</sup>量化判定烟叶绿色面积、黄色面积和褐色面积占比。通过色差计测定 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ,计算褐变指数 $BI$ <sup>[21]</sup>。

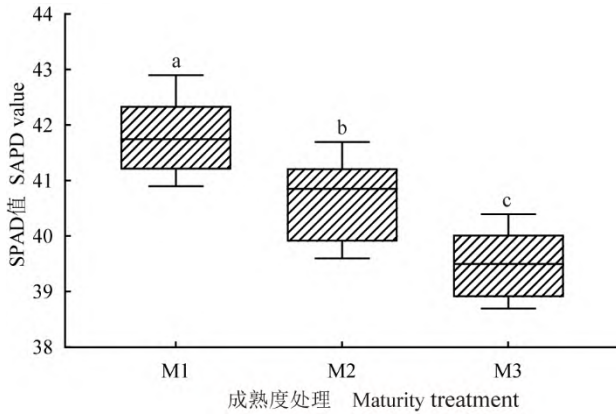
### 1.4 数据处理

采用Excel 2019和GraphPad Prism 9.5进行作图及数据统计,利用SPSS 21.0对数据进行统计分析。

## 2 结 果

### 2.1 不同雪茄采收成熟度 SPAD 值

如图 1 所示，M1、M2 和 M3 处理雪茄烟叶 SPAD 值平均值分别为 41.79、40.69、39.51，且 3 个采收成熟度处理的 SPAD 值差异显著 ( $p < 0.05$ )。可见雪茄烟叶 SPAD 值的变化反映了成熟度的变化，随 SPAD 值下降，成熟度提高。



注：每个成熟度中不同字母代表 0.05 水平的显著性，下同。  
Note: Different letters in each maturity represent significance at the 0.05 level. The same below.

图 1 不同采收成熟度雪茄烟叶 SPAD 值

Fig.1 SPAD value of cigar tobacco leaves with different harvest maturity

### 2.2 不同成熟度叶片晾制过程中的色素降解和颜色变化

2.2.1 色素降解特征 如图 2 所示，各质体色素含量均随晾制的进行而降低。晾制 10 d，M1、M2、M3 处理叶绿素 a 含量较晾制开始时分别下降了 45.26%、57.52%、66.72%，晾制 15 d，分别下降了 79.53%、94.68%、95.93%。晾制 10 d，M1、M2、M3 处理叶绿素 b 含量较晾制开始时分别下降了 51.97%、67.74%、84.67%，15 d 时 M2、M3 处理分别下降了 98.34%、98.78%，而 M1 处理叶绿素 b 含量下降了 79.4%。在 0~15 d 内，M1 处理叶绿素 a、b 下降幅度均小于 M2、M3。3 个处理的类胡萝卜素降解在整个晾制时期相对较缓。

2.2.2 颜色变化 由图 3 可以看出，烟叶绿色面积占比随晾制时间的延长不断下降。在 0~10 d，M3 处

理的绿色面积占比下降最快，其次是 M2，M1 处理下降最慢。烟叶黄色面积占比整体呈现先上升后下降的趋势。在 0~5 d，M3 处理黄色面积占比上升最快，M1 最慢。在 5~10 d，M3 处理黄色面积占比开始下降，M2、M3 上升，表现为 M3>M2>M1。烟叶褐色面积占比随晾制进程的推进逐渐上升。在 0~10 d，M2、M3 处理褐色面积占比缓慢上升，较 M1 快。在 10~15 d，M1、M2、M3 处理褐色面积占比分别上升了 31.67%、41.63%、24.1%，至第 15 天，3 个处理的褐色面积占比分别为 33.36%、63.33%、41.90%。总体而言，M3 处理的变黄速率最快，M1 最慢；M2 处理的变褐速率最快，M1 最慢。

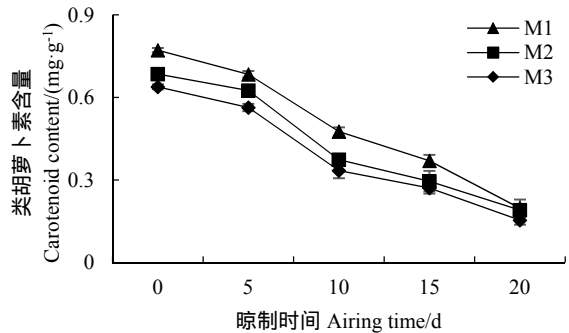
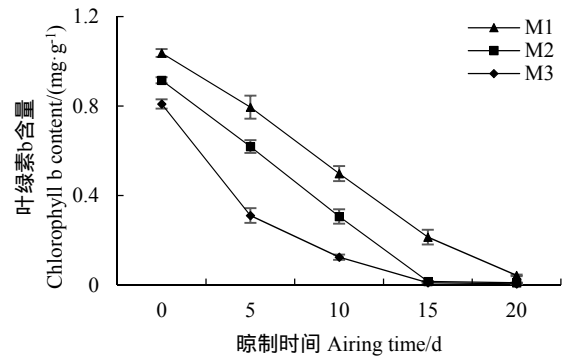
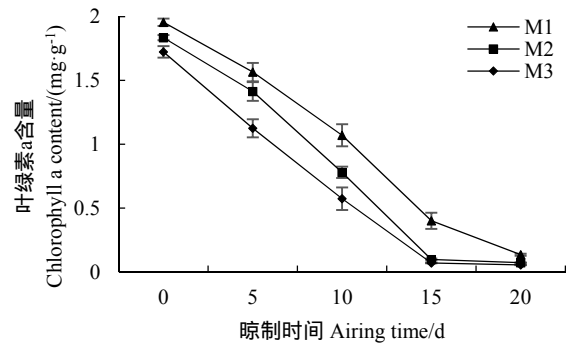


图 2 晾制过程中烟叶色素变化

Fig.2 Changes of pigment in tobacco leaves during air-curing

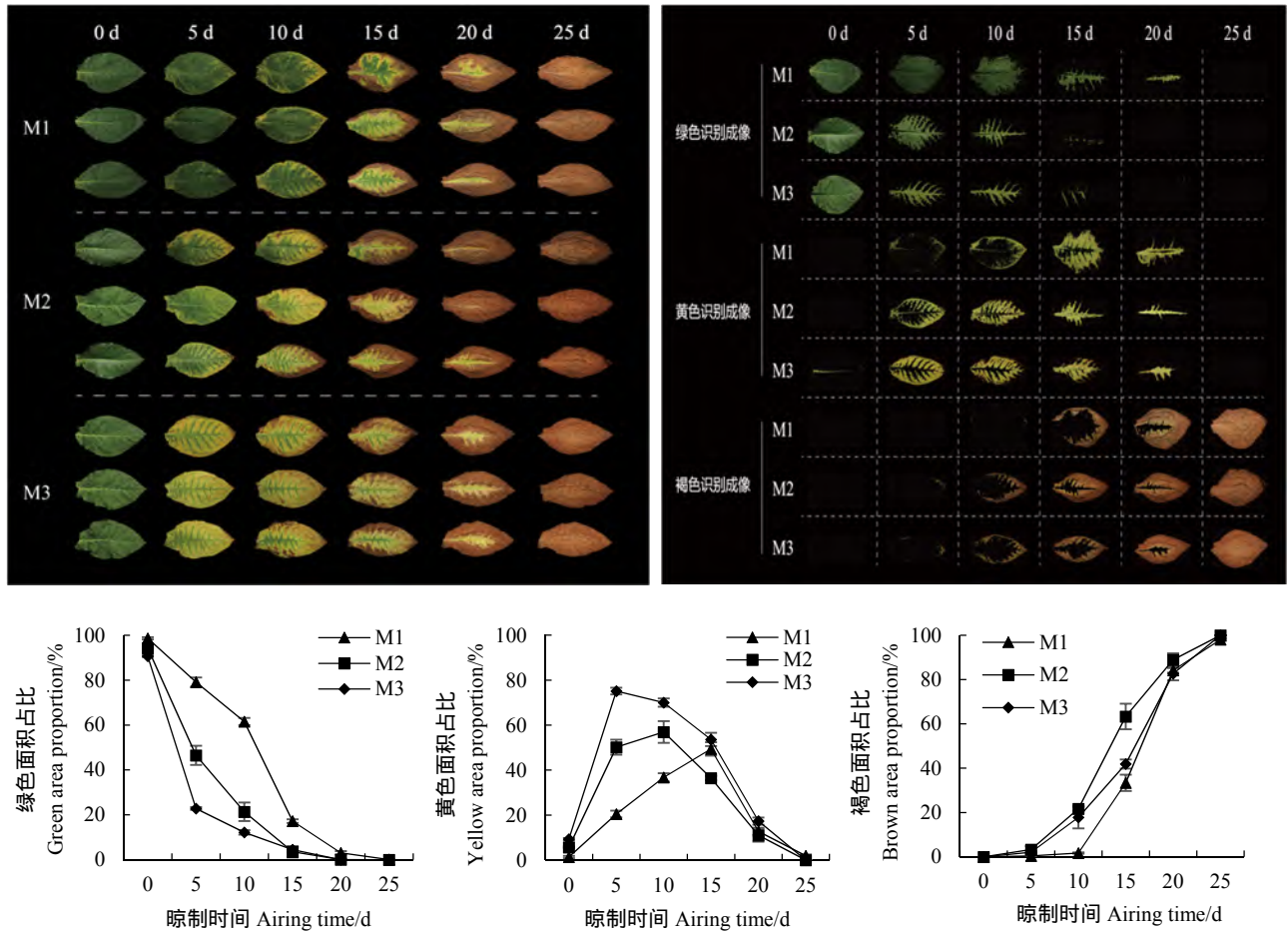


图3 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程颜色变化

Fig. 3 Color changes of cigar tobacco leaves with different maturity during air-curing

如表2所示,不同成熟度处理雪茄烟叶晾制结束时褐变指数BI值差异显著。其中,M2处理BI值最高,为185.2,M3处理次之,M1处理最低。晾制后,烟叶颜色由深到浅依次为M2、M3、M1。

2.3 不同成熟度叶片晾制过程中的理化指标变化

2.3.1 叶片水分含量 如表3所示,在整个晾制过程中,各成熟度处理雪茄烟叶的含水量呈“慢-快-慢”下降趋势。各成熟度处理烟叶含水率在0~5 d缓慢下降,在5~10 d大幅度下降,其中M2处理水分下降最快,减少了37.85个百分点,其次是M3,M1水分下降最慢。在10~15 d,M1处理水分下降了40.01个百分点,下降幅度高于M2、M3。

表2 不同采收成熟度雪茄烟叶晾制结束颜色表征描述统计分析

Table 2 Statistical analysis of color characterization of cigar tobacco leaves with different harvest maturity after air-curing

颜色表征 Color representation	成熟度 Maturity	均值 Mean value	极大值 Maximal value	极小值 Minimal value	标准偏差 standard deviation
L*	M1	40.76a	46.30	38.52	1.75
	M2	40.61a	42.73	38.57	1.09
	M3	40.52a	42.02	38.30	1.05
a*	M1	10.67b	11.98	9.70	0.68
	M2	13.12a	15.80	10.75	1.39
	M3	13.81a	16.82	11.90	1.55
b*	M1	21.16b	22.57	20.23	0.61
	M2	23.16a	25.95	21.32	1.40
	M3	21.33b	24.75	19.32	1.27
BI	M1	166.82c	180.43	144.57	7.73
	M2	185.20a	202.27	167.63	10.97
	M3	175.74b	202.73	162.46	10.79

注:数字后字母不同代表0.05水平的显著性,下同。Note: Different letters after numbers represent significance at the 0.05 level, the same below.

表3 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中含水率变化

Table 3 Changes of moisture content in cigar leaves with different maturity during air-curing

处理 Treatment	时间 Time				
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d
M1	87.84±1.27 a	82.88±1.80 a	69.12±1.14 a	29.11±2.57 a	14.69±0.96 a
M2	86.03±1.14 ab	80.95±0.69 a	43.09±1.94 c	20.27±1.92 b	12.16±1.02 b
M3	84.85±0.50 b	77.89±0.46 b	53.72±1.07 b	25.02±1.39 ab	13.99±0.67 ab

2.3.2 丙二醛含量 如图 4 所示,雪茄烟叶在整个晾制过程,其 MDA 含量呈现先上升后下降的单峰趋势。各处理雪茄烟叶 MDA 含量在采收 0~5 d 内缓慢上升。在 5~10 d, M2 处理的 MDA 含量大幅度上升,达到 61.05 nmol/g,增加 146.54%,高于 M1 和 M3。在 10~15 d, M1 处理的 MDA 含量快速上升, M3 处理上升变缓, M2 处理则呈下降趋势。在 15~20 d, 各成熟度处理的 MDA 含量均呈下降趋势。

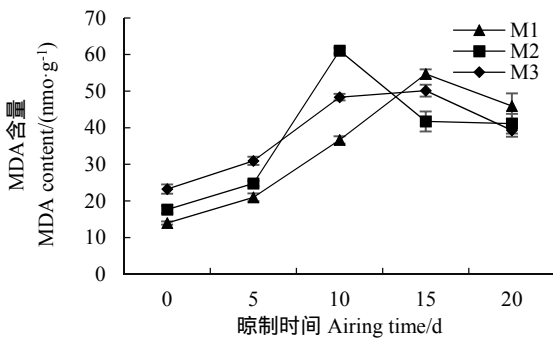


图 4 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中 MDA 含量变化  
Fig. 4 Changes of MDA content in cigar leaves with different maturity during air-curing

2.3.3 多酚氧化酶活性 由图 5 可知,不同处理烟叶 PPO 活性在晾制过程中均呈先升高后降低的变化趋势。在 0~10 d, 各处理的 PPO 活性均逐渐上升,并在第 10 天达到峰值,表现为 M2>M3>M1, 各处理之间差异显著。在第 15 天, 各处理 PPO 活性下降,活性高低表现为 M1>M3>M2, 较第 10 天分别下降了 15.88%、57.93%、31.18%, 各处理之间差异显著。在第 20 天时, 各处理之间 PPO 活性无显著性差异。

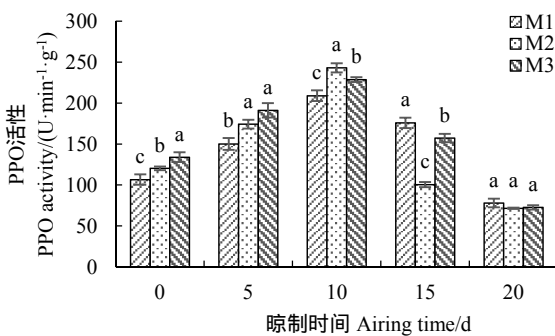


图 5 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中 PPO 活性变化  
Fig. 5 Changes of PPO activity in cigar leaves with different maturity during air-curing

2.3.4 多酚含量 由图 6 可以看出,在整个晾制期间各处理绿原酸含量呈由快到慢的下降趋势,0~10 d 各处理雪茄烟叶绿原酸含量降幅分别为 50.16%、90.81%、75.88%, M2 处理绿原酸含量下降最快,其次是 M3, M1 处理绿原酸含量下降最慢。在 10~15 d, M1 处理绿原酸含量下降最快, M3 下降趋缓, M2 下降最慢。在第 20 天, 各处理绿原酸含量表现为 M1>M3>M2, 差异显著。与绿原酸变化规律不同, M1 处理芸香苷含量在 0~5 d 上升后快速下降, M2、M3 处理芸香苷含量则随晾制的进行不断下降, 在第 20 天芸香苷含量表现为 M1 显著高于 M2、M3。各处理的茛菪亭含量变化与芸香苷含量变化规律类似, 在第 20 天各处理茛菪亭含量无显著差异。

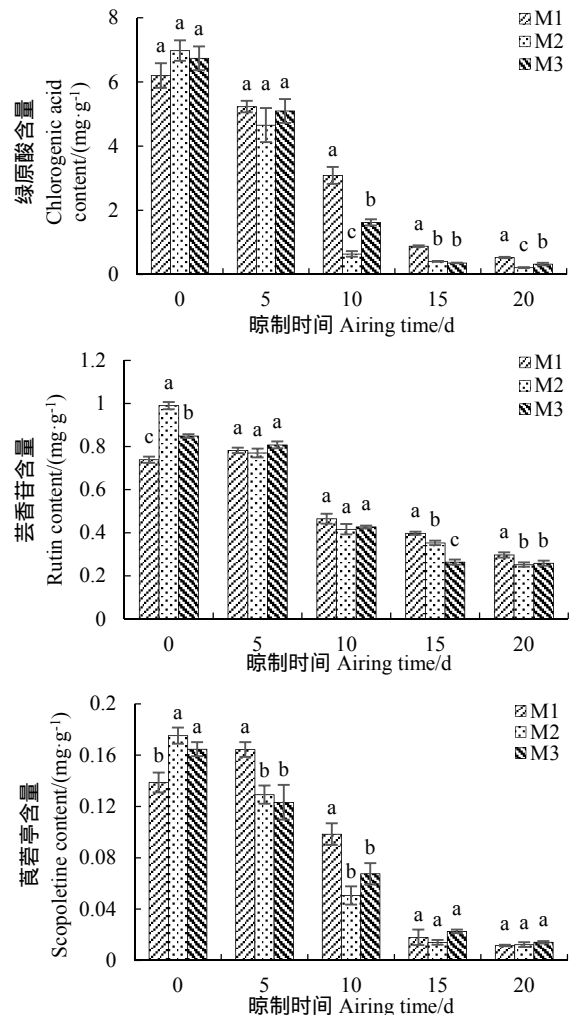


图 6 雪茄烟叶晾制过程中多酚含量变化  
Fig. 6 Changes of polyphenol content in cigar leaves during air-curing

### 3 讨论

晾制过程中不同成熟度雪茄烟叶内部化学成分变化存在差异,导致烟叶外部变黄、变褐速度和程度不同,并进一步影响烟叶外观质量<sup>[22]</sup>。本研究中,在晾制前期烟叶绿色面积占比减小幅度、黄色面积占比增加幅度均表现为  $M3 > M2 > M1$ ,表明随着采收成熟度的提高,烟叶变黄速度逐渐变快,这与武圣江等<sup>[23]</sup>研究结果一致。晾制 0~10 d,各处理叶绿素 a、b 降解幅度较大,类胡萝卜素降解幅度较小,使得烟叶颜色由绿色转为黄色,这与谭永浩等<sup>[24]</sup>研究结果相似。随晾制的进行,发现烟叶褐色面积占比上升幅度表现为  $M2 > M3 > M1$ ,且在晾制结束时,其褐变指数表现为  $M2 > M3 > M1$ ,这与前人研究不一致<sup>[21,25]</sup>,原因有待进一步研究。

水分是细胞内多种酶及物质反应的物质基础,直接影响雪茄晾制过程中烟叶的抗氧化能力和酶促棕色化反应,在晾制过程中与雪茄烟叶颜色的变化关系密切<sup>[26]</sup>。本研究中,各成熟度雪茄烟叶大量失水集中在 5~15 d,这与刘博远等<sup>[27]</sup>研究结果相似。中间成熟度 M2 处理在 5~10 d 水分下降幅度最高,结合膜脂过氧化作用后的产物 MDA 含量变化趋势,发现此时间段 M2 处理雪茄烟叶的 MDA 含量快速上升,大量积累,远高于 M1、M3,说明此时间段烟叶细胞膜脂过氧化作用剧烈,导致细胞膜系统的损伤和破坏,细胞裂解并大量失水。PPO 作为雪茄烟叶酶促棕色化反应的重要参与者,主要贮存在叶绿体中<sup>[28]</sup>,在烟叶水分逐渐散失、膜脂过氧化剧烈的条件下得以从叶绿体中释放,活性随着水分散失先上升后下降。M2 处理的 PPO 活性在 5~10 d 的上升速率和 10~15 d 的下降速率均快于 M1、M3。

多酚是一类独特的化学物质,其含量直接影响晾制后雪茄烟叶的品质<sup>[29]</sup>。烟叶中主要的多酚类物质是绿原酸、芸香苷、茛菪亭,共占烟叶中多酚类物质的 90%左右。在烟叶失水过程中,由于膜通透性增大,PPO 氧化多酚,使烟叶褐色物质累积。本研究发现在晾制过程中 M2、M3 处理的绿原酸、茛菪亭、芸香苷含量呈下降趋势,M1 处理的茛菪亭、芸香苷含量在晾制前期稍有上升,与刘慧等<sup>[30]</sup>研究结果相似,可能是烟叶内木质素等物质分解转化导致<sup>[31]</sup>。3 种多酚类物质从晾制 5 d 后大幅度下降,以含量最高的绿原酸降解幅度最大,芸香苷、茛菪

亭的降解量较小。M2 处理晾制前期绿原酸含量下降快于 M1、M3,这可能是 M2 变褐快于 M1、M3 的原因;后期因为水分散失过快,酶活性迅速降低且底物变少,下降缓于 M1、M3。

本研究还发现,M2 处理雪茄烟叶由于失水快,多酚类物质氧化也快,晾出的雪茄烟叶颜色较深。M1 处理雪茄烟叶部分出现青斑,颜色不均匀,一方面是叶绿素分解不完全,另一方面可能是绿原酸没有被完全氧化<sup>[32]</sup>。

### 4 结论

研究表明,在一定范围内提高雪茄烟叶采收成熟度会使晾制过程中的质体色素降解和失水变快,膜脂过氧化作用剧烈,促进酶促褐变,进一步加快雪茄烟叶的变色进程及加深晾制后颜色。以采收烟叶叶色为主要成熟度判断指标,绿色烟叶晾制期间变黄、变褐均慢,晾制后颜色较浅;绿黄烟叶晾制期间变黄速度适中、变褐较快,晾制后颜色较深;黄绿烟叶晾制期间变黄、变褐均较快,晾制后颜色深浅居中。本研究为调整采收时的烟叶成熟度,调控晾制过程中的颜色和理化性状变化从而进一步提高雪茄烟叶质量提供了理论依据和技术支撑。

### 参考文献

- [1] 邹宇航,唐义之,张华述,等.雪茄茄衣烟调制技术初探[J].中国农业信息,2015(1):83-84.  
ZOU Y H, TANG Y Z, ZHANG H S, et al. A preliminary study on the modulation technology of cigar leaves[J]. China Agricultural Informatics, 2015(1): 83-84.
- [2] 宋世旭,王佩,周文,等.养护醇化时间对雪茄茄芯烟叶品质的影响[J].烟草科技,2018,51(4):28-34.  
SONG S X, WANG P, ZHOU W, et al. Effects of aging time on quality of cigar filler[J]. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(4): 28-34.
- [3] ZHAO S C, WU Z Y, LAI M, et al. Determination of optimum humidity for air-curing of cigar tobacco leaves during the browning period[J]. Industrial Crops & Products, 2022, 183.
- [4] 于连营.晾制湿度对雪茄烟叶生理与品质的影响[D].武汉:华中农业大学,2022.  
YU L Y. Effects of air-curing humidity on physiology and quality of cigar tobacco leaves[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.
- [5] 王冰蕊,才硕,郭巧玲,等.水稻抗氧化性及产量对稻田淹涝退水过程的响应研究[J].灌溉排水学报,2022,41(7):111-118.  
WANG B R, CAI S, GUO Q L, et al. Response of oxidation resistance and yield of rice to onset and recession of waterlogging[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(7): 111-118.
- [6] 杨景宏,陈拓,王勋陵.增强紫外线 B 辐射对小麦叶绿体膜组分和膜流动性的影响[J].植物生态学报,2000(1):102-105.  
YANG J H, CHEN T, WANG X L. The influence of enhanced ultraviolet-b radiation on chloroplast membrane composition and membrane fluidity in wheat leaves[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000(1):102-105.



- [7] 王玉, 李春光, 刘欢, 等. 烤烟叶片叶绿体超微结构与质体色素降解产物的关系初探[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(3): 67-76. WANG Y, LI C G, LIU H, et al. Study on chloroplast ultrastructure of flue-cured tobacco leaves and its relationship with degrading products of plastid pigment[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2022, 24(3): 67-76.
- [8] 刘梦竹, 周宏胜, 胡花丽, 等. 采收期对黄金梨果心褐变和膜脂过氧化的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2020, 40(1): 38-43. LIU M Z, ZHOU H S, HU H L, et al. Effects of different harvest time on membrane lipid peroxidation and browning reaction of fruit core of Whang keumbae[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2020, 40(1): 38-43.
- [9] MARTINEZ M V, WHITAKER J R. The biochemistry and control of enzymatic browning[J]. Trends in Food Science & Technology, 1995(6): 195-200.
- [10] 李晓辉, 甄焕菊, 李雪利, 等. 湿球温度对烟叶密集烘烤过程中酶促棕色化反应及烤后质量的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(3): 55-60. LI X H, ZHEN H J, LI X L, et al. Effects of wet bulb temperature on enzymatic browning reaction and quality of flue-cured tobacco Leaves during intensive curing[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2021, 53(3): 55-60.
- [11] 王悦华, 周俊学, 马宜林, 等. 烤烟品系 LY1306 “上六片”生理采收成熟度对烤烟代谢和品质的影响[J]. 作物杂志, 2023(2): 171-177. WANG Y H, ZHOU J X, MA Y L, et al. Effects of different harvest maturity of upper six leaves on physiological metabolism and quality of flue-cured tobacco line LY1306[J]. Crops, 2023(2): 171-177.
- [12] 赵石兰, 张爱伟. 成熟度对烤烟产质量的影响[J]. 云南农业科技, 2019(2): 8-10. ZHAO S L, ZHANG A W. Effect of maturity on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2019(2): 8-10.
- [13] 范宁波, 周俊学, 江凯, 等. 不同成熟期烤烟主脉中膜脂过氧化及其与衰老相关基因的关系探究[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(3): 66-72. FAN N B, ZHOU J X, JIANG K, et al. Membrane lipid peroxidation and its relationship with senescence-related genes in main veins of flue-cured tobacco at different maturity stages[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(3): 66-72.
- [14] 韩锦峰, 汪耀富, 林学梧, 等. 烤烟叶片成熟度与细胞膜脂过氧化及体内保护酶活性关系的研究[J]. 中国烟草学报, 1994(1): 20-24. HAN J F, WANG Y F, LIN X W, et al. Study on the relationship between flue-cured tobacco leaf maturity and cell membrane lipid peroxidation and protective enzyme activities in vivo[J]. Acta Tobacco Sinica, 1994(1): 20-24.
- [15] 叶科媛, 刘路路, 卢瑞琳, 等. 不同成熟度和晾晒方式对雪茄烟叶品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(7): 1584-1587. YE K Y, LIU L L, LU R L, et al. Effects of different maturity and air-curing methods on quality of cigar leaves[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(7): 1584-1587.
- [16] 刘雷, 江鸿, 曾代龙, 等. 留叶数和成熟度对雪茄烟叶品质的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(8): 1844-1848. LIU L, JIANG H, ZENG D L, et al. Effects of leaf number and Harvest Maturity on quality of cigar tobacco leaves[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(8): 1844-1848.
- [17] 国家烟草专卖局. YC/T 31—1996 烟草及烟草制品试样的制备和水分的测定-烘箱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996. State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 31—1996 preparation of tobacco and tobacco products samples and determination of water content-oven method[S]. Beijing: Standards Press of China, 1996.
- [18] 国家烟草专卖局. YC/T 202—2006 烟草及烟草制品多酚类化合物绿原酸、萜萜亭和芸香苷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 202—2006 Determination of chlorogenic acid, scopolamine and rutin in tobacco and tobacco products[S]. Beijing: China Standards Press, 2006.
- [19] 丁富功, 侯泽豪, 卢奕霏, 等. 小麦不同组织器官叶绿素测定方法的比较研究[J]. 东北农业科学, 2022, 47(5): 111-115. DING F G, HOU Z H, LU Y F, et al. Comparative study on determination of chlorophyll in different tissues and organs of wheat[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 47(5): 111-115.
- [20] 徐秀红, 李青山, 姜滨, 等. 一种量化烤烟烟叶烘烤特性的判定系统及判定方法: ZL202010692507.3[P]. 2020-10-30. XU X H, LI Q S, JIANG B, et al. A evaluation system and method for curing characteristics of flue-cured tobacco: ZL202010692507.3 [P]. 2020-10-30.
- [21] 向东, 段淑辉, 丁松爽, 等. 不同成熟度雪茄烟叶晾晒过程中颜色表征及主要化学成分变化特征[J]. 山东农业科学, 2022, 54(2): 69-77. XIANG D, DUAN S H, DING S S, et al. Color characterization and main chemical components change characteristics of different maturity cigar leaves during air-curing[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(2): 69-77.
- [22] 范宁波. 雪茄烟叶晾晒过程中颜色及相关生理变化特性分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021. FAN N B. Analysis of color and related physiological characteristics in cigar leaves during air-curing[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2021.
- [23] 武圣江, 莫静静, 姜元菲, 等. 不同烤烟品种不同成熟度上部叶烘烤特性研究[J]. 核农学报, 2020, 34(6): 1337-1349. WU S J, MO J J, LOU Y F, et al. Study on curing characteristics of upper leaves of different flue-cured tobacco varieties with different maturity[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2020, 34(6): 1337-1349.
- [24] 谭永浩, 刘勇军, 符昌武, 等. 雪茄烟叶调制过程中外观颜色与内含物质的变化规律及相互关系[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(6): 937-946, 967. TAN Y H, LIU Y J, FU C W, et al. Change rule and interrelationship of appearance color and inclusion substance in the modulation process of cigar leaves[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2022, 56(6): 937-946, 967.
- [25] 范宁波, 张瑞娜, 高娅北. 不同成熟度对德雪1号变黄特性及变褐特性的影响[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2018, 30(4): 84-87. FAN N B, ZHANG R N, GAO Y B, et al. Effects of different maturity on yellowing characteristics and browning characteristics of Dexue No.1[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science (Science and Technology), 2018, 30(4): 84-87.
- [26] 高娅北, 钟秋, 王松峰, 等. 雪茄茄衣晾晒过程中烟叶颜色和含水量变化及其相关分析[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(2): 57-63, 72. GAO Y B, ZHONG Q, WANG S F, et al. Changes in color and water content of tobacco leaves and their correlation during cigar wrapper airing[J]. Chinese Tobacco Science, 2019, 40(2): 57-63+72.
- [27] 刘博远, 赵松超, 李一凡, 等. 不同成熟度雪茄烟叶晾晒过程碳水化合物及相关酶活性变化规律研究[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(4): 192-201. LIU B Y, ZHAO S C, LI Y F, et al. Study on changes of carbohydrate and its related enzyme activities during drying of cigar with different maturities[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(4): 192-201.
- [28] 尹建雄, 卢红. 烟草中多酚化合物及多酚氧化酶研究进展[J]. 广西农业科学, 2005(3): 284-286. YIN J X, LU H. Advancement of study on polyphenols and polyphenoloxidase in tobacco[J]. Journal of Southern Agriculture, 2005(3): 284-286.
- [29] 陈泳纬, 金明珂, 吴永兵, 等. 遮阴透光处理对雪茄晾晒期间烟叶膜脂过氧化特性及晾晒后化学成分的影响[J]. 作物杂志, 2023(2): 193-200.

- [10] REN S Q, HE K M, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1137-1149.
- [11] REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, et al. You only look once: unified, real-time object detection[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas: IEEE, 2016: 779-788.
- [12] REDMON J, FARHADI A. YOLO9000: better, faster, stronger[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Honolulu: IEEE, 2017: 7263-7271.
- [13] REDMON J, FARHADI A. YOLOv3: an incremental improvement[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE, 2018: 89-95.
- [14] LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. SSD: single shot multibox detector[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision, Springer, 2016: 21-37.
- [15] 付虹雨, 崔国贤, 余玮, 等. 结合无人机遥感和目标检测实现苧麻植株计数[J]. 中国麻业科学, 2022, 44(5): 267-277.  
FU H Y, CUI G X, SHE W, et al. Counting ramie plants using uav remote sensing and target detection[J]. Plant Fiber Sciences in China, 2022, 44(5): 267-277.
- [16] 陈旭, 彭冬亮, 谷雨. 基于改进 YOLOv5s 的无人机图像实时目标检测[J]. 光电工程, 2022, 49(3): 69-81.  
CHEN X, PENG D L, GU Y. Real-time object detection for UAV images based on improved YOLOv5s[J]. Opto-Electronic Engineering, 2022, 49(3): 69-81.
- [17] 张瑞倩, 邵振峰, Aleksei Portnov 等. 多尺度空洞卷积的无人机影像目标检测方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(6): 895-903.  
ZHANG R Q, SHAO Z F, PORTNOV A, et al. Multi-scale Dilated Convolutional Neural Network for Object Detection in UAV Images[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(6): 895-903.
- [18] 杨蜀秦, 刘江川, 徐可可, 等. 基于改进 CenterNet 的玉米雄蕊无人机遥感图像识别[J]. 农业机械学报, 2021, 52(9): 206-212.  
YANG S Q, LIU J C, XU K K, et al. Improved CenterNet Based Maize Tassel Recognition for UAV Remote Sensing Image[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(9): 206-212.
- [19] 马永康, 刘华, 凌成星, 等. 基于改进 YOLOv5 的红树林单木目标检测研究[J]. 激光与光电子学进展, 2022, 59(18): 426-436.  
MA Y K, LIU H, LING C X, et al. Object detection of individual mangrove based on improved YOLOv5[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2022, 59(18): 426-436.
- [20] WANG C Y, BOCHKOVSKIY A, LIAO H. YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors[J]. arXiv-prints, 2022.
- [21] YANG L, ZHANG R Y, LI L, et al. SimAM: A Simple, Parameter-Free Attention Module for Convolutional Neural Networks[C]//Proceedings of the International Conference on Machine Learning, PMLR, 2021.
- [22] ZHANG Y F, REN W, ZHANG Z, et al. Focal and efficient IOU loss for accurate bounding box regression[J]. Neurocomputing, 2022, 506: 146-157.
- [23] ETTEEN A V. You only look twice: rapid multi-scale object detection in satellite imagery[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City: IEEE, 2018: 4201-4208.
- [24] DU D, ZHU P, WEN L, et al. VisDrone-DET2019: The vision meets drone object detection in image challenge re-sults[C]//Proceedings of the International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW), Los Angeles: IEEE/CVF, 2019: 213-226.
- [25] HE K M, ZHANG X Y, REN S Q, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas: IEEE, 2016: 770-778.
- [26] ZHANG H, WU C G, ZHANG Z Y, et al. ResNeSt: Split-Attention Networks[C]//Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, State of Louisiana: IEEE, 2022: 3521-3528.
- [27] LIN T, MAIRE M, BELONGIE S J, HAYS J, et al. Microsoft COCO: common objects in context[C]//Proceedings of the Conference on European Conference on Computer Vision, Zurich: Springer, 2014: 740-755.
- [28] LIN T Y, DOLLAR P, GIRSHICK R, et al. Feature pyramid networks for object detection[C]//Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii: IEEE, 2017: 936-944.
- [29] LAW H, DENG J. Cornernet: detecting objects as paired keypoints[C]//Proceedings of the Conference on European Conference on Computer Vision, Munich: Springer, 2018: 765-781.
- [30] LI Z, PENG C, YU G, ZHANG X, et al. Light head R-CNN: in defense of two-stage object detection[C]//Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii: IEEE, 2017: 3801-3809.
- [31] LI Z, PENG C, YU G, et al. Detnet: A backbone network for object detection[C]//Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City: IEEE, 2018: 4509-4517.
- [32] LIN T, GOYAL P, GIRSHICK R B, et al. Focal loss for dense object detection[C]//Proceedings of the Conference on International Conference on Computer Vision, Venice: IEEE, 2017: 2999-3007.
- [33] CAI Z, VASCONCELOS N. Cascade R-CNN: delving into high quality object detections[C]//Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City: IEEE, 2018: 6154-6162.
- [34] ZHANG S, WEN L, BIAN X, et al. Single-shot refinement neural network for object detections[C]//Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City: IEEE, 2018: 4203-4212.

(上接第93页)

- CHEN Y W, JIN M K, WU Y B, et al. Effects of shading and light-transmitting treatment on lipid peroxidation characteristics of cigar leaves during air-curing and chemical composition after air-curing[J]. Crops, 2023(2): 193-200.
- [30] 刘慧, 赵松超, 武志勇, 等. 不同采收方式对雪茄烟上部叶晾制效果的影响[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(3): 65-72.  
LIU H, ZHAO S C, WU Z Y, et al. Effects of different harvesting methods on upper leaves air-curing of cigar[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27(3): 65-72.
- [31] 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(11): 173-177.  
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[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005(11): 173-177.
- [32] 于连营, 杨锦鹏, 余君, 等. 基于代谢组学分析雪茄烟叶晾制时“青斑”组织的代谢差异及形成原因[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 152-159.  
YU L Y, YANG J P, YU J, et al. Metabolomic analysis of metabolic differences and causes of green spot tissue of cigar tobacco during air-curing[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 152-159.