

# 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中 生物碱含量的变化

张嘉雯<sup>1</sup>, 卢绍浩<sup>1</sup>, 赵喆<sup>1</sup>, 钟秋<sup>2</sup>, 张瑞娜<sup>2</sup>, 赵铭钦<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学烟草学院, 河南郑州 450002; 2. 四川省烟草公司德阳市公司, 四川德阳 618400)

**摘要:** 为探究不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中生物碱含量的变化规律, 以什烟 1 号为试验材料, 研究晾制期间不同成熟度雪茄烟叶 9 种生物碱含量的变化, 并进行了相关分析。结果表明, 晾制期间烟碱、降烟碱、新烟草碱、可替宁含量均呈先升高后降低的趋势, 麦斯明、2,3'-联吡啶含量呈先下降后上升趋势, 假木贼碱、N-甲基假木贼碱含量基本不变。干筋期时, 除新烟草碱、麦斯明、N-甲基假木贼碱含量以尚熟处理最低外, 其他生物碱含量均以适熟处理最低。随着晾制的进行, 各成熟度处理烟碱转化率均呈先升高后下降趋势, 整体表现为过熟>尚熟>适熟。相关分析表明, 不同成熟度烟叶烟碱、降烟碱、新烟草碱、假木贼碱、N-甲基假木贼碱含量两两之间均呈正相关关系, 且适熟处理达到显著水平; 新烟草碱含量与麦斯明含量呈负相关但不显著; 可替宁含量与新烟草碱、二烯烟碱含量均为正相关, 而与 N-甲基假木贼碱含量呈负相关但不显著。

**关键词:** 雪茄烟叶; 成熟度; 晾制; 生物碱; 烟碱转化率; 相关性; 适熟采收

**中图分类号:** S572 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2020)02-0165-09

## Changes of Alkaloids Content of Cigar Leaves with Different Maturities during Air-curing

ZHANG Jiawen<sup>1</sup>, LU Shaohao<sup>1</sup>, ZHAO Zhe<sup>1</sup>, ZHONG Qiu<sup>2</sup>, ZHANG Ruina<sup>2</sup>, ZHAO Mingqin<sup>1</sup>

(1. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Deyang Tobacco Company of Sichuan Province, Deyang 618400, China)

**Abstract:** In order to investigate the changes of alkaloid content of cigar leaves with different maturities during air-curing, taking Shiyen No. 1 as the test material, the changes of 9 alkaloids contents of cigar leaves with different maturities were studied, and the correlation analyses were carried out. The results showed that, the contents of nicotine, nornicotine, anatabine and cotinine first increased and then decreased during airing. The myosmine and 2,3'-bipyridine contents decreased first and then increased. The trend of changes in anabasine, N-methylanabasine contents was basically unchanged. In the dry tending stage, the contents of anatabine, myosmine and N-methylanabasine were the lowest in the unripe treatment, and the other alkaloids were the lowest in the ripe treatment. The nicotine conversion rate showed an upward first then downward trend in different maturity treatments during airing, and it showed overripe>unripe>ripe. Correlation analysis showed that the positive correlations were observed between nicotine, nornicotine, anatabine, anabasine and N-methylanabasine in different maturity leaves, and the ripe treatment was significantly correlated. The anatabine content was negatively correlated with myosmine but not significant. Cotinine content had a positive correlation with anatabine and  $\beta$ -nicotyrine contents, but was negatively correlated with N-methylanabasine content and not significant.

收稿日期: 2019-06-20

基金项目: 中国烟草总公司四川省公司资助项目(SCYC201809)

作者简介: 张嘉雯(1996-), 女, 河北石家庄人, 在读硕士研究生, 研究方向: 烟草栽培与生理。E-mail: zjw960212@163.com

通信作者: 赵铭钦(1964-), 男, 河南新密人, 教授, 博士, 主要从事烟草化学与品质研究。E-mail: zhaomingqin@126.com

**Key words:** Cigar leaves; Maturity; Air-curing; Alkaloids; Nicotine conversion rate; Correlation; Ripe plucking

生物碱是一类存在于生物体中的含氮有机化合物,是烟草中最重要的化学成分之一,对烟草的内在品质具有重要的影响<sup>[1-2]</sup>。烟草生物碱主要包括烟碱、降烟碱、新烟草碱和假木贼碱,其次是微量生物碱,包括麦斯明、N-甲基假木贼碱、二烯烟碱、可替宁、2,3'-联吡啶等。烟碱又称尼古丁,是烟草特有的化学成分。在抽吸过程中,烟碱挥发使烟气呈碱性而产生刺激性气味,对烟草品质不利<sup>[3]</sup>。在调制和陈化过程中,降烟碱易形成对烟叶香味品质有负面影响的麦斯明,降烟碱、新烟草碱和假木贼碱还可转化成烟草特有亚硝胺(TSNA),对人体具有危害作用<sup>[4-5]</sup>。因此,在日益重视降焦减害的情况下,晾制后的烟叶作为直接卷制雪茄的原料,其生物碱含量变化对烟叶感官品质和安全性有着重要意义。

田间鲜烟叶成熟度对烤后烟叶外观质量和内在品质有重要影响,充分成熟的烟叶不仅易于烘烤,烤后烟叶外观质量高,而且醇化效果好,吃味好,香气量足<sup>[6]</sup>。赵铭钦等<sup>[7]</sup>研究表明,中部尚熟-适熟烟叶的糖含量高,总氮、烟碱含量适宜,各种化学成分比值协调,而成熟不够或者过熟的烟叶,其内在质量明显降低。蔡宪杰等<sup>[8]</sup>定量验证了烟叶成熟度越好,烟叶质量越高的结论。目前关于不同成熟度对烤烟烤后物理特性、化学成分、香气成分的影响以及和烟叶质量的关系进行了较多研究<sup>[9-15]</sup>,而生物碱含量变化相关研究甚少;对生物碱含量的研究也只是集中在烤烟方面,雪茄烟这一特色烟叶生物碱的变化规律研究尚未见报道。因此,通过对雪茄烟叶设置不同的成熟度处理,分析研究在晾制期间 9 种生物碱含量的变化规律,为雪茄烟叶的适熟采收及降焦减害提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于 2018 年在四川省什邡市师古镇大泉坑村雪茄烟叶生产基地进行,该地试验田土壤为水稻土,pH 值 5.8~7.0、有机质含量 3.01 g/kg、速效钾含量 89 mg/kg、速效磷含量 38.1 mg/kg、速效氮含量 120 mg/kg,按照当地雪茄烟叶生产技术规范进行统一管理。试验品种为什烟 1 号,采收时选取大田长势基本一致的中部叶(第 10~12 叶位)进行晾制,各成熟度处理严格按照试验要求,采摘标准见表 1。将采摘后的烟叶编杆挂入晾房晾制(晾房规格

为长×宽×高=12 m×6 m×2.5 m),挂杆长 150 cm、杆距 15 cm,每杆挂 30~32 片烟叶,晾房温湿度参照邹宇航等<sup>[16]</sup>的方法进行设定。

表 1 不同成熟度处理雪茄鲜烟叶采摘标准

Tab. 1 Plucking standards for fresh cigar leaves of different maturity degree

成熟度 Maturity	采摘标准 Plucking standard
尚熟 Unripe	叶面以绿色为主,主脉 1/2 变白,支脉仍淡绿,茸毛较少脱落,叶尖略下勾
适熟 Ripe	叶面以绿黄色为主,主脉全白发亮,支脉 2/3 变白,茸毛较多脱落,叶尖叶缘卷边
过熟 Overripe	叶面以淡黄色为主,主支脉全白发亮,茸毛大部分脱落,叶尖叶缘卷边

### 1.2 取样方法

分别在晾制初期、凋萎期、变黄期、定色期和干筋期进行取样,共取 5 次,各成熟度处理每时期取 3 个重复,用于生物碱含量的测定,液氮速冻后,-80℃超低温冰箱保存。

### 1.3 测定方法

样品经冻干机冷冻干燥 72 h 后粉碎,各样品称取 0.02 mg,采用气相色谱-质谱联用法(GC-MS)测定烟叶中 9 种生物碱含量(包括烟碱、降烟碱、新烟草碱、假木贼碱、麦斯明、N-甲基假木贼碱、二烯烟碱、可替宁、2,3'-联吡啶),具体操作及参数设定参照 LI 等<sup>[17]</sup>方法进行。烟碱转化能力用烟碱转化率表示,根据测定结果计算烟碱转化率,即降烟碱含量占烟碱与降烟碱含量之和的百分比<sup>[5]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 进行作图及数据统计,利用 SPSS 21.0 对数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中主要生物碱含量的变化

如图 1a 所示,不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中烟碱含量均呈现先增加后降低的趋势。在晾制初期随着成熟度的提高,烟碱含量逐渐降低。随着晾制的进行,尚熟烟叶在凋萎期略有增加,之后缓慢降低;适熟和过熟烟叶均在变黄期达到峰值,此时各成熟度雪茄烟叶烟碱含量表现为过熟>适熟>尚熟,之后适熟烟叶烟碱含量迅速下降,而过熟烟叶烟碱含量匀速下降。干筋期时适熟烟叶烟碱含量最低,其

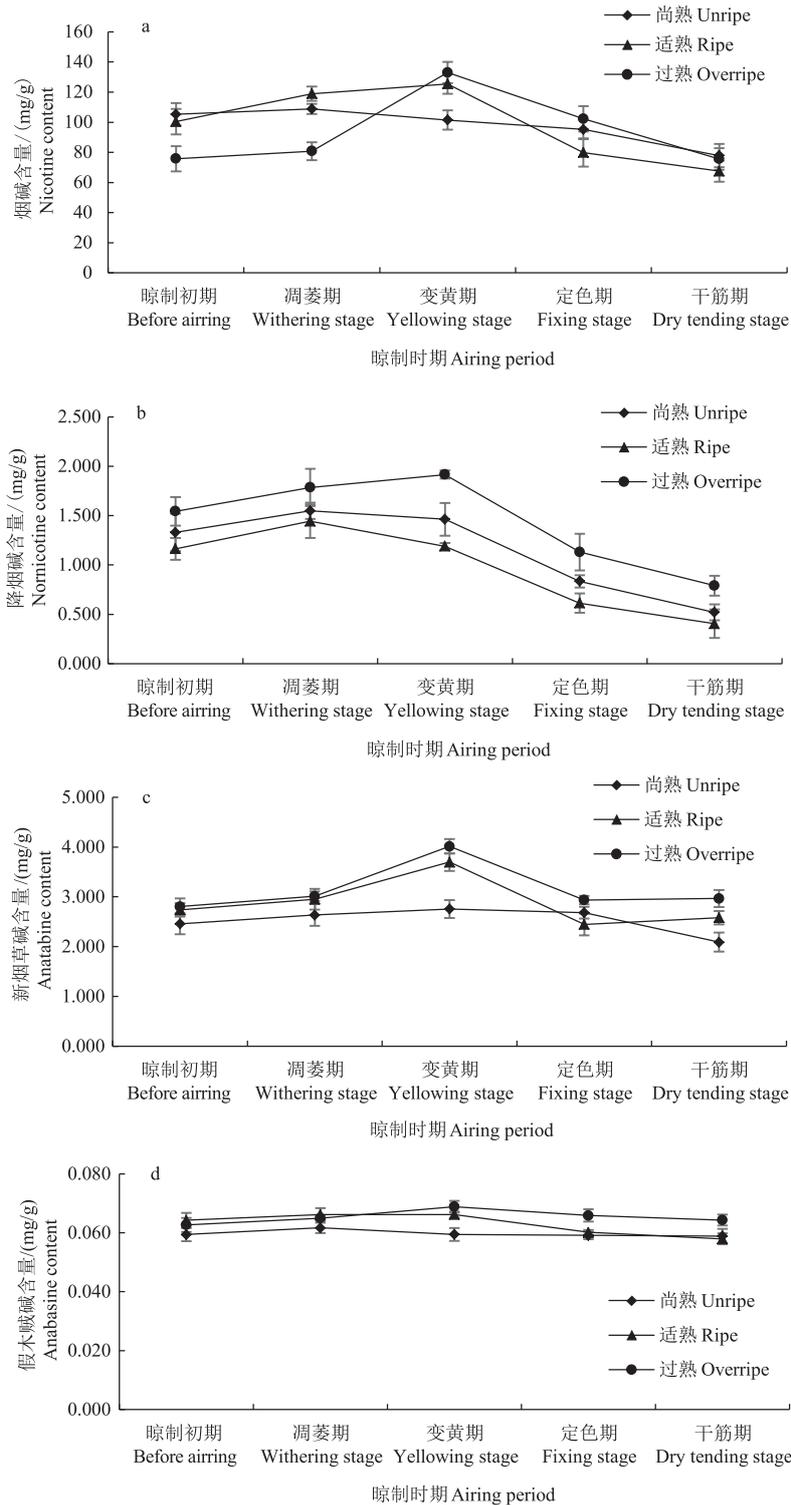


图 1 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中主要生物碱含量的变化

Fig. 1 Changes of main alkaloids content of cigar leaves with different maturities during air-curing

次是过熟和尚熟烟叶,与晾制初期相比下降幅度分别为 32.81%、0.23%、26.04%。晾制后烟叶烟碱含量低有利于降低烟草特有亚硝胺 (TSNA) 含量。

晾制期间,不同成熟度雪茄烟叶降烟碱含量变化趋势一致,均呈单峰曲线(图 1b)。过熟烟叶降烟

碱含量在变黄期达到峰值,此时比晾制开始时增大至 1.24 倍,之后迅速下降;尚熟、适熟烟叶则在凋萎期最高,分别比晾制开始时增大至 1.17 倍、1.24 倍。晾制过程中不同成熟度雪茄烟叶降烟碱含量始终为过熟>尚熟>适熟,且适熟与过熟差异始终达到显著水平( $P<0.05$ ),尚熟与适熟烟叶降烟碱含量除在变

黄期达到显著差异外 ( $P < 0.05$ ), 其他时期差异不大。干筋期与晾制初期相比, 尚熟、适熟、过熟烟叶降烟碱含量下降幅度分别为 60.87%、65.18%、48.80%。

由图 1c 可知, 晾制过程中不同成熟度雪茄烟叶新烟草碱含量变化略有不同, 尚熟烟叶新烟草碱含量在晾制过程中基本不变, 在末期略有下降; 而适熟和过熟烟叶在凋萎期后快速上升, 在变黄期达到峰值 (分别为 3.698、4.014 mg/g), 此时均与尚熟烟叶达到显著差异 ( $P < 0.05$ ), 之后下降, 至定色期后又开始上升。除定色期尚熟烟叶新烟草碱含量高于适熟烟叶外, 整个晾制过程均表现为过熟 > 适熟 > 尚熟。干筋期不同成熟度处理雪茄烟叶新烟草碱含量均达到显著差异 ( $P < 0.05$ ), 与晾制初期相比, 新烟草碱含量变化不明显。

与烟碱、降烟碱和新烟草碱含量相比, 晾制过程中烟叶假木贼碱含量较低。随着晾制的进行, 不同成熟度雪茄烟叶假木贼碱含量先升高后降低 (图 1d)。适熟、过熟烟叶假木贼碱含量均于变黄期最高, 分别达到 0.066、0.069 mg/g, 之后降低; 尚熟烟叶假木贼碱含量在凋萎期最高 (0.059 mg/g), 之后降低。干筋期与晾制前相比, 不同成熟度雪茄烟叶中假木贼碱含量变化不明显。

## 2.2 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中其他生物碱含量的变化

如图 2a 所示, 晾制期间各成熟度处理雪茄烟叶麦斯明含量具有相同的变化趋势, 先降低后升高。尚熟和适熟烟叶中麦斯明含量在变黄期达到最低值, 分别为 0.033、0.033 mg/g, 随后逐渐升高, 且适熟烟叶升高速率较快。过熟烟叶麦斯明含量则在凋萎期最低 (0.035 mg/g), 之后逐渐上升, 与尚熟和过熟烟叶在变黄期和定色期达到显著差异 ( $P < 0.05$ )。干筋期时, 各成熟度烟叶麦斯明含量表现为适熟 > 过熟 > 尚熟, 且适熟、过熟烟叶均与尚熟烟叶达到显著差异。

晾制期间, N-甲基假木贼碱在烟叶内含量较低、变化幅度较小 (图 2b)。随着晾制的进行, 尚熟烟叶 N-甲基假木贼碱含量在变黄期前缓慢降低, 在定色期略有回升又逐渐下降; 适熟烟叶 N-甲基假木贼碱含量呈逐渐下降趋势, 在定色期下降幅度相对较快; 过熟烟叶 N-甲基假木贼碱含量则呈单峰波动趋势, 在变黄期最高。在整个晾制过程中, 随着成熟度的增加 N-甲基假木贼碱含量增加, 且尚熟与过熟烟叶始终达到显著差异 ( $P < 0.05$ )。

由图 2c 可知, 随着晾制的进行, 适熟、过熟烟叶

二烯烟碱含量变化趋势基本相同, 呈先增加后降低的趋势, 均在变黄期达到峰值 (分别为 0.015、0.016 mg/g), 随后适熟烟叶二烯烟碱含量逐渐下降, 至定色期后趋于平缓, 而过熟烟叶在变黄期后趋于平缓。整个晾制过程中, 适熟和过熟烟叶二烯烟碱含量始终达到显著差异 ( $P < 0.05$ )。与适熟和过熟烟叶不同, 尚熟烟叶二烯烟碱含量持续上升, 且在变黄期与其他处理达到显著差异 ( $P < 0.05$ )。晾制结束时, 各成熟度烟叶二烯烟碱含量表现为过熟 > 尚熟 > 适熟。

如图 2d 所示, 晾制过程中各成熟度处理下, 雪茄烟叶可替宁含量呈单峰曲线变化。尚熟烟叶可替宁含量在变黄期之前逐渐增加, 达到峰值后缓慢下降; 适熟和过熟烟叶可替宁含量则在定色期含量最高, 之后降低, 适熟下降幅度较大。各成熟度烟叶在定色期之前无明显差异, 干筋期差异显著 ( $P < 0.05$ ), 此时可替宁含量表现为过熟 > 尚熟 > 适熟。干筋期时, 尚熟和过熟烟叶可替宁含量比晾制开始时分别增加了 2.16% 和 36.81%, 适熟烟叶则降低了 6.86%。

晾制期间雪茄烟叶不同成熟度处理 2,3'-联吡啶含量呈“V”型变化曲线 (图 2e), 且均在变黄期达到最低值, 此时表现为过熟 > 适熟 > 尚熟, 分别比晾制开始时降低了 13.22%、12.99%、23.52%。随后各成熟度烟叶 2,3'-联吡啶含量逐渐上升, 适熟烟叶上升幅度较缓慢, 干筋期时随着成熟度的提高分别上升了 42.23%、23.67%、29.73%, 表现为过熟 > 尚熟 > 适熟。晾制期间, 各成熟度烟叶 2,3'-联吡啶含量在定色期达到显著差异 ( $P < 0.05$ )。

## 2.3 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中烟碱转化率的变化

由表 2 可知, 不同成熟度烟叶烟碱转化率随晾制过程整体呈先上升后下降趋势, 适熟、过熟烟叶在凋萎期略有升高, 而尚熟烟叶在变黄期最高。晾制过程中, 各成熟度烟叶烟碱转化率表现为过熟 > 尚熟 > 适熟, 且适熟和过熟烟叶烟碱转化率除定色期外均达到显著差异。

## 2.4 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中各生物碱含量之间相关性分析

如表 3 所示, 分析了不同成熟度雪茄烟叶晾制期间各生物碱含量之间相关性。结果表明, 不同成熟度处理各生物碱含量之间相关性存在明显差异, 适熟烟叶的相关性较优于尚熟、过熟烟叶。不同成熟度处理烟碱、降烟碱、新烟草碱、假木贼碱、N-甲基假木贼碱含量两两之间均呈正相关关系, 而这些生物碱均与 2,3'-联吡啶含量呈负相关, 且适熟处

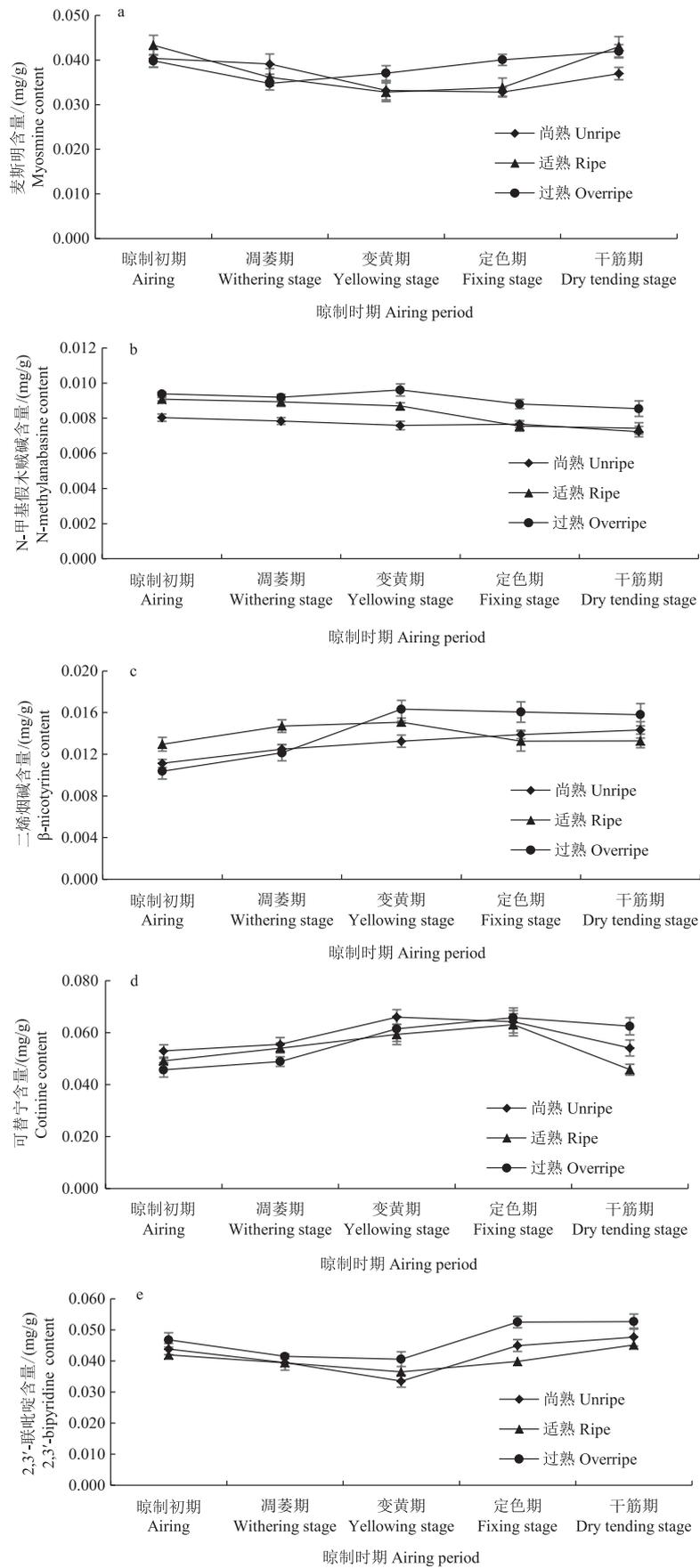


图 2 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中其他生物碱含量的变化

Fig. 2 Changes of other alkaloids content of cigar leaves with different maturities during air-curing

理均达到显著水平。不同成熟度烟叶新烟草碱含量与麦斯明含量均呈负相关关系但未达到显著水平;可替宁含量与新烟草碱、二烯烟碱含量之间均为正

相关,而与 N-甲基假木贼碱含量之间呈负相关但不显著;不同成熟度烟叶麦斯明、二烯烟碱、可替宁含量与其他生物碱含量关系不明显。

表 2 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中烟碱转化率的变化

Tab. 2 Changes of nicotine conversion rate of cigar leaves with different maturities during air-curing %

成熟度 Maturity	晾制时期 Airing state				
	晾制初期 Before airing	凋萎期 Withering stage	变黄期 Yellowing stage	定色期 Fixing stage	干筋期 Dry tending stage
尚熟 Unripe	1. 253b	1. 405b	1. 419a	0. 874a	0. 666b
适熟 Ripe	1. 156b	1. 197b	0. 941b	0. 762a	0. 599b
过熟 Overripe	2. 002a	2. 174a	1. 423a	1. 106a	0. 990a

注:同一列中不同小写字母表示不同成熟度烟叶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different maturity tobacco leaves ( $P < 0.05$ ).

表 3 不同成熟度雪茄烟叶晾制过程中各生物碱含量之间相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of alkaloids contents of cigar leaves with different maturities during air-curing

项目 Item	成熟度 Maturity	烟碱 Nicotine	降烟碱 Normicotine	新烟草碱 Anatabine	假木贼碱 Anabasine	麦斯明 Myosmine	N-甲基			
							假木贼碱 N-methyla nabasine	二烯烟碱 $\beta$ -nicotyrine	可替宁 Cotinine	2,3'-联吡啶 2,3'-bipyridine
烟碱 Nicotine	尚熟	1								
	适熟	1								
	过熟	1								
降烟碱 Normicotine	尚熟	0. 819 **	1							
	适熟	0. 881 **	1							
	过熟	0. 392	1							
新烟草碱 Anatabine	尚熟	0. 708 **	0. 655 **	1						
	适熟	0. 763 **	0. 540 *	1						
	过熟	0. 859 **	0. 493	1						
假木贼碱 Anabasine	尚熟	0. 363	0. 365	0. 295	1					
	适熟	0. 905 **	0. 873 **	0. 654 **	1					
	过熟	0. 782 **	0. 220	0. 672 **	1					
麦斯明 Myosmine	尚熟	0. 174	0. 179	-0. 360	0. 199	1				
	适熟	-0. 388	-0. 205	-0. 470	-0. 330	1				
	过熟	-0. 227	-0. 782 **	-0. 300	-0. 176	1				
N-甲基假木贼碱 N-methyla nabasine	尚熟	0. 720 **	0. 648 **	0. 553 **	0. 479	0. 281	1			
	适熟	0. 799 **	0. 929 **	0. 487	0. 853 **	0. 038	1			
	过熟	0. 452	0. 797 **	0. 502	0. 309	-0. 490	1			
二烯烟碱 $\beta$ -nicotyrine	尚熟	-0. 663 **	-0. 624 *	-0. 173	-0. 288	-0. 506	-0. 789 **	1		
	适熟	0. 713 **	0. 568 *	0. 662 **	0. 561 *	-0. 434	0. 431	1		
	过熟	0. 637 *	-0. 360	0. 539 *	0. 587 *	0. 266	-0. 266	1		
可替宁 Cotinine	尚熟	-0. 001	0. 057	0. 515 *	-0. 120	-0. 684 **	-0. 201	0. 407	1	
	适熟	0. 293	0. 168	0. 197	0. 228	-0. 803 **	-0. 011	0. 426	1	
	过熟	0. 519 *	-0. 456	0. 365	0. 485	0. 432	-0. 314	0. 935 **	1	
2,3'-联吡啶 2,3'-bipyridine	尚熟	-0. 531 *	-0. 731 **	-0. 581 *	-0. 114	0. 258	-0. 177	0. 246	-0. 401	1
	适熟	-0. 705 **	-0. 530 *	-0. 540 *	-0. 561 *	0. 612 *	-0. 432	-0. 571 *	-0. 595 *	1
	过熟	-0. 335 *	-0. 902 **	-0. 561 *	-0. 236	0. 776 **	-0. 672 **	0. 240	0. 403	1

注: \* 表示在  $P < 0.05$  水平相关性显著, \*\* 表示在  $P < 0.01$  水平相关性显著。

Note: \* indicates a significant correlation at  $P < 0.05$  level, and \*\* indicates an extremely significant correlation at  $P < 0.01$  level.

### 3 结论与讨论

雪茄烟是一种特殊的烟草制品,属于典型的晾晒烟,经晾制后的雪茄烟香气醇厚丰满,色泽均匀,叶片宽薄,弹性好,燃烧性好<sup>[18]</sup>。晾制后的雪茄烟

叶可直接作为卷制的雪茄原料,因此,烟草生物碱的含量和组成对雪茄烟的香味品质、风格程度和安全性有重要影响。烟碱含量占总生物碱含量 93% 以上,具有兴奋中枢神经、消除疲劳等生理作用,适量能给吸烟者适当的生理刺激、愉快的香气和醇和的

吃味<sup>[19]</sup>。而降烟碱的形成是烟碱去甲基作用的结果,对烟气质量有负面影响<sup>[20]</sup>。程森等<sup>[21]</sup>研究表明,烟碱、降烟碱、麦斯明、新烟草碱和假木贼碱均与烤烟感官评价指标都有显著的相关关系。杨焕文等<sup>[22]</sup>研究表明,深色晾烟品种 KY171 在晾制过程中,烟碱、降烟碱含量先增加后降低,新烟草碱在晾制开始稍有下降然后增加,直至 2 周后又逐渐下降,假木贼碱含量在晾制期间没有明显变化。本试验表现出相似的变化规律:晾制期间不同成熟度雪茄烟叶烟碱、降烟碱含量呈先升高后降低的趋势,均在变黄期达到峰值;适熟和过熟烟叶新烟草碱含量在凋萎期后快速上升,在变黄期达到峰值后下降,至定色期后又开始上升;假木贼碱含量则无明显变化。这也与顾会战<sup>[23]</sup>的研究结果相一致。这说明雪茄烟叶在晾制过程,酶的作用和非酶反应可在某种程度上造成烟草生物碱的降解转化。本研究结果显示,随着晾制的进行,不同成熟度烟叶烟碱含量在凋萎期有显著差异外,其他时期差异不显著;降烟碱含量始终保持过熟>尚熟>适熟的趋势。干筋期时,烟碱、降烟碱、假木贼碱含量均以适熟处理最低,其次是尚熟和过熟处理,而新烟草碱含量则以尚熟处理最低,这与前人研究结果基本一致<sup>[24]</sup>。

烟碱比较容易降解,在不同条件下烟碱的降解产物不同。FRANKENBURG 等<sup>[25]</sup>深入研究了烟草生物碱的降解:宾夕法尼亚雪茄芯叶在陈化和发酵时,烟碱含量降低,同时增加了烟酸、麦斯明、2,3'-联吡啶、氧化烟碱、烟酰胺、N-甲基烟酰胺、可替宁等烟碱转化物。降烟碱在调制和陈化过程中易形成麦斯明,麦斯明的产生可改变烟叶和烟气化学成分的组成和含量,对烟叶的香味品质不利<sup>[26]</sup>。目前关于微量生物碱的研究较少,而有关雪茄烟叶晾制期间麦斯明、N-甲基假木贼碱、二烯烟碱、可替宁、2,3'-联吡啶等含量的研究尚未见报道。本试验结果显示,晾制期间麦斯明、2,3'-联吡啶含量呈先降低后升高的趋势,这可能与烟碱和降烟碱的转化有关。N-甲基假木贼碱含量在烟叶内较低、变化幅度较小,整体呈缓慢下降趋势;二烯烟碱含量则呈缓慢上升趋势;可替宁含量则表现为单峰变化趋势。干筋期时麦斯明、N-甲基假木贼碱含量均以尚熟处理最低,而其他几种非主要生物碱含量则以适熟处理最低。由此说明,不同采收成熟度对生物碱含量有不同程度的影响,中部叶适熟采收可有效降低生物碱的含量,从而提高晾制后雪茄烟叶的抽吸品质。

在烟草成熟过程中,一些转化株具有烟碱去甲基能力,使烟叶内烟碱转化为降烟碱,使烟叶呈现

“樱红”<sup>[27-28]</sup>,对烟叶感官评吸品质和 TSNA 含量造成重要影响<sup>[29]</sup>。本研究结果表明,晾制过程中烟碱转化率整体呈下降趋势,且不同成熟度间表现为过熟>尚熟>适熟,进一步说明了烟叶适熟采摘有利于提高烟叶品质。一般认为,降烟碱由烟碱转化而来,在晾制过程中,如果烟碱只发生转化为降烟碱的变化,那么随烟碱含量降低,降烟碱含量应按一定比例升高。但相关分析表明,烟碱与降烟碱之间呈正相关,这可能由于在晾制期间烟碱和降烟碱还同时可能有其他复杂的转化和分解途径,如烟碱会被一些种类的微生物分解<sup>[30]</sup>,降烟碱也会进一步和亚硝酸反应形成 NNN<sup>[29]</sup>。但烟碱与麦斯明和 2,3'-联吡啶之间呈负相关,这可能与晾制期间烟碱降解有关。各生物碱含量之间相关性表明,不同成熟度烟叶降烟碱、新烟草碱、假木贼碱含量两两之间均呈正相关关系,且适熟处理均达到显著水平,这与陈卫国等<sup>[31]</sup>研究结果基本一致。说明晾制期间各生物碱并不是独立变化,而是相互影响、共同作用的<sup>[32-33]</sup>。

综合来看,不同成熟度处理对晾制期间雪茄烟叶生物碱含量变化有一定的影响,适熟处理下晾制后各生物碱含量均较适宜,其次是尚熟和过熟处理。由此可知,从生物碱含量分析雪茄烟叶采摘成熟度时,中部叶宜在适熟时进行采摘,烟叶感官品质 and 安全性较好。

#### 参考文献:

- [1] 李超,史宏志,刘国顺.烟草烟碱转化及生物碱优化研究进展[J].河南农业科学,2007(6):14-17.  
LI C, SHI H Z, LIU G S. Research progress on tobacco nicotine conversion and alkaloid optimization[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2007(6):14-17.
- [2] 徐宜民,王树声,赖禄祥,等.烟草生物碱的研究现状[J].中国烟草科学,2003(2):13-17.  
XU Y M, WANG S S, LAI L X, et al. Review on the studies of tobacco alkaloids[J]. Chinese Tobacco Science, 2003(2):13-17.
- [3] 于建军,庞天河,章新军,等.鄂西南烤烟吸食质量与致香物质的关系[J].华中农业大学学报,2006,25(4):355-358.  
YU J J, PANG T H, ZHANG X J, et al. Relationships between aroma constituents and smoking quality in flue-cured tobacco in southwest of Hubei Province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2006, 25(4):355-358.
- [4] TYROLLER S, ZWICKENPFLUG W, THALHEIM C, et al. Acute and subacute effects of tobacco alkaloids, tobacco

- co-specific nitrosamines and phenethyl isothiocyanate on N<sup>1</sup>-nitrosonornicotine metabolism in rats[J]. *Toxicology*, 2005, 215(3):245-253.
- [5] 赵永利, 史宏志, 杨兴有, 等. 白肋烟烟碱转化率与生物碱含量及新烟草碱/降烟碱值的关系[J]. *河南农业大学学报*, 2009, 43(2):135-138.
- YANG Y L, SHI H Z, YANG X Y, *et al.* Relationship of nicotine conversion rate with individual alkaloid contents and Anat/Nnic in burley tobacco[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2009, 43(2):135-138.
- [6] 李跃武, 陈朝阳, 江豪, 等. 烤烟品种云烟 85 烟叶的成熟度 I. 成熟度与叶片组织结构、叶色、化学成分的关系[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2002, 31(1):16-21.
- LI Y W, CHEN C Y, JIANG H, *et al.* Studies on leaf maturity of Yunyan 85, a variety of flue-cured tobacco I: Relationship between the maturity and the tissue, color and chemical compositions in leaves[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University(Natural Science Edition)*, 2002, 31(1):16-21.
- [7] 赵铭钦, 苏长涛, 姬小明, 等. 不同成熟度对烤后烟叶物理性状、化学成分和中性香气成分的影响[J]. *华北农学报*, 2008, 23(3):146-150.
- ZHAO M Q, SU C T, JI X M, *et al.* Effects of maturity on physical properties, chemical components and content of neutral aroma constituents in flue-cured tobacco[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(3):146-150.
- [8] 蔡宪杰, 王信民, 尹启生. 成熟度与烟叶质量的量化关系研究[J]. *中国烟草学报*, 2005, 11(4):42-46.
- CAI X J, WANG X M, YIN Q S. Study on the quantitative relationship between maturity and quality of tobacco leaf[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2005, 11(4):42-46.
- [9] 刘朝营. 不同成熟度“红大”烟叶烘烤过程中细胞超微结构及品质指标的变化[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- LIU C Y. Changes of cell ultrastructure and quality indexes of tobacco leaves flue-cured cultivar “Hongda” with different maturities during bulk flue-curing[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013.
- [10] 杨占伟, 周圆臣, 郑土山. 成熟度和定色期湿度与烟叶烘烤物理特性的关系[J]. *江西农业学报*, 2010, 22(4):33-35, 42.
- YANG Z W, ZHOU Y C, ZHENG T S. Relationship between maturity and color fixing period humidity and physical properties of tobacco leaf baking[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2010, 22(4):33-35, 42.
- [11] 陈雪, 陈丽萍, 艾复清. 采收成熟度对特色烟烤后烟叶化学成分的影响[J]. *贵州农业科学*, 2011, 39(5):62-64.
- CHEN X, CHEN L P, AI F Q. Effect of leaf picking maturity on chemical composition of Honghuadajinyuan, a characteristic flue-cured tobacco variety in Guizhou[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2011, 39(5):62-64.
- [12] 宋朝鹏. 烤烟烟叶成熟和烘烤过程中色素变化特征及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- SONG Z P. Pigment changes and their mechanisms of flue-cured tobacco leaf during maturing and curing phases[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.
- [13] 黄维, 崔国民, 赵高坤. 不同成熟度烟叶在烘烤过程中主要挥发性香气成分的变化[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(24):149-152.
- HUANG W, CUI G M, ZHAO G K. The change of main flavor compound of different maturity stage tobacco leaf during curing[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(24):149-152.
- [14] 戴勇强. 成熟度与烟叶质量的关系及其在烟叶分级中的判断[J]. *现代农业科技*, 2011(6):37-38.
- DAI Y Q. Changes of main volatile aroma components in different maturity tobacco leaves during baking[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2011(6):37-38.
- [15] 张丽英. 采收成熟度对红花大金元烟叶烘烤品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
- ZHANG L Y. Influence of picked-leaf maturity on curing quality of flue-cured tobacco cultivar Honghuadajinyuan[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012.
- [16] 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.* Preliminary study on the modulation technology of cigar[J]. *China Agricultural Informatics*, 2015(1):83-84.
- [17] LI X T, LIU F, WANG H F, *et al.* Gas chromatography-mass spectrometry method for simultaneous detection of nine alkaloids in tobacco and tobacco products by QuEChERS sample preparation[J]. *Analytical Sciences*, 2019, 35(8):849-855.
- [18] 金熬熙. 雪茄烟生产技术[M]. 北京: 轻工业出版社, 1982:1-7.
- JIN A X. Cigar production technology[M]. Beijing: Light Industry Press, 1982:1-7.
- [19] 孙树林. 恩施白肋烟生物碱特点及烟碱含量农艺调控措施研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- SUN S L. Studies on alkaloid characteristic and agronomic regulation measures of nicotine content of burley

- tobacco in Enshi [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2010.
- [20] 张保全, 刘华山, 王凌, 等. 烤烟烘烤过程中烟碱、去甲基烟碱的变化初探[J]. 河南农业科学, 2004(5): 18-20.  
ZHANG B Q, LIU H S, WANG L, *et al.* The preliminary research on changes of nicotine and normicotine during flue-cured tobacco flue-curing[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2004(5): 18-20.
- [21] 程森, 杜咏梅, 张骏, 等. 烤烟不同生物碱含量特征及其与烟叶内在质量关系研究初报[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 1-4.  
CHENG S, DU Y M, ZHANG J, *et al.* Alkaloid content of flue-cured tobacco and its correlations with sensory quality [J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(6): 1-4.
- [22] 杨焕文, 刘彦中, 崔明午, 等. 深色晾烟晾制过程中一些重要化学成分的变化[J]. 华中农业大学学报, 2000, 19(4): 399-402.  
YANG H W, LIU Y Z, CUI M W, *et al.* Changes of some important chemical composition of dark tobacco during air curing[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2000, 19(4): 399-402.
- [23] 顾会战. 调制温湿度条件对雪茄外包皮烟叶生理变化与理化特性的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006.  
GU H Z. Effects of temperature and humidity on physiological changes and physical and chemical characters of cigar-wrapper tobacco during curing [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2006.
- [24] 郑璞帆. 陕南地区不同成熟度烟叶生理特性和烤后品质研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.  
ZHENG P F. Studies on physiological characteristics and quality after curing of different maturity tobacco leaves in southern Shanxi Province [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.
- [25] WALTER GF. Transformation products of nicotine in fermented tobacco[J]. Science, 1948, 107(2782): 427-428.
- [26] 史宏志, BUSH L P, KRAUSS M. 烟碱向降烟碱转化对烟叶麦斯明和 TSNA 含量的影响[J]. 烟草科技, 2004(10): 27-30.  
SHI H Z, BUSH L P, KRAUSS M. Effect of nicotine to normicotine conversion on myosmine and TSNA contents in burley tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2004(10): 27-30.
- [27] JEFFREY R N, TSO T C. Tobacco constituents, qualitative differences in alkaloid fraction of cured tobaccos [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1955, 3(8): 680-682.
- [28] WEYBREW J A, MNN T J, MOORE E L. Nicotine conversion and cherry-redness [J]. Tobacco Science, 1960(4): 190-193.
- [29] 史宏志, 李进平, BUSH L P, 等. 烟碱转化率与卷烟感官评吸品质和烟气 TSNA 含量的关系[J]. 中国烟草学报, 2005, 11(2): 9-14.  
SHI H Z, LI J P, BUSH L P, *et al.* Relationship of percent nicotine conversion with sensory evaluation scores and TSNA contents in cut tobacco and cigarette smoke [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2005, 11(2): 9-14.
- [30] 雷丽萍, 李梅云, 郭荣君, 等. 自选菌株对白肋烟叶质量的影响初报[J]. 云南农业大学学报, 2006, 21(2): 201-204.  
LEI L P, LI M Y, GUO R J, *et al.* Preliminary study on the effect of the bacteria spraying on burley leaves [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2006, 21(2): 201-204.
- [31] 陈卫国, 邓小华, 卿国林. 湖南烤烟主要生物碱含量和组成比例及相关性研究[J]. 作物杂志, 2011(1): 81-82.  
CHEN W G, DENG X H, QING G L. The content and proportion of main alkaloids, and their correlations in flue-cured tobacco in Hunan [J]. Crops, 2011(1): 81-82.
- [32] 李寒雪, 王林, 徐坚强, 等. 重庆烟区植烟土壤理化性状对烤烟苯丙氨酸类代谢产物的影响[J]. 南方农业学报, 2018, 49(10): 1946-1952.  
LI H X, WANG L, XU J Q, *et al.* Effects of soil physico-chemical properties in Chongqing tobacco planting areas on phenylalanine metabolites in flue-cured tobacco [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(10): 1946-1952.
- [33] 穆童, 李东亮, 姚倩, 等. 不同部位烤烟非挥发性有机酸含量与品质指标的关系分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(5): 963-970.  
MU T, LI D L, YAO Q, *et al.* Relationship analysis between content of non-volatile organic acid and quality index in different parts of flue-cured tobacco [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(5): 963-970.