

稻茬烤烟下部4片烟叶一次性采收成熟度研究

江智敏¹ 张仲文¹ 章程¹ 郑宏斌¹ 王卫民¹ 李思军²
侯建林² 邓小强² 吴文信¹ 朱林³ 邓永晟³ 邓小华³

(¹浙江中烟工业有限责任公司, 310008, 浙江杭州; ²湖南省烟草公司郴州市公司桂阳县分公司, 424400, 湖南郴州; ³湖南农业大学农学院, 410128, 湖南长沙)

摘要 为明确稻茬烤烟下部烟叶一次性采收适宜成熟度, 以云烟87为材料, 设计低成熟度、中等成熟度和高成熟度3个处理, 在湖南省桂阳烟区开展试验, 并采用模糊评价方法对其烤后烟叶质量和经济性状进行综合评价。结果表明, 随下部烟叶采收成熟度提高, 鲜烟叶的叶绿素相对含量(SPAD值)下降; 微带青烟叶比例减少, 杂色烟叶比例增加; 烟叶结构疏松, 油分增加; 烟叶单叶重下降, 平衡含水率降低; 烟叶总糖、还原糖和绿原酸含量下降, 烟碱和淀粉含量增加; 烟叶产量和产值下降。中等成熟度处理外观质量指数、物理性状指数、化学成分可用性指数、评吸总分、经济性状指数、烟叶质量指数和经济效果综合指数均最高。湖南省桂阳烟区云烟87下部烟叶适宜一次性采收成熟特征为叶片淡绿, 主脉淡绿至变白1/3, 叶缘微卷曲, 叶面无成熟斑, 采收指导SPAD值为19.39~26.63。

关键词 稻茬烤烟; 下部烟叶; 一次性采收; 适宜成熟度; 模糊综合评价

适熟采收是保证烟叶烘烤质量的前提和基础。左天觉^[1]和宫长荣^[2]认为, 烟叶适熟采收对烟叶品质的贡献占整个烤烟生产技术环节的三分之一以上, 田间烟叶应该在处于合适的成熟度时进行采收, 并且采取与相应成熟度配套的调制工艺, 才能提升烟叶总体质量。当前生产上烟叶采收成熟度较低的现象比较严重, 采青烟叶烘烤时间长, 难度大, 易造成烟叶内含物质过度消耗, 影响烤烟质量。烟叶采收成熟度不仅影响烟叶上等烟比例、均价、产量、产值等经济性状^[3], 还影响烟叶外观质量^[4-5]、化学成分^[6]和评吸质量^[7-8], 这些一直是烤烟生产研究热点。童德文等^[5]认为, 推迟采收达到9~10成成熟度采收烘烤后的烟叶外观质量、化学成分及协调性和感官评吸质量均最好, 最符合工业企业需求, 均价、上等烟比例、效益等经济性状最好。传统的烟叶采收方法是成熟一片采收一片^[2], 但采收次数增多势必会造成采烤劳动成本增加^[9]。梁柱等^[10]认为, 适当减少采收次数可以降低用工成本和煤电耗, 同时还能提高烤烟上等烟比例、改善外观质量、协调化学成分。不同品种^[11-12]、生态区域^[13-14]和栽培措施^[15-16]等条件下的烟叶成熟度表现存在差异, 刘雅娴等^[15]认为, 烤烟施氮量越大, 采收时间应适当推迟, 提高烟叶采收时的成熟度。崔国民等^[13]

研究发现, 不同海拔高度烤烟成熟表现不一致, 高海拔有利于烟叶腺毛密度的增加。不同成熟度烟叶的茎叶角度随生态区海拔的升高或成熟度的提升而增大。不同成熟度初烤烟叶淀粉、蛋白质、叶绿素、胡萝卜素、叶黄素等烟叶的关键化学成分含量随生态区海拔的升高呈增加趋势, 随烟叶成熟度提升呈减少趋势。不同品牌的卷烟配方也要求有不同的烟叶成熟度^[17]。湖南省桂阳烟区是典型的浓香型烟叶产区, 也是浙江中烟的主要原料供应基地, 以烟稻复种轮作的稻茬烤烟生产为主, 其烤烟在优化烟叶结构后的留叶数一般为15~16片, 为3次采烤(第1次采下部3~4片, 第2次采中部6片, 第3次采上部6片)创造了条件。因此, 为应对烤烟生产减工降本和卷烟品牌配方需求, 针对浙江中烟敖泉烟叶基地单元自身的生产和生态条件, 开展下部4片烟叶一次性采收成熟度研究, 并采用模糊评价方法对烟叶质量和经济性状进行综合评价, 为完善稻茬烤烟降本提质增香采烤技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

于2021年在湖南省桂阳县敖泉镇(112°34'E, 25°55'N)开展成熟度采烤试验。年均降水量

作者简介: 江智敏, 主要从事烟叶原料研究与开发, E-mail: 904678189@qq.com

邓小华为通信作者, 主要从事烟草科学与工程技术研究, E-mail: yzdxh@163.com

基金项目: 湖南省烟草公司郴州市公司项目(CZY2022JS06); 浙江中烟工业有限责任公司科技项目(ZJZY2021B007, ZJZY2023B001)

收稿日期: 2022-05-04; 修回日期: 2022-06-24; 网络出版日期: 2023-07-21

1385.2 mm, 年均气温 17.2 °C, 年均日照时长 1705.4 h。供试土壤为水稻土, 土壤全氮 2.27 g/kg、全磷 0.54 g/kg、全钾 38.1 g/kg、碱解氮 162.8 mg/kg、速效磷 29.8 mg/kg、速效钾 159.5 mg/kg。供试品种为云烟 87, 按株行距 50 cm×120 cm 的规格于 3 月 1 日移栽烟苗, 烤烟施氮量为 162.16 kg/hm², m(N):m(P₂O₅):m(K₂O)=1:0.86:2.5, 肥料是由湖南金叶众望科技股份有限公司提供的烟草专用基肥(N-P₂O₅-K₂O=8-17-7)和烟草专用追肥(N-P₂O₅-K₂O=11-0-31), 各处理施肥量与施肥方式均一致。初花期打顶, 留叶数 16 片, 其他田间管理依据桂阳县优质烤烟生产技术规范进行。采用规格为 2.7 m(宽)×8.0 m(长)×3.3 m(高)的气流上升式密集烤房 3 座, 每炕装烟量约 4000 kg, 循环风机功率为 2.2 kW^[16]。

1.2 试验设计

采烤成熟度设 3 个水平: 习惯采收、低成熟度(M1), 延迟 5 d 采收、中成熟度(M2), 延迟 10 d 采收、高成熟度(M3)。每次采收 4 片烟叶, 叶位从下至上依次记为 D1~D4, Mean 为 4 片烟叶平均值。烟叶采收时, 每个叶位选择 120 片左右烟叶, 按叶位分别上杆编烟, 3 次重复。中温中湿烘烤工艺: 变黄期干球温度 38 °C, 湿球温度 37 °C, 至下棚烟叶基本全黄; 以 1 °C/h 速率将干球温度升至 40 °C, 湿球温度升至 38 °C, 保持温度至全房烟叶充分变黄, 主脉充分变软; 定色期以 1 °C/h 速率将干球温度升至 55 °C, 湿球温度升至 40 °C, 保持温度至全房烟叶干燥; 干筋期以 1 °C/h 速率将干球温度升至 68 °C, 湿球温度升至 42 °C, 直到主脉全部干燥。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 鲜烟叶成熟特征拍照并记载 在烟叶采摘时, 每个处理选择具有代表性的叶片拍照, 并记录烟叶颜色、茸毛、茎叶夹角、叶面状况、主支脉变白状况、叶尖和叶缘、成熟斑等成熟特征。

1.3.2 鲜烟叶 SPAD 值测定 在烟叶采摘时, 每个处理定位 5 株烟叶, 采用 SPAD-502 Plus 便携式叶绿素测定仪(柯尼卡美能达公司, 日本)测定叶绿素相对含量(SPAD 值), 每片烟叶在离主脉 3 cm 两侧对称处各选择 6 个点进行测量^[18], 求平均值。

1.3.3 烤后烟叶外观质量分组统计 每个处理单

采、单烤, 由分级专家分级后, 统计正常组、杂色和微带青烟叶数量及比例。

1.3.4 烤后烟叶外观质量评价 聘请分级专家对烟叶颜色、成熟度、叶片结构、油分、色度、身份等指标逐项进行鉴定, 并按 10 分制进行打分^[19-20], 分别按 0.20、0.30、0.16、0.12、0.10、0.12 的权重计算外观质量指数(appearance quality index, AQI)。AQI= $\sum_{j=1}^6 A_j \times W_j$, 式中, A_j 表示第 j 个指标的外观质量分值, W_j 为第 j 个指标的权重。AQI 分值越高, 外观质量越好。

1.3.5 烟叶物理性状指标测定及模糊评价方法 选取各处理具有代表性的烟叶, 随机抽取 20 片平衡水分后的烤烟, 参照文献[21]的方法测定长度、宽度、单叶重、含梗率、叶片厚度、平衡含水率、叶质重等物理性状指标。开片度(%)=叶宽/叶长×100。参照文献[22], 采用效果测度模型对上棚烟叶物理性状指标进行无量纲化转换为 0~1 数值, 并按开片度、单叶重、含梗率、叶片厚度、平衡含水率、叶质重等物理性状评价指标的权重分别为 16.42%、10.55%、21.80%、19.06%、12.84%、19.33%计算烟叶物理性状指数(physical property index, PPI)。含梗率应用下限效果测度模型($r_{ij}=\min u_{ij}/u_{ij}$), 开片度应用上限效果测度模型($r_{ij}=u_{ij}/\max u_{ij}$), 叶质重、平衡含水率、单叶重、叶片厚度应用适中效果测度模型($r_{ij}=u_{ij}/(u_{ij0}+|u_{ij}-u_{ij0}|)$), 以上公式中 u_{ij} 为局势的实际效果, $\max u_{ij}$ 为最大值, $\min u_{ij}$ 为最小值, u_{ij0} 为适中值(单叶重 7 g, 叶片厚度 90 μm, 叶质重 60 g/m², 平衡含水率 15%)。物理性状指数计算公式为 PPI= $\sum_{j=1}^6 P_j \times W_j$, 式中, P_j 表示第 j 个物理性状指标的无量纲化值, W_j 为第 j 个指标的权重。PPI 分值越高, 物理性状越好。

1.3.6 烟叶化学成分指标测定及模糊评价方法 选取烤后具有代表性烟叶, 采用连续流动分析仪(SKALAR, 荷兰)测定烟叶中总糖、还原糖、烟碱、总氮、氯、淀粉、绿原酸含量, 采用火焰光度法测定钾含量。参照文献[23-24], 采用隶属函数法将总糖、还原糖、烟碱、总氮、氯、钾等评价指标无量纲化转换为 0~1 数值(其中钾含量采用 S 型函数, 其他指标采用抛物线型函数), 并分别按 14.4%、15.9%、27.8%、10.4%、6.9%、24.6%的权重计算化学成分可用性指数(chemical components usability index, CCUI)。CCUI= $\sum_{j=1}^6 U_j \times W_j$, 式中,

U_j 表示第 j 个化学成分指标的无量纲化值, W_j 为第 j 个指标的权重。CCUI 分值越高, 化学成分协调性越好。

1.3.7 单料烟感官评吸及评价 选取烤后具有代表性烟叶, 将各处理烘烤后烟叶经过回潮、切丝, 卷制成每支 900 ± 15 mg、长 85 mm 的单料烟支。由浙江中烟技术中心组织专业评吸人员按 YC/T 138-1998 烟草及烟草制品^[25]进行感官质量评价, 对刺激性 (10 分)、干燥感 (8 分)、余味 (10 分)、香气质 (20 分)、细腻程度 (6 分)、柔和程度 (6 分)、圆润感 (8 分)、香气量 (18 分)、透发性 (6 分)、杂气 (8 分) 等 10 个评价指标打分, 10 个指标分值之和就是感官评吸质量总分 (smoking quality index, SQI), $SQI = \sum_{j=1}^{10} S_j$, 式中, S_j 表示第 j 个指标的感官评吸分值。本研究只统计分析评吸总分, SQI 值越大, 烟叶评吸质量越优。

1.3.8 经济性状考察及模糊评价 不同处理的烤后烟叶分开放置, 进行分级。统计上中等烟比例、均价、产量、产值。烟叶产量只是统计可收购烟叶的产量, 下等烟叶不统计在产量里。参照文献[26], 采用灰色局势决策中的上限效果测度方法对上等烟比例、均价、产量和产值 4 个经济性状指标进行数据无量纲化处理, 并确定其权重分别为 25.45%、19.93%、32.75%、21.87%, 计算经济效果指数 (economic character index, ECI)。 $ECI = \sum_{j=1}^4 E_j \times W_j$, 式中, E_j 表示第 j 个指标无量纲化数值, W_j 为第 j 个指标的权重)。ECI 值越大, 经济效果越优。

1.3.9 烟叶质量指数及综合效果指数 参考文献[19], 将外观质量指数、物理性状指数、化学成分指数和感官评吸总分分别赋予 0.1、0.1、0.2、0.6 的权重, 计算不同处理的 4 个指数和为烟叶质量指数 (leaf quality index, LQI), $LQI = 0.1AQI + 0.1PPI + 0.2CCUI + 0.6SQI$ 。将外观质量指数、物理性状指数、化学成分指数、感官评吸总分和经济效果指数分别赋予 0.1、0.1、0.2、0.4、0.2 的权重, 计算不同处理的 5 个指数和为综合效果指数 (composite effect index, CEI)。 $CEI = 0.1AQI + 0.1PPI + 0.2CCUI + 0.4SQI + 0.2ECI$ 。LQI 和 CEI 值越大, 烟叶质量和综合效果越优。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行

数据处理和统计分析, 采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度采收的鲜烟叶特征

3 个成熟度采收处理的烟叶成熟特征照片见图 1, 其鲜烟叶成熟外观特征见表 1。从烟叶成熟特征变化看, 叶面落黄程度增加, 颜色由绿色→淡绿→绿黄→黄绿; 茸毛无脱落→大部分脱落; 茎叶夹角增大; 叶面由光滑→微皱→褶皱; 烟叶主脉由淡绿→白色, 支脉部分变白; 叶缘由微卷曲→卷曲; 无成熟斑。不同成熟度之间 D1 处理叶成熟特征变化最大, 最明显的是叶尖部分变黄程度增加, M3 处理的叶尖有少部分枯焦。



图 1 不同成熟度采收的鲜烟叶成熟特征

Fig.1 The characteristics of fresh tobacco leaves in different maturities

2.2 不同成熟度采收的鲜烟叶 SPAD 值

由图 2 可知, 随鲜烟叶采收成熟度的提高, 烟叶 SPAD 值下降, D1~D4 叶位的 M1、M2、M3 处理成熟度 SPAD 值分别在 21.07~28.97、19.39~26.63、15.36~23.31, 且差异显著。M1 处理成熟度 SPAD 平均值较 M2、M3 处理分别高 11.92%、35.78%。M1、M2、M3 处理成熟度的 4 个叶位 SPAD 值变异系数平均值分别为 12.82%、18.36%、20.62%, 随烟叶采收成熟度提高, D1~D4 叶位叶绿素含量变化增大, 叶位之间的成熟度差异增大。

表 1 不同成熟度采收的鲜烟叶外观成熟特征
Table 1 Appearance maturities characteristic of the fresh tobacco leaf harvested in different maturities

| 叶位 Leaf position | 处理 Treatment | 颜色 Colour | 茸毛 Fluff | 茎叶夹角 Stem and leaf angles (°) | 叶面 Leaf surface | 主支脉变白 Main vein and branches whitening | 叶尖和叶缘 Leaf tip and margin | 成熟斑 Mature spots |
|------------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------|--|---------------------------------|------------------------|
| D1 | M1 | 叶基绿色，叶片淡绿 | 未脱落 | 62 | 微皱 | 主脉变白 1/4，支脉淡绿 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M2 | 叶基淡绿，叶片绿黄约 1/2 | 大部分脱落 | 75 | 褶皱 | 主脉变白 1/3，支脉变白 1/4 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M3 | 叶片黄绿，叶尖稍有枯焦 | 大部分脱落 | 87 | 褶皱 | 主脉全白，支脉变白 4/5 | 叶缘卷曲 | 无 |
| D2 | M1 | 叶片绿色，叶尖淡绿 | 未脱落 | 60 | 光滑 | 叶脉淡绿 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M2 | 叶基淡绿，叶片黄绿约 1/5 | 少部分脱落 | 73 | 微皱 | 主脉变白 1/3，支脉变白 1/5 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M3 | 叶片黄绿约 1/2 | 大部分脱落 | 80 | 褶皱 | 主脉变白 2/3，支脉变白 2/3 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| D3 | M1 | 叶片绿色，叶尖淡绿 | 未脱落 | 60 | 光滑 | 叶脉淡绿 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M2 | 叶基淡绿，叶片黄绿约 1/10 | 少部分脱落 | 71 | 褶皱 | 主脉变白 1/4，支脉变白 1/5 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M3 | 叶片淡绿，叶尖黄绿约 1/5 | 大部分脱落 | 79 | 微皱 | 主脉变白 3/10，支脉变白 1/2 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| D4 | M1 | 叶片绿色 | 未脱落 | 57 | 光滑 | 叶脉淡绿 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M2 | 叶片淡绿色 | 少部分脱落 | 66 | 褶皱 | 主脉变白 1/5，支脉淡绿 | 叶缘微卷曲 | 无 |
| | M3 | 叶片淡绿，叶尖黄绿约 1/5 | 少部分脱落 | 77 | 微皱 | 主脉变白 2/5，支脉变白 1/2 | 叶缘微卷曲 | 无 |

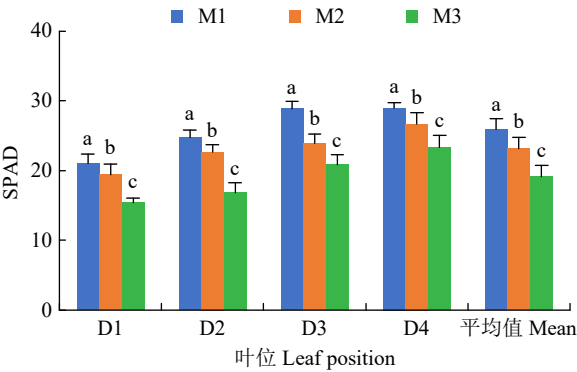


图 2 不同成熟度采收的鲜烟叶 SPAD 值
Fig.2 The SPAD value of fresh tobacco leaves harvested in different maturities

2.3 不同成熟度采收的烤后烟叶分组统计

分别统计烤后烟叶的正常组、杂色、微带青 3 个组别的百分率（图 3）。M1 处理正常组烟叶比例为 79.51%~90.84%，平均为 85.08%；M2 处理正常组烟叶比例为 73.21%~92.86%，平均为 86.25%；M3 处理正常组烟叶比例为 70.65%~92.97%，平均为

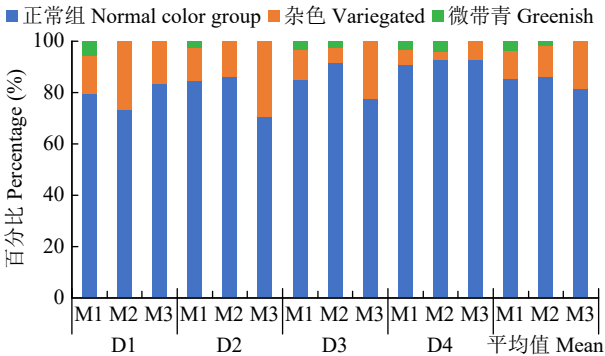


图 3 不同成熟度采收的烤后烟叶分组比例
Fig.3 The percentage of different tobacco leaf group harvested in different maturities

81.56%。M1、M2、M3 处理的杂色烟叶比例平均值分别为 11.29%、12.08%、18.44%。只有 M2 处理的 D3、D4 叶位和 M3 处理无微带青烟叶，M1、M2、M3 处理的微带青烟叶比例平均值分别为 3.64%、1.67%、0。可见，M2 处理正常组烟叶比例最高，随采收成熟度提高，微带青烟叶比例减少，但杂色烟比例增大。

2.4 不同成熟度采收的烤后烟叶外观质量

由表 2 可知，不同采收成熟度的烤后烟叶外观质量差异主要在叶片结构、油分和色度 3 个单项指标及外观质量指数。随采收成熟度提高，叶片结构变疏松（尚疏松→疏松），M1 处理的 D3、D4 叶位叶片结构疏松度显著低于 M2、M3 处理；油分增加（少→稍有），M1 处理的 D2~D4 叶位叶片油分显著低于 M2、M3 处理；色度减弱（中→弱），M1 处理的 D1 叶位叶片色度显著低于 M3 处理，M1 处理的 D2~D4 叶位叶片色度显著低于 M2、M3 处理。M1 处理中 4 个叶位中叶片结构、油分平均值显著低于 M2、M3 处理，M1 处理的色度分值显著高于 M2、M3 处理，M1、M2 处理的外观质量指数显著高于 M3 处理。M2 处理的外观质量指数最高，较 M1、M3 处理分别高 1.02%、5.39%。可见 M2 处理的烟叶外观质量最好，下部烟叶采收成熟度高，烟叶外观质量反而降低。

2.5 不同成熟度采收的烤后烟叶物理特性

由表 3 可知，不同采收成熟度的烤后烟叶物理性状差异主要在单叶重、叶片厚度、平衡含水

表 2 不同成熟度采收的烤后烟叶外观质量
Table 2 Appearance quality of cured tobacco leaves harvested in different maturities

| 叶位 Leaf position | 处理 Treatment | 颜色 Colour | 成熟度 Mature | 叶片结构 Leaf structure | 身份 Body | 油分 Oil | 色度 Chroma | 外观质量指数 AQI |
|---------------------|-----------------|--------------|---------------|------------------------|------------|------------|--------------|---------------|
| D1 | M1 | 6.82±0.28a | 6.71±0.27a | 7.74±0.24a | 3.68±0.52a | 4.72±0.33a | 4.72±0.21a | 60.95±0.23a |
| | M2 | 6.14±0.11a | 6.86±0.41a | 8.03±0.41a | 3.78±0.41a | 4.31±0.56a | 4.25±0.12ab | 59.65±0.34a |
| | M3 | 6.23±0.36a | 6.14±0.31a | 8.12±0.51a | 4.06±0.31a | 3.61±0.34a | 3.78±0.65b | 56.59±0.24b |
| D2 | M1 | 6.71±0.12a | 6.99±0.55a | 7.74±0.44a | 3.78±0.21a | 3.42±0.41b | 5.19±0.04a | 60.96±0.43a |
| | M2 | 6.04±0.17a | 7.14±0.27a | 8.12±0.37a | 3.97±0.31a | 4.82±0.21a | 4.72±0.05b | 61.74±0.33a |
| | M3 | 6.14±0.17a | 6.42±0.39a | 8.22±0.41a | 4.06±0.12a | 5.19±0.18a | 4.72±0.01b | 60.42±0.25a |
| D3 | M1 | 6.14±0.26a | 7.08±0.25a | 5.86±0.13b | 3.78±0.32a | 3.43±0.02b | 5.01±0.03a | 56.87±0.51a |
| | M2 | 5.86±0.12a | 6.14±0.29a | 6.71±0.43a | 4.06±0.21a | 5.19±0.31a | 4.53±0.01b | 56.37±0.42a |
| | M3 | 5.95±0.16a | 6.33±0.27a | 6.99±0.33a | 4.25±0.31a | 5.48±0.38a | 4.44±0.02b | 57.98±0.41a |
| D4 | M1 | 5.76±0.11a | 6.14±0.24a | 5.48±0.12b | 4.06±0.22a | 3.42±0.12b | 5.38±0.04a | 53.46±0.31b |
| | M2 | 5.39±0.24a | 6.36±0.32a | 6.84±0.41a | 4.16±0.17a | 5.38±0.32a | 4.72±0.08b | 56.84±0.16a |
| | M3 | 5.19±0.28a | 6.12±0.11a | 6.71±0.35a | 4.16±0.18a | 5.48±0.33a | 4.72±0.45b | 55.61±0.34a |
| 平均值 Mean | M1 | 6.36±0.32a | 6.73±0.51a | 6.71±0.11b | 3.83±0.29a | 3.75±0.29b | 5.08±0.45a | 58.06±0.79a |
| | M2 | 5.86±0.41a | 6.63±0.61a | 7.43±0.22a | 3.99±0.22a | 4.93±0.43a | 4.56±0.47b | 58.65±1.13a |
| | M3 | 5.48±0.38a | 6.05±0.52a | 7.51±0.13a | 4.03±0.14a | 4.87±0.27a | 3.82±0.58b | 55.65±0.85b |

不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著，下同。
Different letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level, the same below.

率和叶质重 4 个单项指标及物理性状指数。随采收成熟度提高，单叶重降低，叶片厚度变薄，平衡含水率提高，叶质重下降。M1 处理 D1~D2 叶位单叶重与 4 个叶位单叶重平均值显著高于 M2、M3 处理；M1 处理 D1~D2 叶位厚度和 4 个叶位厚度平均值显著高于 M3 处理，M1 处理的 D3 叶位厚度显著高于 M2、M3 处理，M1、M2 处理的 D4 叶位厚度显著高于 M3 处理；M1 处理 D1~D4 叶位的平衡含水率和 4 个叶位平衡含水率平均值显著低于 M3 处理；在 D1~D3 叶位和 4 个叶位平均值的 M1 处理显著高于 M3 处理。从物理性状指数看，M2 处理 D1~D3 叶位物理性状指数显著高于 M1、M3 处理，M3 处理 D4 叶位显著高于 M1、M2 处理。M2 处理的物理性状指数平均值较 M1、M3 处理分别高 7.76%、1.80%。可见，下部烟叶采收成熟度适宜有利于提高烟叶物理性状。

表 3 不同成熟度的烤后烟叶物理性状
Table 3 The physical properties of cured tobacco harvested in different maturities

| 叶位 Leaf position | 处理 Treatment | 开片度 Length with width proportion (%) | 单叶重 Weight per leaf (g) | 含梗率 Stem ratio (%) | 叶片厚度 Thickness of leaf (μm) | 平衡含水率 Balance water ratio (%) | 叶质重 Weight of unit leaf area (mg/cm ²) | 物理性状 指数 PPI |
|---------------------|-----------------|--|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------|
| D1 | M1 | 39.00±3.96a | 5.70±1.05a | 29.91±1.44a | 115.33±18.50a | 11.79±1.27b | 57.45±3.01a | 85.81±1.34b |
| | M2 | 44.93±2.94a | 4.13±0.28b | 29.21±2.59a | 83.67±14.74ab | 13.92±0.56ab | 51.66±5.23ab | 89.77±1.62a |
| | M3 | 37.93±3.09a | 3.73±0.31b | 27.62±2.72a | 77.33±11.50b | 15.07±1.40b | 48.72±2.82b | 86.00±1.16b |
| D2 | M1 | 34.87±3.85a | 5.27±0.25a | 30.24±1.98a | 106.00±35.00a | 9.59±0.51b | 62.86±18.03a | 83.77±1.79b |
| | M2 | 42.67±6.21a | 3.97±0.55b | 28.50±1.28a | 98.00±23.16ab | 12.47±0.38a | 55.90±2.99ab | 89.09±0.66a |
| | M3 | 36.27±4.99a | 3.20±0.46b | 31.20±1.15a | 88.33±14.53b | 12.61±0.51ab | 51.85±4.27b | 83.30±1.27b |
| D3 | M1 | 41.43±8.39a | 5.00±1.10a | 24.60±4.81a | 109.33±41.40a | 11.50±0.63b | 87.78±2.05a | 88.21±1.58b |
| | M2 | 41.47±8.00a | 5.57±0.91a | 26.74±4.57a | 94.33±6.66b | 13.74±0.31a | 66.09±7.96ab | 92.47±1.80a |
| | M3 | 32.10±4.52a | 5.20±1.59a | 28.66±2.90a | 92.33±5.69b | 13.70±1.23a | 53.25±7.68b | 88.08±0.78b |
| D4 | M1 | 38.00±4.42a | 6.77±1.55a | 26.99±1.94a | 119.33±48.64a | 12.79±0.21b | 79.29±0.81a | 83.92±1.03b |
| | M2 | 32.03±1.89a | 6.33±0.87a | 29.62±3.71a | 110.67±11.59a | 15.61±0.73a | 78.87±3.87a | 82.84±1.42b |
| | M3 | 35.40±6.82a | 6.03±1.08a | 28.21±1.57a | 84.33±10.79b | 14.96±1.57a | 76.73±2.47a | 87.20±0.97a |
| 平均值 Mean | M1 | 38.33±5.29a | 5.68±1.74a | 27.93±3.74a | 112.50±37.72a | 11.42±1.36b | 68.59±2.72a | 85.47±1.14b |
| | M2 | 40.28±6.87a | 4.93±1.06b | 28.52±3.11a | 96.67±18.02ab | 13.93±0.64a | 63.13±3.85ab | 92.10±0.70a |
| | M3 | 35.43±4.83a | 4.62±1.54b | 28.92±2.71a | 85.58±13.82b | 14.08±0.81a | 60.89±4.77b | 90.47±0.70a |

2.6 不同成熟度采收的烤后烟叶化学成分

2.6.1 烟叶常规化学成分及评价 由表 4 可知，不同采收成熟度的烤后烟叶化学成分差异主要在总糖、还原糖和烟碱含量 3 个单项指标及化学成分可用性指数。随采收成熟度提高，烟叶总糖和还原糖含量显著降低，烟碱含量提高。从烟叶化学成分可

用性指数看，M1、M2 处理 D1~D2 叶位显著高于 M3 处理；M3 处理的烟叶化学成分可用性指数在 D3 叶位中最高，其次是 M2、M1 处理；M2 处理的 D4 叶位烟叶化学成分可用性指数显著高于 M1、M3 处理；4 个叶位的烟叶化学成分可用性指数平均值为 M2 处理显著高于 M3 处理，M2 较 M1、

表 4 不同成熟度采收的烤后烟叶化学成分
Table 4 The chemical composition of cured tobacco harvested in different maturities

| 叶位 Leaf position | 处理 Treatment | 总糖 Total sugar (%) | 还原糖 Reducing sugar (%) | 烟碱 Nicotine (%) | 总氮 Total N (%) | 氯 Chlorine (%) | 钾 Potassium (%) | 化学成分 可用性指数 CCUI |
|------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| D1 | M1 | 22.35±0.01a | 18.37±0.13a | 1.31±0.02c | 1.89±0.17a | 0.32±0.09a | 2.89±0.22a | 80.68±1.24a |
| | M2 | 19.35±0.04b | 16.20±0.10b | 1.37±0.01b | 2.11±0.12a | 0.56±0.11a | 3.34±0.16a | 80.18±1.47a |
| | M3 | 17.45±0.06c | 14.21±0.10c | 1.46±0.05a | 2.08±0.11a | 0.49±0.12a | 3.26±0.25a | 76.41±0.54b |
| D2 | M1 | 21.58±0.14a | 17.18±0.04a | 1.40±0.01a | 1.93±0.11a | 0.35±0.12a | 3.05±0.11a | 82.96±1.30a |
| | M2 | 19.33±0.18b | 16.37±0.18b | 1.41±0.06a | 2.11±0.03a | 0.49±0.15a | 3.55±0.14a | 81.45±1.55a |
| | M3 | 18.87±0.04c | 15.46±0.03c | 1.44±0.01a | 2.07±0.02a | 0.48±0.13a | 3.06±0.24a | 77.55±1.51b |
| D3 | M1 | 26.23±0.02a | 21.73±0.03a | 1.37±0.15b | 1.87±0.14a | 0.28±0.12a | 2.60±0.15a | 81.18±1.39c |
| | M2 | 23.37±1.42b | 19.47±0.62b | 1.52±0.14a | 2.17±0.06a | 0.41±0.12a | 3.25±0.16a | 87.99±1.71b |
| | M3 | 21.01±0.14c | 18.12±0.16c | 1.69±0.26a | 2.01±0.11a | 0.39±0.14a | 2.95±0.15a | 93.55±0.37a |
| D4 | M1 | 24.71±0.11a | 20.82±0.02a | 1.41±0.05b | 2.02±0.01a | 0.24±0.13a | 2.96±0.57a | 83.38±1.69b |
| | M2 | 20.33±0.07b | 17.62±0.05b | 1.63±0.01a | 2.12±0.12a | 0.32±0.11a | 3.31±0.14a | 90.06±0.05a |
| | M3 | 17.50±0.16c | 14.24±0.09c | 1.66±0.03a | 2.18±0.02a | 0.41±0.14a | 3.27±0.21a | 81.53±0.37b |
| 平均值 Mean | M1 | 23.72±0.99a | 19.53±0.96a | 1.38±0.05c | 1.93±0.16a | 0.30±0.15a | 2.88±0.40a | 83.18±1.57ab |
| | M2 | 20.60±0.85b | 17.42±0.42b | 1.48±0.11b | 2.13±0.13a | 0.45±0.10a | 3.36±0.14a | 87.15±1.14a |
| | M3 | 18.71±0.55c | 15.51±0.70c | 1.56±0.12a | 2.03±0.12a | 0.42±0.07a | 3.13±0.15a | 82.87±1.52b |

M3 处理分别高 4.78%、5.16%。

2.6.2 烟叶淀粉含量 由图 4 可知，不同采收成熟度烤后烟叶淀粉含量中，M3 处理 D2~D3 叶位显著高于 M1、M2 处理；其余叶位差异不显著。从淀粉含量平均值看，M3 较 M1、M2 处理分别高 24.87%、25.88%，均达显著水平。可见，下部烟叶成熟度过高，烟叶淀粉含量会提高，但均在 4.0% 以下。

2.6.3 烟叶绿原酸含量 由图 5 可知，不同采收成熟度的差异在不同叶位表现不一致。M1 处理的 D1 叶位烤后烟叶绿原酸含量显著高于 M2 和 M3 处理；D2 叶位表现为 M1、M2 处理显著高于 M3 处理；D3 叶位表现为 M2、M3 处理显著高于 M1 处理；D4 叶位表现为 M2 处理显著高于 M1、M3 处理。从绿原酸含量平均值看，M1、M2 处理显著高于 M3 处理。可见，下部烟叶随采收成熟度提

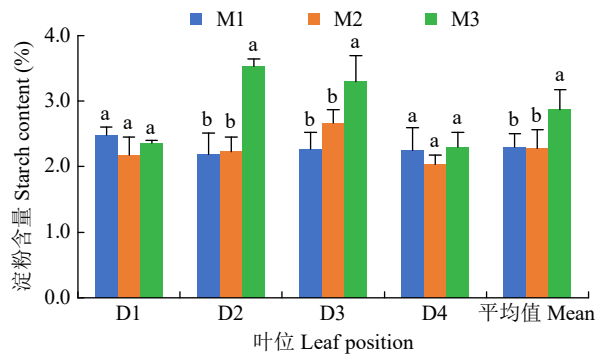


图 4 不同成熟度采收的烤后烟叶淀粉含量
Fig.4 The starch content of cured tobacco harvested in different maturities

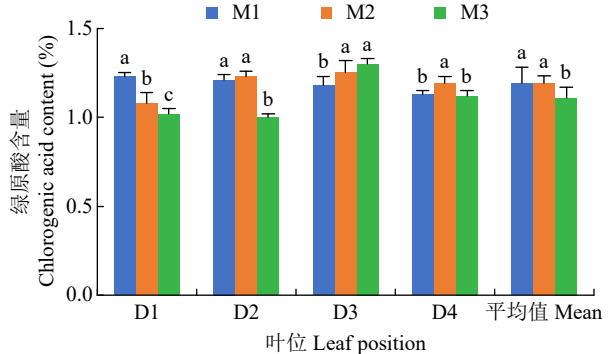


图 5 不同成熟度采收的烤后烟叶绿原酸含量
Fig.5 The chlorogenic acid content of cured tobacco harvested in different maturities

高，烟叶绿原酸含量会下降。

2.7 不同成熟度采收的烤后烟叶评吸质量

由图 6 可知，评吸总分均值为 M1、M2 处理显著大于 M3 处理。其中，M1 处理评吸总分在 D1 叶位上显著高于 M3 处理；M1、M2 处理在 D2 叶位上显著高于 M3 处理，M1、M2 处理差异不显著；M2 处理在 D3、D4 叶位上显著高于 M3 处理，但与 M1 处理差异不显著。M1、M2 处理显著高于 M3 处理，M2 较 M1、M3 处理分别提高 2.46%、11.11%。可见，适熟采收有利于提高烟叶评吸质量。

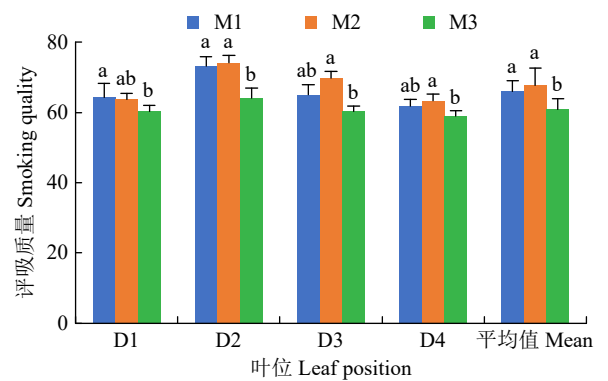


图 6 不同成熟度采收的烤后烟叶评吸质量
Fig.6 The smoking quality of cured tobacco harvested in different maturities

2.8 不同成熟度采收的烤后烟叶经济性状

由表 5 可知，从上中等烟比例看，不同成熟

度处理的叶位表现不一致；从 4 个叶位均值看，M2>M1>M3，M2 较 M1、M3 处理分别高 4.51%、5.49%，且达显著水平。从均价看，D1 叶位 M1、M2 处理显著大于 M3 处理；D4 叶位 M2 处理显著大于 M1、M3 处理；4 个叶位均值为 M2>M1>M3，M2 较 M1、M3 处理分别高 4.52%、15.49%，M2 处理显著高于 M3 处理。从产量看，M1 处理在 D1、D2 叶位上产量显著最高，其次为 M2、M3 处理，且差异显著；D3 叶位 M2 处理高于 M1、M3 处理；D4 叶位 M1 处理显著高于 M2、M3 处理。4 个叶位均值为 M1>M2>M3，M1 较 M2、M3 处理分别高 15.43%、23.19%，且达显著水平。从产值看，在 D1、D2 叶位 M1 处理中显著最高，其次为 M2、M3 处理，且差异显著；D3 叶位 M2 处理显著高于 M1、M3 处理；D4 叶位 M1、M2 处理显著高于 M3 处理；4 个叶位均值为 M1>M2>M3，M1 较 M2、M3 处理分别高 10.44%、36.12%，且达显著水平。从经济效果指数看，在 D1、D2 叶位 M1 处理显著最高，其次为 M2、M3 处理，且差异显著；D3、D4 叶位 M2 处理显著高于 M1、M3 处理；4 个叶位均值为 M1>M2>M3，M1 较 M2、M3 处理分别高 2.11%、15.92%，M1、M2 处理显著高于 M3 处理。可见，随着采收成熟度提高，烟叶的经济性状变差，这主要与产量下降有关。

| 表 5 不同成熟度的烟叶经济性状 | | | | | | |
|--|-----------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---------------|
| Table 5 The economic characters of cured tobacco harvested in different maturities | | | | | | |
| 叶位 Leaf position | 处理 Treatment | 上中等烟比例 High quality (%) | 均价 (元/kg) Average price (yuan/kg) | 产量 Yield (kg/hm ²) | 产值 (元/hm ²) Output (yuan/hm ²) | 经济效果指数 ECI |
| D1 | M1 | 82.90±2.60a | 23.97±1.41a | 85.50±2.72a | 2049.44±40.39a | 87.91±3.18a |
| | M2 | 84.80±2.96a | 23.28±1.38a | 61.95±2.60b | 1442.20±40.67b | 74.70±2.91b |
| | M3 | 67.20±2.88b | 18.65±1.37b | 55.95±2.44c | 1043.47±42.25c | 60.65±2.86c |
| D2 | M1 | 87.20±2.34a | 24.32±1.41a | 79.05±2.03a | 1922.50±42.66a | 86.11±1.87a |
| | M2 | 85.30±1.55a | 24.97±1.52a | 59.55±2.05b | 1486.96±35.45b | 75.80±2.15b |
| | M3 | 85.40±2.25a | 22.87±1.63a | 48.00±2.43c | 1097.76±36.28c | 66.88±2.02c |
| D3 | M1 | 84.90±1.31b | 24.67±1.48a | 75.00±2.20b | 1850.25±40.07b | 83.78±2.08b |
| | M2 | 86.30±1.36b | 25.35±1.46a | 83.55±2.18a | 2117.99±39.25a | 89.92±2.03a |
| | M3 | 90.70±1.26a | 22.95±1.44a | 78.00±1.78b | 1790.10±37.60b | 84.43±1.99b |
| D4 | M1 | 79.50±1.06c | 22.58±1.69b | 101.55±1.93a | 2293.00±38.36a | 93.30±2.53b |
| | M2 | 93.20±1.95a | 26.29±1.66a | 90.45±2.26b | 2377.93±49.12a | 97.16±2.08a |
| | M3 | 88.10±1.27b | 22.01±1.56b | 94.95±1.78b | 2089.85±49.36b | 91.20±1.76b |
| 平均值 Mean | M1 | 83.63±1.13b | 23.89±1.38ab | 341.10±31.94a | 8148.88±439.33a | 87.81±2.09a |
| | M2 | 87.40±1.16a | 24.97±1.43a | 295.50±42.03b | 7378.64±238.48b | 85.99±2.23a |
| | M3 | 82.85±1.22b | 21.62±1.53b | 276.90±22.04c | 5986.58±329.13c | 75.75±2.40b |

产量和产值均为下部 4 片烟叶之和。
The yield and output value were the sum of the four lower tobacco leaves.

2.9 不同成熟度采收的烤后烟叶质量和经济效果综合评价

2.9.1 烟叶质量综合评价 由图 7 可知，M1、M2 处理烟叶质量指数在 D1、D2 叶位中显著高于 M3 处理，M1 和 M2 处理差异不显著；在 D3、D4 叶位上 M2 处理的烟叶质量指数显著最高，M1、M3 处理差异不显著。从均值看，M2>M1>M3，M2 处理显著高于 M3 处理，M2 较 M1、M3 处理分别高 3.18%、7.27%。可见，适熟采收有利于提升烟叶质量。

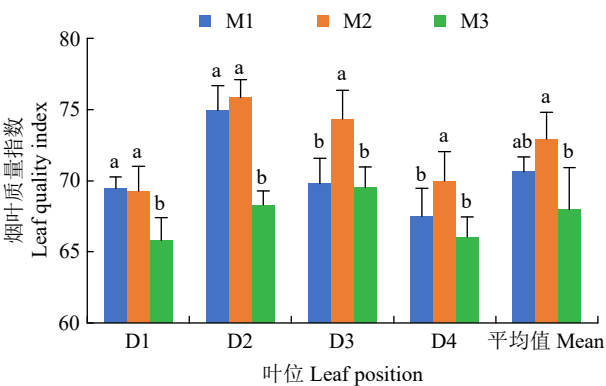


图 7 不同成熟度采收的烤后烟叶质量指数
Fig.7 The leaf quality index of cured tobacco harvested in different maturities

2.9.2 经济效果综合评价 由图 8 可知，在 D1、D2 叶位上 M1 处理的综合效果指数显著最高，其次为 M2、M3 处理。在 D3、D4 叶位上 M2 处理的综合效果指数显著最高，M1 与 M3 处理差异不显著。从经济综合效果指数的均值看，M2>M1>M3，M1、M2 处理显著高于 M3 处理，M2 较 M1、M3 处理分别高 0.97%、9.57%。可见，3 个采收成熟度以 M2 处理最好，其次是 M1 处理。

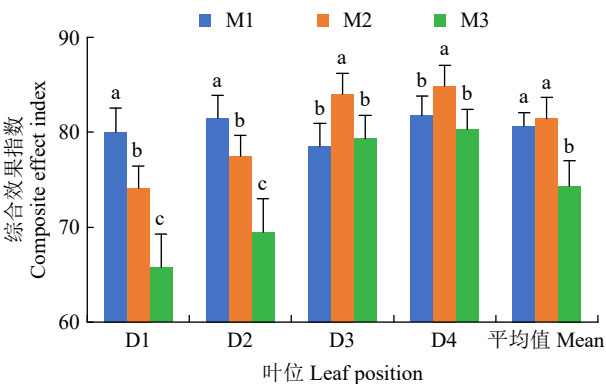


图 8 不同成熟度采收的综合效果指数
Fig.8 The composite effect index of cured tobacco harvested in different maturities

3 讨论

稻茬烤烟下部烟叶早采是获得优质适产烟叶的重要措施。本研究结果表明，M1 处理微带青烟叶比例相对较高，叶片结构较疏松，油分少，平衡含水率相对较低；M3 处理的杂色烟比例较高，叶片结构较疏松，油分稍有，平衡含水率相对较高，绿原酸含量相对较低。M2 处理外观质量指数、物理性状指数、化学成分指数、评吸总分在 3 个处理中最高，但 M1 处理的产量、产值高，M1 的经济效果指数最高。因此综合效果指数 M2 处理虽最高，但与 M1 处理差异不显著。下部烟叶耐熟性差，采收适熟期短，延迟采收虽可提高整个下部烟叶成熟度，但也造成不同叶位之间烟叶成熟度差异较大，烟叶变黄不均匀，杂色烟叶比例大，上等烟比例降低，不利于提高烟农收入。与此同时，下部烟叶延迟采收，会造成烟叶重量下降，不利于田间通风透光，影响中、上部烟叶生长发育；南方稻茬烤烟烟叶成熟期雨水多，延迟采收将导致烟叶感染病害几率增大，病斑烟叶增多^[27-30]。因此，无论从提高上部、中部烟叶质量出发，还是兼顾烟叶质量和烟农收入（产值），稻茬烤烟下部烟叶还是早采为好，以 M1~M2 处理采收成熟度为好。

烟叶 SPAD 值可作为烟叶成熟采烤参考指标。SPAD 值与叶绿素含量成正比，田间测定的 SPAD 值可反映烟叶的叶绿素含量差异。烟叶成熟过程中，叶绿素的降解外在表现为鲜烟叶的颜色由绿变黄，因此颜色变化是判断田间烟叶成熟的主要指标，可用烟叶 SPAD 值来判断烟叶成熟情况。本研究表明，随烟叶成熟度提高，烟叶 SPAD 值下降，这与席奇亮等^[3]、孙阳阳等^[18]、陈乾锦等^[31]研究结果一致。烟叶成熟过程中的 SPAD 值因烟叶部位、品种、区域等有差异，本研究中成熟度以 M2 处理最适宜，但从叶位看，D1~D2 叶位的 M1 处理成熟度综合效果指数高于 M2 处理，故适宜 SPAD 值在 M1 处理的 D1~D2 叶位和 M2 处理的 D1~D4 叶位之间，即 SPAD 值 19.39~26.63 可作为指导稻茬烤烟云烟 87 下部烟叶一次性采收适宜成熟度的参考指标。

不同生态区域、不同品种的烟叶采收适宜成熟度不同。刘辉等^[32]研究认为，贵阳烟区的云烟 87 品种下部烟适宜成熟度外观指标为叶面 60%黄绿

色,主脉变白 1/3 以上;洪祖灿等^[33]研究认为,CB-1、F1-35 等品种下部叶均以叶面黄绿色、主脉变白 1/2 以上采收为宜;闫凯等^[34]研究认为,山东潍坊烟区的中烟 100 品种的下部烟叶以颜色黄绿、1/3 面积变黄为采收最佳。本研究认为湖南桂阳烟区云烟 87 烤烟下部烟叶适宜采收成熟度为 M1~M2 处理,即叶片淡绿、主脉淡绿~变白 1/3、叶缘微卷曲、叶面无成熟斑为适宜采收成熟度,这与上述研究者的成熟度略有差异。

采用模糊评价有利于对多指标试验进行综合评判。在烟草大田试验中,为验证试验处理效果,常测定多个或多组指标,受大田试验环境和取样的影响,在多指标分析中,不同指标趋向往往不一致,甚至相反,很容易引起误判^[35]。本研究中,与烟叶质量评价方面相关的有外观质量、物理特性、化学成分、评吸质量等 4 组指标,还有与产量、产值密切相关的经济性指标,且每组又有多个指标。为解决多指标评价问题,本研究采用模糊评价方法,首先对每一组指标构建一个指数,用于对该组指标进行综合评价;然后用 4 组质量指标构建一个质量指数,对烟叶质量进行综合评价;最好是用 4 组质量指标和 1 组经济性指标构建一个综合效果指数,对试验处理进行综合评价,依据综合效果指数大小对采收成熟度进行客观评定,并得出试验结论。这种尝试在大田试验多指标评价中具有一定应用价值。

4 结论

随下部烟叶采收成熟度的提高,鲜烟叶的 SPAD 值下降;微带青烟叶比例减少,杂色烟叶比例增加;烟叶结构疏松,油分增加;烟叶单叶重下降,平衡含水率降低;烟叶总糖、还原糖、绿原酸含量下降,烟碱和淀粉含量增加;烟叶产量和产值下降。中等成熟度处理的外观质量指数、物理性状指数、化学成分可用性指数、评吸总分、经济性指标指数、烟叶质量指数和经济效果综合指数最高。因此,湖南桂阳烟区云烟 87 下部烟叶适宜采收成熟度要求叶片淡绿,主脉淡绿~变白 1/3,叶缘微卷曲,叶面无成熟斑;SPAD 值在 19.39~26.63 可作为指导稻茬烤烟下部烟叶适宜采收成熟度的参考指标。

参考文献

[1] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学. 上海: 远东出版社,

1991.

- [2] 宫长荣. 烟草调制学. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [3] 席奇亮, 章程, 菅攀峰, 等. 延迟采收时间对稻茬烤烟上部烟叶产质量的影响. 作物研究, 2021, 35(3): 225-231.
- [4] 路晓崇, 杨超, 王松峰, 等. 基于图像分析技术的烤烟上部叶采收成熟度判别. 烟草科技, 2021, 54(5): 31-37.
- [5] 童德文, 石三三, 周仰泉, 等. 上部叶不同采收成熟度对烟叶烘烤后品质的影响. 农学学报, 2019, 9(2): 59-63.
- [6] 刘化冰, 尚晓颖, 刘建国, 等. 成熟度、品种及其互作对烤烟多酚类物质的影响. 中国烟草科学, 2019, 40(4): 29-36.
- [7] 孟智勇, 张保占, 马浩波, 等. 采收成熟度对浓香型烤烟烤后烟叶品质的影响. 河南农业科学, 2012, 41(2): 59-63.
- [8] 吴有祥, 胡世龙, 欧明毅, 等. 采收时期对烤烟成熟度和感官质量的影响. 广东农业科学, 2017, 44(7): 13-18.
- [9] 张国, 张惠林, 青先稳, 等. 皖南烟区 3 次采收自动化烘烤技术. 安徽农学通报, 2018, 24(19): 78-79.
- [10] 梁柱, 姚未远, 张庆富, 等. 不同烘烤次数对烟叶产量、质量及效益的影响. 湖南农业科学, 2021(9): 18-21.
- [11] 张志平, 刘启彤, 张秀衡, 等. 烤烟翠碧一号上部叶不同采收成熟度对烟叶产质量的影响. 安徽农业科学, 2021, 49(8): 32-34.
- [12] 江智敏, 曹想, 裴晓东, 等. 烤烟 HN2146 和 K326 下部烟叶烘烤特性比较. 作物研究, 2020, 34(6): 550-556.
- [13] 崔国民, 黄维, 赵高坤, 等. 清香型不同生态区烟叶成熟性状. 江苏农业科学, 2018, 46(14): 87-92.
- [14] 张冰濯, 段卫东, 张明刚, 等. 湘南烟区烤烟上部 6 片叶采收期对烟叶产质量的影响. 烟草科技, 2020, 53(12): 16-26.
- [15] 刘雅娴, 杜传印, 刘冰, 等. 不同施氮量下采收时间对烤烟经济性状及品质的影响. 西南农业学报, 2021, 34(2): 334-339.
- [16] 宋莹丽, 史宏志, 何景福, 等. 不同施氮量下采收时期对上部叶质量和经济性状的影响. 中国烟草科学, 2014, 35(2): 94-99.
- [17] 刘伟, 徐磊, 过伟民, 等. 陕滇基地烟叶成熟采收技术优化研究. 陕西农业科学, 2021, 67(6): 13-19.
- [18] 孙阳阳, 靳志伟, 黄明迪, 等. SPAD 值与鲜烟叶成熟度及烤后烟叶质量的关系. 中国烟草科学, 2016, 37(2): 42-46.
- [19] 江智敏, 邓小华, 张仲文, 等. 基于多指标模糊综合评价的烤烟采收成熟度研究. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(3): 455-463.
- [20] 邓小华, 周冀衡, 杨虹琦, 等. 湖南烤烟外观质量量化评价体系的构建与实证分析. 中国农业科学, 2007, 40(9): 2036-2044.
- [21] 邓小华, 陈冬林, 周冀衡, 等. 湖南烤烟物理性状比较及聚类评价. 中国烟草科学, 2009, 30(3): 63-68, 72.
- [22] 田茂成, 邓小华, 陆中山, 等. 基于灰色效果测度和主成分分析的湘西州烟叶物理特性综合评价. 核农学报, 2017, 31(1): 187-193.
- [23] 邓小华, 黄杰, 杨丽丽, 等. 石灰、绿肥和生物有机肥协同改良酸性土壤并提高烟草生产效益. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1577-1587.
- [24] 李伟, 邓小华, 周清明, 等. 基于模糊数学和 GIS 的湖南浓香型烤烟化学成分综合评价. 核农学报, 2015, 29(5): 946-953.
- [25] 国家烟草专卖局. 烤烟烟叶质量风格特色感官评价方法: YCT 530-2015. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [26] 邓小华, 肖志君, 齐永杰, 等. 种植密度和施氮量及其互作对湘南稻茬烤烟经济性状的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2016(3): 274-279.
- [27] 杨丽丽, 邓小华, 邓井青, 等. 湘南稻田浓香型烤烟适宜采收成熟度研究. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(3): 236-240.

- [28] 邓小华, 朱林, 李思军, 等. 稻茬烤烟中部 6 片烟叶一次性采收的成熟度综合评价. 核农学报, 2023, 37(4): 854-864.
- [29] 侯建林, 李思军, 邓小强, 等. 烘烤工艺对稻茬烤烟下部烟叶质量的影响. 作物研究, 2022, 36(2): 138-142.
- [30] 朱林, 曹想, 邓小华, 等. 湘烟 7 号烘烤过程中烟叶失水和色素降解特性. 作物杂志, 2022(5): 174-179.
- [31] 陈乾锦, 池国胜, 袁帅, 等. 鲜烟不同采收成熟度和 SPAD 值与烤后烟叶质量关系研究. 江西农业学报, 2021, 33(1): 55-59.
- [32] 刘辉, 祖庆学, 王松峰, 等. 不同成熟度对鲜烟素质和烤后烟叶质量的影响. 中国烟草科学, 2020, 41(2): 66-71.
- [33] 洪祖灿, 赖成连, 张恩仁, 等. 采收成熟度对烤后烟叶质量的影响. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4518-4521.
- [34] 闫凯, 窦晓英, 杨晓东, 等. 采收成熟度对烤烟下部叶烤后质量的影响. 贵州农业科学, 2020, 48(1): 19-22.
- [35] Bi Y M, Li S T, Zhang L L, et al. Quality evaluation of flue-cured tobacco by near infrared spectroscopy and spectral similarity method. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2019: 398-404.

Study on Maturity of One-Time Harvesting of Four Lower Flue-Cured Tobacco Leaves in Tobacco-Rice Rotation Field

Jiang Zhiming¹, Zhang Zhongwen¹, Zhang Cheng¹, Zheng Hongbin¹, Wang Weimin¹, Li Sijun², Hou Jianlin², Deng Xiaoqiang², Wu Wenxin¹, Zhu Lin³, Deng Yongsheng³, Deng Xiaohua³

¹China Tobacco Zhejiang Industrial Co., Ltd, Hangzhou 310008, Zhejiang, China;

²Guiyang County Branch of Chenzhou Tobacco Company in Hunan Province, Chenzhou 424400, Hunan, China;

³College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract To explicit the suitable maturity for one-time harvesting of lower leaves of paddy-tobacco, the low-maturity, medium-maturity, and high-maturity treatments were designed with Yunyan 87 materials in Guiyang, Hunan province. The tobacco quality and economic traits of flue-cured tobacco were comprehensively evaluated by fuzzy evaluation method. The results showed that with the maturity of lower tobacco leaves increased, SPAD value of fresh tobacco leaves decreased; the proportion of microstrip green tobacco leaves decreased, and the proportion of variegated tobacco increased; tobacco leaf structure loose, tobacco leaf oil content increased, the single leaf weight decreased, and the equilibrium moisture content decreased; the contents of total sugar, reducing sugar, chlorogenic acid decreased, nicotine and starch increased; the yield and output value of tobacco leaves decreased. The appearance quality index, the physical character index, availability index of chemical components, total score of smoking quality, the economic properties index and index of tobacco quality in medium maturity treatment were the highest. The suitable harvest maturity of lower leaves of Yunyan 87 in Guiyang tobacco-growing area of Hunan province required light green leaves, light green-white 1/3 of main veins, leaf edge slightly curled, leaf surface without mature spots. The SPAD values for guiding harvest ranged from 19.39 to 26.63.

Key words Paddy-tobacco; Lower tobacco leaves; Harvesting at one time; Suitable harvest maturity; Fuzzy comprehensive evaluation