网络出版时间:2026-03-13 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.09.012

移栽期对翠碧一号烟叶质量风格的影响

温润豪[1],翟生[2],黄瑞寅[2],田君同[3],郭俊杰[3],蔡一霞[1],金保锋[2],王维[1]
(1 华南农业大学 农学院,广东 广州 510642;2 广东中烟工业有限责任公司,广东 广州 510610;
3 广东烟草梅州市有限公司,广东 梅州 514011)

[摘 要] 【目的】考察不同移栽期对翠碧一号烟叶质量风格特征的影响,并探讨造成这种差异的影响因素,为科学调整梅州烟区翠碧一号移栽期、完善翠碧一号特色烟叶生产体系提供参考依据。【方法】以烤烟品种翠碧一号为试验材料,设置了间隔10 d的4个移栽期(1月1日、1月11日、1月21日、1月31日)处理,选择各处理的烤后烟叶,利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术进行广泛非靶向代谢组学分析,结合正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)和相对气味活性值(rOAV)分析,以及与感官质量指标的相关性分析,综合考察了不同移栽期烟叶质量风格特征的差异及其影响因素。【结果】①梅州烟区翠碧一号较常规适当提早10 d(1月11日)移栽有利于烟叶品质提升与风格特色彰显,但较常规提早20 d(1月1日)移栽则会导致烟叶品质严重劣化;较常规推迟10 d(1月31日)移栽烟叶发生了清香偏向于浓香的香型转变,整体风格特色有所弱化;整体上看,梅州烟区翠碧一号烟叶基本符合香型Ⅵ区清甜蜜甜香型烟叶的特征。②从不同移栽期烟叶定性出的819种香气成分中筛选出45种差异香气成分,通过OPLS-DA模型和rOAV进一步筛选鉴定出18种关键差异香气成分,其中16种关键差异香气成分与感官质量风格存在高相关性($|\rho| \geqslant 0.7$,$P \leqslant 0.05$),较高含量的β-大马酮、癸醛、正壬醛、乙酸香叶酯、(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛、(*E*)-4-癸烯醛、3-甲基-1*H*-吲哚和壬醇可能是1月11日移栽处理烟叶清香彰显程度高、感官质量优的关键原因;二甲萘烷醇、苯乙烯、甲基-萘和5-甲基糠醛的含量增高可能是导致清香型烟叶风格特色弱化、感官质量下降的重要原因。【结论】梅州烟区翠碧一号适宜的移栽时间为1月11日,即较常规适当提早10 d移栽。

[关键词] 烤烟;移栽期;翠碧一号;烟叶质量风格特征;梅州烟区
[中图分类号] S572.045 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)09-0119-13

Effects of transplanting date on the quality and style of CB-1 tobacco leaves

WEN Runhao[1], ZHAI Sheng[2], HUANG Ruiyin[2], TIAN Juntong[3], GUO Junjie[3], CAI Yixia[1], JIN Baofeng[2], WANG Wei[1]
(1 *College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong* 510642, *China*;
2 *China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong* 510610, *China*;
3 *Meizhou Tobacco Company Ltd., Meizhou, Guangdong* 514011, *China*)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to investigate the effects of different transplanting dates on the quality and style characteristics of CB-1 tobacco leaves, and explore the underlying influencing factors contributing to these differences, providing technical support for scientifically adjusting the transplanting date of CB-1 in the Meizhou production area and improving its characteristic tobacco production system. 【Method】 Taking flue-cured tobacco cultivar CB-1 as the test material, four transplanting date treatments with 10-day intervals were

[收稿日期] 2025-07-20 [修回日期] 2025-11-20
[基金项目] 广东中烟工业有限责任公司科技项目(2023440000340011);广东省烟草专卖局科技项目(2023440000240044)
[作者简介] 温润豪(2000—),男,广东揭阳人,硕士,主要从事烟草栽培及烟草生理生化研究。E-mail:18312193398@163.com
[通信作者] 金保锋(1973—),男,河南许昌人,高级工程师,硕士,主要从事烟草原料研究。E-mail:jinbf@gdzygy.com
王维(1972—),男,江苏连云港人,副教授,博士,主要从事烟草栽培及烟草生理生化研究。E-mail:wangwei@scau.edu.cn

set (January 1st, January 11th, January 21st, January 31st). Cured tobacco leaves from each treatment were selected for extensive untargeted metabolomics analysis using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). This analysis was combined with orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA), relative odor activity value (rOAV) analysis, and correlation analysis with sensory quality indicators to comprehensively examine the differences in the quality and style characteristics of tobacco leaves under different transplanting dates and their influencing factors.【Result】① In the Meizhou tobacco-growing area, appropriately advancing the transplanting date of CB-1 by 10 days (January 11th) compared with the conventional date was beneficial to improve tobacco leaf quality and highlighting style characteristics. In contrast, advancing the transplanting date by 20 days (January 1st) led to severe deterioration of tobacco leaf quality. Delaying transplanting by 10 days (January 31st) shifted the aroma from a clean type toward a strong type, weakening the overall style characteristics. Overall, CB-1 tobacco leaves in Meizhou basically aligned with the characteristics of clean and sweet aroma type in aroma type Ⅵ region. ② Among the 819 aroma components identified from tobacco leaves harvested at different transplanting dates, 45 differential aroma components were screened out via OPLS-DA model and rOAV. Subsequently, 18 key differential aroma components were further identified. Sixteen of these key components showed a high correlation with sensory quality and style ($|\rho| \geqslant 0.7$, $P \leqslant 0.05$). The higher contents of β-Damascenone, Decanal, Nonanal, Geranyl acetate, (*E*, *Z*)-2, 6-Nonadienal, (*E*)-4-Decenal, 3-Methyl-1*H*-indole, and Nonanol might be the key reasons for the high-level expression of clean aroma and excellent sensory quality of tobacco leaves transplanted on January 11th. In contrast, the increased contents of Geosmin, Styrene, Methylnaphthalen, and 5-Methyl furfural might be important factors contributing to the weakened clean aroma style and reduce sensory quality.【Conclusion】The optimal transplanting date for CB-1 in the Meizhou tobacco-growing area is January 11, which is 10 days earlier than the conventional schedule.

Key words: flue-cured tobacco; transplanting date; CB-1; tobacco leaf quality and style characteristics; Meizhou tobacco-growing area

烟叶原料是卷烟产品品质稳定的重要基础,烟叶中的香气成分则与烟叶品质和风格特色密切相关[1]。烟草作为环境敏感型的经济作物,特定的生态环境是特色烟叶形成的基础[2-3],而烟草生育期内生态条件的调整会改变烟叶内在的化学成分,进而影响烟叶的品质和风格特色[4-5]。在全国烟叶香型区划中,香型Ⅵ区(包括福建三明、南平、龙岩烟区和广东梅州烟区)烟叶属清甜蜜甜香型。翠碧一号(CB-1)具有香气优、醇化时间短、工业配伍性强等特点,深受卷烟企业青睐[6-7],主要在三明烟区种植。近年来,随着翠碧一号优质特色烟叶生产技术的不断成熟,种植规模不断扩大,已从三明烟区逐渐扩展至南平、龙岩等烟区[8]。广东梅州烟区与福建三明烟区均属我国东南烟区,生态特征较为相似[6],但由于种植历史及习惯等,梅州烟区自2004年以来一直以云烟87为主栽品种,长期的单一种植导致烟叶品质下降和风格特征弱化等问题日益凸显[9]。近年来,一些产区引进翠碧一号种植,取得了良好效果,有望成为解决当前梅州烟区品种退化问题的有效途径。然而由于引进时间较短,生产技术体系尚不成熟,影响了翠碧一号优质潜力的发挥。研究显示,移栽期的优化和调整是特色烤烟品种彰显其烟叶风格特色的重要保证[10]。因此确定合适的移栽期,对于完善梅州烟区翠碧一号特色烟叶生产体系具有重要意义。

移栽期的调整会导致烟株在大田生长发育过程中的光、温、水等气象因子组合不同,进而对烟叶的质量风格产生影响[4]。王永齐等[11]研究认为,福建三明烟区翠碧一号应该在有效避开烟株生长前期的低温条件下尽早移栽。李文卿等[12]对福建翠碧一号的试验则表明,随着移栽期的推迟,烟株生长期间对应的温度较高、光照更强,导致烟株大田生长速度加快,烟叶感官质量变差,香型风格发生转变。香气成分是指对于香气形成具有贡献的挥发性小分子物质,鉴定该部分物质是深入研究烟叶感官质量风格特征形成机理的前提,目前以气相色谱为核心的相关检测技术是开展香气成分研究的有力工具[13]。王成成[14]使用顶空固相微萃取-气相

色谱-质谱联用（headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry，HS-SPME-GC-MS）技术结合计量学分析，将烟草香型明显分辨出清甜香型、蜜甜香型与另外2个香型，且相同香型不同产地的烤烟之间存在香气特征差别。方嘉炜等[15]采用感官评吸结合HS-SPME-GC-MS技术探究了贵州毕节烟区不同产地烟叶风格差异的关键香气成分，认为毕节烟区烟叶蜜甜香型风格的形成可能与较高含量的苯乙醇和2，5-二甲基-4-羟基-3（2*H*）-呋喃酮有关。

前人关于移栽期和翠碧一号烤烟的相关报道多聚焦于移栽期对烟草生长发育状况和烟叶产质量的影响[11-12]，而基于不同移栽期下翠碧一号烟叶质量风格特征及香气成分的相关研究尚鲜有报道。为此，本研究依据梅州烟区实际，以特色烤烟品种翠碧一号为试验材料，设置了间隔10 d的4个移栽期处理，选择各处理的烤后烟叶，分别采用感官质量风格评价与HS-SPME-GC-MS对不同移栽期的翠碧一号烟叶进行质量风格特征评定和香气成分测定，探讨不同移栽期翠碧一号烟叶的质量风格特征及其相关香气物质的差异，为科学调整翠碧一号移栽期提供理论依据，同时也为梅州烟区完善翠碧一号特色烟叶生产体系提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验地概况与供试材料

试验于2022－2023年在广东省梅州市平远县仁居镇进行。该试验地属亚热带季风气候区，年平均日照时数1 882.4 h，年均气温19.5 ℃，无霜期298 d左右，年均降雨量1 593 mm左右。试验田土地平整均匀、排灌方便，前茬作物为水稻，土壤质地为砂质壤土，肥力中等且均匀。供试耕层土壤pH为5.56～5.78，碱解氮含量79.54～80.62 mg/kg，速效磷含量20.78～22.43 mg/kg，速效钾含量67.65～69.02 mg/kg（以上数据均为试验田12个代表性取样点的混合土样检测结果，范围值为各取样点实测数据的统计区间）。

供试烤烟品种为翠碧一号，由福建省烟草公司三明市公司培育。

1.2　试验设计

试验共设置4个移栽期处理，2023年1月1日移栽（提早20 d移栽，Y1），2023年1月11日移栽（提早10 d移栽，Y2），2023年1月21日移栽（常规移栽时间，即当前主栽品种云烟87正常移栽时间，Y3），2023年1月31日移栽（推迟10 d移栽，Y4）。为保证移栽时的烟苗素质一致，自2022年11月1日起，每间隔3～5 d播种培育一批烟苗，共播种6期。移栽时统一选择5叶1心素质一致的烟苗，按种植密度1 150 株/667 m^2膜下移栽（整畦盖膜），每处理设置3次重复，每小区种植667 m^2，随机区组排列。其他生产管理统一按照当地翠碧一号优质烤烟栽培技术和烘烤技术规范进行。

1.3　烟叶样品采集和前处理

下部叶成熟采烤前，每个小区选择长势一致且临近种植的烟株64株（连续8垄，每垄取8株）作为试验取样烟株（有效叶片数16片），选择其第6～9片叶位的烟叶挂牌标记，达到成熟标准后统一采收，烟叶混合作为1个生物学重复，均按照三段式烘烤工艺挂杆烘烤。烘烤结束后参照GB 2635－1992《烤烟》[16]挑取C3F等级的烤后烟叶即为试验样品。将C3F烟叶样品采用“半叶法”去梗后均分为两份，一份由广东中烟工业有限责任公司制作成卷烟，用于感官评吸；另一份于烘箱中50 ℃干燥4 h后粉碎，过筛（孔径0.25 mm），用于成分分析。

1.4　测定指标及方法

1.4.1　*大田生育期的调查*　参照YC/T 142－2010《烟草农艺性状调查测量方法》[17]调查记录4个移栽期烟株的生育期，并将移栽至团棵划分为伸根期，团棵至现蕾划分为旺长期，现蕾至第6～9片叶位的烟叶采收结束划分为成熟期。

1.4.2　*烟叶感官质量风格评价*　由广东中烟工业有限责任公司技术中心组织9名具备烟草行业感官评吸鉴定资质的人员，参照YC/T 530－2015《烟叶质量风格特色感官评价方法》[18]完成烟叶评吸鉴定。评吸指标包括清香彰显程度、香气特性（香气质、香气量、杂气）、烟气特性（浓度、劲头）和口感特性（刺激性和余味），各项指标统一采用9.0分制进行评定，同时采用描述性分析对烟叶的香气风格特色进行补充说明，并计算感官评吸加权总得分。总得分＝（0.35×香气质＋0.25×香气量＋0.1×杂气＋0.15×刺激性＋0.15×余味）×9.0。

1.4.3　*烟叶HS-SPME-GC-MS检测*　检测样品预处理：将烟粉样品在液氮中研磨并经涡旋混合均匀后，精确称取500 mg于顶空样品瓶中，分别加入2 mL饱和氯化钠溶液和10 μL 3-己酮内标溶液（50 μg/mL），使用全自动顶空固相微萃取（HS-SPME）

法萃取样本,将萃取液用于GC-MS分析。

顶空-固相微萃取条件:在60 ℃恒温条件下振荡5 min,将120 μm DVB/CWR/PDMS萃取头插入样品顶空瓶,顶空萃取15 min,于250 ℃下解析5 min,然后进行GC-MS分离鉴定。

气相色谱条件:进样口温度250 ℃,分流模式为不分流,载气为氦气(纯度≥99.999%),恒流量1.2 mL/min,溶剂延迟时间为3.5 min。升温程序:40 ℃(3.5 min) $\xrightarrow{10\ ℃/min}$ 100 ℃ $\xrightarrow{7\ ℃/min}$ 180 ℃ $\xrightarrow{25\ ℃/min}$ 280 ℃(5 min)。

质谱条件:离子源为电子轰击(EI)源,电子能量70 eV,离子源温度230 ℃,四极杆温度150 ℃,质谱接口温度280 ℃,扫描模式为离子检测(SIM),采用定性定量离子精准扫描。

1.5 数据处理

1.5.1 *供试烟叶香气成分定性和定量分析* 基于迈维自建数据库,对样本的挥发性成分进行质谱定性定量分析,获得不同样本挥发性成分的质谱,并对其进行峰面积积分,同时使用定量离子进行积分和校正工作。采用内标法定量,按照公式(1)计算各组分的相对含量:

$$X_i=\frac{V_s\times C_s}{M}\times\frac{I_i}{I_s}\times 10^{-3}。\quad(1)$$

式中:X_i为待测样品中化合物i的含量,μg/g;V_s为加入内标物的体积,μL;C_s为内标溶液3-己酮的质量浓度,μg/mL;M为待测样品的用量,g;I_s为内标物的峰面积;I_i为待测样品中化合物i的峰面积。内标物的定性离子(m/z)为45,定量离子为59。

1.5.2 *相对气味活性值的计算及香韵属性的归类* 相对气味活性值(relative odor activity value, rOAV)是指某一香气成分的相对浓度与其在某种介质中香味阈值的比值,其大小通常用于评价该香气成分对作物香气的贡献度。由于烟叶内成分复杂且存在相互影响,目前烟叶及相关制品尚未确定标准的香味阈值测定体系或介质,因此本研究在各种挥发性成分定量的基础上,根据参考文献[19]中各挥发性成分在水中的香味阈值来代表其实际的香味阈值。按照公式(2)计算rOAV:

$$\mathrm{rOAV}_i=\frac{C_i}{T_i}。\quad(2)$$

式中:rOAV_i为化合物i的相对气味活性值;C_i为化合物i的相对含量,μg/kg;T_i为化合物的香味阈值,μg/kg。

在风味分析中,通常rOAV>1的香气成分被认为对整体香气具有重要贡献,且rOAV值与香气贡献程度成正比。对定性定量分析出的香气成分,根据rOAV>1的标准进行筛选,再根据参考文献[19-20]进行香韵属性归类。

1.5.3 *数据分析* 采用MassHunter B.07.00软件进行质谱分析数据的处理,使用SIMCA-P 14.1对样品进行正交偏最小二乘法判别分析(orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA),并得出变量投影值(variable projection value, VIP)。采用Microsoft Excel 2022进行数据整理以及点线图、条形图等图形的绘制。采用SPSS 27.0进行数据统计分析,采用LSD法进行多重比较。通过计算Spearman相关系数进行相关性分析,并按照K-means++聚类方法进行聚类分析,使用Origin 2022制作相关性聚类热图。

2 结果与分析

2.1 不同移栽期处理烟株的大田生育期及主要气象因子

不同移栽期处理烟株的大田生育期见表1。

表1 不同移栽期处理烟株的大田生育期

Table 1 Field growth period of tobacco plants under different transplanting dates d

移栽期 Transplanting date	伸根期 Root elongation stage	旺长期 Vigorous growth stage	成熟期 Maturation stage	总生育期 Total growth period
Y1	52.33±0.58 a	34.33±0.58 a	55.67±0.58 a	142.33±0.58 a
Y2	47.67±0.58 b	32.00±0.00 b	54.00±1.00 b	133.67±0.58 b
Y3	46.67±0.58 c	27.00±0.00 c	50.67±0.58 c	124.33±0.58 c
Y4	38.67±0.58 d	32.33±0.58 b	49.67±0.58 d	120.67±0.58 d

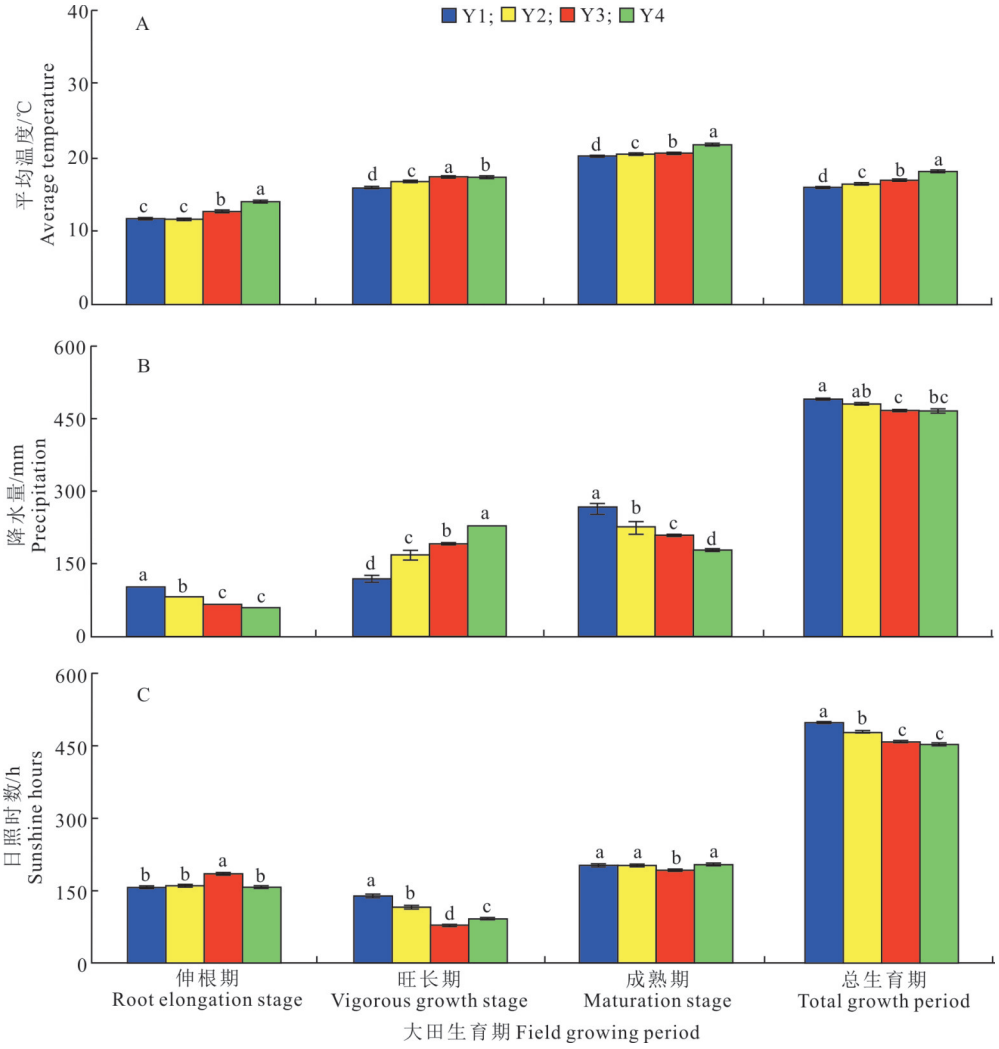
注:同列数据后标不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。表2和4同。

Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$). The same as in table 2 and 4.

从表1可以看出,移栽期每后移10 d,烟株大田各生育期均呈缩短趋势,大田总生育期缩短3.66~9.34 d。1月31日最晚移栽处理(Y4)烟株大田总生育期较1月1日最早移栽处理(Y1)缩短了21.66 d,伸根期和成熟期分别缩短了13.66和6.00 d。除了1月21日移栽(Y3)烟株旺长期较短外,其余处理的

烟株旺长期差异较小。因此随着移栽期的后移，整个大田烟株生育期缩短的时间主要体现在伸根期和成熟期。

从图 1-A～C 可以看出，随移栽期的后移，旺长期的平均温度与降水量总体呈上升趋势，日照时数则呈总体下降趋势。成熟期平均温度随移栽期的后移总体呈上升趋势，降水量则有所下降。1 月 1 日和 1 月 11 日前两期移栽处理（Y1 和 Y2）大田生育期降水量和日照时数总体上较 1 月 21 日和 1 月 31 日后两期移栽处理（Y3 和 Y4）高，这与前两期处理的大田生育期较长有关。



A 图的平均温度为该生育期内的日平均温度；B 图的降水量为该生育期内的降水量总和；C 图的日照时数为该生育期内的峰值日照时数总和。A～C 图中，不同小写字母表示所对应时期各处理间差异显著（$P<0.05$）。横坐标总生育期所对应的为整个生育期的平均温度、降水量总和、日照时数总和。

Figure A shows the mean daily temperature; Figure B shows the cumulative precipitation; Figure C shows the total cumulative peak sunshine hours. In Figures A－C, different lowercase letters above bars indicate significant differences among different treatments in the corresponding period ($P<0.05$). The total growth period on the abscissa represents the average temperature, total precipitation and total sunshine hours of the entire growth period.

图 1　不同移栽期处理烟株的主要气象因子

Fig. 1　Main meteorological factors during growth stages for tobacco under different transplanting dates

2.2　不同移栽期烟叶的感官质量风格评价

从表 2 可以看出，随着移栽期的后移，除烟气浓度呈上升趋势外，其余各项指标均呈现先上升后下降的趋势。从清香彰显程度和香气特性上看，较常规提前 10 d 移栽（1 月 11 日，Y2）烟叶的香气质较优，但提前 20 d 移栽（1 月 1 日，Y1）烟叶的杂气突出，不仅导致感官舒适性较差，还覆盖了烟叶原有的香气，因此其清香彰显程度得分也仅有 6.17 分。从烟气和口感特性上看，常规移栽（1 月 21 日，Y3）和推迟 10 d 移栽（1 月 31 日，Y4）相较于提前移栽的两期处

理,烟气更加浓郁、口感刺激性更强,且带有焦甜感,余味表现较差。综合各项感官指标及总得分可见,以当年的气候条件为基准,较常规提前 10 d(1月 11 日)移栽有利于梅州烟区翠碧一号烟叶质量的提升以及清甜蜜甜香气风格特色的彰显,随着移栽日期的后移,烟叶的烟气浓度上升,但焦甜感渐显,香型有向"清偏浓"转变的趋势,品种清甜香型风格特色有所弱化。

表 2 不同移栽期烟叶的感官质量风格

Table 2 Sensory quality and style characteristics of tobacco leaves under different transplanting dates

移栽期 Transplanting date	清香彰显程度(9分) Intensity of fresh aroma	香气特性(9分/项) Aromatic characteristics			烟气特性(9分/项) Smoke characteristics		口感特性(9分/项) Taste characteristics		总得分 Total score
		香气质 Aromatic quality	香气量 Aromatic quantity	杂气 Off-odors	浓度 Concentration	劲头 Impact	刺激性 Irritation	余味 Aftertaste	
Y1	6.17±0.29 b	6.00±0.00 c	6.17±0.29 a	5.17±0.29 b	5.33±0.29 b	5.17±0.29 a	6.17±0.29 a	6.67±0.29 a	55.27±1.06 b
Y2	6.83±0.29 a	7.00±0.00 a	6.50±0.00 a	6.00±0.00 a	5.33±0.29 b	5.33±0.29 a	6.33±0.29 a	7.00±0.00 a	59.55±0.79 a
Y3	6.50±0.00 ab	6.50±0.00 b	6.33±0.29 a	6.17±0.29 a	6.00±0.00 a	5.50±0.00 a	5.67±0.29 b	6.17±0.29 b	56.25±0.60 b
Y4	6.50±0.00 ab	6.33±0.29 b	6.17±0.29 a	5.50±0.00 b	6.33±0.29 a	5.17±0.29 a	5.50±0.00 b	6.17±0.29 b	55.05±0.57 b

2.3 不同移栽期烟叶的香气成分分析

2.3.1 不同移栽期烟叶的差异香气成分 4个移栽期烟叶的 HS-SPME-GC-MS 分析共鉴定出 819 种香气成分,为探究不同移栽期烟叶的香气成分差异,进一步将分析鉴定出的香气成分构建 OPLS-DA 模型,并以 VIP>1 为标准筛选出 45 种差异香气成分,详见图 2,基于碳骨架结构和主官能团分类划分为 11 类。



图 2 不同移栽期烟叶 VIP>1 的香气成分热图

Fig. 2 Heatmap of aroma components with VIP>1 in tobacco leaves under different transplanting dates

由图2可见，Y2（1月11日）处理烟叶中醛类、杂环类、萜类和酮类等大部分香气成分的相对含量较高；Y1（1月1日）处理烟叶中芳烃类和烃类香气成分的相对含量较高；Y3（1月21日）和Y4（1月31日）处理烟叶中醛类、杂环类、萜类和酮类等大部分香气成分的相对含量较Y2有所降低，而芳烃类和烃类香气成分的相对含量则有所升高。同类香气成分在来源途径、理化性质和感官特征上往往具有一定的相似性，而这些香气成分的含量、组成和平衡比例则是造成不同移栽期烟叶风格质量的关键因素。

2.3.2　不同移栽期烟叶香气成分的rOAV值及香韵属性归类　烟叶中香气成分种类繁杂，且各种香气成分的香味阈值和香气特征差别迥异，仅从香气成分的相对含量及组成单方面入手并不能很直观地分析香气成分对于不同移栽期烟叶风格质量的影响。因此，结合各种香气成分所对应的香味阈值和香气特征，通过计算rOAV值以及香韵属性归类的方式对不同移栽期烟叶的差异香气成分进行风味分析，筛选并归类对整体香气贡献较大（rOAV＞1）的香气成分，结果如表3所示。由表3可知，共筛选出30种香气成分，按照香韵属性可归为6类。其中，具有清香香韵的β-大马酮、(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛、(*E*,*E*)-2,4-癸二烯醛、癸醛、正壬醛、茄酮、二氢猕猴桃内酯，具有甜香香韵的香叶基丙酮，具有果香香韵的6-壬烯醛和具有花香香韵的大马士酮的rOAV值在4个移栽期烟叶样品中处于相对较高的水平（rOAV＞100），这部分香气成分对于烟叶香气风格特色具有重要贡献。

表3　不同移栽期烟叶rOAV＞1的香气成分

Table 3　Aroma components with rOAV＞1 in tobacco leaves under different transplanting dates

香韵 Aroma profile	香气成分 Aroma components	香味阈值/（μg·kg） Odor threshold	rOAV			
			Y1	Y2	Y3	Y4
清/青香 Fresh/green aroma	β-大马酮 β-Damascenone	2.00×10^{-3}	60 499.77	80 106.31	77 785.54	58 540.02
	(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛 (*E*,*Z*)-2,6-Nonadienal	0.01	4 532.00	9 026.29	5 461.23	6 076.67
	(*E*, *E*)-2,4-癸二烯醛 (*E*, *E*)-2,4-Decadienal	0.07	162.69	189.05	207.14	149.53
	癸醛 Decanal	0.10	215.62	430.65	305.95	284.32
	正壬醛 Nonanal	1.00	340.36	511.61	406.65	271.33
	茄酮 Solanone	1.82	121.62	129.96	161.07	185.88
	二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	2.10	855.69	898.22	910.37	543.60
	β-环柠檬醛 β-Cyclocitral	3.00	5.44	5.51	4.20	3.62
	(*E*)-2-辛烯醛 (*E*)-2-Octenal	3.00	73.22	54.76	60.89	39.24
	(*E*)-4-癸烯醛 (*E*)-4-Decenal	25.00	1.35	2.27	1.71	1.16
	甲基庚烯酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	50.00	21.32	15.35	20.63	9.03
	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	100.00	2.67	3.04	2.77	2.53
甜香 Sweet aroma	(*E*)-2-丁酸乙酯 (*E*)-2-Butenoic acid, ethyl ester	0.90	21.00	19.79	8.66	25.43
	香叶基丙酮 Geranyl acetone	10.00	118.67	118.4	135.74	71.39
果香 Fruity aroma	6-壬烯醛 6-Nonenal	2.20×10^{-2}	1 289.32	3 350.66	2 067.31	836.52
	己酸乙酯 Hexanoic acid, ethyl ester	5.00	2.79	4.43	2.72	3.31
	柠檬醛 Citral	100.00	1.27	1.48	1.29	0.68
	苯甲醛 Benzaldehyde	350.00	3.10	0.90	3.25	5.17
花香 Floral aroma	3-甲基-1*H*-吲哚 3-Methyl-1*H*-indole	0.41	30.50	46.87	42.11	28.83
	大马士酮 Damascenone	1.50	215.09	228.42	225.42	205.32
	β-紫罗兰酮 β-Ionone	3.78	13.29	11.67	10.46	7.26
	壬醇 Nonanol	5.30	37.12	57.46	42.41	38.22
	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	6.30	49.79	77.2	51.23	52.33
	香叶醇 Geraniol	6.60	30.27	35.09	30.14	24.06
	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	140.00	14.77	15.12	10.33	14.04
焦甜香 Burnt-sweet aroma	5-甲基糠醛 5-Methyl furfural	500.00	1.99	1.32	1.87	1.97

表3(续) Table 3(continued)

香韵 Aroma profile	香气成分 Aroma components	香味阈值/(μg·kg) Odor threshold	rOAV			
			Y1	Y2	Y3	Y4
其他 Others	二甲萘烷醇 Geosmin	0.21	220.67	22.71	71.29	153.82
	苯乙烯 Styrene	3.60	20.71	10.83	14.68	17.62
	己酸-2-苯乙酯 Hexanoic acid,2-phenylethyl ester	5.00	1.63	2.57	2.11	1.42
	甲基-萘 Methylnaphthalen	8.00	3.45	2.51	2.51	2.74

将具有相同香韵属性的香气成分rOAV值累加,并计算累加值在所有香气成分rOAV合计总值中的占比,进一步分析不同移栽期烟叶中各香韵的贡献值,结果见表4。由表4可见,4个移栽期烟叶中的清/青香香韵贡献值均在95%以上,其次是果香和甜香。此外,不同移栽期烟叶的清/青香、甜香、果香、花香香韵rOAV累加值由高到低的顺序为Y2>Y3>Y1>Y4。

表4 不同移栽期烟叶各香韵rOAV总值及其分布情况

Table 4 Total rOAV and distribution of aroma in tobacco leaves under different transplanting dates

香韵 Aroma profile	Y1		Y2		Y3		Y4	
	rOAV总值 rOAV total value	香韵贡献值/% Aroma contribution value	rOAV总值 rOAV total value	香韵贡献值/% Aroma contribution value	rOAV总值 rOAV total value	香韵贡献值/% Aroma contribution value	rOAV总值 rOAV total value	香韵贡献值/% Aroma contribution value
清/青香 Fresh/green aroma	66 838.73 c	96.988	91 426.67 a	95.798	85 326.43 b	96.907	66 041.51 c	97.796
甜香 Sweet aroma	139.67 a	0.203	138.20 a	0.145	144.40 a	0.164	96.82 b	0.143
果香 Fruity aroma	1 296.48 c	1.881	3 357.47 a	3.520	2 074.58 b	2.356	845.67 d	1.251
花香 Floral aroma	390.83 b	0.567	471.83 a	0.495	412.09 b	0.468	370.06 b	0.547
焦甜香 Burnt-sweet aroma	1.99 a	0.003	1.32 c	0.001	1.87 b	0.002	1.97 ab	0.003
其他 Others	247.80 a	0.358	40.89 d	0.040	92.30 c	0.103	176.75 b	0.260
合计 Total	68 915.51 c		95 436.38 a		88 051.67 b		67 532.78 c	

2.3.3 不同移栽期烟叶的关键差异香气成分 为进一步探究不同移栽期烟叶的关键差异香气成分,结合OPLS-DA和rOAV的分析结果,共有18种VIP>1且rOAV>1的香气成分,按照香韵属性可归类划分为5类,并对不同移栽期烟叶香气成分的相对含量进行方差分析,结果见表5。由表5可见,清/青香香韵的β-大马酮、葵醛、正壬醇、乙酸香叶酯、(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛、(*E*)-4-癸烯醛,果香香韵中的己酸乙酯、6-壬烯醛,花香香韵的3-甲基-1*H*-吲哚、壬醇、苯乙醛、香叶醇的相对含量随着移栽期的后移呈现先上升再下降的趋势,且均在1月11日移栽处理(Y2)的烟叶中达到最高值,而茄酮和苯甲醛的相对含量则是在1月31日移栽处理(Y4)的烟叶中达到最高值。此外,5-甲基糠醛、二甲萘烷醇、苯乙烯、甲基-萘的相对含量则是在1月1日移栽处理(Y1)的烟叶中达到最高值。

表5 不同移栽期烟叶关键差异香气成分的相对含量

Table 5 Relative content of key differential aroma components in tobacco leaves under different transplanting dates

香韵 Aroma profile	香气成分 Aroma components	物质分类 Class of chemical substance	相对含量/(μg·kg) Relative content			
			Y1	Y2	Y3	Y4
清/青香 Fresh/ green aroma	β-大马酮 β-Damascenone	酮类 Ketone	121.00±2.65 b	160.00±4.58 a	155.67±5.13 a	117.00±6.56 b
	癸醛 Decanal	醛类 Aldehyde	21.53±1.00 d	43.10±0.20 a	30.60±1.49 b	28.43±1.33 c
	正壬醛 Nonanal	醛类 Aldehyde	340.33±11.02 c	511.67±12.34 a	406.33±5.51 b	271.33±13.61 d
	茄酮 Solanone	酮类 Ketone	221.33±4.16 c	236.67±8.74 c	293.33±13.20 b	338.33±41.14 a
	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	酯类 Ester	266.67±5.13 bc	304.33±11.06 a	277.67±4.93 b	253.33±16.77 c
	(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛 (*E*,*Z*)-2,6-Nonadienal	醛类 Aldehyde	45.33±1.27 c	90.27±8.67 a	54.60±0.82 b	60.77±2.72 b
	(*E*)-4-癸烯醛 (*E*)-4-Decenal	醛类 Aldehyde	33.67±0.80 c	56.67±2.48 a	42.77±1.76 b	28.97±1.16 d

表 5（续）　Table 5(continued)

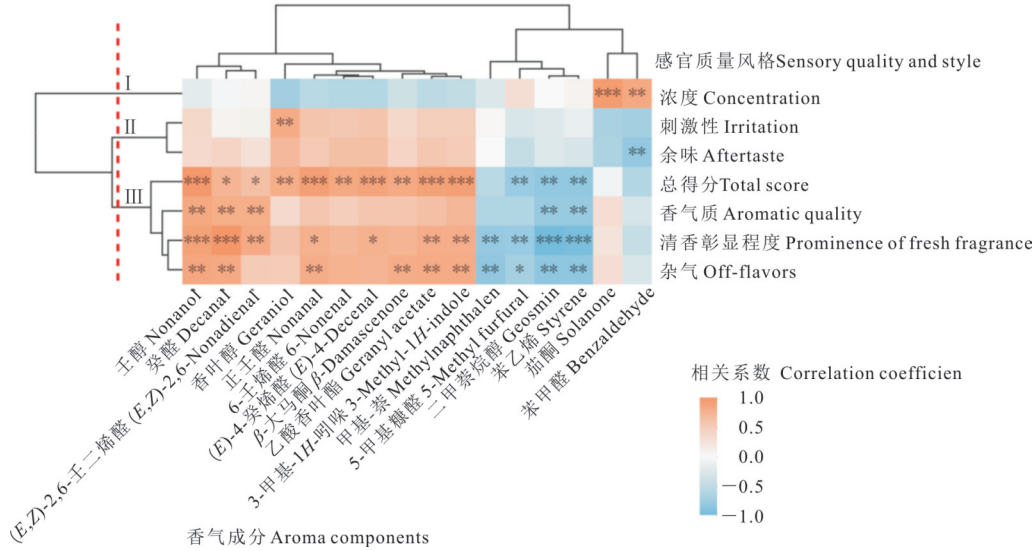
香韵 Aroma profile	香气成分 Aroma components	物质分类 Class of chemical substance	相对含量/(μg·kg) Relative content			
			Y1	Y2	Y3	Y4
果香 Fruity aroma	己酸乙酯 Hexanoic acid, ethyl ester	酯类 Ester	13.97±2.75 bc	22.13±0.46 a	13.60±1.04 c	16.50±0.46 b
	6-壬烯醛 6-Nonenal	醛类 Aldehyde	28.37±0.49 c	73.73±3.91 a	45.47±1.46 b	18.40±0.79 d
	苯甲醛 Benzaldehyde	醛类 Aldehyde	1 083.33±30.55 b	316.00±15.87 c	1 136.67±80.83 b	1 806.67±40.41 a
花香 Floral aroma	3-甲基-1*H*-吲哚 3-Methyl-1*H*-indole	杂环类 Heterocyclic	12.50±1.40 c	19.23±0.21 a	17.27±0.42 b	11.83±0.15 c
	壬醇 Nonanol	醇类 Alcohol	196.67±7.51 c	304.67±14.22 a	225.00±17.06 b	202.33±11.37 bc
	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	醛类 Aldehyde	313.67±24.54 b	520.00±13.23 a	322.67±27.39 b	329.67±7.02 b
	香叶醇 Geraniol	萜类 Terpenoids	200.00±5.00 b	231.33±7.57 a	199.00±10.54 b	158.67±8.74 c
焦甜香 Burnt-sweet aroma	5-甲基糠醛 5-Methyl furfural	醛类 Aldehyde	998.67±41.00 a	660.33±15.50 c	935.00±18.52 b	985.00±29.82 ab
其他 Others	二甲萘烷醇 Geosmin	芳烃类 Aromatics	46.33±4.05 a	4.77±0.48 d	14.97±2.44 c	32.30±0.89 b
	苯乙烯 Styrene	芳烃类 Aromatics	74.53±2.05 a	38.97±1.42 d	52.87±0.55 c	63.47±1.06 b
	甲基-萘 Methylnaphthalen	芳烃类 Aromatics	27.57±0.76 a	20.10±1.75 b	20.07±0.91 b	21.90±0.95 b

注：同行数据后标不同小写字母表示各处理间差异显著（$P<0.05$）。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences among treatments ($P<0.05$).

2.4　不同移栽期烟叶关键差异香气成分与感官评吸的相关性聚类分析

不同移栽期烟叶的香气成分与质量风格的相关性聚类结果如图3所示。由图3可以看出，在8个感官指标和18种关键差异香气成分中，最终确定了相关性较高（$|\rho|\geqslant 0.7$）且置信度较显著（$P\leqslant 0.05$）的6个感官指标和16种关键差异香气成分。进一步进行聚类分析，可见6种感官指标聚为3类，其中Ⅰ类为烟气特性指标（浓度），Ⅱ类为口感特性指标（刺激性、余味），Ⅲ类为总得分、香气特性指标（香气质、杂气）和清香彰显程度。



橙色表示关键差异香气成分与感官评吸之间为正相关关系，蓝色表示为负相关关系，颜色越深表示相关性越强。图中仅展示Spearman相关系数绝对值大于0.7的感官指标和香气成分，不同的相关性P值使用*表示，$0.01<P\leqslant 0.05$标记*，$0.001<P\leqslant 0.01$标记**，$P\leqslant 0.001$标记***。

Orange indicates a positive correlation between key differential aroma components and sensory evaluation, while blue indicates a negative correlation. Darker colors indicate stronger correlations. Only sensory indicators and aroma components with an absolute value of Spearman correlation coefficient greater than 0.7 are displayed in the figure. Different correlation P-values are denoted by *: * denotes $0.01<P\leqslant 0.05$, ** denotes $0.001<P\leqslant 0.01$, and *** denotes $P\leqslant 0.001$.

图3　不同移栽期烟叶关键差异香气成分与感官评吸指标的相关性聚类分析结果

Fig. 3　Results of correlation cluster analysis between key differential aroma components and sensory evaluation indicators in tobacco leaves with different transplanting dates

由图3还可以看出，癸醛、壬醇、(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛与总得分、香气质、清香彰显程度呈显著正相关（$P\leqslant 0.05$），说明三者主要是通过优化香气质来提升烟叶整体的感官质量，其中癸醛、壬醇与杂气呈极显著正相关（$P\leqslant 0.01$），这二者还通过改善杂气来提升烟叶感官质量，同时说明这部分香气成

分对于清香彰显都具有促进作用;正壬醛、乙酸香叶酯和3-甲基-1*H*-吲哚与杂气、清香彰显程度和总得分呈显著正相关,说明这三者主要是通过改善杂气来提升烟叶整体的感官质量,这部分香气成分对于清香彰显也都具有促进作用;(*E*)-4-癸烯醛、*β*-大马酮、香叶醇与总得分呈极显著正相关,说明这三者对于感官质量的提升均具有促进作用。二甲萘烷醇和苯乙烯与清香彰显程度、香气特性指标和总得分呈极显著负相关($P\leqslant0.01$),可见这部分香气成分含量的增加与杂气表现变差和香气质劣化相关,从而降低了烟叶整体的感官质量,同时还对清香彰显具有负面作用;5-甲基糠醛与清香彰显程度、杂气和总得分呈显著负相关,说明其令烟叶杂气的表现变差,从而降低了感官质量,同时还降低了清香彰显程度。此外,茄酮和苯甲醛与烟气浓度,苯甲醛与口感余味,甲基-萘与杂气和清香彰显程度的相关性均具有统计学意义。

3 讨 论

3.1 不同移栽期下翠碧一号烟株大田生育期及烟叶质量风格差异

特色烟叶的形成离不开其烟株生长发育期间适宜的光、温、水等气象因子,适期移栽对于烟株的生长、烟叶产质量的形成和风格特色的彰显至关重要[10-11]。本研究结果表明,在梅州烟区,较常规提早10 d移栽(1月11日),烟株大田生育期均温较低,大田生育期延长,更利于相关物质积累,提升烟叶感官质量,这与前人的研究结论[12,21]基本一致。然而提早20 d(1月1日)移栽处理的烟叶质量显著下降,这可能是由于过早移栽烟株生长前期光温条件不足,从而影响了后续烟株的生长发育及烟叶质量形成[22]。随着移栽期的后移,烟叶香型发生“清偏浓”的转变,清香彰显程度和感官质量有所下降,这与张云贵等[23]的研究结论基本吻合。以往在福建产区开展的移栽期研究也指出,翠碧一号“早栽早收”有利于烟株生长后期避开高温高湿的环境,从而减小环境因子对烟叶质量的影响[12]。

3.2 不同移栽期翠碧一号烟叶关键香气成分的差异

移栽期调整对烟叶质量风格的决定性主要体现在气象因子变化对烟叶香气成分含量和组成比例的影响[24]。李志宏等[4]研究指出,成熟期是决定香气成分含量的关键时期,在低温条件下烟叶中的酮醛酯类香气成分含量会相对较高。在本研究中,1月11日移栽处理的烟株成熟期均温显著低于1月21日和1月31日移栽处理,其烟叶中*β*-大马酮、癸醛、正壬醛、(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛、己酸乙酯等香气成分的相对含量显著升高。然而大部分香气成分不是烟株基本代谢的直接产物,而是通过次生代谢产生的大分子化合物进一步降解转化而形成的[25],因此移栽期调整对于烟叶香气物质的影响,主要反映在气象因子对于香气前体物降解转化与相关次生代谢反应的影响上[24,26]。本研究结果表明,在1月21日移栽处理的烟叶中大部分关键差异香气成分处于较高水平,这些香气成分主要为美拉德反应((*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛、癸醛、正壬醛)和类胡萝卜素降解(*β*-大马酮)的产物,这说明该移栽期下的气象因子较为适宜相关反应的进行。

3.3 不同移栽期翠碧一号烟叶关键差异香气成分与质量风格特色的关系

香气成分是决定烟叶质量风格的物质基础,感官评吸则是判断烟叶质量风格的最终手段[27]。本研究结果表明,所筛选出的大部分关键差异香气成分与感官评吸质量之间有较强的关联性,其中主要体现在香气成分对清香彰显程度及香气特性的影响上;在1月11日移栽处理的烟叶中,*β*-大马酮(玫瑰花香)、癸醛(清香)、正壬醛(清香)、乙酸香叶酯(清甜香)、(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛(青草香)、(*E*)-4-癸烯醛(青香)、3-甲基-1*H*-吲哚(茉莉花香)和壬醇(花香)[19]的相对含量较高,这部分香气成分可能是该移栽期烟叶清香彰显程度提高和香气特性优化的关键因素。*β*-大马酮是烟叶清香型风格形成的关键物质[20];朱咸鑫[28]研究表明,(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛等香气成分构成了清香型风格特色的物质基础;丁根胜[29]研究表明,正壬醛含量与福建南平烟叶的香气量、杂气、刺激性和总得分呈显著正相关。反之,上述与烟叶质量风格呈正相关的香气成分含量的下降,可能是其他移栽期处理烟叶感官质量下降的重要原因之一。本研究还发现,在感官评吸表现较差的移栽处理烟叶中,二甲萘烷醇、苯乙烯、甲基-萘的相对含量显著较高,这部分物质所表现的泥土味、汽油味、樟脑味等不良气息[19]可能也是导致烟叶感官质量下降的重要原因。此外,在本研究中,烟叶5-甲基糠醛的相对含量与烟叶清香彰显程度和感官总得分呈显著负相关,这与丁根胜[29]的研究结果基本一致。

3.4　基于rOAV值的梅州烟区不同移栽期下翠碧一号烟叶的香韵香型分析

烟叶内香气成分含量、属性、组成和比例构成了各种香韵的物质基础，而各种香韵的综合效应则赋予了烟叶的香气风格特色[30]。rOAV法从含量和阈值两个维度对烟气体系中香气成分的贡献度进行综合评价，与统计学分析方法结合，可实现对烟叶原料这类复杂基质中特征香韵关键香气成分的定量鉴定[20]。在本研究中，从各香韵rOAV总值及其分布情况上看，不同移栽期处理的烟叶中均以清/青香香韵为主，辅以果香和甜香香韵，并带有一定的花香香韵，这说明梅州烟区生产的翠碧一号烟叶符合清甜蜜甜香型（香型Ⅵ区）烟叶“清甜香突出，蜜甜香明显，花香微显”的基本特征。烤烟清/青香、甜香、果香、花香香韵为典型的清香型烟叶香韵[6]，而本研究该部分香韵的rOAV累加值与清香彰显程度在不同移栽期处理烟叶中的相对变化情况也基本同步，均呈现出先升高后降低的趋势，并在1月11日移栽处理的烟叶中达到最高。

本研究主要从香气物质层面说明，通过移栽期的合理调整，能够协调翠碧一号的香气物质成分，对提高翠碧一号的品质和风格彰显程度具有积极意义，而本研究最佳移栽期结论基于当年系统田间试验数据，受试验周期限制未纳入连续多年数据，后续将开展长期定位试验，进一步验证该结论在不同气象年份的稳定性。

4　结　论

本研究采用大田试验和HS-SPME-GC-MS技术，考察了不同移栽期下烟叶的质量风格特征差异并探讨了其深层原因，得到以下结论：在梅州烟区，适当提早10 d移栽（1月11日）能使翠碧一号烟叶整体感官评价更优，品质风格更符合优质特色烟叶的特点，但过度提早移栽（1月1日）的烟株由于生长前期长时间处于低温胁迫环境下，导致烟叶杂气过重，整体香气失衡，品质劣化；推迟10 d移栽（1月31日）烟株生长后期遭受高温高湿胁迫，烟叶香型发生了“清偏浓”的细微转变，清香型风格特色有所弱化；整体上看，梅州烟区翠碧一号烟叶基本符合香型Ⅵ区清甜蜜甜香型烟叶的特征。较高含量的β-大马酮、癸醛、正壬醛、乙酸香叶酯、(*E*,*Z*)-2,6-壬二烯醛、(*E*)-4-癸烯醛、3-甲基-1*H*-吲哚和壬醇，可能是1月11日移栽处理烟叶清香彰显程度高、感官质量优的关键原因；二甲萘烷醇、苯乙烯、甲基-萘和5-甲基糠醛的含量增高，可能是导致烟叶风格特色退化、感官质量下降的重要原因。

[参考文献]

[1] 许洪庆，吕大树，张亚恒，等. 二氯甲烷提取物致香成分GC/MS指纹图谱在烤烟香型鉴别中的应用[J]. 烟草科技，2017，50(1)：30-40.
XU H Q，LÜ D S，ZHANG Y H，et al. Identification of flue-cured tobacco flavor style using GC/MS fingerprint of aroma component extracted by dichloromethane[J]. Tobacco Science & Technology，2017，50(1)：30-40.

[2] 杜兴华，胡颖梅，高明博，等. 陕西烤烟主产区气象因子和烟叶化学成分特征及关系分析[J]. 西北农业学报，2023，32(5)：815-823.
DU X H，HU Y M，GAO M B，et al. Characteristics and relationship between neteorological factors and chemical components of tobacco leaves in main tobacco growing regions of Shaanxi Province[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica，2023，32(5)：815-823.

[3] 唐远驹. 试论特色烟叶的形成和开发[J]. 中国烟草科学，2004，25(1)：10-13.
TANG Y J. Formation and development of tobacco with characteristics[J]. Chinese Tobacco Science，2004，25(1)：10-13.

[4] 李志宏，张云贵，李军营，等. 烤烟清香型风格形成的生态基础[M]. 北京：科学出版社，2015.
LI Z H，ZHANG Y G，LI J Y，et al. Ecological mechanisms for the formation of the fragrance style of flue-cured tobacco[M]. Beijing：Science Press，2015.

[5] 刘晶晶，崔光周，段旺军，等. 生态因素影响烟草香味特征的研究进展[J]. 河南农业科学，2023，52(2)：1-11.
LIU J J，CUI G Z，DUAN W J，et al. Research progress on the effects of ecological factors on tobacco aroma characteristics[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences，2023，52(2)：1-11.

[6] 罗登山. 中国烤烟香型区划[M]. 北京：中国轻工业出版社，2021.
LUO D S. Chinese flue-cured tobacco flavor zoning[M]. Beijing：China Light Industry Press，2021.

[7] 孟霖，杨秀军，管仕栓，等. 翠碧一号不同外观特征烟叶内在质量分析[J]. 中国烟草科学，2023，44(1)：85-91.
MENG L，YANG X J，GUAN S S，et al. Study on internal quality of CB-1 tobacco leaves with different appearance characteristics[J]. Chinese Tobacco Science，2023，44(1)：85-91.

[8] 解彩军，徐增汉，吕鹏辉，等. 特色烤烟品种翠碧一号栽培与采烤技术研究进展[J]. 安徽农业科学，2021，49(22)：1-6.
XIE C J，XU Z H，LÜ P H，et al. Research progress on cultivation and harvest and curing technique of the characteristic tobacco variety CB-1[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2021，49(22)：1-6.

[9] 张震，黄瑞寅，严锦申，等. 梅州烟区烤烟新品种（系）综合评价[J]. 作物研究，2023，37(3)：297-303.

ZHANG Z, HUANG R Y, YAN J S, et al. Comprehensive evaluation of new varieties (lines) of flue-cured tobacco in Meizhou tobacco area[J]. Crop Research, 2023, 37(3): 297-303.

[10] 苏永士,蒋伟峰,杨洋,等. 不同移栽期下气象因子与三门峡烤烟上部叶产量和品质的关系分析[J]. 河南农业科学, 2023, 52(5): 61-73.
SU Y S, JIANG W F, YANG Y, et al. Relationship between meteorological factors and yield and quality of flue-cured tobacco upper leaves under different transplanting date in Sanmenxia[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(5): 61-73.

[11] 王永齐,卫盼盼,李玲,等. 不同移栽期对烤烟翠碧一号生长发育及品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(S1): 25-29.
WANG Y Q, WEI P P, LI L, et al. Effects of different transplanting periods on the growth and flue-cured tobacco quality of CB-1[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2023, 29(S1): 25-29.

[12] 李文卿,陈顺辉,柯玉琴,等. 不同移栽期对烤烟生长发育及质量风格的影响[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(4): 48-54.
LI W Q, CHEN S H, KE Y Q, et al. Effects of transplanting time on growth and quality of flue-cured tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2013, 19(4): 48-54.

[13] CHEN X Y, CHEN C, LIU Y T, et al. Flavor characteristics of different varieties of flue-cured tobacco based on headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry and headspace solid-phase-microextraction-gas-chromatography-mass-spectrometry[J]. ACS Omega, 2025, 10(20): 20382-20401.

[14] 王成成. 烟草香气特征的HS-SPME-GC-MS分析研究[D]. 长沙:湖南师范大学, 2019.
WANG C C. Analysis of aroma characteristics of tobacco by HS-SPME-GC-MS[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2019.

[15] 方嘉炜,严锦申,钟帅,等. 毕节烟区不同产地烟叶的感官质量特征及关键香气成分[J]. 烟草科技, 2024, 57(8): 21-31.
FANG J W, YAN J S, ZHONG S, et al. Sensory quality characteristics and key aroma components of tobacco leaves from different tobacco planting areas in Bijie[J]. Tobacco Science & Technology, 2024, 57(8): 21-31.

[16] 国家技术监督局. 烤烟:GB 2635-1992[S]. 北京:中国标准出版社, 1992: 11.
The State Bureau of Quality and Technical Supervision. Flue-cured tobacco: GB 2635-1992[S]. Beijing: Standards Press of China, 1992: 11.

[17] 国家烟草专卖局. 烟草农艺性状调查测量方法:YC/T 142-2010[S]. 北京:中国标准出版社, 2010: 41.
State Tobacco Monopoly Bureau of the People's Republic of China. Investigating and measuring methods of agronomical character of tobacco: YC/T 142-2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 41.

[18] 国家烟草专卖局. 烤烟烟叶质量风格特色感官评价方法:YC/T 530-2015[S]. 北京:中国标准出版社, 2015: 10.
State Tobacco Monopoly Bureau of the People's Republic of China. Flue-cured tobacco: sensory evaluation methods for quality and style characteristics of tobacco leaves: YC/T 530-2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015: 10.

[19] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 刘强,冒德寿,汤峨,译. 北京:科学出版社, 2015.
LI A F H M. Compilation of compound aroma thresholds[M]. LIU Q, MAO D S, TANG E, translation. Beijing: Science Press, 2015.

[20] 杨靖,宋梦坤,杨鹏飞,等. 基于香气活力值的烤烟烟叶清(青)香风格特征分析[J]. 烟草科技, 2020, 53(1): 34-43.
YANG J, SONG M K, YANG P F, et al. Analysis of fresh (green) aroma note of flue-cured tobacco based on odor activity value[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(1): 34-43.

[21] 李云霞,杨佳蒴,李洋洋,等. 不同移栽期对烟稻轮作烟区烤烟生长发育及产量和质量的影响[J]. 作物杂志, 2025(2): 222-227.
LI Y X, YANG J S, LI Y Y, et al. Effects of different transplanting periods on the growth, development and yield quality of flue-cured tobacco in tobacco-rice rotation area[J]. Crops, 2025(2): 222-227.

[22] 王发勇,袁清华,廖宜树,等. 栽培措施对烤烟生育进程的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(2): 89-94.
WANG F Y, YUAN Q H, LIAO Y S, et al. Research progress on the effects of cultivating measures on flue-cured tobacco developmental process[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(2): 89-94.

[23] 张云贵,刘青丽,王建伟,等. 基于气象因子的烤烟香型分区模型构建及应用[J]. 烟草科技, 2015, 48(10): 19-25.
ZHANG Y G, LIU Q L, WANG J W, et al. Establishment and application of regional division model for flue-cured tobacco flavor types based on meteorological factors[J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(10): 19-25.

[24] 李玲燕,徐宜民,王树声. 气候因子对烤烟香气物质的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(1): 107-113.
LI L Y, XU Y M, WANG S S. Advance in effects of climatic factors on aroma components of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2015, 36(1): 107-113.

[25] 史宏志. 烟草香味学[M]. 北京:中国农业出版社, 2011.
SHI H Z. Tobacco flavor[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.

[26] 彤磊,农晚意,高玲玲,等. 不同移栽期对德宏州'KRK26'品种烤后烟叶致香成分的影响[J/OL]. 分子植物育种, 2023: 1-14 (2023-11-24). https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FZZW20231123004&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.
RONG L, NONG W Y, GAO L L, et al. Effect of different transplanting periods on aroma components of flue-cured tobacco leaves of Dehong 'KRK26' variety[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2023: 1-14 (2023-11-24). https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FZZW202311230004&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.

[27] 吴兴富，焦芳婵，陈学军，等．清香型烟叶产区基因型选择[J]．中国烟草学报，2019，25(2)：29-39.
WU X F，JIAO F C，CHEN X J，et al. Genotype selection in fresh-flavor tobacco growing areas[J]. Acta Tabacaria Sinica，2019，25(2)：29-39.

[28] 朱咸鑫．不同香型产区烟叶常规化学成分和致香物质差异[D]．长沙：湖南农业大学，2017.
ZHU X X. Conventional chemical composition and aroma components difference analysis in flue-cured tobacco leaves in different odor type tobacco-producing area[D]. Changsha：Hunan Agricultural University，2017.

[29] 丁根胜．福建省南平烟区烤烟品质特色分析[D]．北京：中国农业科学院，2009.
DING G S. Analysis of characteristic of flue-cured tobacco quality in Nanping Fujian Province tobacco-growing areas[D]. Beijing：Chinese Academy of Agricultural Sciences，2009.

[30] 茅中一，洪祖灿，刘加增，等．基于香气活性值的福建尤溪烟叶提取物香气特征成分分析[J]．烟草科技，2020，53(10)：56-65.
MAO Z Y，HONG Z C，LIU J Z，et al. Characteristic aroma components in tobacco extracts from Youxi based on odor activity value[J]. Tobacco Science & Technology，2020，53(10)：56-65.

（责任编辑：屈李纯）

（上接第 109 页）

[21] 史金平，马贵山，张全伟，等．基于RNA-seq技术挖掘杂交绵羊群体肌肉性状相关基因[J]．农业生物技术学报，2021，29(2)：288-297.
SHI J P，MA G S，ZHANG Q W，et al. Identify the genes related to muscle traits in crossbred sheep populations(*ovisaries*) by RNA-seq technology[J]. Journal of Agricultural Biotechnology，2021，29(2)：288-297.

[22] 杨丹芳，李银聚，杨惠，等．重组IFN-α-IL-18对鸡淋巴细胞组胺的诱导生成和NF-κB p65的激活[J]．中国免疫学杂志，2017，33(7)：995-999.
YANG D F，LI Y J，YANG H，et al. Recombinant IFN-α-IL-18 increases level of histamine produced by chicken lymphocytes and activate NF-κB p65 activity[J]. Chinese Journal of Immunology，2017，33(7)：995-999.

[23] MARUI J，PHOUPHASOUK S，GIAVANG Y，et al. Relationship between salinity and histamine accumulation in padaek，a salt-fermented freshwater fish paste from laos[J]. Journal of Food Protection，2021，84(3)：434-441.

[24] WILLIAMSON J，RYLAND D，SUH M，et al. The effect of chilled conditioning at 4°C on selected water and lipid-soluble flavor precursors in bison longissimus dorsi muscle and their impact on sensory characteristics[J]. Meat Science，2014，96(1)：136-146.

[25] LEMMERS C，MICHEL D，LANE-GUERMONPREZ L，et al. CRB3 binds directly to par6 and regulates the morphogenesis of the tight junctions in mammalian epithelial cells [J]. Molecular Biology of The Cell，2004，15(3)：1324-1333.

[26] 杨帆，李晓南．神经调节蛋白4生物学功能的研究进展[J]．生理学报，2017，69(3)：351-356.
YANG F，LI X N. Research progress of neuregulin 4 biological function [J]. Acta Physiologica Sinica，2017，69(3)：351-356.

[27] LEDONNE A，MERCURI N B. On the modulatory roles of neuregulins/ErbB signaling on synaptic plasticity[J]. International Journal of Molecular sciences，2019，21(1)：275.

[28] WEI H Q，GUO X H，YAN J，et al. Neuregulin-4 alleviates isoproterenol (ISO)-induced cardial remodeling by inhibiting inflammation and apoptosis via AMPK/NF-κB pathway[J]. International Immunopharmacology，2024，143(Pt 2)：113301.

[29] WANG P F，GUO X H，WANG H C，et al. Neuregulin-4 protects cardiomyocytes against high-glucose-induced ferroptosis via the AMPK/NRF2 signalling pathway[J]. Biology Direct，2024，19(1)：62.

[30] WANG G X，ZHAO X Y，MENG Z X，et al. The brown fat-enriched secreted factor Nrg4 preserves metabolic homeostasis through attenuation of hepatic lipogenesis[J]. Nature Medicine，2014，20(12)：1436-1443.

（责任编辑：马秋明）