

乌龙茶香气成分研究进展

刘洋¹, 胡军¹, 李海民^{2*}, 范坚强³, 洪祖灿³ (1. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 河南郑州 450001; 2. 福建龙岩烟草工业有限责任公司, 福建龙岩 364021; 3. 福建中烟工业公司技术中心, 福建厦门 361022)

摘要 综述了近30年来乌龙茶香气成分的研究进展, 主要包括3个方面, 即不同品种乌龙茶的香气成分分析, 种植、加工过程中乌龙茶香气成分变化的研究, 以及乌龙茶香气成分分析检测方法。

关键词 乌龙茶; 香气成分; 做青; 同时蒸馏萃取

中图分类号 S571.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)33-16333-04

Research Progress on the Aromatic Components in Oolong Tea

LIU Yang et al (Zhengzhou Tobacco Research Institute, China National Tobacco Corporation, Zhengzhou, Henan 450001)

Abstract The research progresses on the aromatic components in oolong tea in the past thirty years were reviewed, mainly in the following three aspects: the analysis of aromatic components in different varieties of oolong tea, the research on the changes of aromatic components in the planting and manufacture process and the detection methods of the aromatic components in oolong tea.

Key words Oolong tea; Aromatic components; Zuoqing; Simultaneous distillation and extraction

乌龙茶属于半发酵茶, 又名青茶, 我国六大茶类之一, 是中国的特种茶类, 主产于广东、福建及台湾3省, 其中福建的产量占乌龙茶总产量的75%左右^[1]。乌龙茶以天然花果香和独特的韵味闻名于世, 其精油含量高, 味道纯正, 受到国内外专家的普遍关注。

茶叶香气成分的研究已经有一定的历史了, 早在160多年前, Mulder 就从未发酵的茶叶中分离出一定量的挥发油^[2]。20世纪50年代以后, 随着各种分析手段的不断完善, 尤其是气相色谱-质谱联用技术的发展, 使得茶叶香气成分的研究有了重大突破。目前为止, 已从茶叶中分离鉴定出650多种香气成分^[3]。由于乌龙茶是我国特有的品种, 加工工艺复杂, 因此其香气方面的研究相对滞后。20世纪80年代初期, 日本的T. Takeo 开始公开发表乌龙茶香气的相关研究成果, 并一直从事此方面的研究^[4-8]。从20世纪80年代中后期开始, 我国陆续有学者开始关注乌龙茶的研究。

1 乌龙茶的香气成分研究

1.1 不同品种乌龙茶的香气成分分析 乌龙茶的主要品种如下: 闽北乌龙(武夷岩茶、水仙、大红袍、肉桂等); 闽南乌龙(铁观音、奇兰、水仙、黄金桂等); 广东乌龙(凤凰单枞、凤凰水仙、岭头单枞等); 台湾乌龙(冻顶乌龙、包种、乌龙等)^[1]。

不同的制茶品种, 其成品茶中香气组分、香气物质百分含量都有较大差异。骆少君等分析了铁观音、黄旦、毛蟹和水仙乌龙茶的香气表明, 乌龙茶特征香气成分还含有较多的法尼烯、乙酸苜酯等成分^[10]。戴素贤等分析了凤凰单枞乌龙茶中5个高香型名枞的香气组分。结果表明, 各名枞的主要香气成分如下: 八仙过海名枞是新植二烯、吡啶、芳樟醇及其氧化物、法尼醇、法尼烯; 桂花香名枞是芳樟醇及其氧化物、顺式茉莉酮、苯基茶胺、法尼烯、新植二烯; 黄枝香名枞是新植二烯、法尼醇、吡啶、法尼烯、2,3-辛二酮; 玉兰香名枞是法尼醇、吡啶、法尼烯、芳樟醇及其氧化物、香叶醇; 肉桂香名枞是橙花叔醇、吡啶、芳樟醇及其氧化物、植醇、戊酸^[11]。姚月明等以水仙作对比, 对武夷肉桂名枞香气进行了GC分析,

发现2个品种都含有较丰富的香叶醇、芳樟醇及其氧化物, 属典型的适制乌龙茶的中小品种系, 同时2个品种的乌龙茶都具有高沸点香气成分突出的特点^[12]。伍锡岳等研究认为, 清香型乌龙茶(岭头单枞茶、黄枝香单枞茶、桂花香单枞茶、八仙过海单枞茶)是以橙花叔醇、芳樟醇为主导芳香物质, 浓香型岭头单枞茶(高温复焙)是以3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇、芳樟醇为主导香气, 黄金桂是以橙花叔醇为主导香气。柠檬烯、吡啶是白叶单枞茶特征香气, 6-甲基-5-庚烯-2-酮、法尼烯、橙花叔醇、植醇、(顺)-己酸-3-己烯酯、(顺)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯是黄金桂的特征香气, 法尼烯是翠玉的特征香气, 1-庚醇、芳樟醇氧化物Ⅲ是金萱特征香气^[13]。黄福平等表明, 橙花叔醇是福建乌龙茶的主要特征香气组分, 高含量的橙花叔醇可以作为优质肉桂茶的香气指标之一^[14]。张方舟等采用GC/MS法分析春兰与其母本铁观音的香气组分, 结果显示橙花叔醇含量均很高, 分别达55.5%和46.80%, 春兰萜烯指数值仅为铁观音的一半^[15]。研究表明由于品种间主要香气成分的含量存在差异, 构成了各自品种香型的特征。

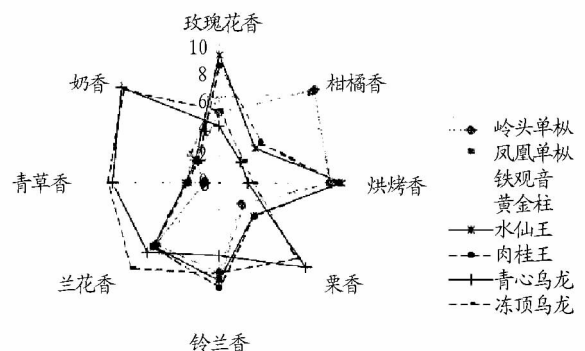


图1 不同乌龙茶感官审评结果

Fig. 1 The sensory evaluation results of various oolong tea

陈悦娇对不同品种系乌龙茶感官审评结果(图1)表明, 每个茶有其自身的特点, 同品系的茶样有着共同之处, 不同品系的茶之间有着不同程度的交叉^[16]。闽南铁观音黄金桂以兰花香为主, 兼有青草香、铃兰香和玫瑰花香; 闽北水仙王和肉桂王以玫瑰花香和烘烤香为主, 兼有铃兰香和兰花香; 台

作者简介 刘洋(1982-), 女, 河南郑州人, 助理工程师, 从事烟草化学的研究。* 通讯作者。

收稿日期 2009-07-17

湾冻顶乌龙以奶香和栗香为主,兼有青草香和兰花香;而广东单枞比较特别,突出柑桔香,并有较强的烘烤香,青草香和栗香却很弱。

1.2 乌龙茶香气的形成途径 乌龙茶加工工艺复杂,品种繁多,究竟哪些是乌龙茶的特征成分,也是随着研究的深入而不断补充变化的。关于茶叶香气的形成途径,学者经过大量研究,总结并提出的茶叶香气生成途径主要有以下几种类型^[17-19]:

(1)β-胡萝卜素氧化、降解生成的β-紫罗酮及相关结构的香气化合物。

(2)脂肪酸的氧化降解生成直链脂肪族醇、醛类香气化合物如青叶醇、青叶醛等。

(3)氨基酸和糖类、儿茶素等在热作用下产生香气成分如呋喃、吡咯、吡嗪及其衍生物。

(4)醇类的氧化形成清甜香或果香的酸类或醛类。

(5)低级有机酸与醇类的酯化形成果香酯类化合物。

(6)糖苷水解游离出部分芳香物质成分,形成乌龙茶的天然花果香。

2 种植、加工过程中乌龙茶香气成分变化的研究

2.1 种植技术对乌龙茶香气成分的影响 张文锦等,探讨了黄旦、铁观音和本山茶园覆盖遮荫对茶叶品质的影响,发现夏、暑乌龙茶的香气种类增加了25~40种,香精油总量提高21.20%~38.85%^[20]。戴素贤等研究了在3个不同地点种植的黄枝香乌龙茶鲜叶的香气化学成分,结果表明3地茶叶香气成分都以醇类和酯类为主,但种类上有一定差异;另外,吡嗪和顺式-茉莉酮仅在原产地凤凰的样品中检出,其他两地未检出^[21]。郑挺盛等发现和传统单枞相比,在重发酵单枞茶叶中,香精油总量占总挥发性成分比例夏茶和暑茶要高于春茶和秋茶,其中夏、暑茶中芳樟醇及其氧化物占总挥发性成分的69.77%,高出其他3种茶类约10%^[22]。方世辉等研究了茶树品种、加工工艺和季节对乌龙茶品质的影响,研究表明,鲜叶中醇系香气总量有明显的季节性差异,游离态为春季>夏季>秋季,键合态为春季>秋季>夏季;加工过程中,游离态和键合态醇系香气成分呈现不同的动态变化趋势^[23]。

2.2 加工工艺对乌龙茶香气成分的影响 乌龙茶加工工序包括:原料→晒青→做青→杀青→包揉→干燥,目前对于各个工序对乌龙茶香味成分的影响研究较多,通用的方法是改变不同的工艺条件,SDC-GC法分析不同工艺条件下制得的茶叶香气成分。结果综述如下:

2.2.1 晒青对乌龙茶香气成分的影响。晒青是乌龙茶加工中关键工序之一,是形成香气和滋味的基础。王日为等以梅占鲜叶为原料研究认为,晒青使柠檬醛、苯甲酸顺-3-己烯酯、橙花叔醇、水杨酸顺-3-己烯酯、顺-3-己烯酯、乙酸顺-3-己烯酯、芳樟醇、乙酸苯甲酯、己酸顺-3-己烯酯、α-法呢烯等含量增加,乙苯含量减少^[24]。伍锡岳等以清香型乌龙茶为研究对象,发现晒青使橙花叔醇、芳樟醇氧化物、3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇、顺茉莉酮、香叶醇等含量增加,使2,6-二叔丁基对甲酚、α-萜品醇、芳樟醇等香气物质减少,总的趋势是使低沸点香气成分减少,使高沸点香气成分含量增加^[13]。苗

爱清等以岭头单枞为研究对象,发现晒青使己醛、(顺)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、橙花叔醇、α-法呢烯、植醇等含量增加^[25]。

2.2.2 做青对乌龙茶香气成分的影响。做青是乌龙茶独有的工艺,它由摇青和静置(摊放)交替进行,是乌龙茶香气形成的重要阶段。做青是形成乌龙茶类醚浸出物或芳香物质含量比其他茶类高的重要原因。在做青过程中,低沸点的青草气成分得以挥发和转化,高沸点的花果香成分显露出来;同时,伴随着内含物质的一系列变化,新的芳香物质大量形成。其中苯乙醛、芳樟醇、吡嗪、己酸-3-己烯酯、法尼烯、茉莉内酯、橙花叔醇、苯甲酸-3-己烯酯、植物醇等乌龙茶特征香气增加明显^[26]。

魏新林等也分析了岭头单枞乌龙茶在不同温湿度环境下做青香气组分的变化,认为高温低湿做青芳香物质种类少,精油总量低,特征组分含量;中温中湿做青芳香物质种类多,含量高,且独有一些赋予愉快香气的芳香成分;低温和中湿做青均有利于芳香物质的积累^[27]。黄福平等以武夷肉桂鲜叶为原料,采用3种做青强度对做青过程中香气组成的动态变化进行分析,结果表明,己醛、正戊醇、芳樟醇氧化物I、芳樟醇氧化物II、(Z)-己酸-3-己烯酯+苯乙醛、α-法呢烯、香叶醇、苯乙醇、β-紫罗酮、茉莉酮、橙花叔醇、吡嗪等香气组分随做青强度增加而积累,品质也相应提高^[28]。金心怡等研究了毛蟹鲜叶对恒温恒风和恒温无风2种做青环境进行比较研究,结果表明,恒温恒风调控方式能有效降低叶层空气相对湿度,改善空气质量,降低做青投资成本和能耗^[29]。郑鹏程研究不同摇青次数时乌龙茶品质的影响,在春、夏、秋3个季节,对同一批次的鲜叶分别进行不同摇青次数处理(2次、4次、6次),结果表明,3个季节中的6次摇青处理均在香气组分数量和香精油总量上高于其他处理,其规律为6次>4次>2次。感官审评结果亦表明,6次摇青处理制得的乌龙茶感官品质优于其他对照组,其中秋茶6次摇青品质最好^[30]。

2.2.3 杀青对乌龙茶香气成分的影响。杀青的作用是破坏酶活性,固定茶叶品质。伍锡岳等研究认为,杀青使芳樟醇及其氧化物、橙花叔醇、香叶醇、己醛、庚醛、4-甲基-3-戊烯-2-酮、3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇、反-2-己烯醛等含量增加,而使顺茉莉酮、吡嗪、棕桐酸甲酯等含量减少^[13]。苗爱清等通过对岭头单枞茶叶的研究认为,杀青叶与杀青前比,能使高沸点香精油略减,低沸点香精油略增加^[25]。

2.2.4 包揉对乌龙茶香气成分的影响。苗爱清等通过对岭头单枞茶叶的研究认为,包揉使香精油总量减少,使己醛、(顺)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、芳樟醇及其氧化物(I、II、IV)、己酸己酯、3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇、(顺)-己酸-3-己烯酯、(反)-己酸-3-己烯酯、α-法呢烯、δ-杜松烯、苯乙炔、2,6-二叔丁基-4-乙基苯酚、橙花叔醇、茉莉酮、β-紫罗酮、吡嗪、3-己烯醇苯酯等含量减少,使1-戊烯-3-酮、(反,反)-2,4-庚二醛、(反,顺)-2,4-庚二醛、植醇等含量增加^[25]。藤原贤昌等以水仙为原料,研究发现延长包揉时间后,感官评审感到有蒸焖味,化学成分上则有烘烤味感成分增加的趋向^[31]。

2.2.5 干燥对乌龙茶香气成分的影响。T. Takeo 研究认为,

乌龙茶在干燥过程中,产生具焙炒香的 1-乙基吡咯-2-醛等化合物^[7]。伍锡岳研究认为,干燥使橙花叔醇、香叶醇、茉莉酮、芳樟醇及其氧化物、己酸-顺-3-己烯酯、反-2-己烯醛等含量增加,高温复焙使 3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇、芳樟醇及其氧化物、 α -萜品醇、(顺)3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、 β -蒎烯、香叶醇等含量增加,尤其是 3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇大量增加。使己醛、反-2-己烯醛、茉莉酮、橙花叔醇等含量减少,尤其是橙花叔醇^[13]。苗爱清等以岭头单枞茶叶为研究对象,发现高温干燥处理使 4-甲基 3-戊烯-2-酮、柠檬烯、(顺)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、芳樟醇及其氧化物(I、II)、3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇、4-氨基-2-甲基-苯酚、 α -萜品醇、丁香酚、棕桐酸甲酯等含量增加,使己醛、橙花叔醇、吡嗪等含量减少,低温干燥处理使芳樟醇及其氧化物(I、II)、水杨酸甲酯、香叶醇等含量增加^[25]。

3 乌龙茶香气成分分析检测方法

3.1 乌龙茶香气成分的提取

3.1.1 减压水蒸气蒸馏法(Steam Distillation under Reduced Pressure, SDRP)。该法也叫连续水蒸汽蒸馏法,是在低压条件下蒸馏茶样,再从馏出液中萃取香气物质的方法。该法可减少对热敏性物质的影响,优点是能较好的反映茶样的香气特征,缺点是需样量大,处理周期长,对酯类香气的捕集十分低下。

3.1.2 同时蒸馏萃取法(Simultaneous Distillation and Extraction, SDE)。该法是将水蒸汽蒸馏与有机溶剂萃取合二为一,是目前应用最为广泛的方法。该法是 1964 年由 Liken 和 Nickerson 发展起来的,又叫 Likens-Nickerson 提取法^[32]。该法将样品的水蒸汽蒸馏和馏分的有机溶剂萃取相互统一。通过蒸馏和萃取反复循环,可使茶精油不断浓缩,甚至可以把 10^{-9} 级浓度的挥发性有机物从脂质或水介质中浓缩数到 10^{-6} 级浓度,对微量成分提取效率高,而且在 10^{-6} 级浓度范围内对大多数有机物仍有定量的提取率,该法是一种全组分的香精油制备法。

这种方法的优点是:需样量少,操作简便,而且能够获得高浓度的香气物质。其缺点是茶样经历较长的高温作用,使某些物质发生变化,尤其是热敏性的香气组分影响较大,所得香精油感官上与茶样香气特征差别较大。

目前,苗爱清等利用 SDE 法萃取了金直、翠玉、白叶单枞和黄金桂在加工中的香气成分^[33]。梁晓岚、魏新林、张方舟等也采用 SDE 法制备岭头单枞等品种乌龙茶的香精油^[34-36]。

3.1.3 固相微萃取(Solid-phase Microextraction, SPME)。固相微萃取技术是 20 世纪 90 年代兴起的一项新颖的样品前处理与富集技术,属于非溶剂型选择性萃取法。分为 3 类:直接萃取(Direct Extraction SPME)、顶空萃取(Headspace SPME)和膜保护萃取(Membrane-protected SPME)^[37]。苏新国等采用 SPME 萃取凤凰单枞香气组分,检测出 41 种香气组分。SPME 法萃取了茶叶自身散发出的香气组分避免了茶叶中易挥发或热不稳定的香气组分被破坏减少了香气组分的测定误差和不稳定性^[38]。

3.1.4 超临界 CO₂ 萃取法。超临界状态的 CO₂ 气流流过茶

样时带走大量的香气物质,减压后被溶解的香气物质从气相中分离出来。该法萃取温度低,无溶剂残留,多应用于茶叶中咖啡因的提取,香味物质的提取集中在红茶和绿茶,在乌龙茶的研究中应用较少。冯耀声、葛毅强、黄赤军等分别采用超临界 CO₂ 萃取成品茶叶中的香气物质等^[39-42]。任健、马宇平等采用超临界 CO₂ 萃取信阳毛尖茶的香味物质^[43-44]。

3.1.5 柱吸附法(TLA)。重松洋子等提出了 PorapakQ 柱吸附-溶剂洗脱法。茶叶用沸去离子水冲泡,滤纸过滤,滤液用水冷却到 40 °C,过吸附柱(28 mm × 250 mm,内装 50 ml PorapakQ),然后用 80 ml 去离子水洗后,吸附柱再用混和溶剂乙醚和异丙烷(1:1)洗脱。这样可以定量地洗脱挥发性香气化合物。洗脱液用无水硫酸钠干燥 12 h,挥发除去溶剂至 1.0 ml,则得到香精油,吸附柱可以用 60 ml 乙醚、80 ml 纯化甲醇、80 ml 去离子水分别洗脱再生^[45]。王日为等采用 XAD-2 吸附剂捕集香气,对乌龙茶摇青工序中挥发性化合物的变化进行了研究^[24]。

3.2 乌龙茶香气成分的定性定量分析 茶叶芳香油的分离鉴定技术,随着气相色谱柱分离效能不断提高而得到不断发展。目前主要采用 PEG-20M、OV-101、OV-17 等石英毛细管色谱柱对香精油组分进行分析,分析时采用的柱温一般为 70 ~ 200 °C,检测器为 FID 型检测器。该法可在 1 个样品中分离出近 100 种香气组分。质谱法、红外光谱法(IR)、紫外光谱法、核磁共振波谱法(NMR)对于有机物具有很强的定性能力,特别适用于单一组分的定性。色谱分析与上述仪器联用,使分离出的香气成分得到快速鉴定,同时结合相对保留值、比保留面积、Kovats 保留指数、程序升温指数等辅助性方法,使鉴定结果更准确^[46-48]。定量分析主要采用归一法、内标法和外标法。

近年来香气成分分析的主要特点是质谱技术的广泛使用,质谱由于灵敏度高,适于微量成分的分析,分析速度和准确性大为提高^[49]。联用的质谱,除了电子撞击电离型质谱(EIM)之外,茶叶香气分析中还采用了化学电离质谱(CIM)和负化学电离质谱(NCIM),其中 NCIM 使用等量的 NO₂ 和 CH₄,以 OH⁻ 作反应离子,不易辨认的碎片离子相应减少,易于识图推知结构,特别适合微量香气成分的结构分析。气象色谱-质联用技术将在香气分析中发挥越来越重要的作用^[50]。

4 小结与展望

近年来我国乌龙茶的研究取得了很大进展,但仍有以下几个方面的问题有待进一步研究探讨:

(1) 样品前处理技术。目前广泛采用的是同时蒸馏萃取技术,这种方法需要使用大量有机溶剂,单位时间内样品处理量低,对于微量半微量成分,经过多步处理后,有时会检测不到。而对于一些新型的前处理技术,如固相微萃取,超临界二氧化碳萃取等,并不能完全克服传统样品前处理技术的缺陷,而且这些技术多依赖特殊的设备,成本较高,不易普及。因而探索新的样品前处理技术仍然是茶叶香气研究中的一个重要环节。

(2) 分析检测技术。针对气相色谱-质谱技术的一些不

足,可以采用更新更先进的分析技术或与其他分析手段相结合能够更好的鉴定乌龙茶香气的化学成分。例如,以全二维气相色谱技术为代表的多维色谱技术能够更加有效的分析复杂体系,灵敏度和分辨率都大大提高;液质联用技术可以直接分析水溶的挥发性半挥发性成分,避免在多次液液萃取的过程中微量成分的损失,简化了繁琐前处理;与气质联用技术互为补充;气相色谱-傅里叶变换红外光谱联用仪(GC-FTIR)虽然灵敏性不如 GC-MS 但能够弥补其无法有效辨别同分异构体的不足。

(3)其他。目前大多以含量多少来决定哪些化学成分赋予乌龙茶以特征香型,然而却忽视了一些起着重要赋香作用的微量甚至痕量的化学成分,对于微量甚至痕量赋香成分的研究有待深入。香气产生的机理仍没有形成统一明确的结论。茶叶自身香气在热水作用下的变化研究较少,这些工作有待进一步的探讨和研究。

参考文献

[1] 陈宗懋. 中国茶经[M]. 上海:上海文化出版社,1991.
 [2] MULDER G J. Vorläufige resultate der Zerlegung verschiedener thierischer stoffe[J]. Annalen der Physik,1838,120(7):443-445.
 [3] 王欢,张振民. 影响茶叶香气的几种因素[J]. 福建茶叶,1997(3):40-42.
 [4] TAKEO T. Variation in amounts of linalol and geraniol produced in tea shoots mechanical injury[J]. Phytochemistry,1981,20(9):2149-2151.
 [5] TAKEO T. Variations in aromatic compound content in non-fermented and semi-fermented tea[J]. Nippon Nogeikagaku Kaishi,1982,56(9):799-801.
 [6] 竹尾忠一,程启坤. 乌龙茶的香气及其特征[J]. 国外农学——茶叶,1984(4):16-22,28.
 [7] TAKEO T,TASHIRO M,IMAMURA Y. Withering effect on the flavor-formation of oolong tea[J]. Agric Biol Chem,1984,48:1083-1085.
 [8] TADAKAZU TAKEO,梁月荣. 乌龙茶和红茶香气的食品化学研究[J]. 福建茶叶,1986(3):40-42.
 [9] 林正奎,华映芳,谷豫红,等. 中国福建铁观音、色种茶、武夷水仙茶和武夷奇种茶的香气成分研究[J]. 植物学报,1984,26(5):513-522.
 [10] 骆少君,濮荷娟,郭雯分. 不同品种乌龙茶香气的特征及其与品质等级的相关性[J]. 福建茶叶,1987(2):11-20.
 [11] 戴素贤,陈国本,崔堂兵,等. 做青强度对岭头单嫩茶香气成分影响的研究[J]. 分析测试学报,1998,17(5):32-35.
 [12] 姚月明,陈永霖. 武夷肉桂名丛的生化特性[J]. 茶叶科学,1989,9(2):151-154.
 [13] 伍锡岳,苗爱清,庞武. 乌龙茶不同做青方法对品质影响的研究[J]. 广东茶叶,2000(1):43-47.
 [14] 黄福平,陈荣冰,梁月荣,等. 乌龙茶做青过程中香气组成的动态变化及其与品质的关系[J]. 茶叶科学,2003(1):31-37.
 [15] 张方舟,陈荣冰,黄福平,等. 春兰及其母本铁观音乌龙茶香气组分分析简报[J]. 福建农业学报,1999(2):33-37.
 [16] 陈悦娇. 不同乌龙茶的香气特征及加工工艺对香气形成的影响研究[D]. 广州:中山大学,2005:30-31.
 [17] 钟萝. 茶叶品质理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1989:12.
 [18] 游小清,王华夫,杨业军. 茶叶中芳樟醇香叶醇及其配糖体的研究进展[J]. 中国茶叶,1994(6):50,36.
 [19] 郭雯飞. 茶叶香气生成机理的研究[J]. 中国茶叶加工,1996(4):34-

37.
 [20] 张文锦,梁月荣,张应根,等. 遮阴对夏暑乌龙茶主要内含化学成分及品质的影响[J]. 福建农业学报,2006,21(4):360-365.
 [21] 戴素贤,谢振伦,谢赤军. 不同地域黄枝香乌龙茶的香气化学组成[J]. 生态科学,1998,17(2):43-48.
 [22] 郑挺盛,张凌云. 不同采摘季节对重发酵单嫩茶香气品质影响研究[J]. 现代食品科技,2007(2):11-15.
 [23] 方世辉,张秀云. 茶树品种、加工工艺、季节对乌龙茶品种影响的研究[J]. 茶叶科学,2002,22(2):135-139.
 [24] 王日为,张丽霞,杨伟丽,等. 乌龙茶做青过程中香气的动态变化规律[J]. 湖南农业大学学报,1999,25(3):194-199.
 [25] 苗爱清,伍锡岳,庞武,等. 岭头单嫩茶晒青香气变化研究[J]. 广东茶叶,2001(4):35-38.
 [26] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2003.
 [27] 魏新林,王元凤,王登良. 做青温湿度对岭头单嫩乌龙茶香气成分的影响[J]. 无锡轻工大学学报,2002(3):224-229.
 [28] 黄福平,陈荣冰,梁月荣,等. 乌龙茶做青过程中香气组成的动态变化及其与品质的关系[J]. 茶叶科学,2003(1):31-37.
 [29] 金心怡,王秀萍,吉克温,等. 气流对做青环境及乌龙茶品质形成的影响[J]. 茶叶科学,2003,23(1):41-45.
 [30] 郑鹏程,宁井铭,赵常锐,等. 不同摇青工艺对乌龙茶品质的影响[J]. 安徽农业大学学报,2009,36(1):110-115.
 [31] 藤原贤昌,杨亭栋. 乌龙茶制茶条件的变化对感官评审与香气成分的影响[J]. 福建茶叶,2008(2):12-15.
 [32] LIKENS S T,NICKERSON G B. Gas chromatographic evidence for the occurrence of the hop oil components in beer [J]. Chromatog,1966,21(1):1-5.
 [33] 苗爱清,舒爱民,伍锡岳,等. 乌龙茶加工过程中香气成分变化研究[J]. 中国茶叶,2003(4):8-11.
 [34] 梁晓岚,舒爱民,崔堂兵,等. 乌龙茶的香气分析[J]. 广东茶叶,2000(1):12-15.
 [35] 魏新林,王元凤,王登良. 做青温湿度对岭头单嫩乌龙茶香气成分的影响[J]. 无锡轻工大学学报,2002,21(3):224-229.
 [36] 张方舟,陈荣冰,李元钦,等. 不同湿度做青环境对乌龙茶香气的影响[J]. 福建农业学报,1999,14(4):34-37.
 [37] 杨通在,罗顺忠. 固相微萃取技术的现状与进展[J]. 环境研究与监测,2006(1):1-7,15.
 [38] 苏新国,蒋跃明,汪晓红,等. 固相微萃取法分析凤凰单嫩乌龙茶香气组分[J]. 食品科学,2005(11):213-216.
 [39] 冯耀声,李军. 茶多酚的超临界萃取法研究[J]. 浙江化工,1995(4):10-13.
 [40] 冯耀声,胡望月. 超临界二氧化碳萃取茶叶中咖啡因的研究[J]. 科技通报,1994,10(1):33-37.
 [41] 葛毅强,蔡同一. 超临界流体萃取技术在农产品加工中的应用[J]. 世界农业,2001(2):45-48.
 [42] 黄赤军,张镜澄. 超临界 CO₂ 提取绿茶芳香物质及咖啡碱的初步试验[J]. 中国茶叶,1990(1):22-23.
 [43] 任健,杨京,刘钟栋. 超临界 CO₂ 萃取毛尖茶香味成分的研究[J]. 粮油食品科技,2004,12(3):44-45.
 [44] 马宇平,岳田利,毛多斌. “湖南毛尖”香味成分的超临界 CO₂ 萃取及在烟草中的应用[J]. 烟草科技,2006(6):30-34.
 [45] 重松洋子,下田满哉. 红茶香气成分的比较分析[J]. 日本食品工业学会志,1994,4(11):768-777.
 [46] 汪正范. 色谱定性及定量[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
 [47] 汪正范. 杨树民. 气相色谱联用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
 [48] 刘虎威. 气相色谱方法及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
 [49] 李明君. 茶叶香气研究进展[J]. 国外农学——茶叶,1984(4):1-15.
 [50] 傅若农. 色谱分析概论[M]. 北京:化学工业出版社,2000.

(上接第 16327 页)

影响较明显,以下部叶表现尤为突出,但对其烘烤过程中的变化趋势几乎没有影响。

参考文献

[1] 苏德成. 中国烟草栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2005:92.
 [2] BACON C W,WENGER R,BULLOCK J F. Chemical changes in tobacco during flue-curing [J]. Ind Eng Chem,1952,44(2):292-296.
 [3] 赵铭钦. 不同烘烤条件下烟叶中有机物质含量变化的研究[J]. 河南农业大学学报,1996(3):227-231.
 [4] 李常军,官长荣,李锐,等. 烘烤过程中烟叶蛋白质与硝态氮代谢规律

研究[J]. 河南农业大学学报,2000(1):47-49.
 [5] 董志坚,陈江华,官长荣. 烟叶烘烤过程中不同变黄和定色温度下主要化学成分变化的研究[J]. 中国烟草科学,2000(3):21-24.
 [6] 官长荣,李常军,李锐,等. 烟叶在烘烤过程中氮代谢的研究[J]. 中国农业科学,1999(6):89-92.
 [7] 王瑞新,韩富根,杨素琴,等. 烟草化学品质分析法[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1990.
 [8] 孙立娟,李虎林,金哲,等. 不同成熟度烤烟外观特征及化学成分的变化[J]. 湖北农业科学,2008(3):318-320.
 [9] 朱忠,洗可法,尚希勇. 中上部不同成熟度烤烟烟叶与主要化学成分和香味物质组成关系的研究[J]. 中国烟草学报,2008,14(1):6-12.