

烤烟质体色素及多酚与外观质量关系研究

过伟民¹, 张 骏², 刘 阳¹, 宋纪真¹, 魏春阳¹, 李玉娥¹, 尹启生¹

1 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州市枫杨街2号 450001;

2 上海烟草(集团)公司技术中心, 上海市长阳路77号 200082

摘要:为揭示调制后烟叶外观质量差异形成的可能原因,选择外观质量不同的烤烟样品,研究了不同色域、成熟度和油分烟叶中质体色素和多酚的含量特点,并利用典型相关分析研究了质体色素和多酚含量与外观质量各指标分值之间的关系。结果表明:随烟叶色域转深类胡萝卜素含量有增加的趋势,叶绿素和多酚含量则逐渐降低;成熟度对各质体色素和多酚类物质含量的影响不尽相同;多数质体色素和多酚类物质含量都随油分水平的提高而显著下降。典型相关分析结果也显示,调制后烟叶外观质量尤其是油分和颜色与质体色素和多酚关系密切。

关键词:烤烟;质体色素;多酚;外观质量;典型相关;

中图分类号:TS441

文献标示码:A

文章编号:1004-5708(2009)01-0033-08

Research on relationship between sensory quality and plastid pigment and polyphenol in flue-cured tobacco

GUO Wei-min¹, ZHANG Jun², LIU Yang¹, SONG Ji-zhen¹, WEI Chun-yang¹, LI Yu-e¹, YIN Qi-sheng¹

1 Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China;

2 Shanghai Tobacco(Group) Corporation, Shanghai 200082, China

Abstract: In order to reveal the reason for appearance discrepancy formed in flue-cured tobacco, leaves of different appearance quality were selected, plastid pigment and polyphenol content of different color gamut, maturity and oil content were investigated. Relationship between plastid pigment and polyphenol content and appearance quality indices were studied by canonical correlation analysis. Results showed that when color gamut turned deep, content of carotenoid increased while that of chlorophyll and polyphenol decreased. Effects of maturity on content of plastid pigment and polyphenol varied. A majority of plastid pigment and polyphenol significantly decreased when oil content in tobacco leaves improved. Appearance quality, especially oil content and color, were closely related to plastid pigment and polyphenol in canonical correlation analysis.

Key words: flue-cured tobacco; plastid pigment; polyphenol; appearance quality; canonical correlation

烟叶外观质量是其内在化学成分的外在表现,二者之间的关系分析及综合评价是烟叶质量评价的重要内容之一。有研究表明,烟叶成熟度与还原糖含量呈极显著正相关关系,与挥发碱和总氮含量呈负相关关系^[1];烟碱、总氮随烟叶红色色度的上升显著上升,而

黄色色度与饱和度则随总糖、还原糖、糖碱比的提高而上升^[2]。这些针对烟叶外观质量与内在质量关系的研究多集中于烟叶常规化学成分,而烟叶的外观质量尤其是颜色与质体色素和多酚等化合物关系密切,有学者尝试使用多酚的 HPLC 谱图通过模糊综合评价的模式识别技术定量研究烟叶颜色的相似性特征^[4-5],但由于方法本身的缺陷以及仅考虑了多酚类物质使结果有一定的局限性。鉴于此,本研究收集同一产地、同一栽培措施下的初烤烟叶,按照部位、颜色、成熟度和油分等外观质量指标制备不同外观质量样品群,采用典型相关分析研究了质体色素和多酚类物质与外观质量的关系,旨在为研究调制后烟叶外观质量差异形成的可能原因提供科学依据。

作者简介:过伟民,男,在读硕士研究生,研究方向为烟草农业, Tel: 0371-67672750; E-mail: guoweimin1984@vip.sina.com

尹启生(通讯作者),男,研究员,主要从事烟叶生产技术研究,优质烟叶开发,烟叶质量评价等工作。

Tel: 0371-67672311; E-mail: yinqs@ztri.com.cn

基金项目:上海烟草集团基金资助项目“以产地特色为导向的烟叶原料主要理化成分适宜区间的研究”

收稿日期:2008-06-11

1 材料与方法

1.1 材料

收集许昌襄城县同一栽培技术下的初烤烟叶,品种为中烟100,按照GB2635-92烤烟标准,结合制备不同外观质量特征烟叶样品目的,由3名烤烟分级专家按照部位、颜色分组,按照成熟度、油分2个主要品质指标进行单样品制备,共制备8组23个烟叶样品,样品制备情况见表1。

表1 不同烤烟样品外观质量指标

组别	编号	色域	成熟度	油分	部位
1	1	浅桔黄	好	多	中部
	2	浅桔黄	一般	多	中部
	3	浅桔黄	差	多	中部
2	4	浅桔黄	好	有	中部
	5	浅桔黄	一般	有	中部
	6	浅桔黄	差	有	中部
3	7	浅桔黄	一般	少	中部
	8	浅桔黄	差	少	中部
4	9	桔黄	好	多	上部
	10	桔黄	一般	多	上部
	11	桔黄	差	多	上部
5	12	桔黄	好	有	上部
	13	桔黄	一般	有	上部
	14	桔黄	差	有	上部
6	15	桔黄	好	稍有	上部
	16	桔黄	一般	稍有	上部
	17	桔黄	差	稍有	上部
7	18	深桔黄			上部
	19	桔黄			上部
	20	浅桔黄			上部
8	22	桔黄			中部
	23	浅桔黄			中部
	24	柠檬黄			中部

1.2 外观质量鉴定方法

参照文献[3]方法进行。

1.3 质体色素及多酚测定方法

1.3.1 质体色素

高效液相色谱法,在文献[6-7]基础上略作修改。样品前处理:样品磨碎后过100目筛,使用感量为0.1 mg的天平称取样品2.00 g置于50 mL三角瓶,加入30 mL丙酮(-20℃下存放),超声波萃取1 h,在-20℃条

件下静置1 h,取10 mL至离心管,加入0.10 g醋酸铅,10000 r/min的转速于4℃低温离心10 min,用0.45 μm针头过滤器过滤进样,每个样品平行测定3次后取平均值。整个处理过程在避光条件下进行。液相色谱条件:色谱柱为Sunfire C₁₈反相色谱柱(150 mm × 3.9 mm, 5 μm)。流动相:A,甲醇:异丙醇(体积比为1:1);B,超纯水(R>18 MΩ)。流速:0.5 mL/min。梯度洗脱:0~10 min(90% A + 10% B);10~27 min(100% A);27~30 min(90% A + 10% B),平衡5 min后自动进下一样。进样量:10 μL。柱温:25℃。各组分在最大波长下提取色谱图计算峰面积定量,各组分校正曲线R²>0.99。甲醇、异丙醇为Baker公司生产的色谱纯试剂;叶绿素a、叶绿素b、叶黄素、β-胡萝卜素等标准物由日本WAKO公司生产,纯度>95%。

1.3.2 多酚

高效液相色谱法,参照行业标准^[8]。

1.4 数据处理

采用SPSS15.0对数据进行分析处理。

2 结果

2.1 不同外观质量烤烟样品描述统计

对所有样品的外观质量指标分值、质体色素以及多酚类物质含量的原始数据进行描述统计分析,结果见表2。从表2可以看出,各外观质量指标分值存在广泛的变异,其中颜色的变异系数最小,说明所选样品颜色与烟叶基本色泽相比纯度较好,与制备样品初衷相一致;油分和色度变异系数最大,达到17%;色度、油分和成熟度的峰度系数为负值,说明它们的数据为平阔峰,比较分散,颜色数据则相对集中;颜色、油分和成熟度均为负向偏态峰,色度为正向偏态峰。

质体色素中叶绿素的变异系数最大,但其含量最小,仅为色素总量的3%~7%,各类胡萝卜素含量变异系数相差不大,说明类胡萝卜素在烟叶中分布较稳定;β-胡萝卜素是含量最高的质体色素,占色素总量的50%以上;质体色素数据多为尖峭峰,分布相对集中。多酚类物质中绿原酸的含量最高,约为多酚总量的60%,其余除芸香苷外含量都较低;苜蓿亭的变异最大,但其含量仅为多酚总量的0.3%,山奈酚糖苷和绿原酸的变异相对较小;烟叶中多酚类物质总量远远高于质体色素,约为其含量的300~400倍。

表 2 烤烟样品各指标描述统计分析

指标	变幅	均值	标准差	变异系数(CV)	偏度系数	峰度系数
色度	5.00~8.20	6.38	1.07	0.17	0.15	-1.22
颜色	7.50~9.00	8.35	0.36	0.04	-0.55	0.27
油分	4.70~8.60	7.23	1.26	0.17	-0.85	-0.49
成熟度	6.50~9.20	8.11	0.77	0.09	-0.79	-0.19
叶绿素($\mu\text{g/g}$)	4.49~10.84	7.00	1.54	0.22	0.62	1.75
叶黄质($\mu\text{g/g}$)	37.23~71.84	57.06	7.24	0.13	-0.34	1.42
β -胡萝卜素($\mu\text{g/g}$)	45.26~82.80	65.55	7.71	0.12	-0.16	1.91
类胡萝卜素($\mu\text{g/g}$)	82.49~154.64	122.19	14.07	0.12	-0.24	2.65
类胡萝卜素/叶绿素	13.91~25.45	17.90	2.60	0.15	2.37	7.55
绿原酸(mg/g)	21.99~29.70	25.40	2.06	0.08	0.40	-0.12
茛菪亭(mg/g)	0.11~0.19	0.16	0.02	0.13	-0.31	-0.38
山奈酚糖苷(mg/g)	0.78~1.04	0.90	0.06	0.07	-0.07	-0.54
新绿原酸(mg/g)	2.16~3.21	2.59	0.26	0.10	0.32	0.12
咖啡奎尼酸(mg/g)	3.37~4.89	4.02	0.37	0.09	0.22	0.08
芸香苷(mg/g)	8.77~12.45	10.59	0.94	0.09	0.00	-0.10
多酚总量(mg/g)	37.89~49.23	43.67	2.96	0.07	0.07	0.05

2.2 不同外观质量烤烟样品质体色素和多酚含量分析

2.2.1 不同色域烤烟样品质体色素和多酚含量分析

不同色域烤烟样品质体色素含量见图 1。上部深桔黄烟叶类胡萝卜素含量最高,达到 $124 \mu\text{g/g}$,分别比桔黄和浅桔黄烟叶高 13%和 8%,类胡萝卜素和叶绿素的比值分别高 73%和 46%;叶绿素是烤后烟叶中含量极微的物质,随色域加深有降低的趋势,含量最高的桔黄烟叶比深桔黄烟叶高约 50%。中部叶类胡萝卜素含量随色域加深上升趋势更加明显,含量最低的柠檬黄烟叶仅为桔黄烟叶的 $2/3$,叶绿素含量随色域

加深有小幅上升,类胡萝卜素与叶绿素比值则相差不大。

多酚类物质含量见图 2。上部叶随色域加深多酚总量有降低的趋势,含量最高的浅桔黄烟叶比桔黄烟叶高 12%,深入分析可看出浅桔黄烟叶绿原酸含量较高是其多酚总量高的重要原因,茛菪亭含量则随色域转深而逐渐上升,深桔黄烟叶含量达到 0.18 mg/g ,浅桔黄烟叶仅为其含量的 60% (0.11 mg/g)。其余多酚类物质含量差异不大;中部叶同样是色域最浅的柠檬黄烟叶多酚总量最高,达到 51 mg/g ,比桔黄烟叶高 16%,并且这种差异仍然主要由绿原酸引起。

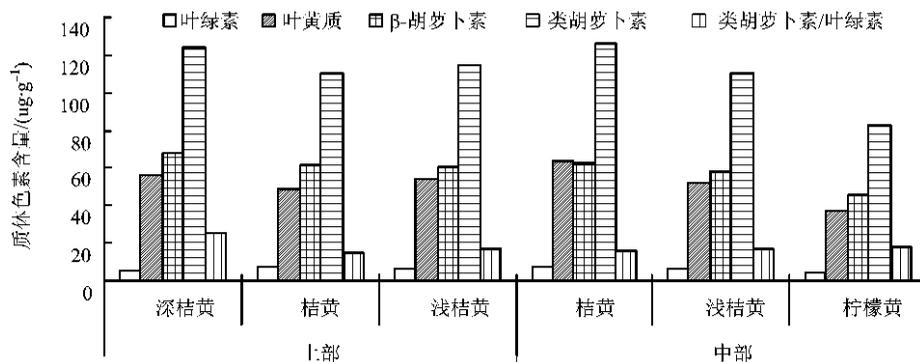


图 1 不同色域烤烟质体色素含量分布

2.2.2 不同成熟度烤烟质体色素和多酚含量分析

不同成熟度烤烟样品质体色素含量见图 3。总体而言,上部叶随成熟度的提高,各类胡萝卜素含量呈上升趋势,特别是烟叶油分含量多时,成熟度好的烟叶类

胡萝卜素总量比成熟度差的烟叶提高约 10%,类胡萝卜素和叶绿素的比值提高 13%,但随油分的下降,这种趋势有所减弱,当油分含量为稍有时,成熟度一般的烟叶类胡萝卜素含量最高,达到 $147 \mu\text{g/g}$,比成熟度差

的烟叶高 14% ;叶绿素含量在不同成熟度烟叶中差别较小。中部叶质体色素含量变化趋势与上部叶不同 ,当油分水平为少时 ,成熟度差的烟叶类胡萝卜素总量最高 ,达到 155 $\mu\text{g/g}$,而类胡萝卜素和叶绿素的比值随成熟度提高有降低趋势。

多酚类物质含量见图 4 ,多酚类物质含量随成熟度变化趋势各有所异 ,上部叶绿原酸和芸香苷含量随成熟度的提高而下降 ,其余多酚类物质多呈上升趋势 ,

在油分水平为多时 ,成熟度好的烟叶茛菪亭、新绿原酸、咖啡奎尼酸含量分别比成熟度差的烟叶高 29%、8%和 9% ,但由于绿原酸和芸香苷在多酚类物质中比例较高 ,多酚总量随成熟度的提高亦呈下降趋势。中部叶多酚类物质含量变化趋势与上部叶基本相同 ,但当油分水平为少时 ,成熟度差的烟叶各种多酚类物质含量较成熟度一般的烟叶有所降低。

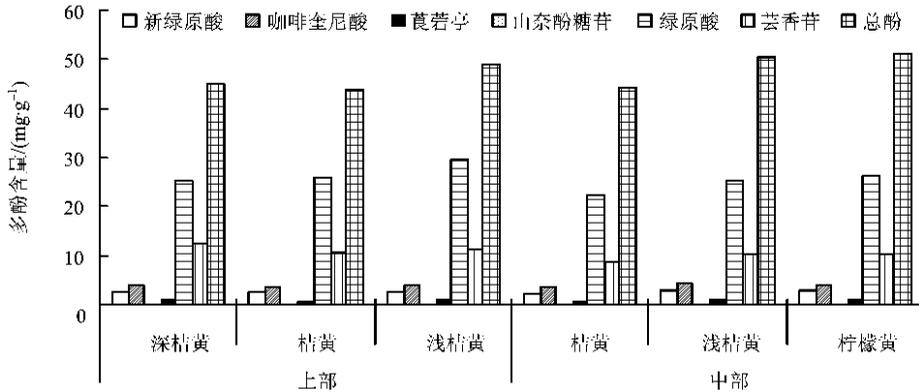


图 2 不同色域烤烟多酚含量分布

注：茛菪亭含量相对较低，在图中不易分辨。

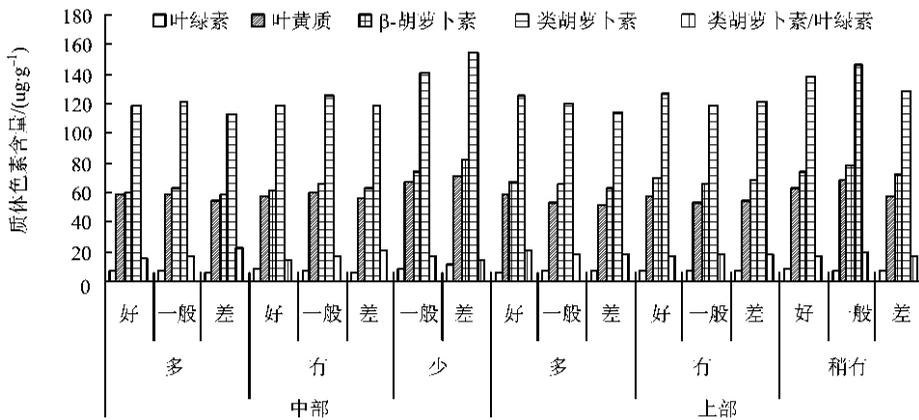


图 3 不同成熟度烤烟质体色素含量分布

2.2.3 不同油分烤烟质体色素和多酚含量分析

不同油分烤烟质体色素含量见图 5。2 个部位烟叶质体色素含量均随油分水平的降低而显著上升 ,上部叶成熟度由好到差 ,油分水平最低的烟叶类胡萝卜素总量分别比油分水平最高的烟叶高 10%、22% 和 12% ;叶绿素随油分水平下降而上升的幅度高于类胡萝卜素 ,从而使类胡萝卜素和叶绿素的比值随油分的

降低而有所降低。

多酚类物质含量随油分水平的变化见图 6 ,随油分水平的下降 ,各种多酚类物质都表现出与质体色素同样的变化趋势 ,并且这种趋势在上部叶表现的更加明显 ;中部叶成熟度较差时 ,油分水平一般的多酚类物质含量最高。

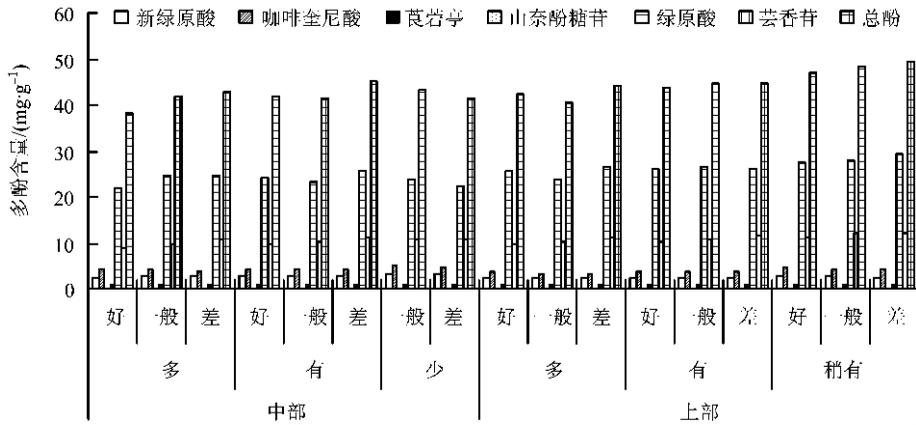


图4 不同成熟度烤烟多酚含量分布
注:萘苣亭含量相对较低,在图中不易分辨。

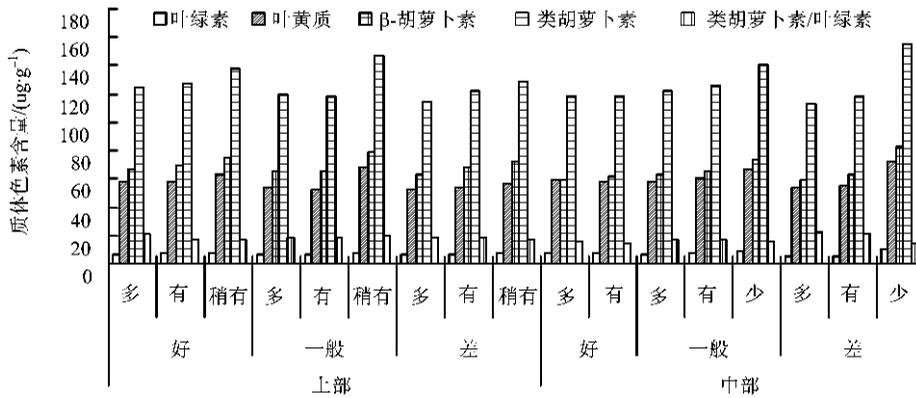


图5 不同油分烤烟质体色素含量分布

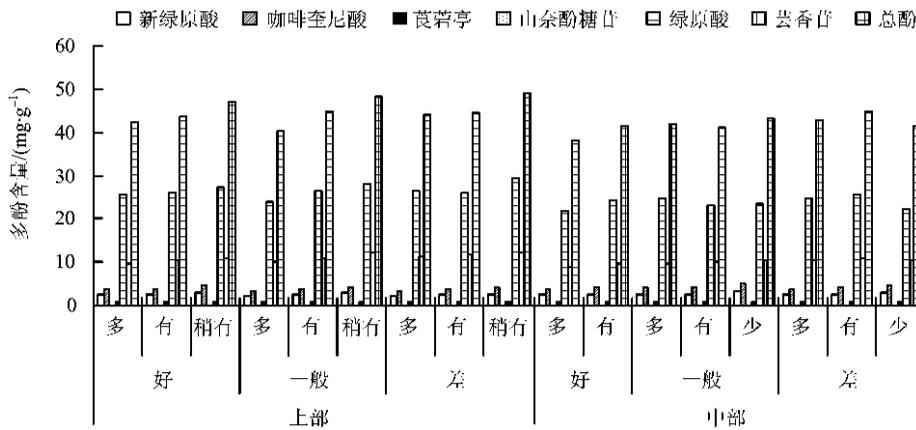


图6 不同油分烤烟多酚含量分布
注:萘苣亭含量相对较低,在图中不易分辨。

2.3 质体色素和多酚含量与外观质量指标分值的典型相关分析

2.3.1 质体色素含量与外观质量指标分值的典型相关分析

典型相关分析方法是研究2组指标(变量)的一

种多变量统计方法,其目的是寻找一组指标的线性组合与另一组指标的线性组合,并使2组之间的相关达到最大^[9]。将烟叶中各质体色素含量作为第I组变量,外观质量指标中色度、颜色、油分和成熟度分值作为第II组变量进行典型相关分析,表3列出了所有4

对典型变量的显著性和各原始变量的标准化典型权重以及在典型变量 U、V 上的载荷(或权重)系数。

第 1 对典型变量相关系数为 0.822,显著性水平 0.006,累计代表 2 组变量总相关信息的 66.57%。说明在第 1 对典型相关变量中,质体色素第 I 典型变量 U1 对外观质量第 I 典型变量 V1 的影响极大。在 U1 的线性组合中,根据载荷系数判断各指标相对作用大小依次为:类胡萝卜素/叶绿素 > 叶绿素 > 叶黄质 > 类胡萝卜素 > β -胡萝卜素,其中类胡萝卜素/叶绿素的载荷系数达到 0.612,在第 I 典型变量中起主要作用;对 V1 做类似的分析可知,它与颜色和色度有较高的载荷系数,分别为-0.669 和-0.462,说明烟叶中类胡萝卜素和叶绿素的比值与其颜色状况密切相关。

第 2 对典型变量相关系数为 0.649,累计代表总相

关信息的 89.84%。基本反应 2 组变量的大部分相关信息,质体色素第 II 典型变量 U2 对外观质量第 II 典型变量 V2 的影响较大($P = 0.100$)。在 U2 的线性组合中, β -胡萝卜素和类胡萝卜素载荷系数分别为 -0.867 和 -0.712,在第 II 典型变量中起主要作用;V2 中油分和色度的载荷系数较高,分别为 0.898 和 0.886。可见烟叶中 β -胡萝卜素和类胡萝卜素的含量对烟叶的油分和色度影响较大,并且影响效果相反。

第 3 对典型变量主要体现了烟叶叶黄质含量与成熟度的正相关关系,但因其相关系数显著性水平较低,可认为二者之间并没有表现出明显的相关性。

第 4 对典型变量的相关系数较低,不具有统计学意义。

表 3 质体色素含量与外观质量指标的典型相关分析

典型变量	第 1 对典型变量		第 2 对典型变量		第 3 对典型变量		第 4 对典型变量	
	典型权重	载荷系数	典型权重	载荷系数	典型权重	载荷系数	典型权重	载荷系数
叶绿素	4.834	-0.325	0.654	-0.449	-2.944	-0.511	-1.969	-0.148
叶黄质	-1.969	-0.126	0.714	-0.505	-0.283	-0.652	1.744	0.544
β -胡萝卜素	-1.189	-0.021	-1.786	-0.878	1.422	-0.420	0.016	0.368
类胡萝卜素	0	-0.051	0	-0.731	0	-0.561	0	0.477
类胡萝卜素/叶绿素	3.841	0.612	0.558	0.092	-2.290	0.044	-0.699	0.352
色度	-1.575	-0.462	0.706	0.850	-0.313	0.061	-1.337	-0.205
颜色	0.122	-0.669	-0.518	0.555	1.345	-0.019	-1.816	-0.732
油分	1.147	0.195	0.511	0.898	0.409	0.313	-0.201	0.013
成熟度	0.436	-0.317	0.360	0.535	-1.568	-0.572	0.091	-0.584
典型相关系数	0.822		0.649		0.491		0.091	
显著性水平	0.006		0.100		0.305		0.694	

注:类胡萝卜素与其它色素呈极显著正相关,典型权重在统计分析过程中未给出。

2.3.2 多酚含量与外观质量指标分值的典型相关分析

多酚含量与外观质量指标分值的典型相关分析结果见表 4。各种多酚类物质与外观质量指标的 4 对典型变量中,前 2 对典型变量相关系数较大,所包含的相关信息占 2 组变量总相关信息的 91.58%。

第 1 对典型变量的相关系数为 0.901,显著性水平 0.003,说明多酚的第 I 典型变量 U1 对外观质量的第 I 典型变量 V1 影响极大。在 U1 的线性组合中,芸香苷和山奈酚糖苷的载荷系数最大,分别达到 -0.839 和 -0.722,在第 I 典型变量中起主要作用;V1 中起主要作用的是颜色和色度,载荷系数分别为 0.973 和 0.892,说明 V1 主要体现了调制后烟叶颜色的综合状况。可见多酚类物质尤其是芸香苷和山奈酚糖苷与烟

叶颜色的综合状况密切相关。

第 2 对典型变量的相关系数为 0.834,显著性水平 0.079,说明多酚的第 II 典型变量 U2 对外观质量的第 II 典型变量 V2 作用较大。U2 中起主要作用的是咖啡奎尼酸和新绿原酸,载荷系数均为 0.771;V2 的线性组合中只有油分的载荷系数较高(-0.649),说明烟叶中这 2 种多酚类物质对烟叶油分有较强的作用,并且作用相反。

第 3 对典型变量主要反应了茛菪亭和绿原酸与成熟度的关系,虽然相关系数达到 0.637,但显著性水平较低,因此可以认为茛菪亭和绿原酸与成熟度没有表现出明显的相关性。

第 4 对典型变量载荷系数绝对值普遍低于 0.5,未发现明显相关变量。

表4 多酚与外观质量指标的典型相关分析

典型变量	第1对典型变量		第2对典型变量		第3对典型变量		第4对典型变量	
	典型权重	载荷系数	典型权重	载荷系数	典型权重	载荷系数	典型权重	载荷系数
绿原酸	-9.218	-0.287	-13.112	0.175	15.486	0.447	29.295	-0.478
莨菪亭	0.018	0.038	0.107	0.430	-0.814	-0.831	-0.684	0.323
山奈酚糖苷	-0.520	-0.722	-0.648	0.499	0.689	0.242	-1.861	-0.295
新绿原酸	-1.208	-0.337	-1.191	0.771	0.610	0.028	-0.809	0.293
咖啡奎尼酸	-2.144	-0.349	-2.256	0.771	4.404	0.113	1.935	0.279
芸香苷	-5.623	-0.839	-6.839	-0.073	7.219	0.069	-0.208	-0.409
总酚	13.557	-0.490	19.133	0.284	-21.717	0.359	2.468	-0.434
色度	0.998	0.973	0.052	-0.067	1.132	-0.113	1.198	0.223
颜色	0.375	0.892	-0.067	0.313	-0.295	-0.516	-2.2	-0.153
油分	-0.165	0.593	-0.853	-0.649	-0.573	-0.230	0.065	0.288
成熟度	-0.372	0.638	0.808	0.583	-1.132	-0.721	1.068	0.318
典型相关系数	0.901		0.834		0.637		0.391	
显著性水平	0.003		0.079		0.314		0.589	

3 讨论

质体色素和多酚类物质作为烟叶中的重要香气前体物和显色物质,不仅能通过转化降解形成重要的致香成分^[10],其在烟叶中的含量和比例对调制后烟叶外观质量同样有重要影响。通过对不同色域的烟叶分析后看出,色素和多酚含量的差异很大程度上决定了调制后烟叶色域的深浅,一般认为调制过程中多酚类物质能通过酶促棕色化反应转化形成醌类等棕色色素使烟叶颜色转深,本研究得出随烟叶色域转深,多酚类物质尤其是绿原酸含量下降较明显的结论,这可能是色域较深的烟叶调制过程中多酚类物质通过酶促棕色化反应较多的降解形成了棕色色素,从而使多酚含量大大降低;类胡萝卜素是调制后烟叶黄色品质得以体现的基本物质,烟叶从田间采收到调制结束,类胡萝卜素占色素总量的比例从38%提高到76%^[11],本研究得出干烟叶中类胡萝卜素含量占色素总量90%以上,与Burton等^[12]研究结论相同,并定量证明了类胡萝卜素含量及其与叶绿素的比值随色域加深而上升的趋势。

成熟度是烟叶质量的主要因素,与烟叶的色香味关系密切。本研究挑选不同成熟度烟叶进行分析后发现,部位间质体色素和多酚含量随成熟度的变化趋势不同,上部叶类胡萝卜素及其与叶绿素的比值都随成熟度的提高而上升,中部叶在成熟度一般时类胡萝卜素含量较高;多酚类物质中绿原酸和芸香苷含量与成熟度的变化呈负相关关系,其余多酚类物质尤其是莨菪亭含量随成熟度提高上升趋势比较明显。

质体色素和多酚类物质随油分的增加都呈比较明

显的下降趋势,有研究表明油分分值与外观质量指标中色度分值呈极显著正相关^[3],从而分析质体色素和多酚含量可能对调制后烟叶色度分值产生一定的负面作用,这在之后的典型相关分析中得到了证明。

典型相关分析可反映一些变量作为一个整体与另一些变量作为另一个整体的内在联系,色素和多酚以及烟叶外观质量指标内部之间都存在较强的相关性,采用典型相关分析可避免片面夸大这些相关,从而真实的体现二者之间的关系。解释典型变量中原始变量的相对重要性时,一般采用标准典型载荷系数或典型权重^[13-14],本研究中由于原始变量数量级差异较大,采用典型载荷系数衡量各典型变量的代表性。

通过对质体色素含量与外观质量指标分值的典型相关分析可以看出,类胡萝卜素和叶绿素的比值与颜色和色度分值呈显著负相关关系, β -胡萝卜素和类胡萝卜素含量则与烟叶油分水平的变化趋势相反。多酚类物质中山奈酚糖苷和芸香苷含量与调制后烟叶颜色和色度分值呈极显著负相关关系,各类多酚物质尤其是咖啡奎尼酸和新绿原酸则与烟叶油分的负相关关系更加突出。莨菪亭还与成熟度有一定的正相关关系。

总的看来,本研究中2种分析方法取得了较为一致的研究结论,初步探讨了调制后烟叶外观质量与重要化合物体色素和多酚的关系,但由于样本取自于同一地点,未考虑生态环境因素的影响,这是否会对结果产生影响,有待深入分析加以验证;另外是否可采用适当的统计学方法建立烟叶外观质量指标与质体色素和多酚含量的数学模型,都需要进一步加以研究。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 张长云,周淑平,田晓霞,等. 初烤烟叶颜色与化学成分关系分析[J]. 广西农业科学, 2007, 38(6): 621-624.
- [3] 蔡宪杰,王信民,尹启生. 烤烟外观质量指标量化分析初探[J]. 烟草科技, 2004(6): 37-42.
- [4] 毛友安,刘魏,董道竹,等. 用高效液相色谱法和模式识别技术定量表征烟叶颜色相似性研究[J]. 分析测试学报, 2007, 26(4): 468-472.
- [5] Dagnon S, Zaprianova P, Edreva A. Colour and aroma in virginia tobaccos as influenced by the polyphenol and essential oil cultivar characteristics: a chemometric approach[J]. Biotechnol & Biotechnol Eq, 2006, 20(1): 23-29.
- [6] 刘国顺,韦凤杰,王芳,等. 反相高效液相色谱法测定烤烟叶片发育过程中的类胡萝卜素类物质[J]. 色谱, 2006, 24(2): 161-163.
- [7] 韦凤杰. 饼肥对烤烟质体色素变化和品质形成的影响及其生理机制[D]. 郑州:河南农业大学, 2006.
- [8] 谢复炜,李栋,王晟,等. YC/T202-2006 烟草及烟草制品多酚类化合物绿原酸、芸香苷和茛菪亭的测定.
- [9] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2004: 220-244.
- [10] Curt R Enzell, Inger Wahlberg. Tobacco isoprenoids-precursors of important aroma constituents[J]. Pure&Appl Chem, 1990, 62(7): 1353-1356.
- [11] 杨立均,高长荣,马京民. 烘烤过程中烟叶色素的降解及于化学成分的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2002, 23(2): 5-7.
- [12] Burton H R, Kasperbauer M J. Changes in chemical composition of tobacco laminar during senescence and curing 1. Plastid pigment[J]. Agric Food Chem, 1985, 33: 897-901.
- [13] 林英华,张夫道,杨学云,等. 农田土壤动物与土壤理化性质关系研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(6): 871-877.
- [14] 秦松,刘大翠,刘静,等. 土壤肥力对烟叶化学成分及品质的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 901-905.
- [5] 王海英,许亦农. 缺磷胁迫下烟草叶片磷脂酰甘油(PG)含量降低的分子机理[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(6): 643-648.
- [6] 焦玉生,王鹏,刘含东,等. 植烟土壤速效磷含量及变化规律的研究[J]. 中国烟草科学, 2007(1): 36-39.
- [7] 吕永华,高淑涛,郭庆荣,等. 土壤水分状况与烤烟生长及磷肥利用的关系[J]. 中国烟草科学, 2006(1): 45-47.
- [8] 邵岩,周清明,黄成江,等. 云南植烟土壤磷素肥力状况[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007(4): 423-426.
- [9] 金成忠,许德威. 作为根系活力指标的伤流液简易收集法[J]. 植物生理通讯, 1959(4): 51-53.
- [10] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1991.
- [11] 单长卷,徐新娟,王光远,等. 冬小麦幼苗根系适应土壤干旱的生理学变化[J]. 植物研究, 2007, 27(1): 55-58.
- [12] Lisa C W, Sebastien P C R, Ribriowx, et al. Phosphate availability regulates root system architecture in Arabidopsis[J]. Plant Physiol, 2001, 126: 875-882.
- [13] 郭再华,贺立源,徐才国. 水稻耐低磷特性研究[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(6): 681-685.
- [14] 孙海国,张福锁. 缺磷胁迫下的小麦根系形态特征研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 295-299.
- [15] Cakmak I, Hengeler C, Marschner H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency [J]. Exp Bot, 1994, 45: 1245-1250.
- [16] 曹仪植,宋占午. 植物生理学[M]. 兰州:兰州大学出版社, 1998: 24-28.
- [17] 吕家珑,张一平,刘思春,等. 施磷水平对 SPAC 水分能量特征的影响[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 217-226.
- [18] 赵荣芳,邹春琴,张福锁. 长期施用磷肥对冬小麦根际磷、锌有效性及其作物磷锌营养的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(13): 368-372.

[上接第 32 页]