

引用格式:

夏春, 李寒雪, 孙觅, 曹明锋, 刘园, 刘欢, 雷晓, 何佶弦, 景延秋, 程玉渊, 杨益芬. 烤烟不同部位叶片超微结构与常规化学成分的关系[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(2): 150-156.

XIA C, LI H X, SUN M, CAO M F, LIU Y, LIU H, LEI X, HE J X, JING Y Q, CHENG Y Y, YANG Y F. Ultrastructural differences of flue-cured tobacco from different stalk positions and their relationship with chemical components[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(2): 150-156.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



烤烟不同部位叶片超微结构与常规化学成分的关系

夏春¹, 李寒雪², 孙觅², 曹明锋³, 刘园⁴, 刘欢²,
雷晓¹, 何佶弦¹, 景延秋⁵, 程玉渊^{4*}, 杨益芬^{6*}

(1.中国烟草总公司四川省公司, 四川 成都 610000; 2.河南中烟工业有限责任公司, 河南 郑州 450002; 3.湖南省烟草公司常德市公司, 湖南 常德 415000; 4.河南省烟草公司南阳市公司, 河南 南阳 473000; 5.河南农业大学烟草学院, 河南 郑州 450002; 6.成都海关技术中心, 四川 成都 610041)

摘要:采用数字化图像方法对烤烟不同部位叶片细胞超微结构进行量化,分析细胞面积、细胞周长、细胞形状因子、液泡面积、细胞壁厚度、液泡面积与细胞面积比值与烤烟化学成分的关系。结果表明:烤烟叶片表面细胞轮廓清晰,细胞壁内侧均有细胞核、叶绿体、线粒体等贴壁分布,中央大液泡填充于细胞中间;烤烟上部叶细胞面积、液泡面积、周长较小,细胞壁厚度较大;中部叶细胞面积、液泡面积、周长、细胞壁厚度较小;下部叶液泡面积、细胞壁厚度、液泡面积与细胞面积比值较大;烤烟叶片细胞壁厚度与蛋白质、氯含量呈正相关,与总糖含量呈负相关;细胞面积、细胞周长、细胞形状因子与烟碱、总氮含量呈正相关;细胞面积、液泡面积与还原糖含量呈正相关;细胞形状因子、液泡面积与细胞面积比值和蛋白质含量呈负相关。

关键词:烤烟;叶片细胞;超微结构;量化;化学成分

中图分类号: S572.01 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2020)02-0150-07

Ultrastructural differences of flue-cured tobacco from different stalk positions and their relationship with chemical components

XIA Chun¹, LI Hanxue², SUN Mi², CAO Mingfeng³, LIU Yuan⁴, LIU Huan², LEI Xiao¹,
HE Jixian¹, JING Yanqiu⁵, CHENG Yuyuan^{4*}, YANG Yifen^{6*}

(1.Sichuan Branch of China Tobacco Corporation, Chengdu, Sichuan 610000, China; 2.Henan Zhongyan Industry Co. Ltd, Zhengzhou, Henan 450002, China; 3.Changde Branch of Hunan Tobacco Corporation, Changde, Hunan 415000, China; 4.Nanyang Branch of Henan Tobacco Corporation, Nanyang, Henan 473000, China; 5.College of Tobacco, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China; 6.Chengdu Customs Technology Co. Ltd Technology Center, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: The cell ultrastructural images of different parts of flue-cured tobacco were quantified by digital quantitative image method, the relationship between cell area, cell perimeter, cell shape factor, vacuole area, cell wall thickness, ratio of vacuole area to cell area and chemical composition index of flue-cured tobacco quality was analyzed. The results showed that the cell outline on the surface of flue-cured tobacco leaves was clear, there were obviously cell nucleus, chloroplast,

收稿日期: 2019-11-08

修回日期: 2020-01-15

基金项目: 四川省烟草公司泸州市公司项目(202051050024019); 中国烟草总公司四川省烟草公司项目(2019410102000453); 河南中烟工业有限责任公司项目(2019410001340094); 湖南省烟草公司常德市公司项目(2018430700240157); 河南省烟草公司南阳市公司项目(2018411301240127); 四川省烟草公司广元市公司项目(202051080024063)

作者简介: 夏春(1982—), 男, 重庆人, 硕士, 主要从事烟叶生产管理研究, xc16125369@163.com; *通信作者, 程玉渊, 高级农艺师, 主要从事烟叶生产管理研究, nyyyjszx@163.com; *通信作者, 杨益芬, 农艺师, 主要从事烟草分析检测, 1060205122@qq.com

mitochondria and other adherent distribution on the inner side of cell wall, and the central large vacuole filled the cells in the middle. The cell area, vacuole area and cell perimeter in the upper leaves of flue-cured tobacco were small, and the cell wall thickness was large; the cell area, vacuole area, cell perimeter and cell wall thickness in the middle leaves were small; the vacuole area, cell wall thickness and the ratio of vacuole area to cell area in the lower leaves was large. The thickness of cell wall is positively correlated with the contents of protein and chlorine, and negatively correlated with the content of total sugar; the cell area, cell perimeter, and cell shape factor are positively correlated with the contents of nicotine and total nitrogen; the cell area, vacuole area are positively correlated with the content of reducing sugar; the cell shape factor and the ratio of vacuole area to cell area are negatively correlated with protein content.

Keywords: flue-cured tobacco; leaf cell; ultrastructure; quantification; chemical composition

朱尊权^[1]、于华堂等^[2]的研究表明,烟叶成熟度、叶片结构与细胞形态特征具有密切关系,细胞的大小和排列方式决定了叶片结构的疏密程度,不同成熟度烟叶的叶片结构疏密程度不同。时向东等^[3]研究了烤烟叶片生长发育过程中细胞超微结构变化,结果表明,随着叶长的增加,栅栏细胞的体积逐渐增大,叶绿体结构逐渐完善,淀粉粒和嗜锶颗粒体积逐渐增大,烟叶适熟采收时,叶绿体数量减少,淀粉粒和嗜锶颗粒充实细胞内部,烟叶产量和质量达到最佳;而嗜锶物质与淀粉粒不仅与烤烟香气质量具有一定联系^[4],还可能与烟叶叶绿体代谢、烟叶风格的形成有关。滑夏华等^[5]对比分析了河南与云南烤烟生长发育过程中叶片超微结构的差异,认为两地烟叶在生长发育过程中叶片超微结构的变化规律相似;生育前期叶绿体内淀粉粒和嗜锶颗粒较少;生育中期表现为淀粉粒较多、嗜锶颗粒较少;生育后期叶绿体降解速度较慢,嗜锶颗粒较少。云南烟叶生育期较长,叶绿体代谢较活跃,这可能是云南烟叶风格为清香型的形成原因之一。过伟民等^[6-8]通过对烤后烟叶进行扫描电镜观察,已初步建立细胞形态特征指标的量化方法,探讨不同产地、不同部位间烟叶表面微观形态特征的相似性和差异性,并试图建立烤烟叶片微观结构与物理、外观品质间的关系模型。笔者对不同部位烤烟叶片超微结构进行量化处理,探讨烤烟不同部位间叶片超微结构的差异,采用典型相关分析方法,分析超微结构指标与烤烟常规化学成分含量的关系,旨在明确与烤烟品质指标相关的细胞指标,为从微观角度改善烤烟化学品质提供新的研究途径。

1 材料与方法

1.1 材料

以河南登封市大金店、石道、颍阳和君召镇 4

个植烟区种植的豫烟 6 号品种为材料,于适熟期取下部(叶位 5~7)、中部(叶位 8~12)和上部(13~18)鲜烟叶用于透射电子显微镜观察;采摘后统一标记编杆入烤房烘烤。

1.2 方法

1.2.1 烟叶超微结构观察及指标的量化

在烤烟叶片主脉中部附近切取 2 mm×2 mm 材料,参照文献^[5]的方法进行固定,于透射电子显微镜(JEM-1400 日本)下观察全细胞、细胞核、叶绿体、线粒体等结构并拍照。采用 Adobe Photoshop CC 2015 软件,基于像素比值法^[9-12],对每个图像中细胞面积(X_1)、细胞周长(X_2)、细胞因子(X_3)、液泡面积(X_4)、液泡面积与细胞面积比值(X_5)、细胞壁厚度(X_6)等指标进行量化。

1.2.2 烤烟化学常规成分含量的测定

剔除有明显病斑或因烘烤因素造成糟片、挂灰的烤烟,送交河南省郑州市黄金叶技术指导中心,按叶位测定烟叶常规化学成分蛋白质(Y_1)、钾(Y_2)、氯(Y_3)、还原糖(Y_4)、总糖(Y_5)、烟碱(Y_6)、总氮(Y_7)含量。

1.3 数据处理

采用 SPSS 18.0 软件对数据进行方差分析、简单相关分析和典型相关分析。

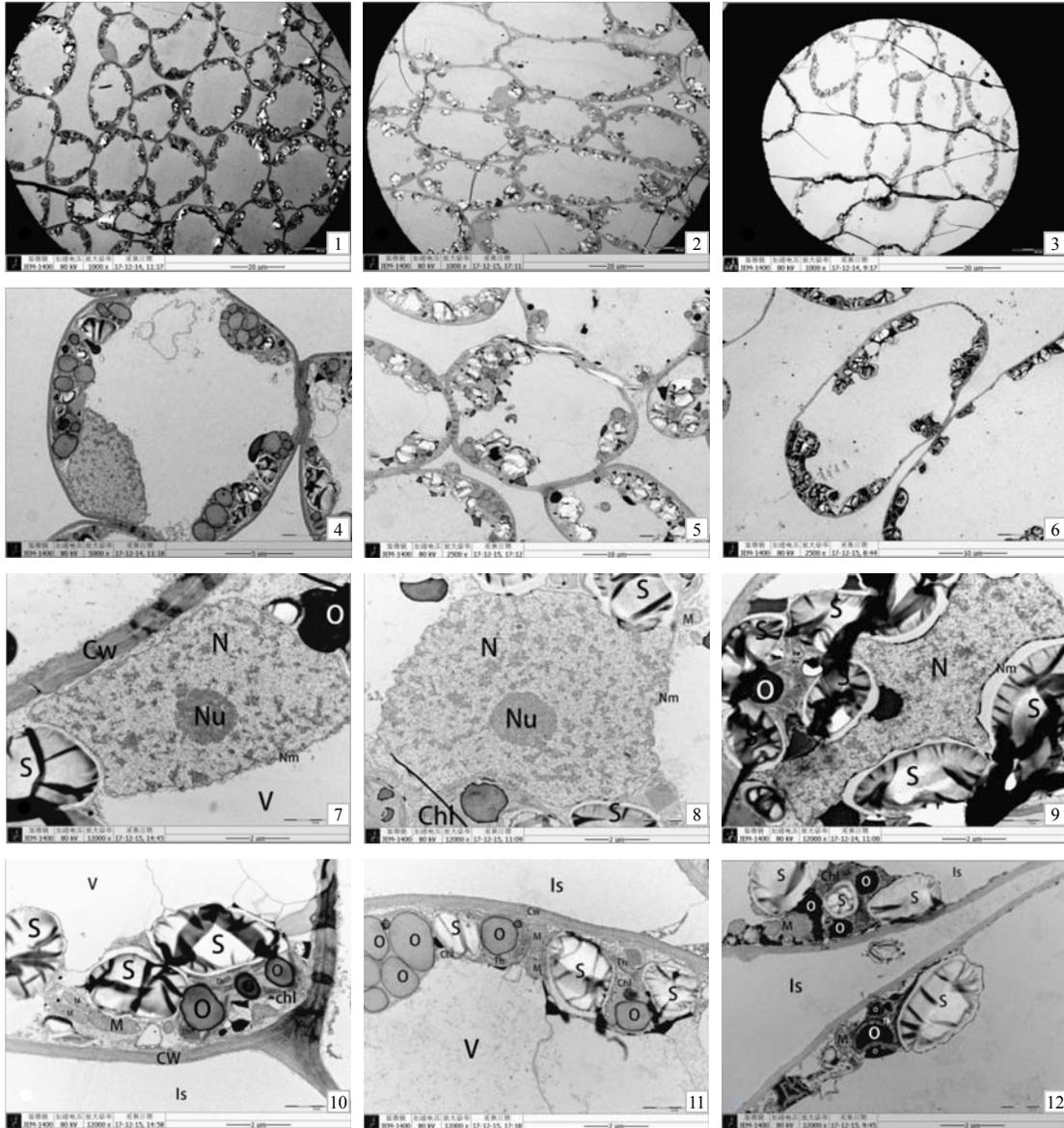
2 结果与分析

2.1 烤烟不同叶位叶片超微结构的差异

观察烤烟叶片超微结构,中、下部叶细胞与上部叶对比略偏椭圆,排列与上部叶相似(图 1-1、2、3);叶片表面细胞轮廓清晰(图 1-4、5、6),细胞壁内部均明显有细胞核、叶绿体、线粒体等贴壁分布,

中央液泡填充细胞中部(图 1-4、5、6);上部叶细胞呈圆形且排列紧密、整齐(图 1-1、4、7);叶肉细胞细胞核染色质凝聚随叶位升高而有所加剧(图 1-7、8、9),叶绿体外膜和类囊体片层均出现降解现象,叶绿体外观模糊,类囊体结构松散,叶绿体周围均有少数线粒体分布,且其内部均含有清晰的淀粉粒

和嗜钨颗粒(图 1-10、11、12),叶肉细胞内器官状态随着叶位升高而更好,淀粉粒和嗜钨颗粒含量也随着叶位升高而升高。叶肉细胞电镜图像量化结果表明,液泡面积与细胞面积的比值从大到小依次为下部叶、中部叶、上部叶,说明随着叶位的上升,叶肉细胞细胞器、淀粉粒、嗜钨颗粒等物质越丰富。



1、2、3 烤烟上、中、下部叶细胞排列情况;4、5、6 烤烟上、中、下部叶单个细胞超微结构形态;7、8、9 烤烟上、中、下部叶细胞核超微结构形态;10、11、12 烤烟上、中、下部叶细胞器超微结构形态。

Cw 细胞壁; Is 细胞间隙; Chl 叶绿体; M 线粒体; Th 基质类囊体; O 嗜钨颗粒; S 淀粉粒; V 液泡; N 细胞核; Nm 核膜; Nu 核仁。

图 1 烤烟不同叶位叶片的超微结构

Fig. 1 Ultrastructural morphology of leaves in different leaf positions of flue-cured tobacco

采用最小显著差异法,对不同叶位烤烟叶片细胞超微结构量化指标进行方差分析和多重比较,结果(表 1)表明,上部叶细胞面积最大,下部叶周长最

大,中部叶细胞面积、周长最小,且上部叶细胞面积显著大于中部叶,细胞周长极显著大于中部叶;细胞因子变化很小,且均接近 1,形状相对规

则；下部叶液泡面积最大，中部叶液泡面积最小，且下部叶液泡面积积极显著大于中部叶；下部叶液泡面积与细胞面积的比值最大，上部叶最小，且下部

叶极显著大于上部叶；下部叶细胞壁厚度最大，中部叶细胞壁厚度最小，且下部叶细胞壁厚度极显著大于上、中部叶。

表 1 烤烟不同部位叶片超微结构指标的量化结果

Table 1 Quantitative results of ultrastructural indexes of flue-cured tobacco leaves in different parts

部位	细胞面积	细胞周长	细胞因子	液泡面积	液泡面积/细胞面积	细胞壁厚度
上部叶	2 128.85Aa	184.74Aa	1.21	1 155.75AaBb	0.55Bb	0.61Bb
中部叶	1 791.65Bb	169.23Bb	1.21	1 054.19Bb	0.59AaBb	0.57BbCc
下部叶	1 969.41AaBb	186.28Aa	1.37	1 189.56Aa	0.61Aa	0.83Aa

同列数字大写字母表示差异显著($P < 0.01$)，小写字母者表示差异极显著水平($P < 0.05$)。

2.2 不同部位烟叶的常规化学成分的差异

不同部位烟叶的常规化学成分含量及多重比较结果如表 2 所示。下部叶蛋白质、钾、氯含量极显著高于中部叶和上部叶，中部叶与上部叶的差异无统计学意义；上部叶烟碱、总氮含量极显著高于中部叶和上部叶，中部叶与上部叶的差异无统计学意义；中部叶还原糖含量极显著高于下部叶和上部

叶，下部叶和上部叶的差异无统计学意义；上部叶与中部叶总糖含量极显著大于下部叶，上部叶与中部叶之间的差异无统计学意义。综上，上部叶烟碱和总氮含量较高，钾含量较低；中部叶还原糖和总糖含量较高，蛋白质、氯、总氮含量较低；下部叶蛋白质、钾和氯含量较高，还原糖、总糖和烟碱含量最低。

表 2 不同部位烟叶的常规化学成分含量

Table 2 Conventional chemical composition indexes in different parts of flue-cured tobacco %

叶位	蛋白质	钾	氯	还原糖	总糖	烟碱	总氮
上部叶	8.70aA	1.16B	0.99B	22.08B	28.70aA	3.13A	1.97A
中部叶	8.17bA	1.18B	0.94B	26.05A	29.58bA	2.28B	1.54B
下部叶	10.66B	1.41A	1.65A	20.84B	25.47B	2.21B	1.64B

同列数字后大写字母表示差异达到极显著水平($P < 0.01$)，小写字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$)。

2.3 描述性统计分析

对细胞结构量化结果和烤烟常规化学成分指标进行描述性统计分析，结果(表 3)表明，细胞指标变异系数大小依次是细胞因子、细胞壁厚度、液泡面积和细胞面积、细胞周长、液泡面积/细胞面积；烤烟常规化学成分指标变异系数大小依次是氯、

钾、烟碱、总氮、蛋白质、还原糖、总糖。除烤烟指标总糖偏度系数小于 0，为左偏峰外，细胞指标以及其余烤烟指标均大于 0，为右偏峰，其细胞指标中细胞因子和细胞壁厚度与烤烟指标中钾和氯的偏度系数较大，正向偏态较明显；细胞指标中，细胞面积、细胞周长与液泡面积/细胞面积的峰度系

表 3 烟叶细胞微观结构量化结果与常规化学成分描述性统计

Table 3 Quantitative results of cell microstructure and descriptive statistical analysis of conventional chemical components

指标	观测数	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数	偏度	峰度
X_1	90	987.82	3 039.79	1 963.30	368.36	0.19	0.03	-0.08
X_2	90	121.46	261.84	180.08	30.28	0.17	0.18	-0.56
X_3	90	0.63	2.70	1.26	0.33	0.26	1.34	5.08
X_4	90	374.14	1 812.97	1 133.17	217.23	0.19	0.00	2.96
X_5	90	0.38	0.81	0.58	0.09	0.15	0.33	-0.47
X_6	90	0.38	1.48	0.67	0.17	0.25	1.65	6.00
Y_1	90	6.08	12.84	9.16	1.47	0.16	0.29	-0.20
Y_2	90	0.59	2.64	1.25	0.31	0.25	1.45	4.50
Y_3	90	0.68	2.49	1.18	0.38	0.32	1.30	1.54
Y_4	90	16.71	32.15	23.02	3.45	0.15	0.48	-0.54
Y_5	90	22.61	33.34	27.90	2.49	0.09	-0.21	-0.71
Y_6	90	1.80	3.77	2.54	0.56	0.22	0.79	-0.69
Y_7	90	1.05	2.73	1.71	0.32	0.19	0.58	0.31

数小于0,为平阔峰,数据较为分散,剩余指标峰度系数大于0,为削尖峰,数据较为集中。综上,细胞指标和烤烟各指标均呈正态分布,表明数据稳定性较好,具有较好的统计学意义。

2.4 烤烟叶片超微结构指标与常规化学成分的典型相关分析

将烤烟叶片细胞量化指标细胞面积、细胞周长、细胞因子、液泡面积、液泡面积/细胞面积、细

胞壁厚度作为第1组变量,烤烟常规化学成分指标蛋白质、钾、氯、还原糖、总糖、烟碱与总氮作为第2组变量进行典型相关分析,结果列于表4。典型变量I和典型变量II均达到极显著相关水平,相关系数 λ 分别为0.692和0.630;典型变量III和典型变量IV均达到了显著相关水平,相关系数 λ 分别为0.379和0.320,后2组的典型相关系数则不显著,因此选择典型变量I、II、III、IV进行分析。

表4 烟叶细胞微观结构量化结果与常规化学成分指标的典型相关

变量	m_I	r_I	m_{II}	r_{II}	m_{III}	r_{III}	m_{IV}	r_{IV}	m_V	r_V	m_{VI}	r_{VI}
X_1	-0.597	-0.099	0.253	0.747	4.323	0.524	0.516	-0.284	-1.854	0.080	-4.610	0.264
X_2	1.403	-0.329	0.010	0.890	-1.726	0.029	0.528	0.249	-4.385	-0.077	5.821	0.178
X_3	-1.311	-0.426	0.608	0.603	0.705	-0.322	0.151	0.575	3.192	-0.089	-4.417	-0.113
X_4	-0.165	-0.376	0.376	0.335	-2.683	0.587	-0.903	0.186	5.029	0.339	1.696	0.502
X_5	0.113	-0.372	-0.581	-0.488	2.523	0.237	1.436	0.686	-3.34	0.192	-0.756	0.243
X_6	-0.877	-0.939	-0.226	-0.112	-0.097	0.091	-0.516	-0.215	-0.404	-0.083	0.072	0.21
Y_1	0.101	-0.587	0.403	0.324	-0.227	-0.187	-1.040	-0.646	-0.178	-0.039	-0.317	-0.038
Y_2	-0.172	-0.498	0.105	0.357	-0.114	-0.263	-0.137	-0.098	-0.259	-0.207	-0.632	-0.333
Y_3	-0.982	-0.891	0.220	0.335	0.088	-0.084	1.149	0.000	-0.217	0.254	0.652	0.146
Y_4	0.275	0.437	0.043	0.217	-0.968	-0.759	-0.144	0.241	0.117	-0.286	0.904	0.206
Y_5	-0.085	0.612	0.517	0.433	0.206	-0.179	0.757	0.478	-0.507	-0.317	-0.949	-0.237
Y_6	-0.137	0.370	0.165	0.503	0.535	0.488	0.011	-0.038	-0.931	-0.436	0.746	0.373
Y_7	0.500	0.162	0.548	0.807	-0.079	0.304	-0.374	0.035	1.097	0.420	-0.062	0.129
λ	0.692**		0.630**		0.379*		0.320*		0.177		0.043	

m 典型权重; r 指标与典型变量间的相关系数; λ 细胞指标与烤烟指标间的相关系数。

典型变量I分析结果表明,细胞壁厚度与蛋白质和氯存在较高的负相关,说明随着细胞壁厚度的增加,烤烟中蛋白质和氯含量呈增加趋势,总糖呈降低趋势。典型变量II分析结果表明,细胞面积、细胞周长、细胞因子、烟碱与总氮存在较高正相关,说明随着细胞面积、细胞周长、细胞因子的增大,烤烟中烟碱和总氮含量呈增加趋势。典型变量III分析结果表明,细胞面积和液泡面积与还原糖含量存在较高的负相关,说明随着细胞面积、液泡面积的增大,烤烟中还原糖含量呈降低趋势。典型变量IV分析结果表明,细胞因子和液泡面积/细胞面积与蛋白质含量存在较高的负相关,说明随着细胞因子、液泡面积与细胞面积的比值升高,烤烟中蛋白质含量呈降低趋势。典型变量V、VI相关系数与显著性水平普遍较低,因此可以认为细胞指标与烤烟常规化学成分指标间没有明显相关性。

3 结论与讨论

运用 Adobe Photoshop CC 2015 软件,采用像素比值法对烤烟不同叶位间叶片超微结构进行指标量化。细胞壁决定细胞形状,其主要成分是果胶和纤维素^[13-14],因而影响烤烟的形态结构。烘烤过程中细胞壁物质降解并转化为低糖和单糖物质,烟叶组织结构和细胞骨架结构被破坏,表现为烤烟叶片形态收缩扭曲^[15-16]。本试验结果表明,烤烟不同叶位间细胞壁厚度差异显著,细胞壁厚度与蛋白质和氯含量呈较高正相关,与总糖含量呈负相关。细胞壁越厚,其细胞壁物质含量越高,但对烤烟香气和香气量越不利,使烤烟杂气增加^[17-18]。细胞壁越厚,烤烟的蛋白质、氯含量越高,会使烟叶燃烧性不良,吃味差,刺激性大,品质下降。

上部叶细胞面积积极显著大于中部叶,身份适中与身份较薄的烤烟对比,前者细胞面积较后者大^[7],

所以烤烟上部叶身份普遍较中部叶厚；下部叶和上部叶的细胞周长显著大于中部叶，细胞周长与叶片厚度呈极显著负相关^[8]，所以下部叶和上部叶厚度小于中部叶，这与叶片厚度随着叶位的升高而增加有出入，可能是由于烤烟叶片厚度还和细胞排列方式有关^[8]所致。细胞指标与烤烟常规化学成分指标典型相关分析结果表明，细胞面积、周长与烤烟烟碱和总氮含量呈正相关。细胞面积和周长的值越大，其身份越厚；厚度越大，烟碱、总氮与蛋白质含量随着烤烟叶片厚度变大、身份增厚而变大^[19]；细胞因子越大，细胞偏离圆形程度越大，烤烟叶片厚度越小，身份越薄^[8]。根据这些分析推断，蛋白质、烟碱、总氮含量越高，细胞形状因子应该越小。本试验结果表明，细胞形状因子与蛋白质含量呈负相关关系，这与上述结果一致；细胞形状因子与总氮和烟碱含量呈正相关，这可能是因为烤烟总氮和烟碱含量不仅与烤烟细胞排列和烤烟叶片物理性状有关系，还与其细胞中其他内含物有关^[20]。

从烤烟叶片超微结构图像中可以看出，单个细胞内叶绿体、线粒体、淀粉粒与嗜锇物质贴壁排布，细胞中间由中央大液泡填充。烟叶品质成分中大部分或者全部糖类物质在叶绿体中合成后，一部分储存于叶绿体中，另一部分储存于液泡当中^[21]。本研究表明，细胞中液泡面积越大，叶绿体等细胞器含量越少，烟叶品质成分中糖类物质合成越少，因而液泡面积与细胞面积的比值与烤烟还原糖含量呈负相关。此外，随着液泡面积与细胞面积比值的增加，烤烟蛋白质含量降低，可能是因为液泡面积占细胞面积比值越大，细胞中叶绿体、淀粉粒和嗜锇物质含量越少，淀粉粒和嗜锇物质积累量不足，造成烟叶调制过程中生理生化反应不充分，加大了调制难度所致。在分析烤烟叶片叶绿体、淀粉粒、嗜锇物质和液泡各自面积大小对烤烟常规化学成分影响情况时，需考虑细胞面积指标，需进一步加大研究建立细胞器面积与细胞面积的比值与烤烟品质指标间的数学模型。

参考文献:

- [1] 朱尊权. 提高烤烟质量与分级标准的相互关系: 参加中美烟叶分级研讨会的体会[J]. 烟草科技, 1988, 21(2): 2-5, 22.
ZHU Z Q. The relationship between improving the

- quality and grading standard of flue-cured tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 1988, 21(2): 2-5, 22.
- [2] 于华堂, 李亚龙. 烤烟分级标准教材[G]//郑州: 中国烟草科技信息中心, 1988.
YU H T, LI Y L. Tobacco Grading Standard Textbook[G]//Zhengzhou: China Tobacco Science and Technology Information Center, 1988.
- [3] 时向东, 焦枫, 范豪杰, 等. 烤烟叶片发育过程中栅栏细胞超微结构的变化[J]. 烟草科技, 2010, 43(5): 46-47, 49-50, 54.
SHI X D, JIAO F, FAN H J, et al. Ultramicro structure changes of palisade cell in flue-cured tobacco leaf during growth and development[J]. Tobacco Science & Technology, 2010, 43(5): 46-47, 49-50, 54.
- [4] 焦枫. 皖南两种土壤质地烤烟叶片发育的组织学和细胞学规律研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
JIAO F. study on leaf histological and cytology changes in flue-cured tobacco planted in two soil textures in south anhui during growth and development[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2010.
- [5] 滑夏华, 张松涛, 李肃, 等. 不同生态区烤烟叶片发育超微结构的对比研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(7): 93-96.
HUA X H, ZHANG S T, LI S, et al. Comparative study on cellular ultrastructure of flue-cured tobacco leaves at different developmental stages in different ecological zones[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(7): 93-96.
- [6] 过伟民, 张艳玲, 蔡宪杰, 等. 典型烤烟产区初烤烟叶表面细胞形态特征分析[J]. 烟草科技, 2012, 45(11): 64-68.
GUO W M, ZHANG Y L, CAI X J, et al. Surface cell morphological characteristics of cured tobacco leaves from typical flue-cured tobacco growing areas in China[J]. Tobacco Science & Technology, 2012, 45(11): 64-68.
- [7] 过伟民, 程森, 张骏, 等. 烤烟表面微观结构特征与外观品质的关系[J]. 烟草科技, 2015, 48(8): 1-6.
GUO W M, CHENG S, ZHANG J, et al. Relationship between surface microstructure characteristics and appearance quality of flue-cured tobacco leaves[J]. Tobacco Science & Technology, 2015, 48(8): 1-6.
- [8] 过伟民, 尹启生, 张艳玲, 等. 烤烟部位间叶面微观形态特征的差异及其与部分外观、物理指标的关系[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(1): 62-68.
GUO W M, yin Q S, ZHANG Y L, et al. Surface microscopic morphology characteristics of flue-cured tobacco from different stalk positions and their relationships with selected apparent and physical quality indexes[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(1): 62-68.
- [9] NISHIMOTO S. Modal analysis of granitic rocks by a

- personal computer using image processing software "Adobe photoshop"[J]. *Journal of Mineralogical Petrological and Economic Geology*, 1996, 91(6): 235-241.
- [10] MORSE M J, BOLES J R. Can Adobe Photoshop be used to quantify sandstone porosity[J]. *AAPG Bulletin*, 1998, 85(5A): 854.
- [11] 张学丰, 蔡忠贤, 胡文璋, 等. 应用 Adobe Photoshop 定量分析岩石结构[J]. *沉积学报*, 2009, 27(4): 667-673. ZHANG X F, CAI Z X, HU W X, et al. Using adobe photoshop to quantify rock textures[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(4): 667-673.
- [12] 杨建茹, 陈跃, 管增伟. 对乳腺癌细胞形态定量分析中形状因子参数的研究[J]. *中国医学影像技术*, 2000, 16(2): 130-131. YANG J R, CHEN Y, GUAN Z W. Study on the parameters of shape factor in the quantitative analysis of breast cancer cell morphology[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2000, 16(2): 130-131.
- [13] GOULAO L F, SANTOS J, DESOUSA I, et al. Patterns of enzymatic activity of cell wall-modifying enzymes during growth and ripening of apples[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2007, 43(3): 307-318.
- [14] LI J, ZHANG P P, CHEN J Z, et al. Cellular wall metabolism in *Citrus* fruit pericarp and its relation to creasing fruit rate[J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 122(1): 45-50.
- [15] DENG Y, WU Y, LI Y F. Changes in firmness, cell wall composition and cell wall hydrolases of grapes stored in high oxygen atmospheres[J]. *Food Research International*, 2005, 38(7): 769-776.
- [16] 魏硕, 黄克久, 汪代斌, 等. 变黄期失水胁迫对烤烟上部叶生理和物理特性的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2017, 43(6): 630-634. WEI S, HUANG K J, WANG D B, et al. Effects of dehydration in yellowing stage on physiological and physical properties of tobacco upper leaves during curing[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2017, 43(6): 630-634.
- [17] 王威威, 陈顺辉, 高文霞, 等. 变黄期和定色期不同烘烤工艺对翠碧一号烟叶细胞壁物质的影响[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(5): 1003-1008. WANG W W, CHEN S H, GAO W X, et al. Effects of different curing techniques of yellowing and leaf-drying stage on the cell wall substances in flue-cured tobacco CB-1 leaves[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37(5): 1003-1008.
- [18] 武圣江, 宋朝鹏, 贺帆, 等. 密集烘烤过程中烟叶生理指标和物理特性及细胞超微结构变化[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 125-132. WU S J, SONG Z P, HE F, et al. Changes of cell ultrastructure and some physiological indexes and physical properties of tobacco leaves during bulk flue-curing[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(1): 125-132.
- [19] 王玉军, 谢胜利, 邢淑华, 等. 烤烟叶片厚度与主要化学组成相关性研究[J]. *中国烟草科学*, 1997, 18(1): 11-13. WANG Y J, XIE S L, XING S H, et al. Study on correlation between flue-cured tobacco leaf thickness and main chemical composition[J]. *Chinese Tobacco Science*, 1997, 18(1): 11-13.
- [20] 杨庆民, 刘大双, 代惠娟, 等. 烤后原烟物理性状与化学成分的相关分析[J]. *中国烟草科学*, 2013, 34(2): 5-9. YANG Q M, LIU D S, DAI H J, et al. Correlation analysis between chemical components and physical properties in flue-cured tobacco leaves[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2013, 34(2): 5-9.
- [21] 黄勇, 周冀衡, 刘建利, 等. 不同部位烟叶海绵与栅栏细胞中主要化学成分研究[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(10): 2289-2295. HUANG Y, ZHOU J H, LIU J L, et al. Study on main chemical component of spongy and palisade cells from different leaf position of tobacco[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10): 2289-2295.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维