

网络出版时间:2018-07-30 17:12 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.02.007
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180730.1710.014.html

光照强度对两种土壤类型烟叶褪色的影响

刘 高¹, 胡亚杰², 韦建玉², 黄崇峻², 陈泽鹏³, 王 军⁴, 王 行⁴, 王 维¹
(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2 广西中烟工业有限责任公司, 广西 南宁 530001;
3 中国烟草总公司广东省公司, 广东 广州 510610; 4 广东省烟草南雄科学研究所, 广东 南雄 512400)

【摘 要】【目的】探究烟叶存放过程中光照强度对不同土壤类型烤烟褪色程度的影响。【方法】以“粤烟 97”烤后烟叶 C3F 为试验材料, 研究了 3 种光照强度对 2 种土壤类型产出的烤后烟叶色素含量、色度和色差值的影响, 并对烟叶褪色程度进行划分。【结果】在不同光照条件下, 烤烟的各色素含量、色差值和色度值均有所下降, 随着光照强度的提高, 烤烟的各指标下降越明显。而在同一光照强度处理下, 沙泥田烤烟各指标下降量大于紫色土田烤烟, 其烟叶在强光处理 30 d 时, 类胡萝卜素下降 91.14 $\mu\text{g/g}$, 色差 b 值下降 13.9, 色度 Y 值下降 15.1。通过聚类分析的结果建立了 MLP 神经网络模型, 将烟叶褪色程度分为轻度、中度和重度。【结论】光照强度会导致烤烟色素分解, 且光照强度越大, 褪色越严重; 紫色土田烤烟较沙泥田烤烟不易褪色。

【关键词】 烤烟; 光照强度; 土壤类型; 褪色程度

【中图分类号】 S572.04 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2019)02-0054-07

Effect of light intensity on fading of tobacco leaves in two soil types

LIU Gao¹, HU Yajie², WEI Jianyu², HUANG Chongjun²,
CHEN Zepeng³, WANG Jun⁴, WANG Hang⁴, WANG Wei¹

(1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2 China Tobacco Guangxi Industrial Corporation, Nanning, Guangxi 530001, China; 3 Guangdong Provincial Tobacco Monopoly Administration, Guangzhou, Guangdong 510610, China; 4 Nanxiong Tobacco Science Research Institute of Guangdong Province, Nanxiong, Guangdong 512400, China)

Abstract: 【Objective】 This study explored the effect of light intensity on the discoloration of flue-cured tobacco leaves with different soil types during tobacco storage. 【Method】 The C3F tobacco leaves of Yueyan 97 was used to investigated the effects of three light intensities on the pigment content, chroma and color difference of tobacco leaves from two kinds of soils and the fading degree of tobacco leaves was studied. 【Result】 Under different light conditions, the contents of various pigments, color difference and chroma of flue-cured tobacco decreased. With the increase of light intensity, the decreases of flue-cured tobacco indexes increased. Under same light intensity, the decreases of flue-cured tobacco indexes from sandy muddy field were larger than that of purple soil. The carotenoid from sandy muddy field decreased by 91.14 $\mu\text{g/g}$, the color b value dropped by 13.9, and the chromaticity Y decreased by 15.1. The clustering analysis established MLP neural network model, and divided the fading degree of tobacco leaves into mild, moderate and severe. 【Conclusion】 Light could cause the decomposition of flue-cured tobacco pigment, and the fading in-

〔收稿日期〕 2017-11-09
〔基金项目〕 广西中烟工业有限责任公司科技项目(201645000034020)
〔作者简介〕 刘 高(1992—), 男, 安徽泾县人, 在读硕士, 主要从事烟草优化调控工艺与理论研究。E-mail: liugaoscau@163.com
〔通信作者〕 王 维(1972—), 男, 广东广州人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事烟草栽培学及烟草生理生化研究。
E-mail: wangwei@scau.edu.cn

creased with the increase of light intensity. The fading of flue-cured tobacco in purple soil was less than that in sand soil.

Key words: flue-cured tobacco; light intensity; soil type; fading degree

烤后烟叶颜色不仅是评价烟叶外观质量的重要指标之一,而且能在一定程度上反映烤后烟叶的内在质量。国家烤烟分级标准中,颜色是分级的第二分组要素,而颜色主要是指烤后烟叶的色度^[1]。近些年,在湖南、江西、云南、广东和广西等烟区均有烟叶褪色现象的发生,烤后烟叶褪色现象已成为我国烟叶生产上一个突出问题,褪色烟叶外观表现为“银灰、发白”,降低了烟叶的外观质量和等级结构。传统的依赖感官判断颜色的方法,容易受到多种因素的影响,具有随意性,已经不能满足现代烟草生产对操作精准化的要求^[2]。近年来,通过仪器量化分析烤烟颜色的研究逐渐增多,段史江等^[3]通过图像处理技术提取烟叶的颜色特征,通过建立 BP 神经网络模型和支持向量机模型来精确估测烘烤过程中的烟叶含水量;霍开玲等^[4]通过色差仪研究不同成熟度烤烟在烘烤过程中烟叶颜色变化情况;贺帆等^[5]利用色差仪量化分析烟叶烘烤过程中的颜色参数,通过色差值来预测烟叶化学成分的变化,以实现烘烤过程中烟叶化学成分的实时监测;王长征等^[6]利用 WSL-2 型罗维朋比色计测定不同陈化时间的烤烟颜色,来判断烤烟的褐变程度。通过视觉观察到的烟叶颜色变化是由烟叶所含的质体色素决定的,不同的色素比例形成不同的颜色^[7-8]。有研究表明,色素在自然条件下极不稳定,易受外界环境的影响而发生降解,其中光照和氧气会使色素发生光氧化反应,使色素发生降解^[9-12]。邵兰军等^[13]研究表明,光照强度会显著影响类胡萝卜素的降解,日光照射对类胡萝卜素的破坏作用明显。前人研究表明,颜色值与烤烟色素含量、化学成分以及烤烟品质有着密切的关系^[14-17],不同采收成熟度、不同品种、不同部位的烤烟颜色值有所差异^[18-20]。刘鹏飞等^[21]研究了不同土壤类型对烤烟色素及其降解产物的影响。在烤烟实际生产中发现,不同土壤类型产出烤烟在相同存放条件下褪色程度明显不同。而有关不同光照对不同土壤类型烟叶的褪色,以及色差、色度影响的研究却鲜见报道。为此,本试验设置了不同光照强度,研究其对不同土壤类型产出的烤后 C3F 烟叶色素、色差和色度的影响,旨在为改善烤后烟叶贮藏和判断烟叶褪色程度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 试验材料 田间试验于 2016 年在广东南雄产区进行。选取南雄产区典型的紫色土田和沙泥田进行试验,种植烟草品种为“粤烟 97”,栽培和烘烤均按当地生产技术标准进行,选取烤后烟叶 C3F 为试验材料。室内试验在华南农业大学烟草实验室进行。

1.1.2 主要仪器 日本岛津 UV-1700 分光光度计;电子天平,奥豪斯(上海)公司;WSL-2 比较测色仪,上海昕瑞仪器仪表有限公司;MGC-450HP 人工气候箱,上海一恒科学仪器有限公司;DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;柯尼卡美能达 CR-10 电脑彩色色差计等。

1.2 试验设计

试验设置 2 种土壤类型处理:紫色土(A1)、沙泥田(A2);将 2 种土壤类型的烟叶单张平铺在人工气候箱(相对湿度设置为 60%,温度设置为 25℃)中,设置 3 个光照强度水平:黑暗 0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (B1)、100~120 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (B2)、300~320 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (B3),试验共 6 个处理,每个处理 3 个重复。烤后烟叶在人工气候箱中处理 30 d,分别于处理的 0,5,10,15,20,30 d 时取样,取样后烟叶放回人工气候箱中。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 色素含量的测定 采用分光光度计法^[22]测定叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量。

1.3.2 色差的测定 在处理的烤烟叶片正面,选取叶片的基部、中部和尖部 3 个代表性的点,每次取样时将色差计的测量口垂直轻压在叶片的标记点上,按下测量键测量,得出标记点的色差值(3 次重复)。

1.3.3 色度的测定 将各时期抽取的样品分别于 105℃烘干 1 h 至恒质量,粉碎,过孔径 0.83 mm 筛,准确称取 10 g,加 200 mL 蒸馏水,室温超声 30 min,过滤,取滤液,利用比较测色仪比色测量(3 次重复)^[6]。

1.4 数据处理

试验数据分析和制图采用 SPSS 20.0、Origin-Pro 8.1 和 Excel 2010 等软件。

2 结果与分析

2.1 不同光照强度和土壤类型对烤烟色素含量的影响

由图 1 可知,烤后烟叶类胡萝卜素含量较高,在 107~137 $\mu\text{g/g}$,叶绿素 a 和叶绿素 b 含量较低,均低于 40 $\mu\text{g/g}$ 。随着处理时间的推移,烟叶各色素含量均有一定程度的降低,光照强度越大,色素降解速度越快。各色素中类胡萝卜素降解量最大,A2B3 处理的类胡萝卜素在处理 30 d 时降解量达到了

91.14 $\mu\text{g/g}$,降解率为 84.5%,其叶绿素 a 和 b 仅下降了 26.92 和 26.34 $\mu\text{g/g}$ 。从不同土壤类型看,紫色土田烟叶叶绿素 a 和类胡萝卜素含量高于沙泥田烟叶,紫色土田烟叶的类胡萝卜素含量在 134~137 $\mu\text{g/g}$,而沙泥田烟叶的类胡萝卜素含量在 110 $\mu\text{g/g}$ 。在相同处理时间和相同光照强度下,沙泥田烟叶各色素的降解量要大于紫色土田烟叶,叶绿素 a 和类胡萝卜素的下落趋势基本为前期色素降解快,后期逐渐趋于缓慢。

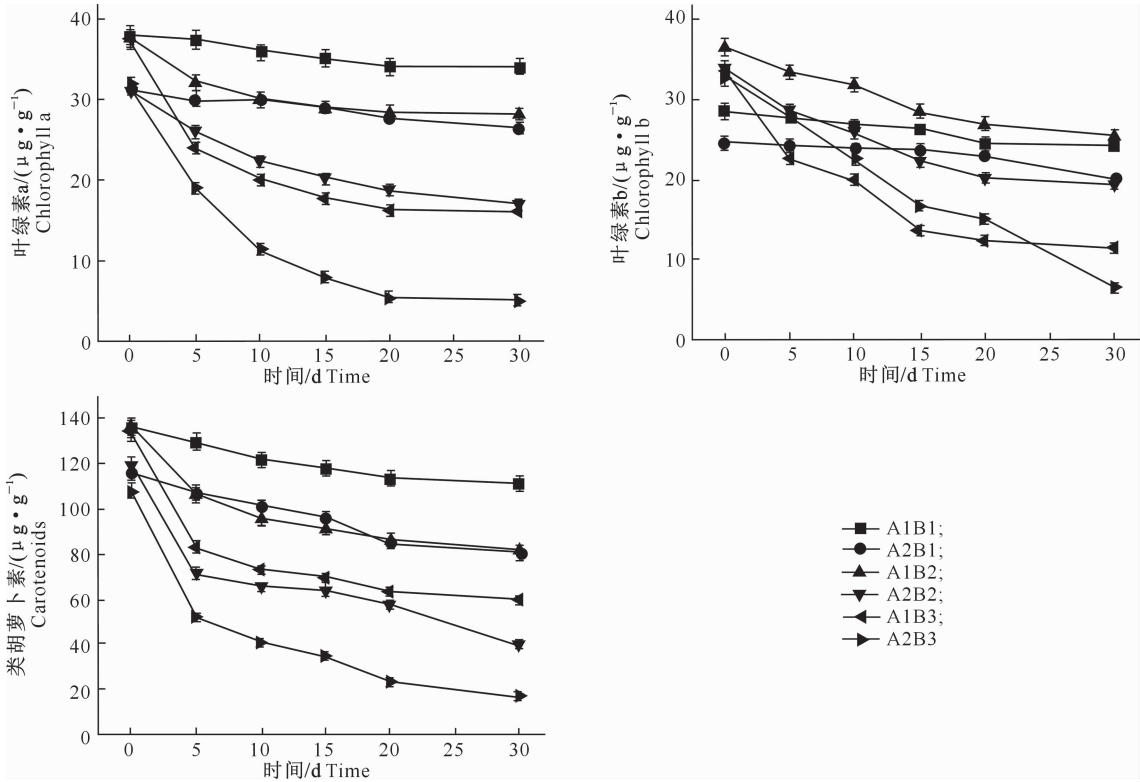


图 1 不同光照强度和土壤类型对烤烟色素含量的影响

Fig. 1 Effect of different light intensities and soil types on pigment content of flue-cured tobacco

2.2 不同光照强度和土壤类型对烤烟色差的影响

L 、 a 、 b 推荐的表色系具有均匀的颜色空间,与人的视觉相一致,可以用来定量表征叶色的色泽特性,其中 L (从黑到白,表示亮度,0~100)、 a (从绿到红, -A~+A)、 b (从蓝到黄, -B~+B) 3 个方向三维立体分别评价。由图 2 可知,在色差值的 3 个指标中, b 值在光照处理下下降最显著,在处理 30 d 时,下降最大的 A2B3 处理 b 值下降达到了 13.9,下降率为 29.0%,而 L 和 a 值仅下降了 4.2 和 3.3,各处理烟叶在 0~10 d 时 b 值下降最快,之后趋于缓慢。这是由于在光照条件下,烤烟类胡萝卜素含量急剧下降,导致烟叶黄度值降低。在相同时间和相同光照处理下,紫色土田烤烟各色差值下降小于沙泥田。

2.3 不同光照强度和土壤类型对烤烟色度的影响

色度值可以准确地反映烟叶的颜色情况,烟叶基本可以用 Y (Yellow)和 R (Red)值来表示, Y 值越大说明烟叶偏黄, R 值越大说明烟叶偏红。由图 3 可知,2 种土壤类型烤烟 Y 值在 20~23, R 值在 6~9,其中紫色土田烤烟的 R 值较大,均在 8 以上。随着光照处理的进行,烤烟各色度值逐渐下降,其中光照对烤烟 Y 值的影响较大,在处理 5~20 d 时, Y 值下降幅度较大。同一土壤类型的烟叶,在相同处理时间时,光照强度越高,烤烟 Y 值下降越大。到处理 30 d 时,A2B3 处理的 Y 值下降最大,为 15.1,烟叶明显泛白,而光照处理对烤烟 R 值的影响较小,紫色土强光处理 30 d 时, R 值仅下降了 2.3。

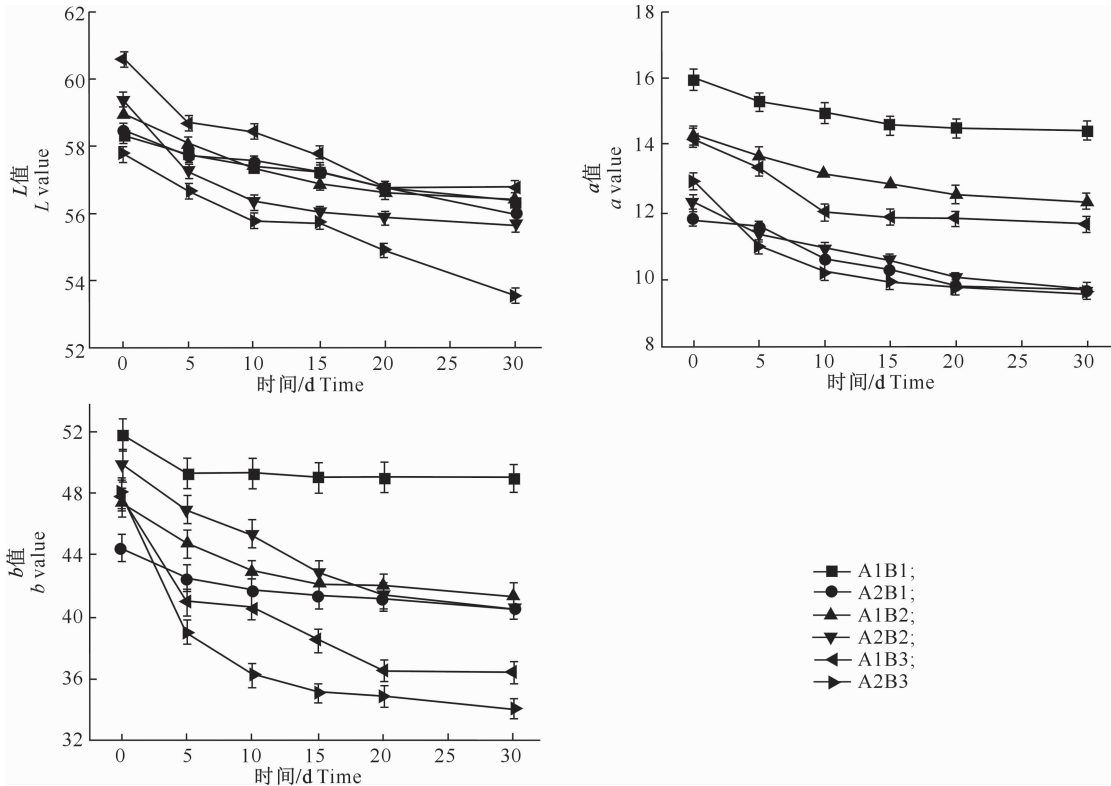


图 2 不同光照强度和土壤类型对烤烟色差值的影响

Fig. 2 Effect of different light intensities and soil types on color parameters of flue-cured tobacco

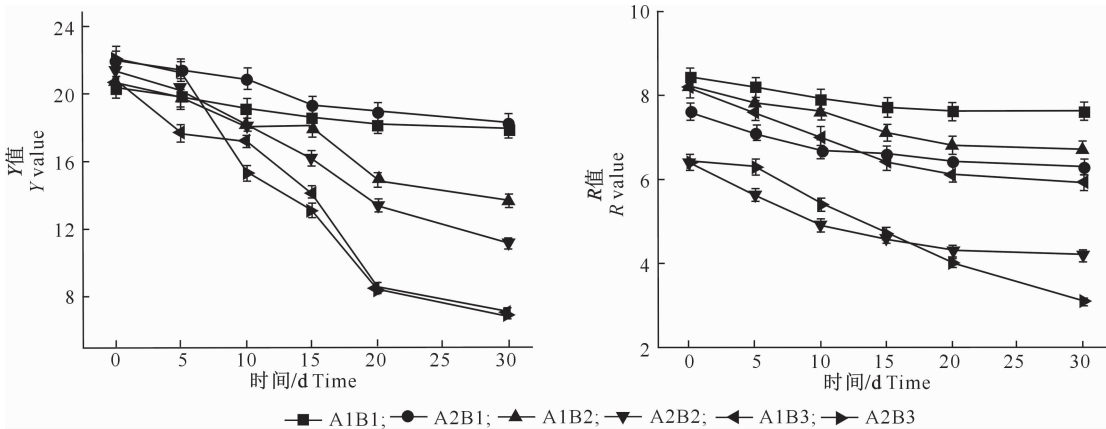


图 3 不同光照强度和土壤类型对烤烟色度值的影响

Fig. 3 Effect of different light intensities and soil types on chroma value of flue-cured tobacco

2. 4 烤烟色差、色度与色素的相关性

如表 1 所示,烟叶的叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素与烟叶的各色差值和色度值均呈极显著正相关关系,这说明烟叶的色差值和色度值均能体现烟

叶的色素含量和烟叶颜色的变化,由于测量色度值对烤烟样品具有破坏性,测量步骤较为繁琐,所以本研究采用色差值对烤烟褪色程度进行划分。

表 1 不同处理烟叶的色差、色度与色素的相关系数

色素 Pigment	L	a	b	Y	R
叶绿素 a Chlorophyll a	0.699 **	0.766 **	0.888 **	0.776 **	0.863 **
叶绿素 b Chlorophyll b	0.658 **	0.562 **	0.759 **	0.825 **	0.638 **
类胡萝卜素 Carotenoids	0.781 **	0.803 **	0.864 **	0.750 **	0.893 **

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

Note: ** significantly correlated at 0.01 level (bilateral).

2.5 基于色差值对烤烟褪色程度的划分

将本试验获得的 108 个样品的色差值,通过系统聚类分析将不同褪色程度的烤烟分为 3 类,依次编号为 1(轻度褪色)、2(中度褪色)、3(重度褪色)。以 108 个烟叶的褪色程度为因变量,色差值 L 、 a 、 b 为协变量,利用 SPSS 建立 MLP 神经网络模型,对因变量和协变量进行标准化处理,系统自动分配样本数,训练样本数为 79 个,占总样本数的 73.1%,测试样本数为 29 个,占总样本数的 26.9%。经多次计算,取产生错误最小的隐藏层节点数,确立隐藏层数,建立输入层 3 个神经元、隐藏层 3 个神经元、输出层 3 个神经元的 MLP 神经网络。假设输入层与隐藏层之间的权值为 $V=(v_{ji})_{3\times 3}$, $B=(b_1,b_2,b_3)$ 为隐藏层节点的偏置权值;隐藏层与输出层之间的权值为 $W=(w_{lj})_{3\times 3}$, $D=(d_1,d_2,d_3)$ 为输出层节点的偏置权值。隐藏层的激活函数 $f_1(\cdot)$ 为双曲正切函数,输出层的激活函数 $f_2(\cdot)$ 为 Softmax 函数。隐藏层的输出为:

表 2 MLP 神经网络模型信息

Table 2 MLP neural network model information

项目 Item		隐藏层 1 Hidden layer 1			输出层 Output layer		
		H(1 : 1)	H(1 : 2)	H(1 : 3)	褪色程度=1 Fade level=1	褪色程度=2 Fade level=2	褪色程度=3 Fade level=3
输入层 Input layer	偏差 Deviation	1.905	-0.490	1.850			
	L	0.084	0.210	-0.354			
	a	0.009	0.444	-0.323			
	b	1.715	0.371	-3.319			
隐藏层 1 Hidden layer 1	偏差 Deviation				0.487	-0.076	0.587
	H(1 : 1)				0.007	0.625	-0.633
	H(1 : 2)				-0.161	0.132	0.031
	H(1 : 3)				-0.622	0.657	-0.033

表 3 MLP 神经网络训练测试结果

Table 3 MLP neural network training and test results

样本 Sample		已预测 Predicted			正确率/% Correct percentage
		1	2	3	
训练 Training	1	28	0	0	100.00
	2	0	38	0	100.00
	3	0	0	13	100.00
	总计百分比/% Total percentage	35.40	48.10	16.50	100.00
测试 Test	1	7	0	0	100.00
	2	0	16	1	94.10
	3	0	0	5	100.00
	总计百分比/% Total percentage	24.10	55.20	20.70	96.60

3 讨 论

烤烟在黑暗环境中烘烤调制,质体色素降解可生成香气物质,而烤烟在光照条件下褪色不仅不能产生香气物质,还会产生有害物质。烤烟褪色的主

$$z_j=f_1(\sum_{i=1}^3v_{ji}x_i)+b_j,j=1,2,3。$$

输出层的输出为:

$$y_l=f_2(\sum_{j=1}^3w_{lj}z_j)+d_l,l=1,2,3。$$

在训练模型的输入层中, L 、 a 、 b 3 个神经元权值到隐藏层的 3 个神经元权值,以及隐藏层各神经元到输出神经元褪色程度权值如表 2 所示,神经网络中的输入层负责将输入的色差值不经运算向隐藏层传递;隐藏层和外部没有直接联系,隐藏层通过运算将信息从输入层传递到输出层;输出层负责计算,并从网络中向外部传递信息。以原始烟样资料为验证样本,对 MLP 神经网络模型判别效果进行评价。训练集和测试集经过 MLP 神经网络模型分析后的判别结果如表 3 所示。由表 3 可以看出,训练集中正确率为 100.0%,测试集中只有 1 个被错判,正确率为 96.6%,说明所建模型是准确可靠的。

要原因是烟叶质体色素的降解。前人研究认为,光照产生的激发能会激发一些物质(特别是光敏物质)到高能状态,高能状态的光敏物质易与基态氧³O₂生成为单线态氧¹O₂,单线态氧可以氧化叶绿素和胡萝卜素等含烯化合物生成氢过氧化物,其进一步分

解成各种有毒害作用的成分^[23-26]。本研究结果表明,相同土壤类型产出的烤烟,光照强度越大,烤烟色素含量下降越大。邵兰军等^[13]将烤烟色素提取液置于不同光照条件下保存,结果表明日光照射对类胡萝卜素具有显著破坏作用,且光照亮度越大,破坏作用越显著,这与本研究结果较为一致。在光照条件下,由于类胡萝卜素含量高,降解反应底物多,所以类胡萝卜素降解量比叶绿素大很多。而不同土壤类型产出的烟叶对光的敏感度不同。季学军等^[27]研究表明,河滩地砂壤土、冲积砂壤土和粉砂土的烟叶抗氧化能力较高,而水稻土的烟叶抗氧化能力较低。本研究结果表明,紫色土田烟叶抗氧化能力较高,对光的敏感度小于沙泥田。

烤烟褪色直观表现为烟叶颜色的变化,而通过颜色量化来表示烟叶的褪色情况,利于对烤烟褪色的科学分析。本研究采用两种颜色量化系统来准确表示烟叶褪色情况,结果表明,南雄 2 种土壤产出的烤烟 L 值在 57.77~60.57, a 值在 11.87~14.34, b 值在 44.47~51.73。与过伟民等^[28]研究全国其他产区烤烟色差值比较,南雄 2 种土壤类型产出的烟叶红度 a 值均偏低,这可能与当地的烤烟品种和采收成熟度有关^[14-15]。不同光照处理使烤烟色差值均有不同程度的下降,其中光照使烤烟 b 值下降最显著;不同光照处理会使烤烟的各色度值降低,其中黄原色 Y 值下降最显著。这是由于光照处理导致烟叶中色素的降解,尤其是类胡萝卜素含量的急速下降,使烟叶 b 值和黄度值降低,这与景延秋等^[29]研究结果相一致。而在相关性分析方面,类胡萝卜素与红度 R 值相关性最高,这可能是由于类胡萝卜素的共轭双键数目越多,颜色越移向红色^[30],而光照条件加速了类胡萝卜素的氧化,使其化学结构中的共轭双键断裂^[13],导致烟叶红度 R 值降低。

4 结 论

不同光照处理使烤烟的质体色素含量均有所下降,其中类胡萝卜素下降最显著;各色差值和色度值降低,其中表示黄度的 b 值和黄原色的 Y 值下降较大。随着光照强度的提高,烤烟的质体色素含量下降越大,褪色情况越严重,色差和色度值下降越大。在相同光照和处理时间时,紫色土田烤烟的各参数下降值均低于沙泥田烤烟,说明紫色土田烤烟较沙泥田不易褪色。本研究通过聚类分析结果建立 MLP 神经网络模型,将烟叶色差值输入模型可直接判别烟叶的褪色程度。土壤类型对烤烟褪色影响的

具体原因有待进一步研究。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 2635 — 1992. 烤烟 [S]. 北京:中国标准出版社,1992:2-5.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 2635 — 1992. Flue-cured tobacco [S]. Beijing: China Standard Press, 1992:2-5.

[2] 宫长荣. 烟草调制学 [M]. 北京:中国农业出版社,2003:206.
Gong C R. Tobacco modulation [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003:206.

[3] 段史江,宋朝鹏,马 力,等. 基于图像处理的烘烤过程中烟叶含水量检测 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012, 40(5):74-80.
Duan S J, Song C P, Ma L, et al. Detection of moisture content of tobacco leaves during baking based on image processing [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2012, 40 (5):74-80.

[4] 霍开玲,宋朝鹏,武圣江,等. 不同成熟度烟叶烘烤中颜色值和色素含量的变化 [J]. 中国农业科学,2011,44(10):2013-2021.
Huo K L, Song C P, Wu S J, et al. Changes in the value of color and pigment content of tobacco curing different maturity [J]. Chinese Agricultural Sciences, 2011, 44(10):2013-2021.

[5] 贺 帆,王 涛,樊士军,等. 基于色度学的密集烘烤过程中烟叶主要化学成分变化模型研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(5):111-118.
He F, Wang T, Fan S J, et al. Characteristics of major chemical components in tobacco during intensive baking process based on colorimetry [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2014, 42(5):111-118.

[6] 王长征,陈少滨,徐 燕,等. WLS-2 比较比色仪测定烤烟烟叶不同陈化时间的褐变程度 [J]. 安徽农业科学,2007(9):2643-2645.
Wang C Z, Chen S B, Xu Y, et al. Determination of browning of flue-cured tobacco leaves with different WLS-2 colorimeter [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2007(9):2643-2645.

[7] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学 [M]. 上海:上海科学技术出版社,2005:105,395.
Tobacco Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. China tobacco cultivation [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005:105,395.

[8] 闫克玉,赵铭钦. 烟草原料科学 [M]. 北京:科学出版社,2008:372.
Yan K Y, Zhao M Q. Study on tobacco raw materials [M]. Beijing: Science Press, 2008:372.

[9] 陈志行,王建平,黄创兴. 叶黄素的提取和稳定性研究 II [J]. 食品科学,2005,26(9):284-288.
Chen Z X, Wang J P, Huang C X. Extraction and stability of lutein II [J]. Food Science, 2005, 26(9):284-288.

[10] 高 梅,陈雨梦,李凤月,等. 植物性食品中类胡萝卜素的氧化降解及其对食品品质的影响 [J]. 中国食品添加剂,2011(3):

174-179.

Gao M, Chen Y M, Li F Y, et al. Oxidative degradation of carotenoids in plant foods and its influence on food quality [J]. China Food Additive, 2011(3): 174-179.

[11] 王淑敏, 李 静, 赵艳茹. 桔皮黄色素的提取新法研究 [J]. 许昌师专学报, 2001(2): 71-73.

Wang S M, Li J, Zhao Y R. Study on the extraction of orange pigment [J]. Xuchang Teachers College, 2001(2): 71-73.

[12] 朱德艳. 柑橘皮色素的提取及其稳定性研究 [J]. 北方园艺, 2010(23): 53-55.

Zhu D Y. Extraction and stability of citrus pigment [J]. Northern Gardening, 2010(23): 53-55.

[13] 邵兰军, 谢 晋, 左安建, 等. 烤后烟叶类胡萝卜素的稳定性及其影响因素 [J]. 烟草科技, 2015(7): 9-13.

Shao L J, Xie J, Zuo A J, et al. Stability of carotenoids in cured tobacco leaves and influencing factors thereof [J]. Tobacco Science & Technology, 2015(7): 9-13.

[14] 贺 帆, 王 涛, 王 梅, 等. 烘烤过程中烟叶颜色变化与主要化学成分的关系 [J]. 中国烟草学报, 2014(6): 97-102.

He F, Wang T, Wang M, et al. Changes of the color of tobacco leaf and its main chemical components during baking [J]. Chinese Journal of Tobacco Science, 2014(6): 97-102.

[15] 任 夏, 邱 军, 段苏珍, 等. 色差仪在烤烟烟叶颜色检测中的应用 [J]. 江苏农业科学, 2014(7): 335-337.

Ren X, Qiu J, Duan S Z, et al. Application of color difference meter in color detection of flue-cured tobacco leaf [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2014(7): 335-337.

[16] 张军刚, 王永利, 吕国新, 等. 烤烟成熟过程中鲜烟颜色值与色素含量变化及相关分析 [J]. 中国烟草科学, 2014(1): 54-60.

Zhang J G, Wang Y L, Lü G X, et al. Changes and correlations of fresh color and flesh content during flue-cured tobacco maturation [J]. China Tobacco Science, 2014(1): 54-60.

[17] 丁根胜, 张庆明, 巴金莎, 等. 烟叶颜色色度学指标与烤烟品质的关系分析 [J]. 中国烟草科学, 2011, 32(4): 14-18.

Ding G S, Zhang Q M, Ba J S, et al. Analysis on the relationship between color index of tobacco leaves and quality of flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(4): 14-18.

[18] 金 浩, 刘彦中, 高福宏, 等. 不同采收成熟度对烤烟 NC102 烤中和烤后烟叶色度参数值的影响 [J]. 云南农业, 2015(10): 38-41.

Jin H, Liu Y Z, Gao F H, et al. Effects of different harvest maturity on the chroma parameters of flue-cured tobacco NC102 after roasting and roasting [J]. Yunnan Agriculture, 2015(10): 38-41.

[19] 李 悦, 符云鹏, 甄焕菊, 等. 烤烟烟叶颜色值和外观颜色变化分析 [J]. 中国烟草科学, 2017, 38(1): 78-84.

Li Y, Fu Y P, Zhen H J, et al. Analysis of color value and color change of flue-cured tobacco leaves [J]. Chinese Tobacco Science, 2017, 38(1): 78-84.

[20] 王改丽, 于建军, 郑宪滨, 等. 烤烟 B2F 等级烟叶表面颜色区域性差异分析 [J]. 山东农业科学, 2017, 49(4): 15-20.

Wang G L, Yu J J, Zheng X B, et al. Analysis on regional differences of color on flue-cured tobacco with B2F grade [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(4): 15-20.

[21] 刘鹏飞, 段宾宾, 韩富根, 等. 不同土壤类型对烤烟色素及其降解产物的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 69-73.

Liu P F, Duan B B, Han F G, et al. Effects of different soil types on pigments and their degradation products in flue-cured tobacco [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2012, 40(5): 69-73.

[22] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.

Zhang Z L. Plant physiology experimental guidance [M]. Beijing: Higher Education Press, 1990.

[23] Foote C S. Chapter 3-photosensitized oxidation and singlet oxygen: consequences in biological systems [M]. Elsevier Inc, 1976: 85-133.

[24] Salin M L. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast [J]. Physiol Plant, 1987, 72: 683-689.

[25] Bradly D G, Min D B. Singlet oxygen oxidation of foods [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1992, 31: 211-236.

[26] 孙亚杰, 宋喜太, 姜淑芳. 氧分子三种自旋异构体及其反应活性理论分析 [J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1995(3): 75-80.

Sun Y J, Song X T, Jiang S F. Theoretical analysis of three spin isomers of oxygen molecules and their reactivity [J]. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 1995(3): 75-80.

[27] 季学军, 张 国, 王道支, 等. 皖南不同土壤类型烤烟抗氧化能力差异分析 [J]. 中国烟草科学, 2011, 32(6): 26-31.

Ji X J, Zhang G, Wang D Z, et al. Analysis of antioxidant capacity of flue-cured tobacco from different soil types in southern Anhui [J]. China Tobacco Science, 2011, 32(6): 26-31.

[28] 过伟民, 魏春阳, 张艳玲, 等. 烤烟表面颜色的量化及其与胡萝卜素类物质的关系 [J]. 烟草科技, 2012(1): 62-68.

Guo W M, Wei C Y, Zhang Y L, et al. Calculation of surface color of flue-cured tobacco and its relationship with carotenoids [J]. Tobacco Science and Technology, 2012(1): 62-68.

[29] 景延秋, 张豹林, 李广良, 等. 不同品种烤烟表面颜色量化与质体色素的关系研究 [J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(6): 689-694.

Jing Y Q, Zhang B L, Li G L, et al. Quantization the surface color of the different varieties of flue-cured tobacco and its relationship with plastid pigment [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2014, 48(6): 689-694.

[30] 胡 珂, 李 娜. 倍受青睐的抗氧化家族: 类胡萝卜素 [J]. 大学化学, 2010(b04): 94-98.

Hu K, Li N. The favored family of antioxidants: carotenoids [J]. University Chemistry, 2010 (b04): 94-98.