

孙光伟, 陈振国, 王玉军, 等. 烤烟上部叶采收时 SPAD 值与鲜烟组织结构、生理指标及烤后烟叶内在质量的关系[J]. 中国烟草学报, 2019, 25 (5). SUN Guangwei, CHEN Zhenguo, WANG Yujun, et al. Relationships of SPAD value with tissue structure, physiological index and internal quality of flue-cured tobacco upper leaves [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(5). doi: 10.16472/j.chinatobacco.2019.081

烤烟上部叶采收时 SPAD 值与鲜烟组织结构、生理指标及烤后烟叶内在质量的关系

孙光伟¹, 陈振国¹, 王玉军², 孙敬国¹, 冯吉¹, 于涛², 李建平¹, 覃光炯¹

1 湖北省烟草科学研究院, 武汉 430030;

2 山东农业大学, 泰安 271018

摘要: 【目的】进一步量化烤烟上部叶成熟度与烟叶质量的关系。【方法】以云烟 87 为试验材料, 应用叶绿素测定仪对上部叶成熟度进行分类, 并对各类鲜烟组织结构、生理指标及烤后烟叶质量进行分析。【结果】①上部叶 SPAD 值均值在 9~25 范围内, 与鲜烟叶的自由水/束缚水比值、蛋白质含量呈线性正相关, 与海绵组织与栅栏组织比值呈负相关; 与烤后叶片 TSNA 含量呈线性正相关, 与多酚、烟碱含量呈线性负相关; ② SPAD 值低于 17 时叶片衰老特征明显, 碳氮代谢大幅下降, POD、SOD、CAT 等抗氧化酶活性显著增加, H₂O₂、MDA 含量大幅增加。【结论】鄂西南烟区上部叶采收 SPAD 值适宜范围为 13±1.5。

关键词: 上部叶; SPAD 值; 成熟度; 多酚; 烟碱; TSNA

烤烟优质上部叶对卷烟香味及其风格具有很大贡献^[1-2], 上部 4~6 片一次成熟采收技术的推广提高了上部叶的可用性^[3-4], 但烤后上部叶组织结构紧密, 烟碱、蛋白质、淀粉含量较高, 化学成分不协调, 刺激性大, 杂气较重等问题仍影响其在卷烟配方中的使用, 而造成这一现象的根本原因是成熟度不够^[5-7]。烟叶成熟的过程实质是叶片生理衰老的过程, 成熟度作为烟叶质量的核心, 目前主要通过眼看、手摸等感官方法判断^[8], 大量研究表明采收成熟度与叶片组织结构^[9-11]、生理生化^[12-16]、吸食质量及安全性^[17-18]等密切相关, 基于叶面颜色、主脉变白情况进行成熟度分类, 主观差异较大, 缺乏客观量化分析。

叶绿素计通过发射易被叶绿素吸收的红光(峰值波长 650 nm)和不被叶绿素吸收的近红外光(峰值波长 940 nm)来计算叶片表征叶绿素相对含量的 SPAD 值(Soil and Plant Analyzer Development, 可译作土壤与作物分析仪器开发, 指一种测量叶绿素

浓度的方法, SPAD 值即采用该方法测得的叶绿素相对浓度值), 实现快速、无损判定叶片叶绿素含量从而客观反映成熟度^[19-21]。本试验设置上部叶采收不同的 SPAD 值, 量化 SPAD 值与鲜烟叶组织结构、生理指标及烤后烟叶质量的关系, 以期确定上部叶最佳采收成熟度, 为提高上部烟叶可用性提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2018 年在恩施州利川柏杨镇进行, 供试品种为云烟 87, 土壤为砂壤土, 有机质 2.25%, pH 为 5.64, 速效氮 91.00 mg/kg, 有效磷 67.92 mg/kg, 速效钾 192.00 mg/kg。施肥量纯氮 90 kg/hm², m(N): m(P₂O₅): m(K₂O)=1: 1.5: 2.5, 行距 1.2 m, 株距 0.55 m。其他技术措施和田间管理按优质烟生产技术规程实施。

基金项目: 湖北省烟草公司重点项目(027Y2017-002、027Y2018-029)

作者简介: 孙光伟(1987—), 硕士, 农艺师, 研究方向为烟草调制, Email: sgw_dw@163.com

通信作者: 陈振国, 研究方向: 烟草栽培调制, Email: hbskys1@163.com

收稿日期: 2019-03-27; **网络出版日期:** 2019-10-09

1.2 试验设计

选取上部叶成熟度一致的烟田,中部叶采收结束后,烟株留取上部六片叶片,上部四片一次成熟采收,顶部两片弃采。在叶片的叶尖、叶中和叶基3个位置主脉两侧用 SPAD-502PLUS 仪(KONICA MINOLTA)读取 SPAD 值,取四片叶 24 个点的平均值为上部叶采收的 SPAD 值,上部叶成熟期进行田间动态监测,按平均值在 9 ± 1.5 、 13 ± 1.5 、 17 ± 1.5 、 21 ± 1.5 、 25 ± 1.5 范围进行上部四片采收分成 5 类。每类选取 30 株挂牌采收后按照同一工艺曲线进行烘烤,各阶段稳温时间根据烟叶变化情况灵活掌握。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生理生化指标

采收时每类随机选取 3 株上部叶挂牌设为三次重复,采用美国 LI-Cor 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定系统测定光合参数,人工控制 CO_2 浓度 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 25°C ,光照强度 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,于采收当天上午 10 点测定,测量四片上部叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(Tr);采后冰盒带回用蒸馏水洗净,擦干,在叶中部主脉一侧 2~3 cm 处打孔,打孔取下的叶片用于生理指标测定,转化酶(invertase, INV)、吲哚乙酸氧化酶(indoleacetic acid oxidase, IAAO)采用上海索桥生物科技有限公司试剂盒测定,硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase,

CAT)等酶活性及过氧化氢(H_2O_2)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。

1.3.2 鲜烟组织结构测定

剩余叶片中部主脉另一侧 2~3 cm 处取下的样品用 FAA (70% 酒精)固定液固定保存,按照常规的石蜡切片步骤,进行逐级酒精脱水、二甲苯透明、浸蜡、包埋和切片,采用番红-固绿染色,对制好的切片利用 OLYMPAS 显微影像分析软件测定叶片厚度、海绵组织厚度、栅栏组织厚度;自由水和束缚水含量、叶绿素含量的测定方法参照《植物生理学试验指导进行》^[22]。

1.3.3 常规化学成分测定

每类烤后叶片随机选取 9 株,每 3 株 12 片烟叶混合为一次重复, 80°C 烘干至恒质量,剔除主脉和较粗的支脉,研磨粉碎过 $250 \mu\text{m}$ 筛保存。常规化学成分检测采用美国 API 公司生产的 305D 型连续流动分析仪参照行业标准测定;多酚含量参照行业标准^[23]测定,TSNAs 含量采用液质联用^[24]测定。

感官品质鉴定:每类随机选取 B2F 等级 20 片切丝用于感官品质鉴定,由湖北中烟工业有限责任公司技术研发中心进行感官评价,选取香气质、香气量、杂气、刺激性、余味、燃烧性、灰色、浓度、劲头等指标,参照 YC/T 415—2011 烟草在制品感官评价方法^[25]制订评分标准,见表 1。

1.4 数据处理

采用 Excel 进行数据处理及作图,SPSS19.0 进行多重比较(Duncan 法)。

表 1 感官评价评分标准

Tab. 1 Standards of evaluation of smoking sensory quality

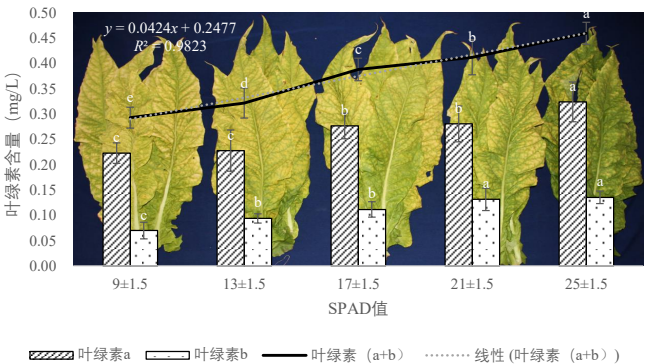
分

指标	评分标准
香气质	好 (18)、较好 (15)、中等 +(13)、中等 (11)、中等 -(9)、较差 (7)、差 (5)
香气量	足 (16)、较足 (14)、尚充足 +(12)、尚充足 (10)、尚充足 -(8)、较少 (7)、少 (5)
杂气	无 (16)、较轻 (14)、有 +(12)、有 (10)、有 -(8)、较重 (7)、重 (5)
刺激性	无 (20)、微有 (17)、有 +(15)、有 (13)、有 -(11)、较大 (9)、大 (7)
余味	舒适 (22)、较舒适 (19)、尚舒适 +(16)、尚舒适 (13)、尚舒适 -(11)、较苦辣 (9)、滞舌 (8)
燃烧性	强 (4)、中等 (3)、差 (2)、熄火 (0)
灰色	白 (4)、灰白 (3)、灰 (2)、黑灰 (1)
浓度	淡 (1)、较淡 (2)、中等 (3)、较浓 (4)、浓 (5)
劲头	小 (1)、较小 (2)、适中 (3)、较大 (4)、大 (5)

2 结果与分析

2.1 不同 SPAD 值上部叶片光合特性

图 1 为不同 SPAD 值上部叶片外观及叶绿素含量，从中可以看出随着 SPAD 值升高叶片叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量呈上升趋势，叶片绿色程度逐渐加深；叶绿素含量 (y_1) 与 SPAD 值 (x) 呈线性相关， $y_1 = 0.0424x + 0.2477$ ($R^2 = 0.9823$)。



注：图中短线代表标准差，不同小写字母表示组间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

Note: The short line in the figure represents the standard deviation, and different lowercase letters indicate that there is a significant difference between treatments at the level of 0.05.

图 1 不同 SPAD 值上部叶片外观及叶绿素含量

Fig. 1 The leaf appearance and chlorophyll content of upper leaves with different SPAD values

从表 2 可知，SPAD 值在 21 ± 1.5 时采收，上部叶净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率达到最高后开始下降趋于衰老；SPAD 值低于 9 ± 1.5 时采收，净光合速率显著降低，气孔导度和蒸腾速率均较低，表明叶片衰老严重，光合作用明显减弱。净光合速率 (y_2) 与采收时 SPAD 值呈一元二次关系， $y_2 = -0.6957x^2 + 5.6523x - 1.598$ ($R^2 = 0.9717$)。

表 2 不同 SPAD 值上部叶片的光和参数

Tab. 2 Photosynthetic parameter of leaves with different SPAD values

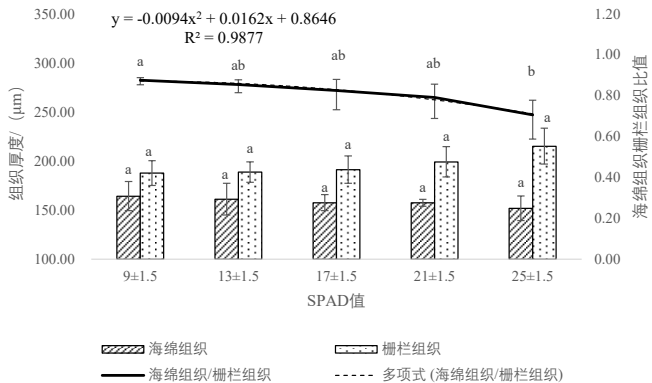
SPAD 值	$Pn/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$Gs/$ ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$Ci/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	$Tr/$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
9 ± 1.5	3.12b	0.07a	267.24a	2.04b
13 ± 1.5	7.59a	0.14a	261.23a	3.67ab
17 ± 1.5	8.53a	0.16a	261.57a	3.85ab
21 ± 1.5	9.97a	0.21a	267.24a	4.83a
25 ± 1.5	9.32a	0.19a	253.12a	4.19ab

注：同列不同小写字母表示组间差异达显著水平 ($P < 0.05$) 水平。

Note: Different lowercase letters in the same column mean significant intergroup difference, $P < 0.05$.

2.2 不同 SPAD 值上部叶片组织结构

从图 2 可以看出，随着叶片 SPAD 值的升高，叶片海绵组织呈降低的趋势，栅栏组织呈上升的趋势，可见降低采收 SPAD 值可改善上部叶组织结构的疏松程度；采收时 SPAD 值与叶片海绵组织栅栏组织的比值 (y_3) 呈负相关， $y_3 = -0.0094x^2 + 0.0162x + 0.8646$ ($R^2 = 0.9877$)。



注：图中短线代表标准差，不同小写字母表示组间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

Note: The short line in the figure represents the standard deviation, and different lowercase letters indicate that there is a significant difference between treatments at the level of 0.05.

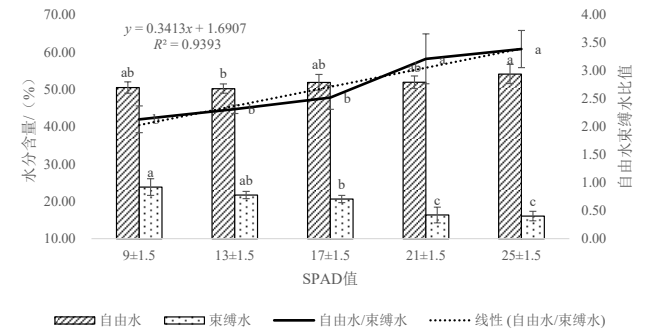
图 2 不同 SPAD 值上部烟叶的组织结构

Fig. 2 The mesophyll structure of upper leaves with different SPAD values

2.3 不同 SPAD 值上部叶生理指标

2.3.1 鲜烟叶水分含量

植物组织中的水分以两种不同的状态存在，一种是与原生质胶体紧密结合的束缚水，另一种是不与原生质胶体紧密结合而可以自由移动的自由水。从图 3 中可以看出随上部叶采收时 SPAD 值升高，自由水含



注：图中短线代表标准差，不同小写字母表示组间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

Note: The short line in the figure represents the standard deviation, and different lowercase letters indicate that there is a significant difference between treatments at the level of 0.05.

图 3 不同 SPAD 值上部叶鲜烟叶水分含量

Fig. 3 The moisture content of upper leaves with different SPAD values

量变化不大,束缚水含量呈下降趋势,自由水/束缚水比值(y_4)呈升高趋势, $y_4 = 0.3413x + 1.6907$ ($R^2 = 0.9393$),上部四片采收时 SPAD 值低于 17 时,束缚水含量显著增加,自由水/束缚水比值显著降低,代谢减弱趋于成熟。

2.3.2 鲜烟叶碳氮代谢产物及相关酶活性

由表 3 可知,随着叶片 SPAD 值的升高,蛋白

质的含量(y_5)逐渐升高, $y_5 = 18.209x + 115.94$ ($R^2 = 0.8586$);硝酸还原酶(NR)活性逐渐升高,当 SPAD 值低于 13 ± 1.5 时 NR 活性显著降低;蔗糖含量随着叶片 SPAD 值的升高逐渐降低,蔗糖转化酶活性逐渐升高, α 、 β 淀粉酶、总淀粉酶活性及淀粉含量均随 SPAD 值的降低而呈现先升高后降低的趋势。

表 3 不同 SPAD 值上部烟叶碳氮代谢产物及关键酶活性

Tab. 3 Carbon and nitrogen metabolites and key enzyme activities of upper tobacco leaves with different SPAD values

SPAD 值	蛋白质 / (mg/g)	NR / (U/g)	蔗糖 / (μ mol/g)	INV / (U/g)	α 淀粉酶 / (U/g)	β 淀粉酶 / (U/g)	淀粉酶 / (U/g)	淀粉 / %
9 ± 1.5	125.81c	0.17b	58.42a	35.50c	2.42d	10.93cd	13.35d	36.87a
13 ± 1.5	167.97b	0.19b	50.05ab	45.55b	2.85cd	12.16b	15.01bc	37.66a
17 ± 1.5	170.75b	0.23a	48.38ab	47.95b	3.03bc	13.99c	17.02b	38.11a
21 ± 1.5	174.92b	0.30a	44.53ab	80.54a	3.60a	17.35a	20.95a	34.44a
25 ± 1.5	213.38a	0.32a	43.05b	98.51a	3.45ab	9.90d	13.35d	34.31a

注:同列不同小写字母表示组间差异达显著水平($P < 0.05$)水平。

2.3.3 鲜烟叶氧化胁迫生理指标

从表 4 中可以看出,随着叶片 SPAD 值的降低,IAAO 活性逐渐增加, H_2O_2 含量、POD、SOD、CAT 活性呈先降低后显著增加的趋势;当 SPAD 值低于

13 ± 1.5 时 POD 活性、SOD 活性、CAT 活性、 H_2O_2 含量、MDA 含量显著增加,在 9 ± 1.5 范围内 IAAO 活性显著增加, H_2O_2 、MDA 含量显著增加,上部叶氧化胁迫加重。

表 4 不同 SPAD 值上部烟叶氧化胁迫生理指标

Tab. 4 Physiological index of oxidative stress in upper tobacco leaves with different SPAD values

SPAD 值	IAAO / (μ mol/h/g)	H_2O_2 / (mmol/g)	MDA / (nmol/g)	POD / (U/g)	SOD / (U/g)	CAT / (U/g)
9 ± 1.5	0.556a	1749.94a	223.03a	228.43a	269.42a	38.48a
13 ± 1.5	0.188b	1554.92b	234.91a	225.88a	267.82a	37.62a
17 ± 1.5	0.091b	1042.62c	175.38b	190.06b	224.96b	21.95b
21 ± 1.5	0.057b	1117.23d	111.44c	183.00c	190.87c	24.34b
25 ± 1.5	0.049b	1188.40c	169.14b	192.81b	216.42b	37.94a

注:同列不同小写字母表示组间差异达显著水平($P < 0.05$)水平。

表 5 不同 SPAD 值采收烤后烟叶多酚含量

Tab.5 Contents of polyphenols in flue-cured tobacco leaves with different SPAD values mg/g

SPAD 值	绿原酸	萜烯亭	芸香苷	多酚总量
9 ± 1.5	12.30a	0.146d	14.02a	26.46a
13 ± 1.5	11.47b	0.159c	12.65b	24.28b
17 ± 1.5	10.56c	0.141e	11.23c	21.93c
21 ± 1.5	10.64c	0.169a	11.00d	21.81c
25 ± 1.5	9.41d	0.167b	9.04e	18.62d

注:同列不同小写字母表示组间差异达显著水平($P < 0.05$)水平。

2.4 不同 SPAD 值采收对烤后上部烟叶内在品质的影响

2.4.1 对烤后烟叶多酚含量的影响

从表 5 可以看出随着采收烟叶 SPAD 值降低,绿原酸、芸香苷、多酚总量呈上升趋势,多酚总量(y_6)与 SPAD 值含量呈线性相关, $y_6 = -1.8172x + 28.073$ ($R^2 = 0.9515$)。

2.4.2 对烤后烟叶常规化学成分含量的影响

从表 6 烤后烟叶常规化学成分可以看出,随着采收叶片 SPAD 值降低,烟碱含量(y_7)显著增加,与

表 6 不同 SPAD 值采收烤后烟叶常规化学成分含量

Tab. 6 The chemical components of tobacco leaves with different SPAD values when harvesting

SPAD 值	烟碱 /%	还原糖 /%	氯 /%	总糖 /%	总氮 /%	钾 /%	糖碱比	氮碱比	两糖比
9±1.5	3.55a	20.81d	0.56b	28.63d	2.25a	1.28a	5.87d	0.64b	0.72d
13±1.5	3.24b	23.81b	0.51c	30.40b	1.97b	1.22b	7.35c	0.61bc	0.79a
17±1.5	3.04d	24.99a	0.62a	33.22a	1.72c	1.14c	8.20a	0.57d	0.75c
21±1.5	3.13c	23.76b	0.57b	30.72b	1.93b	1.29a	7.59b	0.61bc	0.77ab
25±1.5	2.74e	22.63c	0.31d	29.70c	2.03b	1.32a	8.26a	0.74a	0.76bc

注：同列不同小写字母表示组间差异达显著水平（ $P<0.05$ ）水平。

SPAD 值含量呈线性相关， $y_7 = -0.1723x + 3.6577$ （ $R^2 = 0.8661$ ）；还原糖、总糖呈先升高后降低的趋势，钾离子含量呈先降低后升高的趋势。

2.4.3 对烤后烟叶 TSNAs 含量的影响

从表 7 可以看出随着采收 SPAD 值降低，NAT、NAB、TSNAs 含量逐渐降低，NNK 含量随着采收 SPAD 值降低呈先降低后升高的趋势。当采收 SPAD 值在 9±1.5 内 TSNAs 含量显著降低，主要表现为 NNN、NAT、NAB 含量降低，TSNAs 含量（ y_8 ）与 SPAD 值含量呈线性相关， $y_8 = 38.387x + 337.74$ （ $R^2 = 0.9566$ ）。

2.4.4 对烤后烟叶感官质量的影响

从表 8 中可以看出，随着采收烟叶 SPAD 值的降低，烤后烟叶感官评吸质量呈升高后降低的趋势，SPAD 值低于 17 时烟叶杂气得到明显改善。SPAD 值在 13±1.5

表 7 不同 SPAD 值烤后烟叶 TSNAs 含量

Tab. 7 Contents of TSNAs in tobacco leaves with different SPAD values when harvesting ng/g

SPAD 值	NNN	NNK	NAT	NAB	TSNAs
9±1.5	48.15b	25.15a	123.69c	172.82d	369.81c
13±1.5	65.49ab	16.48ab	137.71bc	207.53c	427.20b
17±1.5	87.46a	6.11b	138.59bc	223.91bc	456.06b
21±1.5	80.57a	10.00ab	152.36ab	229.21b	472.15b
25±1.5	91.03a	21.02ab	168.59a	258.63a	539.27a

注：同列不同小写字母表示组间差异达显著水平（ $P<0.05$ ）水平。

范围内烤后烟叶感官评吸质量最高，香气质较好，余味较舒适；其次为 SPAD 值 9±1.5，随着成熟度进一步提高，香气质、余味变差。

表 8 不同 SPAD 值采收烤后 B2F 烟叶感官质量评价

Tab. 8 The sensory quality evaluation of tobacco leaves with different SPAD values with harvesting

SPAD 值	质量特征							风格特征		
	香气质 18	香气量 16	杂气 16	刺激性 20	余味 22	燃烧性 4	灰色 4	合计 100	浓度	劲头
9±1.5	14.0	13.5	13.5	17.5	17.5	4.0	4.0	84.0	3.5	3.5
13±1.5	14.5	13.5	13.5	17.5	18.0	4.0	4.0	85.0	3.5	3.5
17±1.5	14.0	13.5	13.0	17.5	17.5	4.0	4.0	83.5	3.5	3.5
21±1.5	14.0	13.5	13.0	17.0	17.5	4.0	3.5	82.5	3.5	3.5
25±1.5	14.0	13.5	13.0	17.0	17.5	4.0	3.5	82.5	3.5	3.5

3 讨论

SPAD 值与叶绿素含量呈线性正相关，可用于客观判断上部叶采收的成熟度^[21]，本试验对进入采收期的上部四片烟叶 SPAD 值均值在 9~25 范围内进行成熟度细分，明确了上部叶采收 SPAD 值与鲜烟叶绿素含量、叶片含水情况、组织结构、净光合

速率、蛋白质含量及烤后烟叶烟碱、多酚、TSNA 含量之间的相关性，对指导上部叶成熟采收具有重要意义，同时为机器视觉鉴别烟叶适宜采收成熟度提供支撑^[26-27]。

随着烟叶的逐渐成熟和衰老，叶色逐渐变黄，栅栏组织和海绵组织从最初的整齐排列到逐渐排列紊

乱, 光合色素降解加速, 与光合作用等合成代谢相关蛋白多下调表达, 而逆境反应及呼吸作用等分解代谢相关蛋白多上调表达^[28]。本试验结果表明随着 SPAD 值降低束缚水含量升高, 净光合速率降低, 但光合产物蔗糖含量呈增加的趋势, 与碳代谢关键酶 INV 活性降低有关, 蔗糖水解能力减弱, 光合产物得不到有效利用, 淀粉酶活性先升高后降低, SPAD 值 17 ± 1.5 时采收糖积累代谢到达顶峰, 此时采收烤后烟叶总糖、还原糖含量最高; 随着采收 SPAD 值进一步降低, 叶片为维持细胞正常代谢淀粉开始分解, 烟叶碳氮代谢减弱, POD、SOD 活性, H_2O_2 、MDA 含量显著增加, 逆境胁迫增强, 衰老程度加重。聂荣邦等^[29]研究表明烤烟中部叶自欠熟至过熟束缚水含量渐次降低, 而本试验上部叶成熟后, 随着衰老程度加重, 束缚水含量表现为逐次增加, 可能与上部叶成熟后期温度降低有关, 束缚水含量增加上部叶抗逆性增强, 烘烤特性表现为脱水较难, 需保湿变黄。

采收 SPAD 值与烤后烟叶多酚、烟碱含量呈线性负相关, 进一步量化了前人^[14-15]的研究结论。随着采收 SPAD 值降低成熟度提高, NR 活性降低, 烟叶氮素吸收能力降低, 但总氮含量呈先降低后增加的趋势, 可能与养熟过程中土壤养分供给能力较强有关, 烤后烟叶烟碱含量持续增加, 可见叶片衰老后氮素利用转向烟碱合成^[30-31], 因此上部叶成熟期较低的土壤供氮能力尤为重要。采收成熟度影响亚硝酸盐和亚硝胺的积累^[32], 张树堂等^[17]研究表明不同成熟度烟叶亚硝胺含量过熟 > 初熟 > 适熟, 而在本研究采收 SPAD 值范围内, SPAD 值与 TSNAs 含量呈线性正相关, 提高采收成熟度可降低 TSNAs 含量, 可能与本试验设置的 SPAD 值 9 ± 1.5 采收成熟度未达到其过熟标准有关; 提高采收成熟度有利于减少变黄、定色时间, 从而降低烟碱与硝酸盐反应时间^[33-34], NNN、NAT、NAB 含量降低, 上部叶吸食安全性提高; NNK 呈先降低后增加的趋势, 与总氮含量变化一致, 有待进一步研究。

上部叶成熟特征与品种、气候、施肥等条件息息相关, 本试验基于鄂西南烟区生态条件下的云烟 87 开展上部叶成熟度研究, 其适宜采收成熟度范围为 SPAD 值 13 ± 1.5 , 此时采收的上部叶感官评吸质量最高, 若成熟度进一步增加烟碱含量显著增加, 香气质、余味变差。本试验不同 SPAD 值采收的烟叶在同一温湿度条件下烘烤制得, 如何对量化分类的不同成熟度烟叶进行最佳工艺匹配, 进一步彰显上部叶质量特色有待进一步研究。

4 结论

鄂西南烟区云烟 87 上部四片采收 SPAD 值均值适宜范围为 13 ± 1.5 , 此时采收成熟度适宜, 烤后烟叶感官质量最佳, 香气质好, 杂气较少, TSNAs 含量较低。

参考文献

- [1] 朱尊权. 从卷烟发展史看“中式卷烟”[J]. 中国烟草学报, 2004 (02): 4-8.
- [2] 朱尊权. 重点品牌的原料保障——论政策及农、商、工交接收购方式的创新[J]. 烟草科技, 2007 (11): 5-7.
- [3] 陈振国, 李建平, 孙光伟, 等. 烤烟上部 6 片叶不同采收方式对产量及品质的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(6): 2522-2526. CHEN Zhenguo, LI Jianping, SUN Guangwei, et al. Effects of Different Picking Method on Yield and Quality of Upper 6 Leaves in Flue-cured Tobacco[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(6): 2522-2526.
- [4] 王涛, 贺帆, 徐成龙, 等. 提高烤烟上部叶可用性技术的研究进展[J]. 南方农业学报, 2011, 42(9): 1127-1131. WANG Tao, HE Fan, XU Chenglong, et al. Advances in improving usability of upper flue-cured tobacco leaves[J]. Journal of Southern Agriculture, 2011, 42(9): 1127-1131.
- [5] 朱尊权. 提高上部烟叶可用性是促“卷烟上水平”的重要措施[J]. 烟草科技, 2010, (06): 5-9+31. ZHU Zunquan. Improving Usability of Upper Leaves, an Important Measure for Accelerating Up-grading Cigarette Quality[J]. Tobacco Science & Technology, 2010 (6): 5-9, 31.
- [6] 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. CAI Xianjie, WANG Xinmin, YIN Qisheng. Study on the quantitative relationship between maturity and quality of tobacco leaf. Acta Tabacaria Sinica, 2005, 11(4): 42-46.
- [7] 刘素参, 欧明毅, 马坤, 等. 烟叶成熟度与品质关系及其影响因素研究进展[J]. 江西农业学报, 2016, 28(12): 75-79. LIU Sucan, OU Mingyi, MA Kun, et al. Research Advance in Relationship between Tobacco Quality and Tobacco Maturity, and Its Influencing Factors[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2016, 28(12): 75-79.
- [8] 许自成, 赵瑞蕊, 王龙宪, 等. 烟叶成熟度的研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(01): 123-128. XU Zicheng, ZHAO Ruirui, WANG Longxian, et al. Research advance of maturity of flue-cured tobacco leaves[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2014, 45(01): 123-128.
- [9] 张树堂, 杨雪彪, 王亚辉, 等. 不同成熟度烤烟鲜烟叶的组织结构比较[J]. 烟草科技, 2005, (1): 38-40. ZHANG Shutang, YANG Xuebiao, WANG Yahui, et al. Comparison of Tissue of Fresh Flue-cured Tobacco Leaves with Different Maturity[J]. Tobacco Science & Technology, 2005 (1): 38-40.
- [10] 黄勇, 周冀衡, 杨虹琦, 等. 烤烟成熟过程中叶片和叶绿体的细胞学观察[J]. 作物学报, 2006, (11): 1767-1771. HUANG Yong, ZHOU Jiheng, YANG Hongqi, et al. Cytological Observation of Leaf and Chloroplast during the Flue-cured Tobacco Maturation[J]. Acta Agron Sin, 2006, 32(11): 1767-1771.
- [11] 徐兴阳, 廖孔凤, 代瑾然, 等. 不同鲜烟叶成熟度的组织结构和生理生化研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, (02): 313-323. XU Xingyang, LIAO Kongfeng, DAI Jinran, et al. A study on different harvest maturity levels in leaf structures and physiological and biochemical properties of fresh tobacco leaves[J]. Journal of

- Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2017, 39(2): 313-323.
- [12] 赵铭钦, 于建春, 程玉渊, 等. 烤烟烟叶成熟度与香气质量的关系 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(3): 10-14.
ZHAO Mingqin, YU Jianchun, CHENG Yuyuan, et al. On relations between maturity and aroma quality in flue-cured tobacco leaves[J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(3): 10-14.
- [13] 赵铭钦, 苏长涛, 姬小明, 等. 不同成熟度对烤后烟叶物理性状、化学成分和中性香气成分的影响 [J]. 华北农学报, 2008, 23(3): 146-150.
ZHAO Mingqin, SU Changtao, JI Xiaoming, et al. Effects of Maturity on Physical Properties, Chemical Components and Content of Neutral Aroma Constituents in Flue-cured Tobacco. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(3): 146-150.
- [14] 朱忠, 冼可法, 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.
ZHU Zhong, XIAN Kefa, SHANG Xiyong. Analysis of some important neutral flavor constituents and routine constituents of Henan flue-cured tobacco leaves in different mature stage from the middle and upper stalk position. Acta Tabacaria Sinica, 2008, 14(1): 6-12.
- [15] 刘阳, 高丽君, 蔡宪杰, 等. 采收成熟度对烤烟多酚含量和组成的影响 [J]. 烟草科技, 2011, (8): 73-78.
LIU Yang, GAO Lijun, CAI Xianjie, et al. Effects of Maturity of Harvested Flue-cured Tobacco on its Polyphenol Content and Composition[J]. Tobacco Science & Technology, 2011 (8): 73-78.
- [16] 蔡宪杰, 王信民, 尹启生, 等. 采收成熟度对烤烟淀粉含量影响的初步研究 [J]. 烟草科技, 2005, (2): 38-40.
CAI Xianjie, WANG Xinmin, YIN Qisheng, et al. Effects of Maturity on Starch Content of Flue-cured Tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2005 (2): 38-40.
- [17] 张树堂, 杨雪彪. 采收成熟度对烤烟亚硝胺和烟叶品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2006, 19(6): 1019-1022.
ZHANG Shutang, YANG Xuebiao. Effect of ripeness at harvest on nitrosamine and tobacco quality of the flue-cured tobacco[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(6): 1019-1022.
- [18] 王勇, 周冀衡, 肖志新, 等. 不同成熟度对烤烟烟叶品质 and 安全性指标的影响 [J]. 中国烟草科学, 2007, 28(3): 26-29.
WANG Yong, ZHOU Jiheng, XIAO Zhixin, et al Influence of the Different Maturity on Indexes of Quality and Security for Flue-cured Tobacco Leaves[J]. Chinese Tobacco Science, 2007, 28(3): 26-29.
- [19] 李佛琳, 赵春江, 刘良云, 等. 烤烟鲜烟叶成熟度的量化 [J]. 烟草科技, 2007, (01): 54-58.
LI Folin, ZHAO Chunjiang, LIU Liangyun, et al. Quantitation of Maturity of Fresh Flue-cured Tobacco Leaf[J]. Tobacco Science & Technology, 2007 (1): 54-58.
- [20] 孙阳阳, 靳志伟, 黄明迪, 等. SPAD 值与鲜烟叶成熟度及烤后烟叶质量的关系 [J]. 中国烟草科学, 2016, 37(2): 42-46.
SUN Yangyang, JIN Zhiwei, HUANG Mingdi, et al. The Relationship of SPAD Value, Maturity of Fresh Tobacco Leaves and Quality of Flue-cured Tobacco Leaves[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(2): 42-46.
- [21] 李旭华, 扈强, 潘义宏, 等. 不同成熟度烟叶叶绿素含量及其与 SPAD 值的相关分析 [J]. 河南农业科学, 2014, 43(03): 47-52+58.
LI Xuhua, HU Qiang, PAN Yihong, et al. Correlation Analysis of Chlorophyll Content and SPAD Values in Flue-cured Tobacco of Different Maturity[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(03): 47-52+58.
- [22] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导 [J]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [23] 国家烟草专卖局. YC/T 202—2006 烟草及烟草制品多酚类化合物绿原酸、茛菪亭和芸香苷的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1-6.
State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 202—2006 Tobacco and tobacco products-Determination of polyphenols-Chlorogenic acid, scopoletin and rutin[S]. Beijing: China Standard Press, 2006: 1-6.
- [24] 孙光伟, 孙敬国, 王康, 等. 烤烟烤前晾晒时间对烤后烟叶香气吸味和 TSNA 含量的影响 [J]. 烟草科技, 2016, 49(8): 28-34.
SUN Guangwei, SUN Jingguo, WANG Kang, et al. Effects of air-curing time on aroma components, TSNA contents and smoking quality of flue-cured tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49 (8): 28-34.
- [25] 国家烟草专卖局. YC/T 415—2011 烟草在制品感官评价方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1-7.
State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 415—2011 Tobacco in processing-sensory evaluation methods [S]. Beijing: China Standard Press, 2011: 1-7.
- [26] 汪强, 席磊, 任艳娜, 等. 基于计算机视觉技术的烟叶成熟度判定方法 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 175-179.
WANG Qiang, Xi Lei, Ren Yanna, et al. Determination of tobacco leaf maturity degree based on computer vision technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(4): 175-179.
- [27] 谢滨瑶, 祝诗平, 黄华. 基于 BPNN 和 SVM 的烟叶成熟度鉴别模型 [J]. 中国烟草学报, 2019, 25(1): 45-50.
XIE Binyao, ZHU Shiping, HUANG Hua. Model for identification of tobacco leaf maturity based on BPNN and SVM[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(1): 45-50.
- [28] 张柳, 王铮, 张亚婕, 等. 烟草叶片衰老期过程中的蛋白质组学分析 [J]. 植物生理学报, 2014, (04): 488-500.
ZHANG Liu, WANG Zheng, ZHANG YaJie, et al. Proteomic Analysis of Senescing Leaf of Tobacco[J]. Plant Physiology Communications, 2014, (04): 488-500.
- [29] 聂荣邦, 唐建文. 烟叶烘烤特性研究 I. 烟叶自由水和束缚水含量与品种及烟叶着生部位和成熟度的关系 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2002, 28(4): 290-292.
- [30] 陈爱国, 王树声, 申国明, 等. 烤烟叶片成熟期间碳氮代谢主要物质流分析 [J]. 中国烟草学报, 2010, 16(4): 30-34.
WANG Shusheng, CHEN Aiguo, SHEN Guoming, et al. Analysis of main material flows in carbon and nitrogen metabolism in maturing leaves in flue-cured tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2010, 16(4): 30-34.
- [31] 王寒, 林锐锋, 彭琛, 等. 采收时间对烤烟碳氮代谢关键酶活性和烟叶化学成分的影响 [J]. 烟草科技, 2013, (8): 79-84, 90.
WANG Han, LIN RuiFeng, PENG Chen, et al. Influence of harvesting time on key enzyme activities to carbon and nitrogen metabolism and main chemical components in flue-cured tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(8): 79-84, 90.
- [32] Harold R. Burton, George H. Childs, Roger A. Andersen, et al. Changes in chemical composition of burley tobacco during senescence and curing. 3. Tobacco-specific nitrosamines[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1989, 37(2): 426-430.
- [33] 宫长荣, 沈剑波, 司辉, 等. 烟草 N-TSNAs 及其前体物在烟叶烘烤过程中含量的变化 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 179-182.
GONG Changrong, SHEN Jianbo, SI Hui, et al. The Study on Change of Content of N-TSNAs and their Precursors in Flue-curing Process of Flue-curing Tobacco[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin. 2007, 23(6): 179-182.
- [34] Hongzhi Shi, Ruiyun Wang, Lowell P Bush, et al. Changes in TSNA Contents during Tobacco Storage and the Effect of Temperature and Nitrate Level on TSNA Formation[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2013, 61(47): 11588-11594.

- [3] 王格芳. 某金融系统海量数据并行处理架构优化设计与实现 [D]. 中国科学院大学: 工程管理与信息技术学院, 2014.
- [4] 张岩, 刘晓芸, 马玉洁. DB2 数据库分区在商业银行数据仓库中的应用分析 [J]. 信息技术与信息化, 2017(3):55-58.
ZHANG Yan, LIU Xiaoyun, MA Yujie. Application analysis of DB2 database partition feature in commercial bank data warehouse[J]. Information Technology and Informatization, 2017(3):55-58.
- [5] 刘姝. DB2 数据库设计及优化技术研究 [J]. 信息安全与技术, 2011(11):38-40.
LIU Shu. The Design and optimization of DB2 database[J]. Information Security and Technology, 2011,11:38-40.

Architecture optimization of cigarette retail database in Shanghai tobacco data center

CHEN Deli

Information Center, Shanghai Tobacco Group Co., Ltd., Shanghai 200082, China

Abstract: To break through the bottleneck in processing tobacco retailers order data, this paper introduces the idea of massive parallel processing(MPP). The architecture of database for storing tobacco retail data in Shanghai tobacco data center is redesigned. Through deploying database with MPP architecture, optimizing data processing, and improving data processing performance, the data processing efficiency is improved, from more than 10 hours before optimization to less than 2 hours after optimization.

Keywords: database, massive parallel processing, performance optimization

*Corresponding author. Email: chendl@sh.tobacco.com.cn

(上接第 69 页)

Relationships of SPAD value with tissue structure, physiological index and internal quality of flue-cured tobacco upper leaves

SUN Guangwei¹, CHEN Zhenguo¹, WANG Yujun², SUN Jingguo¹, FENG Ji¹,

YU Tao², LI Jianping¹, QIN Guangjiong¹

¹ Hubei Provincial Tobacco Research Institute, Wuhan 430030, China;

² Shandong Agriculture University, Tai'an Shandong 271018, China

Abstract: In order to further quantify the relationship between maturity and quality of flue-cured tobacco upper leaves. Yunyan 87 was used in this experiment. Maturity of upper leaves of Yunyan 87 was classified by SPAD value, and tissue structure, physiological indexes of fresh tobacco and quality of flue-cured tobacco were analyzed. Results showed that the average SPAD value of upper leaves showed a positive linear correlation with free water/bound water and protein content, a negative linear correlation with spongy tissue/palisade tissue ratio, a positive linear correlation with TSNA content present, and a negative linear correlation with polyphenol content and nicotine content. When SPAD values were lower than 17, leaf senescence was obvious, carbon and nitrogen metabolism significantly decreased, antioxidant enzyme activities such as POD, SOD, CAT significantly increased, content of MDA and H₂O₂ significantly increased. The optimum SPAD of upper leaves in southwest Hubei province was 13 ± 1.5.

Keywords: flue-cured tobacco; upper leaves; SPAD value; maturity; polyphenol; nicotine; TSNA

*Corresponding author. Email: hbskys1@163.com