

## 橡胶树无性系叶绿素含量与光合速率和白粉病抗性的关系

吴春太<sup>1,2</sup>, 苏运<sup>3</sup>, 魏孝民<sup>3</sup>, 李维国<sup>1,2\*</sup>, 黄华孙<sup>1,2</sup>

(1.中国热带农业科学院 橡胶研究所,海南 儋州 571737; 2.国家橡胶树育种中心,海南 儋州 571737; 3.海南大学 园艺园林学院,海南 儋州 571737)

**摘 要:** 对由中国热带农业科学院橡胶所选育的 5 个主栽品种和 3 个幼态无性系的叶绿素含量、光合速率和白粉病抗性等进行比较。结果表明,除热研 7-20-59 外,其余材料间叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、总叶绿素含量、类胡萝卜素含量和叶绿体色素含量差异不显著,叶绿素总含量与光合速率呈显著正相关,与 SPAD 值无显著相关,其中叶绿素 a 含量与光合速率和白粉病抗性均呈显著负相关。

**关 键 词:** 橡胶树; 叶绿素含量; 光合速率; 白粉病; 抗性

中图分类号: S794.101 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)04-0381-04

## Relationship of chlorophyll content with photosynthetic rate and resistance to powdery mildew in rubber tree clones

WU Chun-tai<sup>1,2</sup>, SU Yun<sup>3</sup>, WEI Xiao-min<sup>3</sup>, LI Wei-guo<sup>1,2\*</sup>, HUANG Hua-sun<sup>1,2</sup>

(1.Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China; 2.State Center for Rubber Breeding, Danzhou, Hainan 571737, China; 3.College of Horticulture and Garden, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China)

**Abstract:** The chlorophyll content, net photosynthetic rate and resistance to powdery mildew in 8 test materials including five local main rubber tree varieties and three new planting materials selectively bred by rubber research institute of Chinese Academy of Tropical Agriculture Sciences were observed and compared. The results showed that except for a local rubber tree variety Reyan7-20-59, there was no significant difference in contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid and chloroplasts pigment among the tested materials. Chlorophyll content was significantly correlated to photosynthetic rate but not to SPAD value, and chlorophyll a content showed significant negative correlation with photosynthetic rate and resistance to powdery mildew.

**Key words:** rubber tree; chlorophyll content; photosynthes rate; powdery mildew; resistance

巴西橡胶树(*Hevea brasiliensis*) 隶属大戟科橡胶树属,为多年生异花授粉乔木。中国已具规模的天然橡胶基地主要分布在海南、云南和广东 3 省,主栽巴西橡胶树,2009 年种植面积为  $9.419 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,橡胶总产量达到  $6.44 \times 10^5$  t<sup>[1]</sup>。

橡胶树古铜期以前的叶片仅消耗能源,不能进行光合作用,从淡绿期开始,光合作用不断增强<sup>[2]</sup>;

因此,叶绿素含量是衡量光合作用效果的一个重要的生理指标。另外,病害是影响光合作用的因素之一<sup>[3-6]</sup>,如橡胶树白粉病为害橡胶树嫩叶、嫩芽、嫩梢和花序,造成橡胶树不正常落叶或叶片组织坏死<sup>[7]</sup>,而抗病育种能从根本上控制橡胶树白粉病的危害。笔者对中国热带农业科学院橡胶所选育的且在当地主栽的 8 个橡胶树无性系的叶绿素含量、

收稿日期: 2011-03-18

基金项目: 国家天然橡胶产业体系(nyhyzx07-033-1); 海南省自然科学基金项目(809031)

作者简介: 吴春太(1972—),男,江西弋阳人,博士,副研究员,主要从事橡胶树遗传育种与幼态优势利用研究, chuntaiwu@163.com;

\*通信作者, Leewg23@163.com

SPAD 值、光合速率、白粉病抗性进行测定和比较,分析叶绿素含量与 SPAD 值、光合速率、白粉病抗性之间的关系,旨在为培育出更优良的橡胶树品种提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验地位于中国热带农业科学院(儋州)试验场(19°30.358'~19°30.413'N, 109°30.878'~109°30.963'E, 海拔 166 m)。该场坐落在海南省西部,本地区属热带季风气候,年平均气温 23.2 °C,极端最高气温 39.6 °C,最低气温 0.4 °C,年高于或等于 10 °C 的积温为 8 750 °C,持续 365 d,年无霜期为 365 d,多年平均降水量 1 821.3 mm,年平均相对湿度 83%,降水主要集中在 5—10 月,占全年降水量的 87%,年总辐射量约 450~470 kJ/cm<sup>2</sup>,年均日照时数 2 021.9 h,日照百分率约为 45%。0~40 cm 土层含有有机质 7.73 g/kg,全氮 0.37 g/kg,有效磷 12.48 mg/kg,速效钾 18.11 mg/kg,全磷 0.04%,全钾 1.32%,pH 4.71,土壤类型为黏质土。

选用示范胶园中 4 年生热研 8-79、热研 7-33-97、热研 7-20-59、热垦 523、热垦 525 等 5 个品种和热研 8-79J(热研 8-79 幼态无性系)、热研 7-33-97J(热研 7-33-97 自根幼态无性系)和 PR107J(PR107 自根幼态无性系),共 8 个材料。每种材料种植 1 个小区。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 橡胶树白粉病病害调查

2010 年 4 月 27 日对全部单株进行病情调查。整株病情最终鉴定采用文献[8]的 6 级病情分级标准:0 级,无病或少量叶片有少量病斑;1 级,多数叶片有少量病斑;2 级,多数叶片有较多病斑;3 级,病斑累累,叶片轻度皱缩或落叶 1/10;4 级,病斑布满叶片,叶片中度皱缩或落叶 1/3;5 级,叶片严重皱缩或落叶 1/2。统计发病率,计算发病指数,划分各无性系对白粉病的抗病等级。

群体抗性划分标准:病情指数 < 30,抗病(R);病情指数 30~40,中抗(MR);病情指数 40~60,中感(MS);病情指数 60,高感(HS)。

#### 1.2.2 SPAD 值测定

于橡胶树幼树期,在每个小区中选择无风害、寒害的植株,用 SPAD-502 叶绿素仪对第 1 叶篷上稳定、健康、无损伤叶进行 SPAD 值的测定。测定时,避开叶脉位置,每一叶片测 3 个位点,取平均值,以各材料全部非残害植株的平均值作为其 SPAD 值。

#### 1.2.3 光合速率测定

采用 LI-6400 便携式光合作用测定系统,选择成熟健壮的叶片测定净光合速率。每个材料各测 5 株,每株测 3 张叶片,每张叶重复 3 次,取平均值。同时测定气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率、大气温度、空气相对湿度及光合有效辐射等参数。光源选用红蓝光源,光强设置为 1 000 μmol/(m<sup>2</sup>·s),起始 CO<sub>2</sub> 浓度调至 390 μmol/mol,气体流量达到 500 μmol/s。测定过程中 CO<sub>2</sub> 浓度、H<sub>2</sub>O 浓度、相对湿度等保持基本一致。

#### 1.2.4 叶绿素提取及其含量测定

采用无水乙醇法提取叶片叶绿素。弃去粗壮主脉后剪成碎块,称取 0.2 g 叶片,共 3 份,分别放入研钵中,加入 2~3 mL 无水乙醇,研成匀浆,再加乙醇 10 mL,继续研磨至组织变白,静止 3~5 min 后,过滤移入 25 mL 的棕色容量瓶中,用乙醇定容,摇匀。

运用分光光度法<sup>[9]</sup>测定叶绿素含量。以无水乙醇作对照,用 BioMate5 紫外分光光度计测定叶绿素提取液在 665、649 和 470 nm 波长下的吸光值,每个样品重复 3 次,计算叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素以及叶绿体色素的含量。

#### 1.2.5 数据统计分析

利用 Excel、SAS8.0、SPSS 统计软件对试验结果进行显著性检验和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 橡胶树无性系对白粉病的抗性

对橡胶树无性系的抗病力进行鉴定。结果表明,橡胶无性系间发病率和发病程度差异显著。PR107J、热研 7-33-97J、热垦 525 抗白粉病,热研 879J、热垦 523、热研 7-33-97 中抗白粉病,热研 879、热研 7-20-59 表现中感白粉病。

表 1 橡胶树无性系的发病率和病情指数

Table 1 Incidence and index of the disease in different rubber tree clones

无性系	发病率/%	病情指数	表现型
PR107J	78.95BCdc	19.47Bc	R
热研 7-33-97J	63.16De	17.37Bc	R
热研 879	95.61Aba	42.28Aa	MS
热研 879J	85.41BACbc	36.45Aba	MR
热研 7-20-59	100.00Aa	41.40Aa	MS
热垦 523	87.51BAbc	34.66Ab	MR
热垦 525	70.18DCde	20.00Bc	R
热研 7-33-97	100.00Aa	34.21Ab	MR

## 2.2 橡胶树无性系叶片 SPAD 值和光合速率

不同的橡胶树无性系,其 SPAD 值有所不同。

表 2 橡胶树无性系的光合速率

Table 2 Photosynthetic rate of different clones in different periods

无性系	SPAD 值	光合速率/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	蒸腾速率/ ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	气孔导度/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
PR107J	(59.88±0.76)Ff	(11.14±0.42)ABab	(1.86±0.20)Bc	(0.09±0.01)Bc	(156.80±21.60)Bc
热研 7-33-97J	(61.46±0.69)Ee	(10.06±0.60)ABCbcd	(3.10±0.61)ABab	(0.14±0.04)ABbc	(238.00±24.24)Abc
热研 879	(66.98±0.49)Bb	(9.52±0.11)Ccd	(2.99±0.27)ABab	(0.14±0.03)ABbc	(242.80±22.93)Abc
热研 879J	(66.28±0.19)Bb	(10.63±0.58)ABCabc	(3.85±1.13)Aa	(0.20±0.16)ABab	(249.80±79.88)Aab
热研 7-20-59	(62.54±0.52)Dd	(9.74±0.48)BCcd	(2.38±0.20)Bbc	(0.12±0.01)ABbc	(223.27±5.06)ABbc
热垦 523	(64.24±0.69)Cc	(10.05±0.35)ABCbcd	(2.82±0.46)ABb	(0.25±0.04)Aa	(282.33±13.07)Aa
热垦 525	(71.92±0.55)Aa	(11.43±1.82)Aa	(1.86±0.13)Bc	(0.09±0.02)Bc	(149.67±13.86)Bc
热研 7-33-97	(62.06±0.42)EDed	(9.35±0.73)Cd	(2.83±1.12)ABb	(0.16±0.10)ABabc	(263.33±73.34)Aabc

## 2.3 橡胶树无性系叶绿素和叶绿体色素含量

不同的橡胶树无性系中,其叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量、类胡萝卜素和叶绿体色素含量也有所不同。由表 3 可知,各无性系叶绿素 a 含量变化幅度不大,热研 7-20-59 的叶绿素 a 含量最高,热垦 525 叶绿素 a 含量最低, *t* 检验结果表明,二者差异达显著水平。除热研 7-20-59 外,各无性系叶绿素 b 含量、叶绿素总含量、类胡萝卜素、叶绿体色

素含量波动不大。热研 7-20-59 与其余 7 个无性系之间叶绿素 b 含量差异达显著或极显著水平;与其余无性系间叶绿素总含量、叶绿素 a/叶绿素 b 差异均达极显著水平;与其余 7 个无性系之间类胡萝卜素含量差异达显著或极显著水平;与其余无性系间叶绿体色素含量差异达显著或极显著水平;其余无性系间的叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素、叶绿体色素的含量和叶绿素 a/叶绿素 b 差异均不显著。

由表 2 可知,热垦 525 的 SPAD 值最高,PR107J 的 SPAD 值最低,前者高出后者 12.04,各材料 SPAD 值变化幅度不大。*F* 检验表明,6 个品种之间 SPAD 值差异达到极显著水平,但同一品种不同类型种植材料间无显著差异。

由表 2 可见,光合速率最高的无性系是热垦 525,其次是幼态无性系 PR107J,而热垦 525 和 PR107J 的蒸腾速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度均下降。*F* 检验结果表明,热垦 525、PR107J 的光合速率与热研 879、热研 7-33-97 有极显著差异。

表 3 橡胶树无性系叶绿素和叶绿体色素含量

Table 3 Contents of chlorophyll and chloroplast pigment in each clone

无性系	叶绿素a含量	叶绿素b含量	叶绿素总含量	叶绿素a/叶绿素b	类胡萝卜素含量	叶绿体色素含量
PR107J	(2.30±0.02)ab	(2.15±0.15)ABa	(4.44±0.15)Aa	(1.0730±0.0802)Bb	(0.15±0.04)Bb	(4.59±0.11)ABa
热研 7-33-97J	(2.28±0.03)ab	(2.36±0.21)Aa	(4.63±0.18)Aa	(0.9738±0.1001)Bb	(0.09±0.07)Bb	(4.72±0.11)Aa
热研 879	(2.30±0.03)ab	(2.21±0.18)Aa	(4.50±0.15)Aa	(1.0471±0.0974)Bb	(0.14±0.06)Bb	(4.64±0.09)Aa
热研 879J	(2.30±0.03)ab	(2.12±0.23)ABa	(4.42±0.20)Aa	(1.0975±0.1218)Bb	(0.17±0.07)ABb	(4.59±0.13)ABa
热研 7-20-59	(2.32±0.02)a	(1.66±0.23)Bb	(3.99±0.24)Bb	(1.4190±0.1990)Aa	(0.31±0.07)Aa	(4.29±0.17)Bb
热垦 523	(2.30±0.07)ab	(2.15±0.47)ABa	(4.45±0.40)Aa	(1.1091±0.2305)Bb	(0.18±0.11)ABb	(4.63±0.29)Aa
热垦 525	(2.26±0.05)b	(2.43±0.31)Aa	(4.69±0.25)Aa	(0.9439±0.1329)Bb	(0.09±0.08)Bb	(4.77±0.18)Aa
热研 7-33-97	(2.29±0.01)ab	(2.15±0.27)ABa	(4.43±0.25)Aa	(1.0806±0.1419)Bb	(0.17±0.09)ABb	(4.60±0.17)ABa

## 2.4 叶绿素各组份间的相互关系

8个无性系中,叶绿素总含量与叶绿素b含量、叶绿体色素含量呈显著正相关,其相关系数分别为0.999、0.997( $R_{0.05}=0.707$ ,  $R_{0.01}=0.834$ );与叶绿素a含量、叶绿素a/叶绿素b、类胡萝卜素含量显著负相关,其相关系数分别是-0.892、-0.994和-0.988。

## 2.5 叶绿素含量与净光合速率和 SPAD 值的关系

对橡胶树8个无性系叶绿素含量与净光合速率及SPAD值间的相关分析表明,净光合速率与叶绿素b、总叶绿素、叶绿体色素含量呈显著正相关,与叶绿素a含量呈极显著负相关,与叶绿素a/叶绿素b、类胡萝卜素含量呈显著负相关;SPAD值与叶绿素b、叶绿素总含量及叶绿体色素含量呈正相关,与叶绿素a含量、叶绿素a/叶绿素b、类胡萝卜素含量呈负相关,但均未达显著水平。

## 2.6 橡胶树无性系白粉病抗性与叶绿素含量和净光合速率间的相关分析

橡胶树无性系白粉病抗性与叶绿素含量及净光合速率的相关性分析表明,叶片叶绿素a含量与病情指数呈正相关,相关系数为0.707\*,达显著水平。病情指数低,说明抗病力强,反映对白粉病的抗性与叶绿素a含量呈负相关。抗病性与叶绿素b、总叶绿素、类胡萝卜素、叶绿体色素含量、叶绿素a、叶绿素b、SPAD值和净光合速率的相关性未达显著水平。

## 3 小结与讨论

PR107J、热研7-33-97J、热垦525等3个无性系对白粉病都具有抗病性;8个橡胶树无性系的光合速率、叶绿素a含量、叶绿素b含量、叶绿素总含量、类胡萝卜素含量和叶绿体色素含量有所不同,但大多数无性系之间无显著性差异,但SPAD值存在明显差异。

叶绿素b含量决定了叶绿素总含量和叶绿体色素含量水平,叶绿素b含量与叶绿素总含量和叶绿体色素含量呈显著正相关,相关系数分别为0.999、0.996。

本试验发现叶绿体色素含量与净光合速率呈显著相关:叶绿素b、总叶绿素、类胡萝卜素和叶

绿体色素有利于提高光合速率,叶绿素a和叶绿素a/叶绿素b起副作用;叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总含量、类胡萝卜素、叶绿体色素含量和叶绿素a/叶绿素b与SPAD值的相关性均不显著,所以应用SPAD仪分析橡胶树叶片叶绿素含量时需要谨慎。

试验还表明,叶片内叶绿素a含量与橡胶树无性系白粉病抗性呈负相关,叶绿素a含量降低,叶片光合作用加强,同化产物增多,积聚的能量升高,为植株的抗病性提供了生理基础,从而增强橡胶树抵御病害的能力。叶绿素a含量能否作为橡胶树品种抗白粉病的生理指标还有待于进一步观测与研究。

海南大学气象与生态教研室何春生老师和中国热带农业科学院橡胶研究所栽培生态研究室陶忠良老师提供常规气象数据,土壤农化研究室分析土壤理化性质,特此感谢。

## 参考文献:

- [1] 李芹,陈伟强.中国天然橡胶产业面临的挑战[J].热带农业工程,2010,34(4):55-58.
- [2] 周艳飞,何丽,何素明,等.云南橡胶树栽培[M].昆明:云南大学出版社,2008:24-25.
- [3] 刘俊稚,葛亚明,Pugliese Massimo,等.CO<sub>2</sub>和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响[J].生态学报,2011,31(2):491-497.
- [4] 舒海燕,田保明.病菌侵染拟南芥对光系统II的损伤[J].安徽农业科学,2010,38(26):14256-14257.
- [5] 樊红科,赵政阳,王飞,等.苹果杂交后代斑点落叶病抗性生理指标的综合评价及预测[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(6):153-159.
- [6] 吴春太,罗立谱,李维国,等.不同橡胶树品种抗炭疽病性及治理后的生理指标研究[J].江西农业大学学报,2010,32(6):1152-1157.
- [7] Mondal G C, Meti S, Sarma A C, et al. Response to zinc on growth and incidence of powdery mildew disease in RRIM 600 clone of Hevea in nursery [J]. Journal of Plantation Crops, 2008, 36(3): 471-474.
- [8] 农业部农产品质量安全监管局,农业部农垦局,中国农垦经济发展中心,等.最新中国农业热带作物标准[M].北京:中国农业出版社,2011:645-659.
- [9] 武卫华,刘忠荣,黄先敏,等.叶绿体色素的提取方法改进及其应用[J].北方园艺,2010(24):67-69.

责任编辑:罗慧敏