

# 3 种木兰科植物叶片 SPAD 值的分布特征及其与叶绿素含量的关系\*

Distribution Characteristics of Leaf SPAD Value and Its Relationship with Chlorophyll Content in Lesves of Three Magnoliaceae Species

贾朋 罗树凯 王方  
JIA Peng, LUO Shu-kai, WANG Fang

**摘要:** 为探讨 3 种木兰科植物灰木莲 *Manglietia glauca*、醉香含笑 *Michelia macclurei* 和乐昌含笑 *Michelia chapensis* 叶片 SPAD 值的分布特征及其与叶绿素含量之间的关系, 采用 SPAD 叶绿素计和分光光度法分别测定了三者叶片 SPAD 值和叶绿素含量。结果表明: 3 种植物叶片 SPAD 值的差异主要源于树种和叶片成熟度, 叶片成熟度间的差异性远强于树种间的差异。成熟叶的 SPAD 值显著高于嫩叶 ( $P < 0.01$ ), 乐昌含笑叶片 SPAD 值显著高于灰木莲和醉香含笑 ( $P < 0.05$ )。叶片不同部位的 SPAD 值分布表现为叶基  $>$  叶中  $>$  叶尖, 除醉香含笑嫩叶之外, 其余 2 种植物叶基与叶尖均存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。三者叶片 SPAD 值的最佳测定部位均为叶片中部。三者叶片 SPAD 值与叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量均呈现极显著 ( $P < 0.01$ ) 相关, 可以利用 SPAD 值和不同模型来快速无损预测其叶绿素含量。

**关键词:** 木兰科; 叶片; SPAD 值; 叶绿素

**中图分类号:** S688

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2641 (2022) 02-0085-05

**收稿日期:** 2021-05-26

**修回日期:** 2021-09-01

**Abstract:** In order to study the distribution characteristics of SPAD value and its relationship with chlorophyll content in leaves of three Magnoliaceae species, *Manglietia glauca*, *Michelia macclurei* and *Michelia chapensis*, SPAD value and chlorophyll content in leaves were measured by using chlorophyll meter SPAD and spectrophotometry. The results showed that the significant differences of leaf SPAD values of the three plants were derived from tree species and leaf maturity, and the difference in leaf maturity was higher than that of tree species. The SPAD value of mature leaf was significant higher ( $P < 0.01$ ) than that of young leaf in three Magnoliaceae species, and the leaf SPAD value of *M. chapensis* was significant higher ( $P < 0.05$ ) than *M. glauca* and *M. macclurei*. The SPAD value of the same leaf at different leaf positions was in the order of apex  $<$  middle  $<$  base. Significant differences ( $P < 0.05$ ) were found between apex and base except the young leaf of *M. macclurei*. The middle of leaf of three Magnoliaceae species was considered to be the optimal position for determining the SPAD value. Leaf SPAD value of three Magnoliaceae species had a highly significant ( $P < 0.01$ ) positive correlation with chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll content, which showed that it was feasible to forecast chlorophyll content rapidly and non-invasively by SPAD value and different models.

**Keywords:** Magnoliaceae; Leaf; SPAD value; Chlorophyll

叶片是植物光合作用的主要器官, 其形态特征、生理特性与植物的生长、营养状况密切相关<sup>[1-2]</sup>。叶绿素作为植物最重要的光合色素, 在植物光合特性、生长发育、生理代谢等方面起到重要作用<sup>[3]</sup>。叶片叶绿素含量的高低, 直接反映了植物的营养状态和生长状态, 是制定植物养护管理的重要依据<sup>[4-5]</sup>。通过取样试验分析测定叶绿素含量是最准确的方法, 但该方法需要进行破坏性取样, 样本量需求大且成本较高, 还具有一定的滞后性, 故而在实际生产中受到一定的限制<sup>[6]</sup>。SPAD 叶绿素计通过定量描述叶片的绿色度, 可以在活体上快速得到叶片叶绿素的相对含量。大量研究表明叶片 SPAD 值和叶绿素含量之间存在显著的相关性<sup>[7-9]</sup>。通过这种无损快速的测定方法, 可以实现对目标植物叶绿素的实地测定, 并且可以进行长期监测, 从而更好地了解目标植物对环境干扰的生态适应性。目前, SPAD 叶绿素计已经广泛应用于农作物<sup>[8-10]</sup>, 但是在林业和园林树种上的研究还不够广泛。

木兰科是亚热带常绿阔叶林的地带性优势科之一, 在维持森林生态系统平衡及生物多样性保护等方面起着重要的作用<sup>[11-12]</sup>。灰木莲 *Manglietia glauca*、醉香含笑 *Michelia macclurei* 和乐昌含笑 *Michelia chapensis* 是木兰科速生类珍贵树种, 具有树干通直、树形优美的特点, 是华南地区造林常用的阔叶树种和碳汇树种, 而且在园林绿化中也受到越来越多的重视。本文以这 3 种木兰科植物为研究对象, 探讨叶片 SPAD 值的种间差异特征及其空间分布特征, 量化叶片 SPAD 值和叶绿素含量之间的函数关系, 以期 SPAD 叶绿素计在林业和园林方面的应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

本研究设在广州市林业和园林科学研究院林木良种繁育基地。该地位于广州市增城区, 海拔 151 m, 属亚热带海洋性季风气候, 年平均降水量 1 904 mm, 4—9 月为雨季, 占全年降雨量的 85% 左右, 10 月至翌年 3 月为旱季; 年平均温度 21.6℃, 日照充足, 全年日照时数多年平均为 1 903.9 h。

\* 基金项目: 广州市科技计划项目 (201803020010); 广州市地方标准制定 (修订) 计划项目 (2019-21); 广州市部门预算科研项目 (穗财编 [2017]50 号); 广州市 2021 年部门预算科研项目 (穗财环 [2021]15 号)

### 1.2 试验材料

选取灰木莲、醉香含笑和乐昌含笑 3 种植物各 5 株, 每株植物在东、南、西、北 4 个方向均匀采集成熟叶 (以近主轴的叶片代表) 和嫩叶 (完全伸展, 以近枝条顶端的叶片代表) 各 3 片, 所采集的叶片均健康、无病虫害、无过老或过嫩, 3 种植物共测定叶子 360 片。测定日期为 2020 年 7 月 21—23 日, 测定时间为 9:00—11:00, 天气晴朗。

### 1.3 样品测定及分析

采用便携式 SPAD-502 叶绿素计, 于叶片采集后马上对其进行 SPAD 值测定, 以防止叶片失水影响结果。测定时手持叶柄, 叶子上表面朝上, 叶尖向前, 将每片待测叶片按主脉长度等量划分为叶尖 (Apex)、叶中 (Middle) 和叶基 (Base) 3 部分, 再以主脉为中界将每个部分划分为左、右两区, 一共划分成 6 个分区<sup>[13]</sup>。测定时从右叶基开始, 逆时针测定, 每个叶片测得 6 个 SPAD 值, 各部

位的 SPAD 值以左右 2 个数值的平均值代表, 左右两区的 SPAD 值以该区 3 个数值的平均值代表, 叶片总体的 SPAD 值为这 6 个数值的平均值。

测定叶片 SPAD 值后, 将叶片分别装袋带回实验室, 采用乙醇丙酮混合液 - 分光光度法<sup>[4]</sup>, 测定叶片中的叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 和总叶绿素 (Chlt) 含量。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理, SPSS 19.0 进行样本数据 t 检验、相关性分析、方差分析及 Duncan 多重比较, SigmaPlot 14.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 三种木兰科植物叶片 SPAD 值和叶绿素含量

#### 2.1.1 SPAD 值和叶绿素含量的比较

结果表明 (表 1), 总体而言, 3 种木兰科植物叶片 SPAD 值和叶片

叶绿素总含量之间表现出较强的一致性。成熟叶和嫩叶是植物叶片的不同生长阶段, 3 种植物不同成熟度的叶片间的叶绿素含量 (SPAD 值和实测叶绿素含量) 均存在明显差异, 成熟叶的叶绿素含量显著高于嫩叶 ( $P < 0.01$ )。3 种植物嫩叶叶片叶绿素含量波动较大, 随着叶片生长, 其叶绿素含量不断增高并且逐渐稳定。

3 种木兰科植物成熟叶片 SPAD 值波动范围为 34.3~67.2, 叶绿素 a 含量为 1.115~2.391 mg/gFW, 叶绿素 b 含量为 0.412~1.227 mg/gFW, 总叶绿素含量为 1.535~3.258 mg/gFW。可以看出, 叶片 SPAD 值的变异系数最小, 叶绿素 b 的变异系数最高。3 种植物成熟叶总叶绿素含量的平均变异系数为 14.20%, 明显高于成熟叶 SPAD 值的平均变异系数 10.26%, 表明叶片 SPAD 值测量结果更加稳定。

叶片 SPAD 值和总叶绿素含量在 3 种木兰科植物间也存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 无论是成熟叶还是嫩叶,

表 1 3 种木兰科植物叶片 SPAD 值和叶绿素含量

树种	叶片成熟度	叶绿素	均值	标准差	最大值	最小值	变异系数 /%
灰木莲	成熟叶	SPAD 值	51.6	5.9	66.9	34.3	11.51
		叶绿素 a (mg/gFW)	1.447	0.182	2.024	1.115	12.54
		叶绿素 b (mg/gFW)	0.766	0.143	1.227	0.412	18.66
		总叶绿素含量 (mg/gFW)	2.213	0.297	3.251	1.535	13.44
	嫩叶	SPAD 值	29.9	4.5	38.4	19.1	15.02
		叶绿素 a (mg/gFW)	0.916	0.153	1.211	0.637	16.71
		叶绿素 b (mg/gFW)	0.295	0.080	0.508	0.160	26.92
		总叶绿素含量 (mg/gFW)	1.211	0.210	1.631	0.814	17.33
醉香含笑	成熟叶	SPAD 值	50.8	5.8	67.2	41.9	11.33
		叶绿素 a (mg/gFW)	1.610	0.245	2.391	1.201	15.23
		叶绿素 b (mg/gFW)	0.567	0.095	0.867	0.445	16.84
		总叶绿素含量 (mg/gFW)	2.177	0.330	3.258	1.649	15.16
	嫩叶	SPAD 值	31.7	5.7	46.7	21.3	17.91
		叶绿素 a (mg/gFW)	0.926	0.209	1.315	0.595	22.57
		叶绿素 b (mg/gFW)	0.330	0.083	0.572	0.226	25.09
		总叶绿素含量 (mg/gFW)	1.256	0.283	1.887	0.827	22.56
乐昌含笑	成熟叶	SPAD 值	55.2	4.4	65.0	43.8	7.93
		叶绿素 a (mg/gFW)	1.593	0.213	2.022	1.178	13.39
		叶绿素 b (mg/gFW)	0.734	0.165	1.215	0.454	22.40
		总叶绿素含量 (mg/gFW)	2.327	0.326	3.120	1.773	14.01
	嫩叶	SPAD 值	38.7	7.1	50.1	28.7	18.29
		叶绿素 a (mg/gFW)	0.997	0.237	1.306	0.576	23.81
		叶绿素 b (mg/gFW)	0.323	0.106	0.587	0.192	32.73
		总叶绿素含量 (mg/gFW)	1.320	0.314	1.811	0.769	23.76

乐昌含笑叶片的 SPAD 值和总叶绿素含量均显著高于 (P<0.05) 灰木莲和醉香含笑。灰木莲成熟叶片的 SPAD 值和总叶绿素含量略高于醉香含笑, 而嫩叶的 SPAD 值和总叶绿素含量却略低于醉香含笑, 但这种差异都没有达到显著性水平。

### 2.1.2 SPAD 值的差异性来源

双因素方差分析表明 (表 2), 3 种木兰科植物叶片 SPAD 值的差异主要来源于树种 (P<0.01) 和叶片成熟度 (P<0.01), 两者分别解释了 6.14% 和 69.52% 的变异, 且叶片成熟度之间的差异性远强于树种之间的差异。因此, 测定 SPAD 值时叶片选择十分重要。

## 2.2 叶片 SPAD 值的分布特征

### 2.2.1 叶片不同部位 SPAD 值的比较

叶片不同部位的 SPAD 值比较结果显示 (图 1), 3 种植物叶片在 3 个部位的 SPAD 值均不受叶片生长阶段的影响, 呈现出一定的分布规律。成熟叶和嫩叶的 SPAD 值均表现为叶基 > 叶中 > 叶尖, 并且随着叶片的生长, 这种分布的差异也更为明显。方差分析可知, 除醉香含笑嫩叶不同部位无显著差异外, 其他种叶片的叶尖 SPAD 值均显著低于叶基 (P<0.05)。

### 2.2.2 叶片左右两区 SPAD 值的比较

不同叶片分区的 SPAD 值比较结果显示 (图 2), 3 种植物成熟叶片左右两区的 SPAD 值均表现为左区 > 右区, 然而这种差异并没有达到显著性水平。方差分析显示, 只有醉香含笑成熟叶基部的 SPAD 值左区显著高于右区 (P<0.05)。3 种植物嫩叶的左右分区的叶片 SPAD 值均较为接近。

## 2.3 叶片 SPAD 值的最佳测定区域

回归分析表明 (表 3), 3 种植物不同成熟度的叶片均以叶中部的 SPAD 值与总体 SPAD 值的相关性系数最高, 即两者值最接近, 表明叶中部的 SPAD 均值能够代

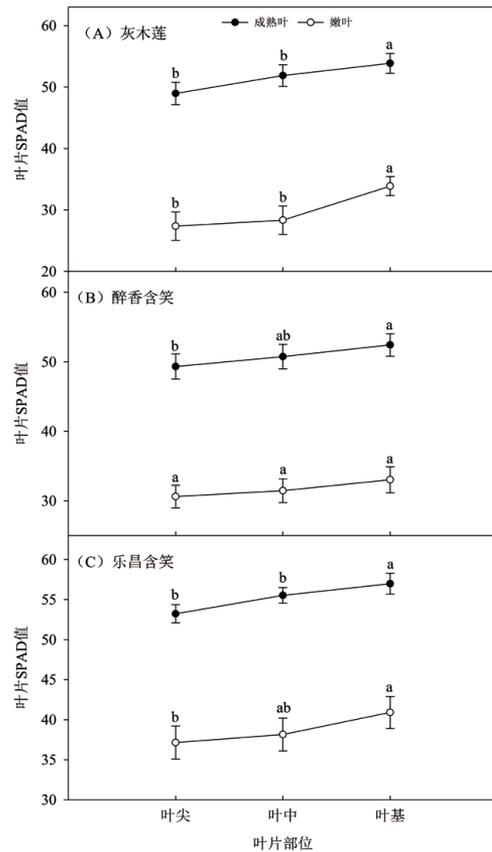


图 1 3 种木兰科植物不同叶片部位的 SPAD 值

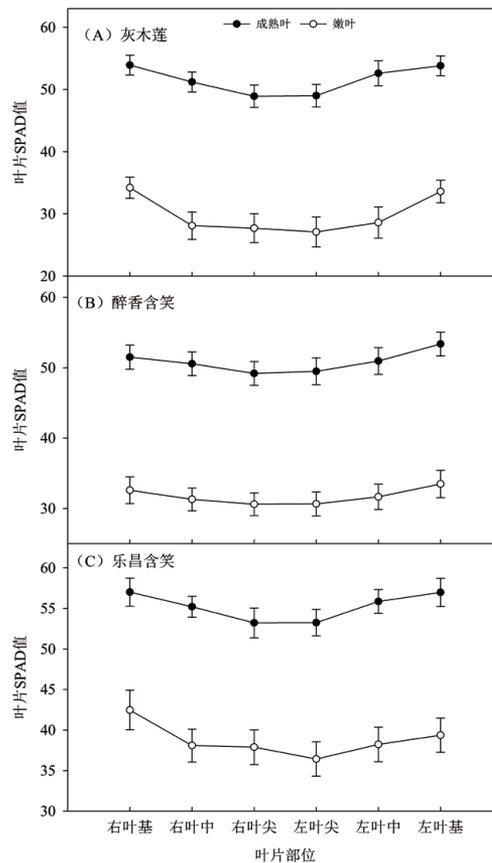


图 2 3 种木兰科植物不同叶片分区的 SPAD 值

表 2 3 种木兰科植物叶片 SPAD 值差异性来源

差异性来源	自由度	F	Sig.	Var/%
校正模型	3	368.921	<0.001**	75.66
树种	2	44.896	<0.001**	6.14
叶片成熟度	1	1016.971	<0.001**	69.52
误差	356			24.34

注: \*\* 表示方差分析的结果存在显著差异 (P<0.01); 方差变异比 (Var) 由各处理水平的离差平方除以总的离差平方和得到

表 3 叶片不同部位 SPAD 值与叶片总体 SPAD 值的回归分析

树种	成熟叶			嫩叶		
	叶基	叶中	叶尖	叶基	叶中	叶尖
灰木莲	0.902 5**	0.947 1**	0.906 0**	0.755 4**	0.904 3**	0.880 7**
醉香含笑	0.902 9**	0.923 1**	0.881 9**	0.840 8**	0.855 4**	0.819 3**
乐昌含笑	0.853 9**	0.939 3**	0.919 3**	0.865 0**	0.876 9**	0.846 2**

注: \*\* 表示方差分析的结果存在显著差异 (P<0.01), 表 4 同

表叶片 SPAD 值的平均水平, 由此推断叶中部为叶片 SPAD 值测定的最佳区域。

### 2.4 叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性

叶片 SPAD 值用于表征叶绿素含量的无量纲值, 属于相对含量值, 其数值的大小反映了叶绿素含量的多少<sup>[15]</sup>。为了更准确地量化两者之间的函数关系, 采用线性模型、对数模型、幂指数模型和指数模型进行拟合分析。结果表明(表 4), 3 种植物叶片 SPAD 值和叶绿素含量间的相关性在 4 种模型中均达到了极显著水平 ( $P < 0.001$ ), 回归方程的相关系数 ( $R^2$ ) 均高于 0.7, 表明 4 种模型的拟合效果都很好。其中, 灰木莲叶片 SPAD 值和叶绿素含量的拟合性最好, 除了叶绿素 b 的线性模型和对数模型外, 其他模型的相关系数均高于 0.9。醉香含笑叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量的最佳模型均为对数模型。乐昌含笑叶片的叶绿素 a 和总叶绿素含量的最佳模型为幂指数模

型, 而叶绿素 b 采用指数模型拟合效果最佳。

### 3 结论与讨论

3 种木兰科植物叶片 SPAD 值的差异主要源于叶片成熟度, 成熟叶的 SPAD 值均显著高于嫩叶 ( $P < 0.01$ )。叶片发育成熟与否对叶绿素含量有着重要的影响, 成熟叶的叶肉组织已经生长成熟, 而嫩叶的叶肉组织虽然已经形成, 但是发育尚未成熟。3 种植物对比来看, 无论是嫩叶还是成熟叶, 乐昌含笑叶片 SPAD 值均显著高于灰木莲和醉香含笑 ( $P < 0.01$ )。

很多植物叶片不同部位 SPAD 值(或叶绿素含量)存在较大差异。本研究中, 3 种植物叶片不同部位的 SPAD 值均表现为叶基 > 叶中 > 叶尖, 这与洋紫荆 *Bauhinia variegata*<sup>[15]</sup>、刨花润楠 *Machilus pauhoi*<sup>[16]</sup>、薄叶润楠(华东润楠) *Machilus leptophylla*<sup>[16]</sup>、橡胶树 *Hevea brasiliensis*<sup>[17]</sup> 等研究结果相一致。除醉香含笑嫩叶之外, 其

余叶片的叶基叶绿素含量均显著高于叶尖 ( $P < 0.05$ )。这可能是叶尖叶肉组织的成熟程度相对较低造成的, 也可能是距离叶柄远近所导致的叶片各部位水分和养分的差异造成的。3 种植物成熟的叶片 SPAD 值均表现为左区高于右区, 然而这种差异并没有达到显著性水平 ( $P > 0.05$ )。不同植物叶片 SPAD 值的最佳测定部位不同, 玉米 *Zea mays* 距离叶基部 55% 的位置测定值最为准确且偏差最小<sup>[18]</sup>, 烟叶最佳测定部位为叶片基部<sup>[10]</sup>, 洋紫荆最佳测定区域为叶片中部<sup>[15]</sup>。而本研究的 3 种植物不同成熟度的叶片均以叶中 SPAD 均值和叶片总体 SPAD 均值最为接近且相关性系数最高, 由此推断得出其叶片 SPAD 值测定最佳位置为叶片中部。

叶绿素含量和 SPAD 值均可以反映叶片叶绿素含量的多少, 但前者是绝对含量值, 后者是相对含量。本研究的 4 种模型均能较好地拟合 SPAD 值和叶绿素含量之间的关系 ( $P < 0.01$ ), 幂指数模型和指数模型

表 4 3 种木兰科植物叶片 SPAD 值 (x) 与叶绿素含量 (y) 的回归方程

树种	拟合模型	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素含量
灰木莲	线性模型	$y = 0.023\ 8x + 0.212\ 4$ $R^2 = 0.950\ 9^{**}$	$y = 0.024\ 2x - 0.477\ 1$ $R^2 = 0.856\ 9^{**}$	$y = 0.048x - 0.263\ 1$ $R^2 = 0.958\ 5^{**}$
	对数模型	$y = 0.910\ 9\ln(x) - 2.183\ 2$ $R^2 = 0.972\ 4^{**}$	$y = 0.899\ 6\ln(x) - 2.818\ 6$ $R^2 = 0.831\ 6^{**}$	$y = 1.809\ln(x) - 4.996\ 1$ $R^2 = 0.954\ 7^{**}$
	幂指数模型	$y = 0.052\ 9x^{0.839\ 2}$ $R^2 = 0.955\ 2^{**}$	$y = 2.932\ 1 \times 10^{-4}x^{2.002\ 7}$ $R^2 = 0.907\ 4^{**}$	$y = 0.021\ 8x^{1.172\ 9}$ $R^2 = 0.970\ 1^{**}$
	指数模型	$y = 0.482\ 1e^{0.021\ 9x}$ $R^2 = 0.926\ 3^{**}$	$y = 0.054\ 6e^{0.053\ 4x}$ $R^2 = 0.922\ 3^{**}$	$y = 0.472\ 2e^{0.030\ 9x}$ $R^2 = 0.963\ 6^{**}$
醉香含笑	线性模型	$y = 0.048\ 6x - 0.754\ 2$ $R^2 = 0.865\ 5^{**}$	$y = 0.014\ 8x - 0.237\ 7$ $R^2 = 0.814\ 4^{**}$	$y = 0.063\ 5x - 0.994\ 5$ $R^2 = 0.856\ 3^{**}$
	对数模型	$y = 1.777\ 1\ln(x) - 5.354\ 4$ $R^2 = 0.874\ 4^{**}$	$y = 0.538\ 9\ln(x) - 1.631\ 0$ $R^2 = 0.817\ 4^{**}$	$y = 2.318\ 5\ln(x) - 6.994\ 6$ $R^2 = 0.863\ 7^{**}$
	幂指数模型	$y = 0.001\ 4x^{1.829\ 6}$ $R^2 = 0.864\ 6^{**}$	$y = 3.241\ 7 \times 10^{-4}x^{1.893\ 0}$ $R^2 = 0.782\ 3^{**}$	$y = 0.001\ 7x^{1.844\ 4}$ $R^2 = 0.848\ 3^{**}$
	指数模型	$y = 0.158\ 5e^{0.049\ 9x}$ $R^2 = 0.851\ 1^{**}$	$y = 0.043\ 5e^{0.051\ 8x}$ $R^2 = 0.774\ 9^{**}$	$y = 0.201\ 8e^{0.050\ 3x}$ $R^2 = 0.836\ 3^{**}$
乐昌含笑	线性模型	$y = 0.032\ 8x - 0.240\ 9$ $R^2 = 0.775\ 3^{**}$	$y = 0.021\ 8x - 0.492\ 6$ $R^2 = 0.761\ 0^{**}$	$y = 0.054\ 6x - 0.733\ 8$ $R^2 = 0.839\ 1^{**}$
	对数模型	$y = 1.434\ 9\ln(x) - 4.186\ 5$ $R^2 = 0.773\ 6^{**}$	$y = 0.932\ 2\ln(x) - 0.030\ 5$ $R^2 = 0.723\ 2^{**}$	$y = 2.367\ 3\ln(x) - 7.218\ 0$ $R^2 = 0.821\ 2^{**}$
	幂指数模型	$y = 0.010\ 5x^{1.247\ 6}$ $R^2 = 0.815\ 2^{**}$	$y = 2.268\ 7 \times 10^{-4}x^{1.998\ 5}$ $R^2 = 0.829\ 1^{**}$	$y = 6.749\ 0 \times 10^{-3}x^{1.348\ 2}$ $R^2 = 0.881\ 4^{**}$
	指数模型	$y = 0.330\ 8e^{0.028\ 1x}$ $R^2 = 0.792\ 7^{**}$	$y = 0.054\ 7e^{0.045\ 9x}$ $R^2 = 0.838\ 2^{**}$	$y = 0.367\ 7e^{0.032\ 9x}$ $R^2 = 0.870\ 6^{**}$

是灰木莲、醉香含笑和乐昌含笑总叶绿素含量的最佳模型。但指数模型及幂指数模型计算较为复杂,而使用SPAD值预测叶绿素含量的出发点是快速和方便,通过实测获得大量即时数据,故考虑到实际操作性,建议采用线性模型来快速预测叶片叶绿素含量。

注:图片均为作者自绘。

#### 参考文献:

- [1] 何芸雨,郭水良,王喆.植物功能性状权衡关系的研究进展[J].植物生态学报,2019,43(12):5-19.
- [2] COBLE A P, FOGEL M L, PARKER G G. Canopy Gradients in Leaf Functional Traits for Species That Differ in Growth Strategies and Shade Tolerance[J]. Tree Physiology, 2017, 37(10): 1-11.
- [3] 李佳佳,于旭东,蔡泽坪,等.高等植物叶绿素生物合成研究进展[J].分子植物育种印刷版,2019,17(18):6013-6019.
- [4] 关广展,屠乃美,肖汉乾,等.镁对烟草生长及叶片叶绿素荧光参数的影响[J].植物营养与肥料学报,2008(1):151-155.
- [5] 王帘里,孙波,隋跃宇,等.不同气候和土壤条件下玉米叶片叶绿素相对含量对土壤氮素供应和玉米产量的预测[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):327-335.
- [6] 李刚华,薛利红,尤娟,等.水稻氮素和叶绿素SPAD叶位分布特点及氮素诊断的叶位选择[J].中国农业科学,2007,40(6):1127-1134.
- [7] 王瑞,陈永忠,陈隆升,等.油茶叶片SPAD值与叶绿素含量的相关分析[J].中南林业科技大学学报,2013,33(2):77-80.
- [8] 宋廷宇,程艳,何自涵,等.菜豆叶片SPAD值与叶绿素含量的相关性分析[J].山东农业科学,2017,49(6):13-16.
- [9] 王薇,宋廷宇,王艳,等.番茄叶片SPAD值与叶绿素含量的相关性分析[J].北方园艺,2013(23):12-15.
- [10] 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(3):47-52.
- [11] 陈伟光,张卫强,唐洪辉,等.南亚热带不同林龄人工针阔混交林物种多样性研究[J].广东林业科技,2014,30(6):45-51.
- [12] AZUMA H, GARCÍA-FRANCO J G, RICO-GRAY V, et al. Molecular Phylogeny of the Magnoliaceae: the Biogeography of Tropical and Temperate Disjunctions[J]. American Journal of Botany, 2001, 88(12): 2275-2285.
- [13] 柯娴敏,贺立静,苏志尧.南方4种木本植物相对叶绿素指标及其分布[J].中南林业科技大学学报,2010,30(8):82-86.
- [14] 关锦毅,郝再彬,张达,等.叶绿素提取与检测及生物学功效的研究进展[J].东北农业大学学报,2009,40(12):130-136.
- [15] 贾朋,钱磊,罗树凯,等.洋紫荆叶绿素含量的分布特征及与叶片氮含量的关系[J].中国城市林业,2019(6):13-17.
- [16] 钟全林,程栋梁,胡松竹,等.刨花润楠和华东润楠叶绿素含量分异特征及与净光合速率的关系[J].应用生态学报,2009,20(2):271-276.
- [17] 李小琴,张凤良,胡永华,等.橡胶树不同叶位叶绿素空间分布特点[J].西北林学院学报,2017,32(5):52-58.
- [18] CHAPMAN S C, BARRETO H J. Using a Chlorophyll Meter to Estimate Specific Leaf Nitrogen of Tropical Maize during Vegetative Growth[J]. Agronomy journal, 1997, 89(4): 557-562.

#### 作者简介:

贾朋/1992年生/男/河南郑州人/硕士/广州市林业和园林科学研究院(广州510405)/工程师/主要从事森林培育及森林生态方向的研究

罗树凯/1987年生/男/广东广州人/本科/广州市林业和园林科学研究院(广州510405)/工程师/主要从事林木繁育等方向的研究

王方/1984年生/女/广东广州人/本科/广州市林业和园林科学研究院(广州510405)/工程师/主要从事园林植物栽培与应用等方向的研究