

浙江毛竹叶绿素野外测量与实验室分析数据集(2018)

王正兴*, 李 芳

中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101

摘 要: 毛竹是亚热带和热带地区重要森林生态系统, 固碳效率高, 同时也是当地重要的经济来源, 但代价是每年有 1/6 的地上生物量被移出系统外, 因此面临土壤肥力亏损问题。毛竹叶片叶绿素密度是毛竹生态系统土壤营养管理的一个重要参考指标, 通过建立相对值(例如: SPAD)与绝对值(Chl, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)关系, 可以实现大面积毛竹叶绿素及其土壤肥力的动态监测。2018年10月23日, 在浙江省德清县莫干山余脉(经纬度: $30^\circ 32' 53.89''\text{N}$, $119^\circ 55' 1.27''\text{E}$)采集30组毛竹叶片样本, 使用 SPAD-502 型叶绿素仪测量叶片的叶绿素含量相对值 SPAD。实验室测量叶绿素提取与分析采用乙醇(95% ethanol): 丙酮(80% acetone)混合溶液(1:1)提取法, 得到单位面积叶绿素含量 Chl ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)。结果显示, 野外测量叶绿素相对值(SPAD)的值域范围 27.4–47.6, 均值 40.47。实验室分析得到的叶绿素绝对值(Chl)的值域范围 26.51–70.72, 均值 51.84。相关分析表明, SPAD 与 Chl 的关系拟合最好的为指数模型($\text{Chl} = 5.8775e^{0.0525 \times \text{SPAD}}$), 决定系数(R^2)为 0.9287。浙江毛竹叶绿素含量野外测量与实验室分析数据集包括: (1) 样本采集地地理位置; (2) 野外测量的叶片叶绿素相对值(SPAD)、实验室测量的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、总叶绿素含量和叶绿素 a 与叶绿素 b 含量的比值。数据集存储为 .kmz、.shp 和 .xlsx 格式, 由 3 个数据文件组成, 数据量为 31.6 KB (压缩为 2 个文件, 28.4 KB)。

关键词: 毛竹; 叶绿素; 相对值; 绝对值; 统计模型; 浙江; 莫干山

DOI: 10.3974/geodp.2019.02.11

1 前言

毛竹(楠竹, 江南竹, 孟宗竹)属禾本科竹亚科, 主要分布于亚热带和热带地区。同多数竹类一样, 由于毛竹很少开花, 缺乏植物分类最重要的依据, 所以毛竹的科学分类和拉丁文命名至今没有定论, 文献见到的多达十多个。其中, 《中国植物志》第9卷第1分册^[1]中其学名定为 *Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Leh., 另外一个常见的用法是 *Phyllostachys edulis* acut. non (Carr.) H de Leh^[2]。由于毛竹生长快速, 产出多样, 因此具有可观的生态效益和经济效益。例如, 一般毛竹林生物量为 $115 \text{ t}/\text{hm}^2$, 仅低于常绿阔叶林($399 \text{ t}/\text{hm}^2$)和针阔混交林($378 \text{ t}/\text{hm}^2$), 高于天然次生林($114 \text{ t}/\text{hm}^2$)和马尾松林($109 \text{ t}/\text{hm}^2$)。但由于毛竹采伐周期仅 5–6 年, 其每年新增碳汇是现存碳汇的 1/6 以上, 高于其他森林生

收稿日期: 2018-12-01; **修订日期:** 2018-12-10; **出版日期:** 2019-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2016YFA0600201)

***通讯作者:** 王正兴 L-5255-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所, wangzx@igsnrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 王正兴, 李芳. 浙江毛竹叶绿素野外测量与实验室分析数据集(2018年)[J]. 全球变化数据学报, 2019, 3(2): 204–209. DOI: 10.3974/geodp.2019.02.11.

[2] 王正兴, 李芳. 浙江毛竹叶绿素含量野外测量与实验室分析数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2019. DOI: 10.3974/geodb.2019.03.05.V1.

态系统^[3-4]。除了与生物量密切相关的碳汇价值，毛竹生态系统服务价值为每年 21,081 元/hm²，是其直接经济收益的 9.35 倍^[5]。毛竹的经济效益主要来自竹材和竹笋，年产值从 2000 年的 170 亿元，增长到 2017 年的 2,359 亿元^[6]。随着未来毛竹新产品研制，预期会有更多的收益^[7-9]。

毛竹林这种快速生长、每年从土壤移除大量生物量的特征，对毛竹林的可持续经营提出了挑战，特别是土壤营养元素的平衡问题^[10]。以竹笋经营为例，好的水肥管理，不仅可以使竹笋优质高产，还可以提前出笋，赶上春节前的黄金市场，提高经济收益^[11]。但是大部分毛竹林管理粗放，远远达不到这一水平。鉴于叶绿素相对值（如相对叶绿素含量 SPAD）已经在水稻等主要作物管理中发挥了主要作用^[12]，预期通过比较实时测量的叶片叶绿素浓度与“正常叶绿素浓度”，就可以判断毛竹林地的营养水平。但是，“正常叶绿素浓度”也受很多“土壤肥力之外因素”的影响，例如毛竹的种源地^[13-14]、大小年^[15]、年龄与新老叶^[16-17]、叶片在冠层中的位置^[18]、正常的季节性变化^[19]等，此外还有其他异常因素（温度异常、臭氧水平增加、大气污染等）。这意味着，需要大量测量叶片叶绿素浓度才能形成不同情况下的“正常叶绿素浓度”并作为参照值对比分析该状况下叶绿素所处的水平。目前，有关毛竹叶片叶绿素的测量，主要还是基于传统的实验室分析（Chl 直接分析），只有少量的间接测量（SPAD）。通过建立毛竹叶片叶绿素 SPAD-Chl 关系模型，就可以仅用 SPAD 对毛竹叶绿素水平进行大面积快速测量。

2 数据集元数据简介

浙江毛竹叶绿素含量野外测量与实验室分析数据集^[20]的主要元数据要素如表 1。

3 数据开发方法

3.1 毛竹叶片样品野外采集与叶绿素相对值测量

（1）野外采样时间和地点。样地位于浙江省德清县西部，属于莫干山东部余脉（表 1）。样地位于阳坡下部，坡度 5 度，人工竹林，3-5 年生毛竹为主。采样时间为 2018 年 10 月 23 日，根据文献^[17,19]，这是大部分毛竹分布区叶绿素浓度最高的月份。但为了使模型有广泛的代表性，尽量采集多样性的毛竹叶片。

（2）毛竹叶片预处理：用清水清理叶片污渍，并用吸水纸吸干。根据绿度对所有叶片排队和分组，每组 4-6 个叶片。

（3）叶绿素相对值（SPAD）测量：每个叶片测量 10 个点取均值。组内各叶片 SPAD 均值差异应该在 1 以内。然后组内平均。

（4）装袋密封：测量 SPAD 后各组装塑料袋密封，粘贴标签。

3.2 叶片样品的保鲜与运输

使用传统恒温箱和湿冰保鲜：用湿毛巾包裹叶片密封袋，用干毛巾包裹冰盒，隔离冰与叶片，以防叶片冻伤降解。10 月 24 日送到南京大学国际地球系统科学研究所实验室。

表 1 浙江毛竹叶绿素野外测量与实验室分析数据集（2018）元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	浙江毛竹叶绿素含量野外测量与实验室分析数据集
数据集短名	Chlorophyll_MosoBambooZhejiang
作者信息	王正兴 L-5255-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所, wangzx@igsnr.ac.cn 李 芳 L-3424-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, lif@igsnr.ac.cn
地理区域	浙江省德清县西部, 莫干山东侧余脉。采样点经纬度 30°32'53.89"N, 119°55'1.27"E; 海拔高度 65 m
数据年代	2018 年 10 月 23 日
数据格式	.shp、.kmz、.xlsx 格式
数据量	20.9 KB（压缩后 17.8 KB）
数据集组成	8 个数据文件, 压缩为 2 个文件 (1) 采样点空间位置: 1 个.shp 文件, 1 个.kml 文件 (2) 野外观测、实验室分析及 SPAD-Chl 关系模型, 在 1 个.xlsx 文件中
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2016YFA0600201)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据 (中英文)、实体数据 (中英文) 和通过《全球变化数据学报》(中英文) 发表的数据论文。其共享政策如下: (1) “数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播 (包括通过计算机服务器) “数据”的用户需要与《全球变化数据学报》(中英文) 编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[21]

3.3 叶片样品叶绿素绝对值的实验室分析

制备分析样品: 使用面积法计量叶绿素浓度时, 上样量以 0.05 g 为参考重量 (鲜叶), 决定需要取样的面积。该参考重量对应 25 mL 提取液, 如果叶片深绿色, 可减少上样量, 如果叶片浅绿, 增加上样量。实际上样面积 4–9 cm²。由于实验室分析样品排队, 制备的分析样品用锡纸封存后, 保存在液氮中 (10 月 24 日晚)。下一阶段 11 月 9 日继续。

提取液: 研磨后样品置于 25 mL 80% 丙酮和 95% 乙醇 1 : 1 混合液 (体积比)。用锡纸包裹试管, 放置暗处。

分光光度计测量: 在样品完全变白或者透明后, 用分光光度计测量吸光度。利用吸光度计算叶绿素浓度的公式为:

$$\text{Chla} (\mu\text{g/mL}) = 11.24A_{661.6} - 2.04A_{644.8} \tag{1}$$

$$\text{Chlb} (\mu\text{g/mL}) = 20.13A_{644.8} - 4.19A_{661.6} \tag{2}$$

$$\text{Chl} (\mu\text{g/mL}) = 7.05A_{661.6} + 18.09A_{644.8} \tag{3}$$

式中, Chl (μg/mL) 是总叶绿素浓度, A_{661.6} 和 A_{644.8} 分别是在 661.6 nm 和 644.8 nm 处的吸光度。根据上样面积 (cm²) 和溶液体积 (25 mL) 把叶绿素浓度换算成单位面积叶绿素含量 (μg/cm²)。

4 毛竹叶绿素数据测量与分析结果

本数据集^[20]包括 3 个文件：1 个.xlsx 文件（野外测量相对值与实验室分析绝对值），1 个样地位置.shp 文件和 1 个样地位置.kml 文件。现对野外测量叶绿素相对值（SPAD）与实验室分析叶绿素绝对值（Chl， $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ）简介如下。

4.1 叶绿素野外测量相对值（SPAD）与实验室分析绝对值（Chl）的基本特征

对野外测量叶绿素相对值与实验室分析叶绿素绝对值统计如表 2。

表 2 浙江毛竹叶绿素相对值与绝对值统计特征

指标	统计参数						
	样本数	最小值	最大值	均值	中位数	标准差	标准误（CV%）
SPAD（无单位）	30	27.4	47.6	40.47	41.25	6.41	15.84
Chl（ $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ）	30	26.51	70.72	51.48	55.04	14.99	28.92

4.2 叶绿素相对值与叶绿素绝对值关系

以野外测量相对值 SPAD 为 x ，实验室绝对值 Chl($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)为 y ，分别对叶绿素 A(Chla)、叶绿素 B(Chlb)、和总叶绿素(Chl)做了相关和回归分析（表 3）。结果显示，按总叶绿素计，指数关系的相关性最好，决定系数（ R^2 ）为 0.9287。如果按照叶绿素内部两种成分计，Chl a 的相关性全部高于 Chl b。图 1 显示叶绿素相对值与绝对值的 SPAD-Chl 指数关系。总体看，叶绿素绝对值与相对值的关系由 Chl a 决定，决定系数 $R^2=0.9484$ 。

表 3 2018 年 10 月浙江毛竹 SPAD-Chl 回归关系， $y = \text{Chl}(\mu\text{g}/\text{cm}^2)$ ， $x = \text{SPAD}$ （无单位）

指标	回归方程			
	线性： $y = ax + b$	乘幂： $y = ax^b$	指数： $y = ae^{bx}$	对数： $y = a\ln(x) + b$
叶绿素 A(Chla)	$y = 1.5982x - 28.08$ $R^2 = 0.914,6$	$y = 0.0258x^{1.9544}$ $R^2 = 0.950,2$	$y = 3.8058e^{0.0546x}$ $R^2 = 0.948,4$	$y = 56.343\ln(x) - 171.1$ $R^2 = 0.888,7$
叶绿素 B(Chlb)	$y = 0.6123x - 9.5428$ $R^2 = 0.760,3$	$y = 0.0265x^{1.71}$ $R^2 = 0.782,8$	$y = 2.0509e^{0.0483x}$ $R^2 = 0.798,2$	$y = 21.441\ln(x) - 63.798$ $R^2 = 0.728,7$
总叶绿素 (Chla+Chlb)	$y = 2.2107x - 37.631$ $R^2 = 0.892,3$	$y = 0.0491x^{1.8746}$ $R^2 = 0.925,2$	$y = 5.8775e^{0.0525x}$ $R^2 = 0.928,7$	$y = 77.791\ln(x) - 234.93$ $R^2 = 0.863,8$

4.3 叶绿素内部成分比值（Chla/Chlb）及其生理学意义

除了叶绿素浓度之外，叶绿素内部两种成分的比值（Chla/Chlb）也能反映叶片的健康水平。图 2 显示了以叶绿素绝对值表达的叶绿素总量与 Chla/Chlb 比值的关系。结果表明，当叶绿素浓度大于 $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 时，叶绿素 Chla/Chlb 比值基本是在 2-3 之间波动，波动幅度较小。当叶绿素浓度小于 $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 时，叶绿素总体为下降趋势，波动幅度较大。

4.4 数据精度与验证

叶绿素相对值测量仪（SPAD）的设计原理是利用叶绿素在特定波段的吸收和反射特性定量表达植物叶片的叶绿素含量，因此叶绿素相对值（SPAD）与叶绿素绝对值（Chl）存在因果关系。本次实验从 4 个 SPAD-Chl 回归关系中优选指数关系，其决定系数 $R^2 = 0.9287$ ，说明利用 SPAD 可以解释 92.87% 的 Chl 变化，是可靠的回归模型。

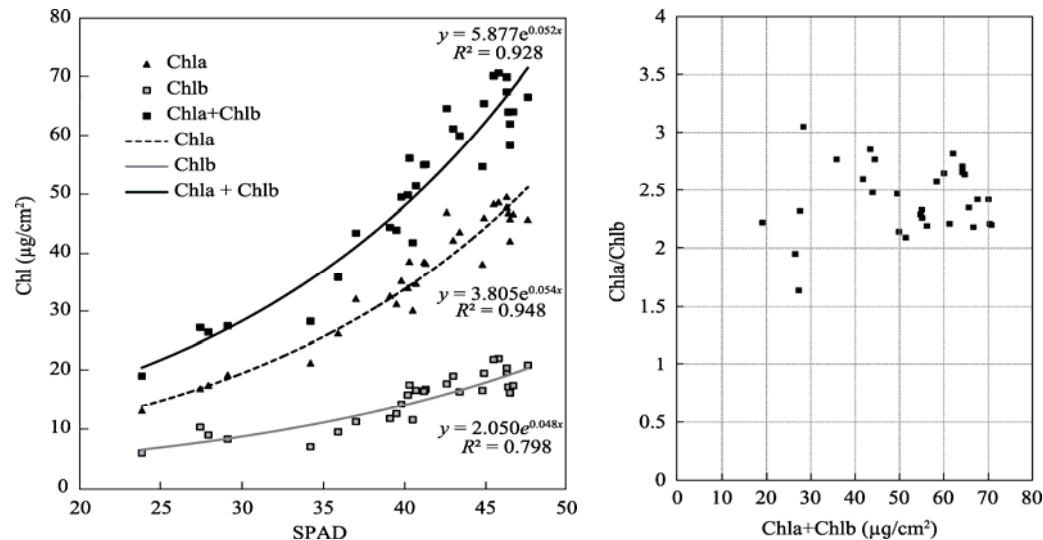


图 1 2018 年 10 月浙江毛竹叶绿素相对值 (SPAD) 与叶绿素绝对值的指数关系 图 2 2018 年 10 月浙江毛竹叶绿素密度与叶绿素内部成分比值的关系

5 讨论和总结

目前有关毛竹叶绿素的报道较少,有限的 Chl 分析数据也因为测定环境和叶绿素单位等的差异,不能进行严格意义上的对比分析。以下仅是初步分析。

(1) 毛竹叶绿素的季节性: 陈建华等^[17]和施敏健等^[19]分别在江西南昌江西农业大学试验田和湖南株洲市中南林业大学标本园对毛竹叶绿素进行了全年测量。前者测量毛竹叶绿素最大值出现在 9 月 (6.11 mg/g); 后者测量毛竹叶绿素最大值出现在 10 月 (3.28 mg/g)。与植被覆盖度一般在 7-8 月出现峰值不同,叶绿素最大值在 9-10 月份 (本文采样时间为 10 月 23 日)。

(2) 毛竹叶绿素的最大值: 目前只有邱尔发等^[13]使用“面积法 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)”表达毛竹叶绿素密度,可以进行近似比较。该研究收集了亚热带 9 个种源地的毛竹,集中在福建建瓯试验田,使用当年生竹叶,测量了 5、7 和 10-12 月的叶绿素密度。10 月份叶绿素密度最大,9 个种源地平均为 $84.52 \mu\text{g}/\text{cm}^2$,明显高于本文测定值 (均值 $51.48 \mu\text{g}/\text{cm}^2$,最大值 $70.72 \mu\text{g}/\text{cm}^2$)。

(3) 毛竹叶绿素 Chla/Chlb 比值: 从图 2 可知,本文 10 月份测量健康毛竹的 Chla/Chlb 比值在 2-3 区间,高于邱尔发等^[13]10 月份测定的 Chla/Chlb 比值 (平均 1.67)。

(4) 许大全^[22]认为一般植物叶绿素 Chl 的正常值为 $40-60 \mu\text{g}/\text{cm}^2$,健康而尚未衰老的阳生植物叶片的 Chla/Chlb 比值为 3 左右,阴生叶片比值稍低。考虑到毛竹枝干高大,所采集样本主要是中下层阴生叶片,本文毛竹叶绿素最大值和 Chla/Chlb 比值与许大全^[22]参考值相近。与参考值相比,文献^[13]毛竹叶绿素密度明显偏高,叶绿素 Chla/Chlb 比值明显偏低。未来需要关注这种差异来源。

本文于 2018 年 10 月 23 日测量了浙江省莫干山毛竹的叶绿素相对值并进行了实验室分

析,建立两者之间的指数关系,决定系数 R^2 为 0.9287,说明可以利用 SPAD 可以解释 92.7% 的 Chl 变化,这意味着可以通过野外测量相对值大面积推算该地区该季节毛竹叶绿素的绝对值。该模型是否可推广到其他地区和其他季节,还需要进一步研究。目前有关毛竹叶绿素研究报道较少,所用单位不统一。建议未来研究中使用面积法表达叶绿素密度,并详细描述外业观测和实验室分析方法,以便研究结果的相互比较和综合分析。

作者分工: 王正兴负责总体设计并撰写数据论文;李芳负责野外叶绿素相对值测量。

致谢: 感谢南京大学邱凤和许明珠博士帮助进行毛竹叶绿素的实验室分析。

参考文献

- [1] 耿伯介,王正平. 中国植物志第九卷第一分册: 禾本科竹亚科[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [2] 邢新婷,江泽慧,费本华等. 竹类种质资源竹种学名与俗名的分析[J]. 世界竹藤通讯, 2007, 5(3): 4-8. DOI: 10.13640/j.cnki.wbr.2007.03.004.
- [3] 周国模,姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 20-24.
- [4] 郭起荣,杨光耀,杜天真等. 中国竹林的碳素特征[J]. 世界竹藤通讯, 2005, 3(3): 25-28. DOI: 10.13640/j.cnki.wbr.2005.03.007.
- [5] 江泽慧. 传承开拓,走向世界,建设中国竹藤品牌集群[J]. 中国品牌, 2018, 10: 34-35.
- [6] 杨校生,吴良如,李正才等. 毛竹林经济和生态公益价值综合评价——以浙江省湖州市为例[J]. 竹子研究汇刊, 2007, 26(1): 1-5.
- [7] 邹小琳,吕兆林,王媛媛等. 竹叶黄酮不同热加工方式稳定性[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(11): 111-117. DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150517.
- [8] 魏琦,苟航,姚曦等. 苦竹属竹叶多糖、蛋白质及叶绿素比较研究[J]. 世界竹藤研究, 2014, 12(1): 17-21. DOI: 10.13640/j.cnki.wbr.2014.01.008.
- [9] 申申,段君禄,李宇等. 竹叶中叶绿素的提取工艺及其功能性应用研究[J]. 化工新型材料, 2018, 46(1): 117-120.
- [10] 刘西军,丁正亮,徐小牛. 毛竹叶片生物量、养分及与土壤的耦合特征[J]. 世界竹藤通讯, 2011, 9(5): 1-6. DOI: 10.13640/j.cnki.wbr.2011.05.008.
- [11] 舒清海. 做大做强竹产业,绿色发展节节高[J]. 浙江林业, 2018, 3: 22-23.
- [12] 赵黎明,解保胜,那永光,等. 简述 SPAD-502 在水稻及其它作物上应用的研究进展[J]. 北方水稻, 2015, 45(1): 72-76, 80.
- [13] 邱尔发,陈存及,梁一池等. 不同种源毛竹叶表叶绿素浓度动态[J]. 福建林学院学报, 2002, 22 (4): 312-315. DOI:10.13324/j.cnki.jfcf.2002.04.006.
- [14] 张闻博,费本华,田根林等. 不同地区毛竹生长和表型性状的比较[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(1): 1-5. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2019.01.001.
- [15] 熊文愈. 毛竹林的群体结构及其经营管理[J]. 林业科学, 1962, 7(3): 183-192.
- [16] 陈嘉琦,温国胜,王艳红等. 春季毛竹光化学效率空间异质性比较[J]. 福建林学院学报, 2014, 34(1): 52-56.
- [17] 陈建华,毛丹,马宗艳等. 毛竹叶片的生理特性[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(6): 76-80.
- [18] 曹永慧,周本智,王小明等. 冠层高度对毛竹叶片光合生理特性的影响. 西北植物学报, 2016, 36(11): 2256-2266. DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.2016.11.2256.
- [19] 施建敏,郭起荣,杨光耀. 毛竹光合动态研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 551-555.
- [20] 王正兴,李芳. 浙江毛竹叶绿素含量野外测量与实验室分析数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2019. DOI: 10.3974/geodb.2019.03.05.V1.
- [21] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017年更新).
- [22] 许大全. 叶绿素含量的测定及其应用中的几个问题[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(9): 896-898.