

北京力高泰科技有限公司 基因有限公司农业环境科学部

北京本部

Tel: 010-64093960 Web: www.ecotek.com.cn Add: 北京市西城区西直门南大街2号成铭大厦A座22F

广州办事处 Tel: 020-85576373 187 0141 0101 Add: 广州市天河区东郊工业园路建工路8号6楼B室

成都办事处 Tel: 138 1093 8447 138 1091 7897 Add: 成都市武侯区磨子街7号新棕北商务大厦1606室

武汉办事处 Tel: 139 1163 2420 Add: 武汉市洪山区珞瑜路95号融科珞瑜中心T1-2座1208室

欢迎关注我们









全新一代便携式光合/荧光测量系统

LI-COR



水汽条件的完全控制

快速精准温度控制 亦或程序化升温或降温。

超高流速

精准 CO。极速变化控制 专业文献。

具配气输入端口

增强型耐用热电偶接触式测温 增强型耐用热电偶与叶片直接接触, 叶温真实精准。

智能计算叶面积 对于具平行脉叶片的植物来说, 仅需输入叶宽就可自动计算叶片面积; 对于整株拟南芥来说, 输入特定参数,整株拟南芥叶面积可自动求和。

高级光合 / 荧光测量系统

LI-<u>68</u>00

LI-6800 是美国 LI-COR 公司设计制造的新一代便携式光合 / 荧光测量系统。它同步测量植 物叶片气体交换和叶绿素荧光参数(含 OJIP 曲线),是研究植物生理的强大工具。其独有 的快速感应技术 Rapid Sensing ™,为创新研究提供了更多可能。

VPD 影响叶片的气孔行为。利用 LI-6800,探索植物气孔对 VPD 变化的响应。

LI-6800 能够在环境温度 ± 10°C 范围内精准控制叶片温度,还可根据实验需要跟踪控温,

可调流速范围 0 到 1400 μ mol s⁻¹,适用大样品测量、高 VPD 控制。

LI-6800 引领 Rapid A-Ci Response (RACiR™)测量方法,专利技术(US20180136184A1)

通过配气输入端口,可研究测试叶片对"自定义"配气的响应。



LI-6800 对传统开路式测量系统的改进之处是将 IRGA 分析器设计在样品室部位。这一改进减少了"泵气"所引起的时间滞后,可对叶片光 合作用引起的 CO₂ 和 H₂O 浓度变化即时响应。例如,光环境变化会引发叶片气孔导度改变, IRGA 分析器即刻就能监测到样品室 CO₂ 浓度 的变化。因此, IRGA 的检测速度不依赖于系统中流速的高低,而传统的测量系统则会对其非常依赖。

由于存在 H₂O 吸附以及 CO₂ 的扩散作用。在传统测量系统中,样品室中的气体需经管道到达 IRGA 分析器,这就会导致对气体浓度测量产 生偏差。











16000µmol/m²/s光强; Multiphase Flash[™]技术



光强最高可达 16000 μ mol/m²/s; 6cm² 光源,光强匀质性大于 90% (左图,其他荧光光源;右图,LI-6800多项闪光光源)



对 Fm' 的低估,会导致一系列相关荧光参数的计算偏差

LI-6800 荧光叶室采用 Multiphase Flash ™技术,准确获取 Fm' (Loriaux et al., 2013)







 叶绿素荧光技术是一种诊断植物体内光合机构运转状况,分析植物对逆境响应机理的重要方法。快速荧光诱导动力学曲线 OJIP 可记录 1s 内 植物叶片荧光的变化过程,它与 PSII 的原初光化学过程有关。

LI-6800 的数据采集频率最高可达 250kHz,可精确捕获 OJIP 曲线过程。和传统快速荧光测量仪的区别有两点:第一,LI-6800 的荧光叶室 取样面积最高可达 6cm²,由于取样面积大,显著提高了数据的代表性;第二,LI-6800 在测量 OJIP 曲线时可在完全控制的条件下进行,同 样的温度、VPD 以及 CO₂ 浓度,这样保证了实验时的环境条件完全一致,提高了数据的可比性。

5min 测量 CO2 响应曲线

Plant, Cell & Environment

Technical Report

The rapid $A - C_i$ response: photosynthesis in the phenomic era

Joseph R. Stinziano^{1,2} (1), Patrick B. Morgan^{3,4}, Douglas J. Lynch³, Aaron J. Saathoff^{3,4}, Dayle K. McDermitt³& DavidT. Hanson¹ (1)

¹Department of Biology, The University of New Mexico, Albuguergue, NM 87104, USA,²Department of Biology, The University ofWestern Ontario, London, Ontario, N6A 5B7, Canada,³LI-COR Inc., Lincoln, NE 68504, USA and⁴School of Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE 68583, USA

ABSTRACT

Phenotyping for photosynthetic gas exchange parameters islimiting our ability to select plants for enhanced photosynthetic carbon gain and to assess plant function in current and futurenatural environments. This is due, in part, to the time required to generate estimates of the maximum rate of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase (Rubisco) carboxylation($V_{c,max}$) and the maximal rate of electron transport (J_{max}) from the response of photosynthesis (A)to the CO₂ concentration inside leaf air spaces (C_i). To relieve this bottleneck, we devel-oped a method for rapid photosynthetic carbon assimilation CO_3 responses [rapid A-C₃] response (RACiR)] utilizing non-steady-state measurements of gas exchange. Using high temporal resolution measurements under rapidly changingCO₂ concentrations, we show that RACiR techniques canobtain measures of V_{c.max} and J_{max} in ~5min, and possiblyeven faster. This is a small fraction of the time required for eventhe most advanced gas exchange instrumentation. The RACiRtechnique, owing to its increased throughput, will allow formore rapid screening of crops, mutants and populations of plants in natural environments, bringing gas exchange into he phenomic era.

Key-words: $A-C_i$; C_2 ; carboxylation; CO_2 ; gas exchange; phe-notyping; photosynthesis.





30mins

空气中 CO, 的变化。



6 2017 年,美国新墨西哥大学 Joseph R. Stinziano 等学者在国际期刊《Plant, Cell and Environment》上发表了题为 "The rapid A - Ci response: photosynthesis in the phenomic era"的文章。该研究表明,LI-6800 可以将 A-Ci Curve 的测量时 长缩短至 5min 以内,这大大提高了其测量效率。

FvCB 是用于解释 A-Ci Curve 的一个稳态模型。在测量 A-Ci Curve 时,通常会 设置一系列 CO₂ 浓度,并且要求在某个 CO₂ 浓度下,叶片适应几分钟后完成一个 稳态测量。这种测量的缺点就是测量时间较长,一条 A-Ci Curve 大约需要 20-

在过去 10 年间,学术界研究的大方向是如何对采集的数据进行优化拟合。只有少 数学者在测量方法上做过一些尝试:早期的替代方法是由 Davis 等人于 1987 年提 出的。他们采用的是闭路式的测量方法,整个测量过程中 Chamber 内 CO₂ 浓度 会一直下降; 1989 年, McDermitt 等人的研究发现, 采用闭路系统测量大豆叶片 A-Ci Curve 时,如果将 Chamber 内 CO。的下降速度维持在 0.01 至 1 µ mol/mol/s 水平上,测量结果和开路式的没有差别。闭路式测量虽然耗时短,但是,它会改变 Chamber 内的温度、压强和水汽浓度。随后, Laisk 和 Oja 在 1998 年发现, 短时 间内(1s),即便大幅改变叶片外部 CO。浓度,叶片内 Rubisco 羧化反应也可以 很快达到表观上的稳定。这些实验结果均表明,叶片可以在短时间内快速适应周围

能否进行快速开路式测量,需要仪器做到两点。第一,仪器有能力在短时间内迅 速调整 Chamber 内的 CO₂ 浓度; 第二, 红外气体分析器 IRGA 可以对这种快速 变化进行精准测量。LI-6800 独有的 Auto Control 功能在算法上允许用户自定义 CO2 控制的起始和终止浓度、变化方式(如线性)和所需时间(详见 P20-21); LI-6800 的进气分流装置位于分析器头部。这些保证了 LI-6800 可以将传统 A-Ci Curve 的测量时长缩短至 5min 以内。

United States

Patent Application Publication Morgan et al.

US 20180136184A1

Birrow v.3.3.4	- AFIEM	easuring Off	Thu Sop	20, 2018 03:07 PM			🖬 Or Nes
Start Up	Environment	Constants	Stability	Logfiles	Auto Programs	Measurements	Log
Abscham				0 2	3 4	56	7 8
50				A 50112 11.44 print m ⁻¹ 5 ⁻¹	cozy Area 400.01 µmol mol*1	602.3 Millio 376.39 µmol mol *	Ci Gener 277.8 µmol mol*
20					H20,r Marri 1.664 HHTPSI HIGI **	H20.5 Mircle 12.176 minual *	0.2322 mol m ⁻¹ s ⁻¹
0 -1	-0.8 -0.4 Me	i -0.4 as:TIME(min)	-0.2	0 Test 29.06	Ritcham Gener 28.01	2.811	Fine 350.0 print s
В	C D	E F	G H	Edit Gray	łn Bi	tic Grid	

实测数据表明, 当 E 为 6.2mmol/m²/s 时, 350 μ mol/s 流速, RH 最低为 28% (注: 350 µ mol/s, 约合 500cc/min)



实测数据表明, 当 E 为 7.3mmol/m²/s 时, 500 µ mol/s 流速, RH 最低为 24% (注: 500 µ mol/s, 约合 733cc/min)



实测数据表明, 当 E 为 9.3mmol/m²/s 时,1400 μ mol/s 流速, RH 最低为 16%(注: 1400 μ mol/s, 约合 2000cc/min)

▲ ▲ 高流速不仅方便测量更大的样品,也是降低样品室相对湿度 RH 的关键。一些需要控制低相对湿度 RH、高饱和水气压亏缺 VPD 的实验,必 须依赖高流速。

1400 μ mol/s 的样品室流速: 低 RH 控制的关键



▲ ▲ 样品室漏气会引发数据波动。对于 LI-6800 高级光合 / 荧光测量系统来说,它有一项非常实用的功能——「样品室适当加压」技术。这项技 术可使样品室内部气压比外部略高(最多 0.2KPa)。这样能确保整个测量过程中,样品室内部的气体浓度检测免受外部空气中 CO₂ 浓度波 动的影响。









温度控制自检





荧光光源控制自检



泵速自检

LI-6800 高级光合 / 荧光测量系统配有「智能自检」功能,可对自身系统所有组件进行 20 余项自检,并反馈检查结果。这显著降低了使用者 的学习成本以及人工误判几率。在自检过程中,仪器可提示使用者可能存在的问题;在自检结束后,仪器会给出量化的检测报告和及推荐的 解决方案。





▲▲ LI-6800 高级光合 / 荧光测量系统中的 Auto Control 功能,可以实现对多个环境变量的自动控制,如光照、温度、VPD,或CO₂浓度。这项 功能极大方便研究者模拟"波动光"、温度骤变如"热浪"等。



▲ ▲ 空样品室的净光合速率值可反映整个光合作用测量系统性能的优劣。众多测试结果显示:LI-6800 高级光合 / 荧光测量系统能将 「空样品室」 △ CO₂ 值稳定在「±0.1 µ mol/mol」以内,净光合速率值稳定在「±0.1 µ mol/m²/s」以内。利用这一点,研究者可测量羽量级样品的光合 气体交换,如阴生植物、微小叶片等。



年,LI–COR 会联合北京力高泰科技有限公司在全国多地举办仪器培训班。









荧光叶室

6800-01A

荧光叶室 6800-01A 由光源和叶室组成,是一款同时兼具脉冲调制式和连续激发式荧光测量的叶室,可同步测量同一叶片位置的叶 绿素荧光(含 OJIP 曲线)和气体交换。可测量 6cm² 的叶片,或搭配小叶适配器测量 2cm² 的叶片。

光源包括脉冲调制式 PAM 荧光计,其在叶片表面提供了高度匀质的光场,饱和闪光强度高达 16,000 μ mol m⁻²s⁻¹ (LI-6800 提供的 饱和闪光强度是目前市面上其他任何荧光测定仪所无法比拟的,它能最大程度上实现 Fm' 的精准测量。而 Fm' 是计算一系列荧光参 数如 ΦPSII、NPQ 等的基础)。可实测暗适应下参数 Fo, Fm 和光适应下参数 Fs, Fm', Fo',并可自动计算潜在最大光化学量子效 率 Fv/Fm 以及电子传递速率 ETR 等多项荧光参数。更进一步,6800-01A 荧光叶室可以测量荧光诱导动力学曲线 OJIP。

水生生物测量室 6800-18

6800-18 水生生物测量室,采用开路差分式方法,测量稳定环境条件下(CO₂、光照、温度精确控制)水生生物如藻类的光合 CO₂ 同化速率。同时,采用脉冲幅度调制技术(PAM)监测叶绿素荧光。这一创新的测量方法使得数据更准确,开启了水生生物光合作用 测量的新范式。





透明叶室

6800-12A

标准 3×3 cm 透明叶室(6800–12A)具有耐用、透明的顶部,用于测量环境光照下植物的净光合速率和蒸腾速率,并可与 3×3cm 光源(6800–02)直接连接使用。搭配 3×3 cm, 2×3 cm 和 1×3 cm 适配器(毫米级刻度标尺),可适用于不同宽窄的叶片测量。

叶片温度由叶室底部的叶温热电偶测量,磷砷化镓(GaAsP)光量子传感器测量叶室内部光合有效辐射(PAR)。带有特殊涂层的叶 室内壁对 H2O 的吸附作用极小。叶室垫圈弹性好,可密封不规则形状的叶片。

3x3 红蓝光源 6800-02

红蓝光源 6800–02 是一个 3x3cm 规格的光源。直接安装在 3x3 厘米的透明叶室上部,可提供 0–2,000 μ molm⁻² s⁻¹ 强度的光照,光源的红光(0–1600 μ molm⁻² s⁻¹)和蓝光(0–400 μ molm⁻² s⁻¹)可单独调控。先进的反光镜设计和精密的 LED 布控,使得光源在叶片上的光场具有高匀质性。内置光量子传感器测量 LED 的光强,为控制叶室光照提供实时反馈。





大叶和针叶叶室 6800-13

大叶和针叶叶室 6800-13 具有 36cm² 的测量面积,适合测量能覆盖叶室大部分或全部的大叶片及针叶。这样的大叶室测量不同形状、 尺寸的叶片更为灵活,且信噪比更高,尤其适合测量低通量气体交换的样品,例如低光合速率或者暗呼吸速率等。LI-6800 远超其他 光合仪的超大流量,也使得测量这样大的叶面积成为可能。

大叶和针叶叶室 6800-13 配有耐用的透明顶部,用于测量环境光照下CO₂和H₂O通量。可选用6800-03大光源,直接控制叶室光照, 随意组合红、绿、蓝、白各色光的比例。6×6cm 大面积叶室的另一个特点是配置了2个高精度热电偶,用于获取更准确的温度数据。

小植物叶室

6800-17

小植物叶室(6800-17)能够测量整株拟南芥及其他小型植物,如生长在65mm(2.5英寸)或38mm(1.5英寸)的锥形器中的低矮草皮。 顶部是透明的 Propafilm[™] 材质的膜,可在环境光下进行测量。小植物叶室 6800-17 可与大光源(6800-03)兼容,可在红、绿、蓝 和白光的任何组合下进行测量。





苔藓叶室

6800-24

苔藓叶室(6800-24)用于测量藓类植物,如金鱼藻、苔类和地衣的 CO₂和 H₂O 的气体交换。测量时,将这些藻类或苔藓置于苔藓 叶室的浅盘内,叶室具有透明清晰的 Propafilm[™] 顶部,可在环境光照条件下进行测量。苔藓叶室可与大光源兼容,在红,绿,蓝和 白光的任何组合光强下进行测量。

红绿蓝白4色大光源 6800-03

红绿蓝白 4 色光源 6800-03 可提供红光,绿光,蓝光和白光 (最高强度分别可达 2400,1000,2000 和 1500 μ molm⁻² s⁻¹) 任意比 例混合的光照。光源光场具有高度匀质性。内置光量子传感器测量叶片上方 PAR 值,能实现叶室内光强的实时测量。大光源可配合 6800-13 大叶和针叶叶室、6800-17 小植物叶室和 6800-24 苔藓叶室一起使用。





昆虫呼吸室

6800-89

昆虫呼吸室(6800-89)用于测量昆虫及其他小型动物或水果的呼吸。气流经过昆虫呼吸室,LI-6800 根据参比室和样品室的差分浓 度来计算样品的呼吸速率。此处呼吸速率是基于被测样品的质量来计算的呼吸速率。昆虫呼吸室套件内包括了 6800-19 自制叶室适 配器。

土壤呼吸测量室 6800-09

土壤碳水通量测量室(6800-09)可测量地表 CO₂以及 H₂O 释放速度。测量室内径 20cm,采用 LI-COR 先进技术,是地表气体释 放速度测量的全球标准。6800-09 测量速度快,可用于研究地表气体释放速度的空间变异。数据可直接输入 SoilFlux Pro[™] 软件,用 于后续分析,包括数据查看、成图、编辑以及重计算。6800-09 还包括用于测量土壤水分含量和温度的传感器。







自制叶室适配器

6800-19

自制叶室适配器(6800-19)可将您的自制叶室连接到 LI-6800 的分析器和主机,满足您定制化的实验需求。自制叶室适配器套件 包括适配器等硬件以及管路接头,以及一张适配器图纸,用于确定自制叶室开孔的位置和尺寸。

自制叶室适配器 应用案例

James Aaron Hogan, 一位热带植物生态学家, 开发了一种可测「植物活根呼吸」的新工具。 资料来源: https://www.jamesaaronhogan.com/blog/holiday-respiration-chamber-project-complete



LI-6800 技术参数

CO₂ 气体分析器

类型: 绝对开路式非色散红外气体分析器 最佳量程: 0~3,100 µ mol/mol 精确度: 400 µ mol/mol 时, RMS ≤ 0.1 µ mol/mol@4s 平均信号 方位敏感度: 400 µ mol/mol 时, 任意方位上的变异≤ ± 1 µ mol/mol

H₂O 气体分析器

类型:绝对开路式非色散红外气体分析器 量程: 0~75mmol/mol 精确度: 10mmol/mol 时, RMS ≤ 0.01mmol/mol@4s 平均信号

温度

工作温度范围: 0~50 ℃ 储存温度范围: -20℃~60℃温度控制范围: 环境温度 ±10℃; 分辨率 < 0.1℃ 空气温度和温度控制模块 类型: 热敏电阻 量程: -10~60℃准确度: ±0.15℃ 叶温传感器 类型: E型叶温热电偶量程: -10~60℃ 准确度: ≤ ±0.5℃; ±0.2℃冷端参比; ±0.3℃热电偶 @±10℃冷端温度范围内

通讯

RJ-45 以太网; TCP/IP: 1 头部连接: 2 辅助连接: 2

气流流速

整体流速: 680~1700 µ mol/s@SATP 叶室流速: 0~1400 µ mol/s@SATP

压强

主机压强传感器 工作范围: 50~110kPa 准确度: ±0.4kPa 分辨率: 1.5Pa 信号噪音: ≤ 0.004kPa@4s 平均信号 叶室压强传感器 量程范围: -2~2kPa分辨率: < 1Pa 信号噪音: ≤ 1Pa@4s 平均信号 控制量程: 0~200Pa(依赖于叶室流速) 设定值分辨率: 1.0Pa

CO₂控制

 CO₂ 控制范围: 0~>2000 μ mol/mol (具体数值视总体流速大小而定)
 CO₂ 钢瓶: 8g
 CO₂ 吸收剂: 苏打
 H₂O 控制
 H₂O 控制范围: 0~90%RH
 加湿药品: 细粒无定型和晶体硅酸盐混合物
 干燥剂: Drierite

光强测量

H室和光源光合有效辐射(PAR)传感器

检测质:磷砷化镓(GaAsP)

量程: 0~3000μmolm⁻²s⁻¹
分辨率: < 1μmolm⁻²s⁻¹

精确度:读数 ±5%

外置 LI-190R 光合有效辐射(PAR)传感器

检测质:硅光电二极管
灵敏度: 5~10μA每1000μmolm⁻²s⁻¹
准确度:读数 ±5%

主机

处理器: 800MHz ARM[®]CortexTMA8 存储卡: 512MB RAM; 8GB 闪存 显示屏: TFTLCD 可触摸屏; 分辨率: 1024×600 尺寸: 对角线长 26 cm 大小: 18.5×27.5×21cm (D×W×H) 重量: 6.1kg 供电: 12~18 VDC 或 24 VDC12

分析器头

尺寸: 37×11.5×21.6 cm (L×W×H) 重量: 2.15 kg (不含叶室) 显示屏像素: 128×128 像素 显示屏尺寸: 对角线长度 3.15 cm 传感器输入: 叶温热电偶 ×2; LI-190R×1 传感器头部光源连接器: 1

电池

重量: 0.435kg 容量: 6800mAh 类型: 锂离子电池 储存: -20~60℃; ≤ 80%RH

6800-01A Multiphase Flash[™] (MPF) 荧光叶室

调制光:软件控制 调制频率: 1Hz~250kHz 测量光波峰波长: 625nm 红作用光和饱和闪光波峰波长:625nm 蓝作用光和饱和闪光波峰波长: 475nm 远红光波峰波长:735nm 作用光输出范围: 总光强 0~3000 µ molm⁻²s⁻¹@25℃; 蓝光 0~1000 μ molm⁻²s⁻¹@25℃; 红光 0~2000 µ molms@25℃ 饱和闪光输出范围: 0~16,000 μ molm⁻²s⁻¹@25℃ 远红光输出范围: 0~20 μ molm⁻²s⁻¹@25℃ 荧光信号温度依赖性:每℃漂移 0.25% 耗电量: < 18W@25℃ 3000 µ molm⁻²s⁻¹ 作用光下; < 60W@25℃ 16,000 μ molm⁻²s⁻¹ 饱和闪光下 测量面积:6 cm²,圆形 尺寸: 12.5×11.5×13.6cm (L×W×H) 重量: 0.86kg

6800-02

3×3cm 红蓝光源 总输出范围: 0~>2000 μ molm⁻²s⁻¹@25℃ 蓝光输出范围: 0~>400 μ molm s @25℃ 红光输出范围: 0~>1600 μ molm⁻²s⁻¹@25℃ 红光波峰波长: 660nm 蓝光波峰波长: 453nm 2000 μ molm⁻²s⁻¹下耗电量: <5 W 工作温度范围: 0~50℃ 大小: 6.6×5.9×5.8 cm (L×W×H) 重量: 0.21kg

备注

- 1.SATP 是指标准温度(25℃)和标准气压(100kPa)
- 2. 参数如有变更,请关注 LI-COR 官方网站 www.licor.com/env, 及北京力高泰科技有限公司网站 www.ecotek.com.cn, 恕不另 行通知。

订货指南

可选套装

- LI-6800F 光合 荧光全自动测量系统
- LI-6800P 光合作用全自动测量系统
- LI-6800S 光合作用全自动测量系统 (无光源)

可选配件

背带 三脚架 三脚架云台 单脚架 气路取样配件外源 CO₂ 气路连接配件

部分应用文献

- Avenson T J, Saathoff A J. Sub-saturating multiphase flash irradiances to estimate maximum fluorescence yield[M]// Photosynthesis, Humana Press, New York, NY, 2018; 105-120.
- Boaretto R M, Hippler F W R, Ferreira G A, et al. The possible role of extra magnesium and nitrogen supply to alleviate stress caused by high irradiation and temperature in lemon trees[J]. Plant and Soil. 2020: 1-14.
- Cheng D, Zhang Z, Zhou S, et al. Relationships between leaf physiognomy and sensitivity of photosynthetic processes to freezing for subtropical evergreen woody plants[J]. iForest-Biogeosciences and Forestry, 2019, 12(6): 551.
- Carr N F, Boaretto R M, Mattos Jr D. Coffee seedlings growth under varied NO3-: NH4+ ratio: Consequences for nitrogen metabolism, amino acids profile, and regulation of plasma membrane H+-ATPase[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2020.
- Chen X, Zhao P, Ouyang L, et al. Whole-plant water hydraulic integrity to predict drought-induced Eucalyptus urophylla mortality under drought stress[J]. Forest Ecology and Management, 2020, 468: 118179.
- Ermakova M, Lopez-Calcagno P E, Raines C A, et al. Overexpression of the Rieske FeS protein of the Cytochrome b6f complex increases C4 photosynthesis[J]. bioRxiv, 2019: 574897.
- Evans J R, Morgan P B, von Caemmerer S. Light quality affects chloroplast electron transport rates estimated from Chl fluorescence measurements[J]. Plant and Cell Physiology, 2017, 58(10): 1652-1660.
- Faaier S. de Almeida Lopes M M, de Oliveira Silva E, et al. Xenon lamps used for fruit surface sterilization can increase the content of total flavonols in leaves of Lactuca sativa L. without any negative effect on net photosynthesis[J]. PloS one, 2019, 14(10): e0223787.
- Guha A, Han J, Cummings C, et al. Differential ecophysiological responses and resilience to heat wave events in four cooccurring temperate tree species[J]. Environmental Research Letters, 2018, 13(6): 065008.
- Jablonski A, Kruger E L, Townsend P A. Comparative responses of solar-induced fluorescence (SIF) and leaf photosynthetic parameters to short term atmospheric CO 2 enrichment[J]. AGUFM, 2017, 2017: B51H-1920.
- Kitao M, Agathokleous E, Harayama H, et al. Constant ratio of Cc to Ci under various CO 2 concentrations and light intensities, and during progressive drought, in seedlings of Japanese white birch[J]. Photosynthesis Research, 2020: 1-11.
- Kang H X, Zhu X G, Yamori W, et al. Concurrent Increases in Leaf Temperature With Light Accelerate Photosynthetic Induction in Tropical Tree Seedlings[J]. Frontiers in plant science, 2020, 11: 1216.
- Lantz A T, Solomon C, Gog L, et al. Isoprene suppression by CO2 is not due to triose phosphate utilization (TPU) limitation[J]. Frontiers in Forests and Global Change, 2019, 2: 8.
- Liu Y, Qi Y, Chen X, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity in red-and in green-fleshed kiwifruits[J]. Food Research International, 2019, 116: 291-301.
- McClain A M, Sharkey T D. Building a better equation for electron transport estimated from Chl fluorescence: accounting for nonphotosynthetic light absorption[J]. New Phytologist, 2020, 225(2): 604-608.

- Mazis A, Choudhury S D, Morgan P B, et al. Application of high-throughput plant phenotyping for assessing biophysical traits 465.118101
- Pratt R B. Castro V. Fickle J C. et al. Factors controlling drought resistance in grapevine (Vitis vinifera, chardonnay): application of a new micro CT method to assess functional embolism resistance[J]. American Journal of Botany, 2020, 107(4): 618-627.
- Reves T H, Esparza E, Crestani G, et al. Physiological responses of maca (Lepidium meyenii Walp.) plants to UV radiation in its high-altitude mountain ecosystem[J]. Scientific reports, 2020, 10(1): 1-13.
- Slot M, Krause G H, Krause B, et al. Photosynthetic heat tolerance of shade and sun leaves of three tropical tree species[J]. Photosynthesis Research, 2019, 141(1): 119-130.
- Salesse Smith C E, Sharwood R E, Busch F A, et al. Increased Rubisco content in maize mitigates chilling stress and speeds recovery[J]. Plant Biotechnology Journal, 2020, 18(6): 1409.
- Spielman-Sun E, Avellan A, Bland G D, et al. Nanoparticle surface charge influences translocation and leaf distribution in vascular plants with contrasting anatomy[J]. Environmental Science: Nano, 2019, 6(8): 2508-2519.
- Suchoff D H, Perkins-Veazie P, Sederoff H W, et al. Grafting the indeterminate tomato cultivar Moneymaker onto Multifort rootstock improves cold tolerance[J]. HortScience, 2018, 53(11): 1610-1617.
- Tominaga J, Shimada H, Kawamitsu Y. Direct Measurement Solves Overestimation of Intercellular CO2 Concentration in Leaf Gas-Exchange Measurements[J]. Journal of Experimental Botany, 2018.
- Thais H R, Eliana E, Gaia C, et al. Physiological responses of maca (Lepidium meyenii Walp.) plants to UV radiation in its high-altitude mountain ecosystem[J]. Scientific Reports (Nature Publisher Group), 2020, 10(1).
- Urban L, Aarrouf J, Bidel L P R. Assessing the effects of water deficit on photosynthesis using parameters derived from measurements of leaf gas exchange and of chlorophyll a fluorescence[J]. Frontiers in plant science, 2017, 8: 2068.
- Wan J, Zhang P, Wang R, et al. Comparative physiological responses and transcriptome analysis reveal the roles of
- Yang J. Diurnal and Seasonal Proximally Sensed Photochemical Reflectance Index (PRI) in a High-Stress Semi-Arid Mixed Conifer Forest[J]. 2019.
- Zhuang J, Wang Y, Chi Y, et al. Drought stress strengthens the link between chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic traits[J]. PeerJ, 2020, 8: e10046.
- Zhang Q, Zhai J, Shao L, et al. Accumulation of anthocyanins: an adaptation strategy of Mikania micrantha to low temperature in winter[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 1049.

and drought response in two oak species under controlled environment[J]. Forest Ecology and Management, 2020,

melatonin and serotonin in regulating growth and metabolism in Arabidopsis[J]. BMC plant biology, 2018, 18(1): 362.