

董建华,赵伟明,胡俊靖,等. 根区酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):163–166.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.13.040

根区酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响

董建华¹, 赵伟明¹, 胡俊靖¹, 袁紫倩¹, 潘利锋³, 雷亦晨¹, 张 锐², 吕洪飞³

(1. 杭州市林业科学研究院, 浙江杭州 310022; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

3. 浙江理工大学, 浙江杭州 310018)

摘要:目前,山核桃林地土壤酸化普遍,但土壤酸化对山核桃树生长和发育的影响尚不明确。采用盆栽砂培试验,通过浇灌不同 pH 值(4.5、5.0、5.5、6.0、6.5)营养液,研究根区环境酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响。结果表明:随营养液 pH 值的降低,山核桃幼苗叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 Φ_{PSII} 、ETR 以及 q_p 均呈现出先升后降的变化趋势,在 pH 值 5.5 处理下达到最大值,说明山核桃树对根区环境酸化有一定的适应能力,当根区环境 pH 值 < 5.5 时,会对山核桃苗造成一定的损伤。NPQ 则表现出相反的趋势,随 pH 值的降低先下降后上升,pH 值 6.5 处理的山核桃叶片 NPQ 最高,说明改善根区酸化环境有利于提高山核桃幼苗的光保护能力。

关键词:山核桃幼苗;根区酸化;叶绿素荧光

中图分类号: S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)13–0163–04

山核桃(*Carya cathayensis* Sarg.)是中国特有木本油料和名优干果树种,主要分布在浙皖交界的天目山地区,在微酸性至中性土壤中生长较好^[1]。近年来,山核桃林地土壤酸化日益严重^[2–3],山核桃叶片黄化,甚至成片死亡,由土壤酸化导致的山核桃林地退化问题逐渐受到重视,相关学者对土壤酸化造成的山核桃林地土壤肥力变化开展了一些研究^[4–5],但对酸化造成的山核桃生理生化特性变化相关研究很少,特别是不同程度土壤酸化对山核桃叶片光合作用的影响尚未见报道。光合作用对环境因子的影响高度敏感^[6],叶绿素荧光参数是反映光合作用机制的重要指标,利用叶绿素荧光动力学

方法可以快速、灵敏、无损伤探测逆境对植物光合作用的影响^[7–8]。本试验通过盆栽砂培试验,探讨根区酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响,可为山核桃栽培和退化林地修复提供一些依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2017 年 4—10 月在杭州市林业科学研究院试验基地进行,供试山核桃苗为 2 年生山核桃健康幼苗,选用清洗过的花岗岩作为砂培基质。

1.2 试验方法

采用砂培试验方法,栽培盆为塑料盆(高 31 cm,口内径 27.5 cm,底内径 22 cm),底部有 6 个小孔可保证通气性,每盆定植 2 年生山核桃苗 1 株,用 1 倍霍格兰营养液浇灌,待幼苗长势稳定后,选择长势基本一致的植株开展不同 pH 值营

收稿日期:2019–04–18

基金项目:浙江省杭州市农业与社会发展科研主动设计项目(编号:20172015A01)。

作者简介:董建华(1983—),女,河北石家庄人,硕士,工程师,主要从事经济林培育研究。E-mail: jianhuadong@126.com。

[22]徐伟强,周 璋,赵厚本,等. 南亚热带 3 种常绿阔叶次生林的生物量结构和固碳现状[J]. 生态环境学报,2015,24(12):1938–1943.

[23]胡文杰,王晓荣,崔鸿侠,等. 锐齿槲栎和栓皮栎林生态系统碳密度比较[J]. 森林与环境学报,2017,37(1):8–15.

[24]国家林业局. 森林资源规划设计调查技术规程:GB/T 26424—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

[25]许中旗,李文华,刘文忠,等. 我国东北地区蒙古栎林生物量及生产力的研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(3):21–24.

[26]He Y J, Qin L, Li Z Y, et al. Carbon storage capacity of monoculture and mixed-species plantations in subtropical China[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 295:193–198.

[27]宋娅丽,韩海荣,康峰峰. 山西太岳山不同林龄油松林生物量及碳储量研究[J]. 水土保持研究,2016,23(1):29–33.

[28]Son Y, Park I H, Yi M J, et al. Biomass, production and nutrient distribution of a natural oak forest in central Korea[J]. Ecological Research, 2004, 19(1):21–28.

[29]刘玉萃,吴明作,郭宗民,等. 宝天曼自然保护区栓皮栎林生物量和净生产力研究[J]. 应用生态学报,1998,9(6):569–574.

[30]甄 伟,黄 玫,翟印礼,等. 辽宁省森林植被碳储量和固碳速率变化[J]. 应用生态学报,2014,25(5):1259–1265.

[31]Lin D M, Lai J S, Muller-Landau H C, et al. Topographic variation in aboveground biomass in a sub-tropical evergreen broad-leaved forest in China[J]. PLoS One, 2012, 7(10):e48244.

[32]Bai Y F, Han X G, Wu J G, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland[J]. Nature, 2004, 431(7005):181–184.

[33]齐 光,王庆礼,王新闯,等. 大兴安岭林区兴安落叶松人工林植被碳贮量[J]. 应用生态学报,2011,22(2):273–279.

[34]Qi G, Chen H, Zhou L, et al. Carbon stock of larch plantations and its comparison with an old-growth forest in Northeast China[J]. Chinese Geographical Science, 2016, 26(1):10–21.

[35]徐耀粘,江明喜. 森林碳库特征及驱动因子分析研究进展[J]. 生态学报,2015,35(3):926–933.

养液的根区酸化试验,营养液用 0.1 mol/L NaOH 和 0.1 mol/L HCl 调节至处理所需的 pH 值,共设 5 个 pH 值水平的处理,pH 值分别为 4.5、5.0、5.5、6.0 和 6.5。每个处理 3 个重复。于 2017 年 4 月开始,每 7 d 浇营养液 1 次,保证根区环境 pH 值维持在相应水平。

1.3 叶绿素荧光参数的测定

于 2017 年 7 月 25 日晴朗天气,开展不同 pH 值营养液处理下山核桃植株叶绿素荧光参数的测定,叶绿素荧光参数利用便携式调制叶绿素荧光仪 Mini-PAM (Walz, Germany) 测定,每盆植株选择上、中、下 3 片成熟功能叶片作为研究材料,经过暗适应 30 min,分别测定最小荧光值 (F_0)、最大荧光值 (F_m)、最大光化学效率 (F_v/F_m)、PS II 的潜在活性 (F_v/F_0)、实际光化学量子产量 (Φ_{PSII})、电子传递速率 (ETR)、光化学淬灭系数 (q_p) 和非光化学淬灭系数 (NPQ)。

1.4 数据处理

试验数据在 Excel 2007 统计软件中进行整理和图表制

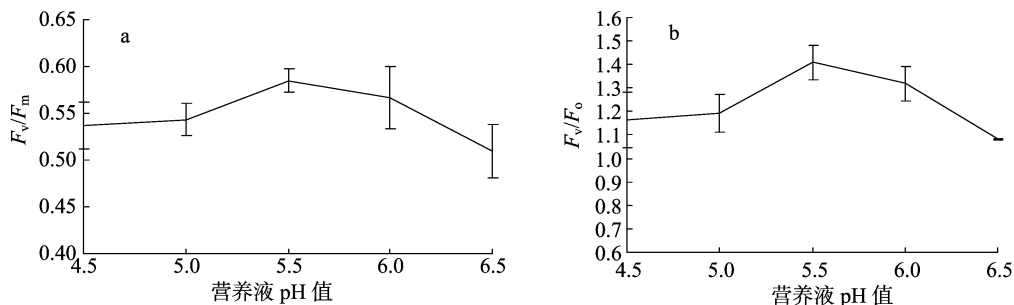


图1 不同 pH 值处理对山核桃叶片 F_v/F_m 和 F_v/F_0 的变化

2.2 根区酸化对山核桃叶片 Φ_{PSII} 的影响

由图 2 可以看出,随光合有效辐射的增加,不同 pH 值营养液处理下,山核桃叶片实际光化学量子产量 Φ_{PSII} 均逐渐降低,山核桃叶片吸收的光能中用于光化学过程的比例降低,但 pH 值 5.5 营养液处理组山核桃叶片 Φ_{PSII} 下降的趋势较为平

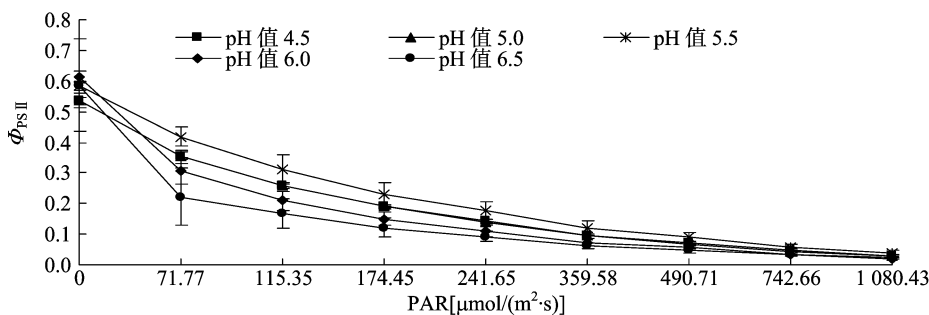


图2 不同 pH 值处理对山核桃叶片 Φ_{PSII} 的影响

2.3 根区酸化对山核桃叶片 ETR 的影响

图 3 为不同 pH 值处理后,山核桃叶片表现出的在不同光合有效辐射下表观电子传递速率的变化曲线,结果显示随着光合有效辐射的持续增加,山核桃叶片 ETR 持续上升,且不同 pH 值处理间差异显著,光合有效辐射越大,差异越明显。随着 pH 值的降低,山核桃叶片 ETR 总体呈先升高后降低再升高的变化,pH 值 5.5 处理山核桃叶片 ETR 显著高于其他处理,其次为 pH 值 4.5 和 pH 值 5.0,pH 值 6.0 和 pH 值 6.5 处理下的山核桃叶片 ETR 最低。表明不同 pH 值营养液处理对山核桃叶片光合作用的电子传递速率有显著影响,pH

作,方差分析采用 SPSS 19.0 统计软件中 Duncan's 多重比较方法。

2 结果与分析

2.1 根区酸化对山核桃叶片 F_v/F_m 和 F_v/F_0 的影响

由图 1 可以看出,营养液 pH 值不同时,山核桃叶片 PS II 反应中心最大光化学效率 F_v/F_m 和潜在活性 F_v/F_0 存在显著差异,随着 pH 值的降低, F_v/F_m 和 F_v/F_0 均呈现先升高后降低的趋势。在营养液 pH 值为 5.5 和 6.0 时, F_v/F_m 和 F_v/F_0 显著高于其他处理,并在营养液 pH 值 = 5.5 时达到最高值,其余处理间差异不显著。可能是当 pH 值从 6.5 降低到 6.0 和 5.5 时,山核桃叶绿体 PS II 反应中心潜在活性被激发,原初光能转换效率提升显著。当营养液 pH 值降到 5.5 以下时,山核桃叶绿体 PS II 反应中心可能受损,光合电子传递受阻,原初光能转换能力下降,抑制了植株光合作用的原初反应。

缓。不同 pH 值营养液处理下山核桃叶片 Φ_{PSII} 平均值大小表现为 pH 值 5.5 > pH 值 4.5 \approx pH 值 5.0 > pH 值 6.0 > pH 值 6.5。可以看出,pH 值为 5.5 的处理,山核桃叶片的实际光化学效率最高,吸收相同光能后,能将更多的能量用于光化学过程。

值 5.5 处理下山核桃叶片 PS II 光合电子传递速率最高,pH 值过低或过高都会造成光合电子传递过程受损或受抑制,光合电子传递速率下降,引起光抑制。

2.4 根区酸化对山核桃 q_p 的影响

由图 4 可以看出,在本试验的光照度范围内,山核桃叶片 q_p 随着光照度增加而下降,且不同 pH 值处理间有所差异。随着 pH 值由高到低,山核桃叶片 q_p 表现出先升高后降低的变化趋势。其中,pH 值 5.5 处理下光化学淬灭系数最高,且降势最缓,pH 值 6.0 和 pH 值 6.5 光化学淬灭系数差异不明显且下降速率最高。表明随着光合有效辐射的增强,山核桃

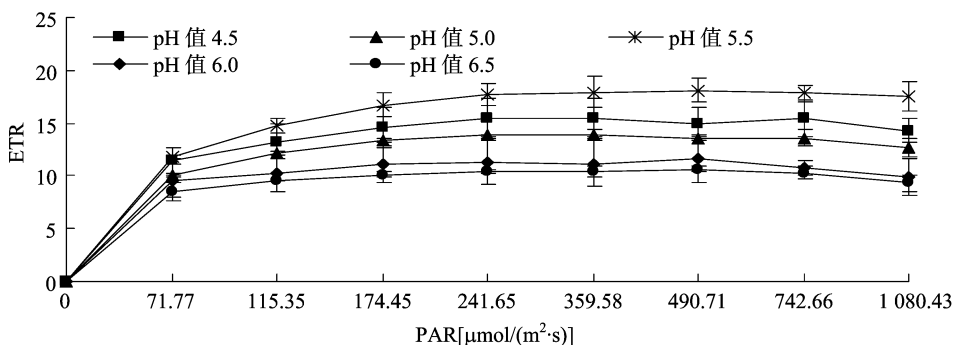
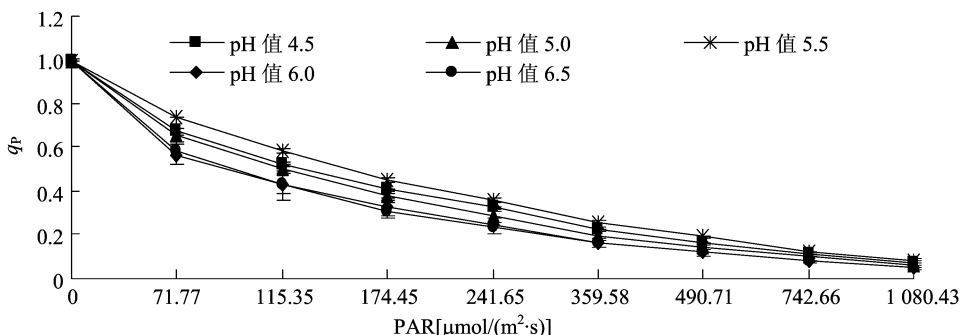


图3 不同 pH 值处理对山核桃叶片 ETR 的影响

图4 不同 pH 值处理对山核桃叶片 q_P 的影响

叶片 PS II 反应中心逐渐关闭,但不同 pH 值处理间 PS II 反应中心关闭的速率有所差异,pH 值 5.5 处理的 PS II 反应中心的关闭速率最低,在相同光合有效辐射下,PS II 反应中心开放的比例最大,pH 值过低或过高都会造成 PS II 反应中心的关闭从而导致光合电子传递活性受到抑制,影响山核桃 PS II 反应中心对光能的吸收、传递和光化学反应。

2.5 根区酸化对山核桃 NPQ 的影响

由图 5 可以看出,随着光合有效辐射的增加,山核桃叶片 NPQ 也逐渐增加,但不同 pH 值处理间 NPQ 的增长幅度有显

著差异,表现为 pH 值 6.5 > pH 值 6.0 > pH 值 4.5 > pH 值 5.0 > pH 值 5.5,呈先降低后升高的变化趋势。表明高 pH 值 (6.5、6.0) 处理下山核桃叶片增强了非辐射能量耗散来保护自身免受过剩光能的伤害。而低 pH 值 (4.5、5.0) 处理下光合机构可能受到损伤,非光化学淬灭系统也受到严重影响。而在 pH 值 5.5 条件下时,山核桃叶片光化学淬灭系数及光能转化效率较高,吸收的光能基本被用来进行光化学反应,因此,光能的热耗散量较少,非光化学淬灭系数很低。

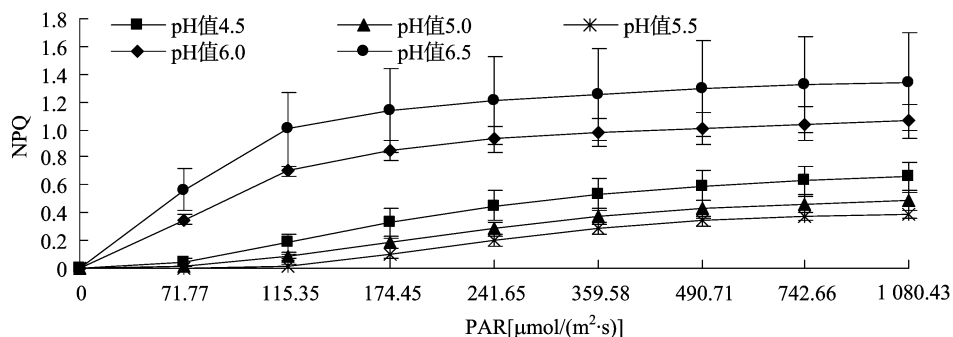


图5 不同 pH 值处理对山核桃叶片 NPQ 的影响

3 结论与讨论

植物光合作用主要依靠叶绿素对光能的吸收、转化、利用和传递来进行,所以叶绿素分子受到激发后所发射的荧光信号能够很好地表达光合作用的活性和强弱,逆境胁迫对光合作用各过程的影响可以通过体内叶绿素荧光诱导动力学变化反映出来^[8-10],如王利等研究发现根区酸化显著改变平邑甜茶叶片光系统 II 的光化学反应以及对所吸收光能的分配^[11];刘爽等研究也发现土壤酸度对脂松苗木针叶荧光参数影响显

著,pH 值 5.5 时叶绿素荧光参数 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 最高^[12]。

本试验结果发现山核桃幼苗叶片的叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 Φ_{PSII} 、ETR 以及 q_P 对根区酸化响应较为一致,随 pH 值的降低均呈现出先升后降的变化趋势,NPQ 则表现出相反的趋势,随 pH 值的降低先下降后上升,除 NPQ 外的所有叶绿素荧光参数均在 pH 值 5.5 处理下最高,说明山核桃对根区环境酸化有一定的适应能力,在一定范围内随着营养液 pH 值降低,山核桃叶片 PS II 潜在活性逐步被激发,在营养液 pH 值为 5.5 时达到最高值,在 pH 值 5.5 处理下山核桃

叶片具有最高 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 Φ_{PSII} 、ETR 以及 q_p 值,表明该处理下山核桃叶片 PS II 的实际光能捕获效率较高,PS II 反应中心原初电子受体 QA 库较大,使 PS II 反应中心开放的比例增大,它能够通过光合电子传递途径将较多的光能用于二氧化碳的同化,阻止了过量的激发能在 PS II 反应中心积累,这必然相应地降低不能进行稳定电荷电离和不能参与光合电子传递的 PS II 反应中心关闭部分的比例,从而使天线色素所捕获的光能以更高比例用于推动光合电子传递,促进电子传递能力的提高,这将有助于为光合碳同化提供更多的能量(ATP)和还原力(NADPH),形成更多的光合产物^[13-16]。郑瑞文等研究发现,随着酸雨胁迫时间的延长山核桃幼苗叶片 PS II 最大光化学效率、PS II 潜在活性、PS II 实际光化学量子产量值出现降低后逐步增强的现象,并认为山核桃在酸雨处理条件下有一定的适应能力^[17]。但当根区 pH 值环境下降到 5.0 和 4.5 时,其叶绿素荧光参数出现明显下降,可能是强酸环境造成了光合系统的结构和功能损伤,干扰了光能的吸收和利用。相关研究表明,根区酸化伤害 PS II 供体侧和受体侧^[11],较强的酸性条件可以使一些农作物和树木幼苗叶绿素含量降低,叶绿素含量随 pH 值降低而降低,与 pH 值呈显著正相关^[18-20],而叶绿素含量降低,降低了 PS II 原初光能转化效率,PS II 反应中心受到一定程度的损害,PS II 反应中心开放部分的比例降低,抑制了光合作用的原初反应,光合电子由 PS II 反应中心向 QA、QB 及 PQ 库传递过程受到影响^[21-22],导致光合电子传递过程受到损害和抑制,从而减小光合速率,导致光合产物的运输和积累减缓^[19,23-24]。

本研究还发现,虽然 pH 值 6.0 和 6.5 处理下山核桃叶片的叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 Φ_{PSII} 、ETR 以及 q_p 较低,但其非光化学系数 NPQ 较高,NPQ 反映了植物耗散过剩光能为热的能力,即植物的光保护能力,非光化学淬灭是过剩光能(有害)耗散为热(无害)的有效探针^[25],高的非光化学猝灭能力有利于光能的耗散,在不利的环境中光合系统运转受抑时,可避免强光对光系统的伤害,保证它在不利的环境中对光能的吸收和利用^[26]。pH 值 6.0 和 6.5 处理具有较高 NPQ,这说明高 pH 值环境下山核桃发生的光抑制是一种光保护过程,在受到强光照时,能够显著降低其 PS II 反应中心的活性以减少对光能的吸收和增加激发能的热耗散(特别是与叶黄素循环有关的过程)来避免 PS II 反应中心的过度激发^[27]从而受到光能的损伤最小,野外调查结果也表明在灰岩发育的土壤上生长的山核桃树长势较慢,但抗逆性较强,病害等发生率低,提示高的根区 pH 值环境有利于山核桃应对逆境胁迫。

参考文献:

- [1] 洪游游,唐小华,王 慧. 山核桃林土壤肥力的研究[J]. 浙江林业科技,1997,17(6):1-8.
- [2] 沈一凡,钱进芳,郑小平,等. 山核桃中心产区林地土壤肥力的时空变化特征[J]. 林业科学,2016,52(7):1-12.
- [3] 董建华,赵伟明,周建金,等. 临安山区山核桃林不同地质背景下的土壤肥力特性研究[J]. 浙江林业科技,2018,38(2):14-20.
- [4] 马闪闪. 土壤酸化与山核桃林退化的关系及其改良[D]. 杭州:浙江农林大学,2016.
- [5] 张春苗,张有珍,姚 芳,等. 临安山核桃主产区土壤 pH 和有效养分的时空变化[J]. 浙江农林大学学报,2011,28(6):845-849.
- [6] 柯世省,金则新. 水分胁迫和温度对夏蜡梅叶片气体交换和叶绿素荧光特性的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(1):43-49.
- [7] 温国胜,田海涛,张明如,等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1973-1977.
- [8] 张 斌,周广柱,聂义丰,等. 干旱胁迫对银杏幼苗叶片光合性状的影响[J]. 江苏农业科学,2006(5):202-205.
- [9] 赵 霞,叶 林. 盐碱胁迫对紫花苜蓿生长、品质及光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):176-180.
- [10] Strasser R J, Strivastava A, Gpvindgee. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transients[J]. Photosynth Res,1997,52:147-155.
- [11] 王 利,杨洪强,张 召,等. 根区酸化对平邑甜茶叶片光系统 II 活性及光合速率的影响[J]. 林业科学,2011,47(10):168-171.
- [12] 刘 爽,王庆成,刘亚丽,等. 土壤酸度对脂松苗木光合和叶绿素荧光的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(12):2905-2910.
- [13] 陈四龙,孙宏勇,陈素英,等. 不同冬小麦品种(系)叶绿素荧光差异分析[J]. 麦类作物学报,2005,25(3):57-62.
- [14] 沈宗根,陈翠琴,王岚岚,等. 3 种石斛光合作用和叶绿素荧光特性的比较研究[J]. 西北植物学报,2010,30(10):2067-2073.
- [15] 张 杰,邹学忠,杨传平,等. 不同蒙古栎种源的叶绿素荧光特性[J]. 东北林业大学学报,2005,33(3):20-21.
- [16] 陈献志,王宝党,刁 硕,等. 基于叶绿素荧光技术的日本莢蒾最佳扦插条件研究[J]. 常熟理工学院学报(自然科学),2017,31(4):100-103.
- [17] 郑瑞文,郭 慧,伊力塔. 酸雨胁迫对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响[J]. 现代农业科技,2016(17):120-124.
- [18] 齐泽民,钟章成. 模拟酸雨对杜仲光合生理及生长的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2006,31(2):151-156.
- [19] 朱英华,屠乃美,肖汉乾,等. 模拟酸雨对烤烟叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 环境科学学报,2010,30(1):217-223.
- [20] 肖 艳,黄建昌,刘少娴,等. 模拟酸雨对 12 种园林植物的伤害及敏感性反应[J]. 西南农业学报(自然科学版),2004,26(3):271-273.
- [21] 卢从明,张其德,匡廷云,等. 水分胁迫对小麦叶绿体激发能分配和光系统 II 原初光能转换效率的影响[J]. 生物物理学报,1995,11(1):82-86.
- [22] Tsonev T, Velikova V, Georgieva K, et al. Low temperature enhances photosynthetic down-regulation in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.)[J]. Annals of Botany,2003,91:343-352.
- [23] 袁远爽,肖 娟,胡 艳. 模拟酸雨对白藜叶片抗氧化酶活性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物生理学报,2014,50(6):758-764.
- [24] 刘 昊,余树全,江 洪,等. 模拟酸雨对山核桃叶绿素荧光参数、叶绿素和生长的影响[J]. 浙江林学院学报,2009,26(1):32-37.
- [25] 王学英,师生波,吴 兵. 西宁和海拔麻花苜蓿净光合速率和叶绿素荧光参数的日变化比较[J]. 西北植物学报,2005,25(12):2514-2518.
- [26] 刘建福,汤青林,倪书邦,等. 水分胁迫对澳洲坚果叶绿素 a 荧光参数的影响[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2003,24(3):305-309.
- [27] 赵越剑,吴红艳,邹定辉,等. 阳光紫外辐射对羊栖菜人工幼苗生长和光合电子传递速率的影响[J]. 海洋通报,2009,28(6):51-56.