

丁 杰,李少宁,鲁绍伟,等.北京市常见经济林水分利用及固碳释氧功能[J].江苏农业科学,2017,45(18):130-133.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.032

北京市常见经济林水分利用及固碳释氧功能

丁 杰¹,李少宁²,鲁绍伟²,石媛媛¹,赵云阁¹,杨新兵¹,陈 波²

(1.河北农业大学林学院,河北保定 071000; 2.北京市农林科学院林业果树研究所/林果业生态环境功能提升协同创新中心/北京燕山森林生态系统定位观测研究站,北京 100093)

摘要:以 7 种经济林为研究对象,于 5—10 月利用 CI-340 手持光合仪进行全天光合速率和蒸腾速率测定,计算其水分利用效率和固碳释氧量。结果显示:经济林树种的水分利用率日变化为上午时段高于下午时段,其中水分利用率最大的树种为苹果(8.73 μmol/mmol),最小的为梨(3.99 μmol/mmol);各树种的固碳释氧量月变化规律相同,均在 5、6 月最高,且各树种年均日固碳、释氧量分别在 10.12 ~ 19.76、7.36 ~ 14.37 g/(m²·d) 之间,且释氧量明显低于固碳量;各树种的单位叶面积年固碳释氧量(枣>桃>苹果>梨>杏>核桃>樱桃)与单位面积果园内各树种的年固碳释氧量(桃>枣>苹果>梨>核桃>杏>樱桃)排序不一致。根据 7 种经济林树种水分利用率发现,北京地区苹果的抗寒性较高,易成活。本研究表明,经济林的固碳释氧功能在森林生态功能中同样具有重要意义。

关键词:经济林;水分利用率;固碳量;释氧量;光合作用;抗寒性;森林生态功能

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)18-0130-04

随着我国现代化进程的不断加快,城市环境日益恶化,导致大气中 CO₂ 浓度持续升高,全球“温室效应”更加严重。因此,全球气候变暖受到全世界的高度关注。联合国政府气候变化委员会(IPCC)的报告显示,近百年来地球已增温 0.3 ~ 0.6 °C,预计在 22 世纪中期会由于 CO₂ 浓度的倍增,使全球增温 1.5 ~ 4.5 °C,直接导致海平面上升,同时造成旱涝灾害现象频发,威胁人类生存^[1-2]。水资源是地球的生命之源,是制约国家经济发展的重要因素之一。我国水资源总量为 2.83 万亿 m³,但人均占有量还不足世界人均量的 1/4^[3]。北京市作为我国的首都,其人均水量仅为 300 m³,为全国人均量的 1/8,属于严重缺水区域。基于以上情况,控制大气 CO₂ 浓度和保护水资源成为世界关注的两大热点问题,而林木由于同时兼具固碳释氧和保护水土的生态功能,更成为国内外学者的研究重点。经济林作为具有巨大经济价值的植物,虽然在全球森林组成中占有的比例不高,但这并不能抹杀其在全球碳循环中的重要意义。同时,有效提高经济林抗旱能力及生产能力也具有重大意义。杨超等研究北京地区常见果树蒸腾及降温增湿作用时发现,经济林生态系统作为森林资源的重要成

分,也具有显著的降温增湿能力^[4]。但目前研究对象大多为绿化树种^[5-8],对经济林树种的研究涉及甚少。因此,研究以 7 种常见经济林树种为对象,对其水分利用及固碳释氧的功能开展量化测定,为经济林生态功能的精确评估提供基础测算数据和理论依据。

1 研究方法

1.1 研究地概况

研究地为北京市农林科学院林业果树研究所的种质资源圃,位于北京市西北五环西桥附近,总面积约 13 hm²,地理坐标为东经 116°13'13"、北纬 39°59'35"。气候为典型的北温带半湿润性大陆季风气候,年均日照 2 000 ~ 2 800 h,年均温度 14.1 °C,全年无霜期 180 ~ 200 d,年均降水量 483.9 mm,且 80% 集中于 6、7、8 月。资源圃内分布有桃(*Prunus persica*)、杏(*P. armeniaca*)、苹果(*Malus pumila*)、樱桃(*P. pseudocerasus*)、梨(*Pyrus* spp.)、核桃(*Juglans regia*)和板栗(*Castanea mollissima*)等。

1.2 树种选择

研究选取北京地区栽植面积大、群众认可度高的 7 种经济林树种,各树种林龄、土壤和水肥条件基本相近,即土壤水分充足,水肥良好(试验样树基本情况详见表 1)。

表 1 试验树种

类型	树种	品种	林龄 (年)	树高 (m)	胸径 (cm)
仁果类	苹果	红富士	15	3.0	9.8
	梨	黄金梨	15	3.3	9.5
核果类	杏	串枝红	14	2.8	9.0
	桃	晚蜜	14	3.6	10.1
	樱桃	红灯	15	3.9	10.3
坚果类	核桃	香薄壳山核桃	16	5.8	11.5
柿枣类	枣	杂杂枣	16	3.5	9.6

收稿日期:2017-03-27

基金项目:北京市农林科学院新学科培育项目(编号:KJCX20150205);林木生态功能监测与资源评价创新团队项目(编号:TWKST 201609);科技创新服务能力建设—协同创新中心—林果业生态环境功能提升协同创新中心(编号:PXM2017_014207_000043);北京市农林科学院科技创新团队项目(编号:JWKST201609)。

作者简介:丁 杰(1992—),女,河北固安人,硕士研究生,主要从事水土保持研究。E-mail: yixuandj@163.com。

通信作者:鲁绍伟,博士,研究员,主要从事水土保持、森林生态服务功能研究,E-mail: hblsw8@163.com;杨新兵,博士,副教授,主要从事水土保持与森林生态研究,E-mail: yangxinbing2001@126.com。

1.3 数据测定及处理

试验测定于 2015 年 5—10 月的每月 15 日左右,选晴朗无风天气,利用便携式光合测定仪(CI-340,上海泽泉科技有限公司),其叶室大小为 55 mm × 20 mm,精度为 2% ~ 3.5%。在 07:00—17:00 间每隔 2 h 对 7 种经济林光合及蒸腾作用进行 1 次测定,每次选取向阳的 3 ~ 5 张叶片,测其瞬时净光合速率(P_n)和蒸腾速率(E)。固碳释氧研究一般不对林木的夜间暗反应进行测量,因此根据经验值将其设定为 20%^[9]。水分利用率采用气体交换法定量测定^[10]。

林木水分利用率(WUE)计算公式:

$$WUE = P_n / E \quad (1)$$

通过下列公式计算不同树种固碳释氧量^[11],其中,日净同化量计算公式为

$$P = \sum_{i=1}^j [(P_{i+1} + P_i) / 2 \times (t_{i+1} - t_i) \times 3\,600 / 1\,000] \quad (2)$$

式中: P 为日净同化量, $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; j 为测定时间段内的测定次数; P_i 为初测点的瞬时光合速率, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; P_{i+1} 为下一测点的瞬时光合速率, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; t_i 为初测点的瞬时时间, h ; t_{i+1} 为下一测点的瞬时时间, h 。

林木光合作用方程式为



式中: CO_2 的摩尔质量为 44 g/mol, O_2 的摩尔质量为 32 g/mol,因此可以根据公式(3)、(4)计算日单位叶面积固碳释氧量:

$$W_{\text{CO}_2} = P \times 44 / 1\,000 \quad (3)$$

$$W_{\text{O}_2} = P \times 32 / 1\,000 \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 经济林树种的水分利用日变化特征

由表 2 中的数据可见,7 种经济林树种的水分利用率日变化规律均为从 07:00—17:00 基本表现为下降趋势,即上午时段各树种的水分利用率较高。各树种水分利用率的全天变化中,下降幅度最大的树种为枣树,其最大值出现在 07:00,为 12.23 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,最小值出现在 17:00 左右,其值为 2.61 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,下降幅度高达 78.6%;日变化幅度最小的树种为杏,最大值在 09:00 出现,但最小值在 15:00 左右出现,为 3.51 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,相比 09:00 的最大值下降了 2.41 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。其余树种日变化幅度介于 4.48 ~ 7.06 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 之间。由此可见,经济林树种的水分利用率在上午时段较高,下午时段出现明显降低,其原因为下午气温较高,导致植物叶片部分气孔关闭,其光合速率较上午和早晨有所降低,而蒸腾作用却明显升高,从而导致水分利用率持续降低。

此外,由表 2 可得出,在 7 种经济林树种的水分利用率日均值中,苹果最大,其值是最小值梨的 2.19 倍,其次是桃、枣和樱桃,分别为 6.64、6.61、6.34 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,而其余树种的水分利用率则明显低于前几种。由于植物在干旱条件下,其节水能力随着水分利用率的提高而增强,且生产力、抗旱性也更高^[12-13]。因此,根据不同经济林树种的日均水分利用率可知,苹果、桃、枣等因其水分利用率较高而具有较强的生产力,且在研究地(北京市)的抗寒性、抗旱性也较强,相应的成活

表 2 不同树种水分利用率日变化特征

时间	水分利用率($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)						
	苹果	桃	杏	樱桃	梨	枣	核桃
07:00	10.91	7.17	5.35	10.39	7.93	12.23	8.13
09:00	10.23	8.17	5.92	10.02	5.87	10.20	6.17
11:00	8.66	7.98	4.21	5.92	3.92	6.21	3.67
13:00	9.23	6.29	3.85	4.93	2.98	4.02	3.82
15:00	7.48	6.54	3.51	3.33	2.24	4.38	3.59
17:00	5.88	3.69	4.99	3.47	1.00	2.61	2.74
日均值	8.73	6.64	4.64	6.34	3.99	6.61	4.69

率也高于其他树种。

2.2 经济林树种固碳释氧量

2.2.1 各经济林树种单位叶面积日净同化量 7 种经济林 5—10 月单位叶面积日净同化量如图 1 所示,枣的日净同化量最大,其各月均值达到 449.11 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;日净同化量最小的为樱桃,其均值仅为枣的 51%;其余树种日净同化量各月均值介于 255.95 ~ 383.74 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间。从各树种不同月份的日净同化量来看,苹果和樱桃均在 7 月日净同化量最高,分别为 592.49、335.49 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;桃、杏、梨等其余 5 种则在 5、6 月日净同化量较高,其值明显高于其他月份,而各树种的最小值基本出现在 10 月。由此可见,各树种在夏季生产力较高。由于树种固定碳和释放氧气的的能力随着日净同化量的增加而增强^[14]。所以在其他条件相同的情况下,由于枣和桃的日净同化量均值较大,可以考虑适当多种植枣和桃来提高经济林生态系统的净生产力。

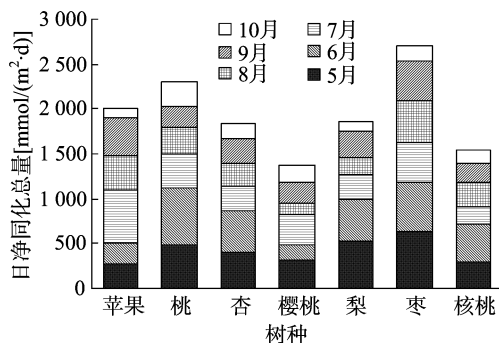


图1 不同树种日净同化量

2.2.2 各经济林树种单位叶面积日固碳量 林木叶片能够通过光合作用吸收 CO_2 ,改善环境质量,但不同树种的单位叶面积日固碳量不同。由图 2 可知,苹果、桃、杏、樱桃、梨、枣、核桃 5—10 月单位叶面积日固碳量依次介于 4.66 ~ 26.07、10.83 ~ 28.25、6.79 ~ 20.97、6.31 ~ 14.77、5.00 ~ 22.90、7.39 ~ 27.50、5.96 ~ 17.91 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间。其中,枣和桃的日固碳量最大,其最大值分别出现在 5 月 [27.5 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 和 6 月 [28.25 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$],最小值分别出现在 10 月和 9 月,仅是最大值的 26.9% 和 38.3%;樱桃的日固碳量最小,其最大值与枣和桃分别相差 12.73、13.48 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

2.2.3 各经济林树种单位叶面积日释氧量 7 种经济林在 5—10 月单位叶面积日释氧量如图 3 所示,5—10 月日释氧量依次(苹果、桃、杏、樱桃、梨、枣和核桃)介于 3.39 ~ 18.96、7.88 ~ 20.55、4.94 ~ 15.25、4.59 ~ 10.75、3.64 ~ 16.65、5.38 ~ 20.00、4.33 ~ 13.02 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间。各树种的日释

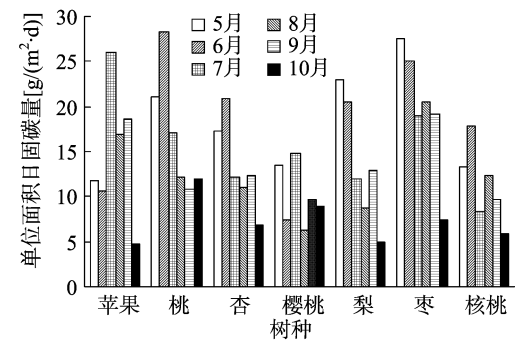


图2 不同树种单位叶面积日固碳量

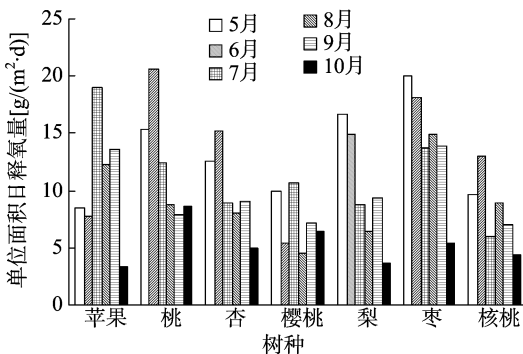


图3 不同树种单位叶面积日释氧量

氧量与其日固碳量月变化规律一致,即除个别树种外,各树种的日释氧量均在 5、6 月较高,10 月较低;各树种的日释氧量大小排序与日固碳量也基本一致,即枣>桃>苹果>梨>杏>核桃>樱桃,且枣的年平均日释氧量是樱桃的 1.95 倍。

综合上述数据分析并结合表 3 可得知,7 种经济林单位叶面积固碳量、释氧量在不同月份变化趋势一致,且各树种单位叶面积年固碳量与释氧量大小排序也完全相同。全年平均日固碳量变化范围为 10.12~19.76 g/(m²·d),日释氧量介

于 7.36~14.37 g/(m²·d) 之间,明显低于固碳量。各树种的日固碳量、释氧量均在 5、6 月较高,进入 7、8 月后出现明显下降,进入 10 月后,随着环境的改变各树种自身生理特性弱化,其固碳释氧能力相应最弱。引起这种变化的原因是 5、6 月日照时间长,太阳辐射量较高,导致各树种的光合作用增强,其固碳量、释氧量相应较大;而 7、8 月虽然日照时间较长,但由于气温偏高,林木叶片出现“光合午休”现象,即部分叶片气孔关闭,其光合作用受到抑制。因此,7、8 月各树种的固碳释氧量呈大幅下降趋势。

表 3 不同树种单位叶面积年固碳释氧量

树种	年固碳量 (t/hm ²)	固碳量排名	年释氧量 (t/hm ²)	释氧量排名
苹果	26.55	3	19.31	3
桃	30.39	2	22.10	2
杏	24.16	5	17.57	5
樱桃	18.22	7	13.25	7
梨	24.62	4	17.90	4
枣	35.57	1	25.87	1
核桃	20.27	6	14.74	6

2.2.4 各经济林树种单株固碳释氧量 由各经济林单位面积林地上的年固碳量、年释氧量(表 4)可知,单位面积林地上 7 种供试经济林的年固碳量和年释氧量大小排序完全相同,均为桃>枣>苹果>梨>核桃>杏>樱桃,其中固碳量、年释氧量最大的桃树均约为最小樱桃的 2 倍。但单位叶面积年固碳量、年释氧量大小排序与其稍具不同,单位叶面积年固碳量、年释氧量最大的为枣树(35.57、25.87 t/hm²),单位面积果园内各树种的年固碳、释氧量最大的为桃树(13.80、10.04 t/hm²)。由此可见,单位面积果园内林木的固碳、释氧量不仅与净光合速率有关,更与栽植密度、各树种的叶面积指数以及人为修剪等因素密切相关。

表 4 不同树种单株年固碳释氧量

树种	植株数量 (株/hm ²)	叶面积 (m ²)	年固碳量 (kg/株)	单位面积年固碳量 (t/hm ²)	年释氧量 (kg/株)	单位面积年释氧量 (t/hm ²)	排名
苹果	285	14.56	38.66	11.02	28.11	8.01	3
桃	296	15.34	46.62	13.80	33.91	10.04	1
杏	267	14.35	34.68	9.26	25.22	6.73	6
樱桃	275	13.44	24.49	6.73	17.81	4.90	7
梨	304	13.86	34.12	10.37	24.81	7.54	4
枣	299	12.16	43.25	12.93	31.46	9.41	2
核桃	300	15.66	31.74	9.52	23.09	6.93	5

3 结论与讨论

3.1 讨论

3.1.1 不同树种水分利用率对比 水分利用率是植物生存的关键因子,客观反映植物对水分的利用状况,同时它也是反映植物生长中能量转化效率的重要指标^[15-16]。了解植物的水分利用率既可以掌握植物的生存适应对策,又可对有限的水资源进行人为调控来达到高产^[17]。因此,植物的水分利用率成为研究关注的焦点。金华等对阿克苏 8 种常见树种叶片水分利用率的研究显示,不同树种间的水分利用率存在一定差异,以核桃和苹果为最高^[15]。而本研究中以苹果和桃的水

分利用率为最高,这主要是由于研究地域不同,其环境因子,如光照度、气温及相对湿度等都存在明显差异,因此研究结果有所差异。研究中各经济林树种的水分利用率均表现为上午时段高于下午时段,这一结果与杨新兵的研究结果^[18]完全一致,产生这一现象是因为下午温度较高,植物叶片气孔关闭,其光合速率较上午和早晨有所降低,而蒸腾作用增强,最终导致水分利用率出现持续降低的现象。此外,研究结果还显示出不同树种水分利用率的日变化幅度不同,相比其他树种,枣树的变化幅度最大,由 07:00 的最大值(12.23 μmol/nmol),到 17:00 的最低值(2.61 μmol/nmol),下降幅度达到 78.7%。针对经济林水分利用率的相关影响因素在这里并没

有进行细致深入的研究,今后有待进一步加强。

3.1.2 不同树种固碳释氧能力对比 森林植被通过光合作用,将 CO_2 经过一系列化学反应生成碳水化合物,并释放 O_2 ,从而达到固碳释氧的效果,这对于提高城市空气质量、维持生态平衡和促进可持续发展有十分重要的意义^[19]。不同树种因其生理特性不同,固碳释氧能力具有一定的差异^[20]。林欣等研究了 18 种常见灌木树种,发现其中的马缨丹、假连翘、黄叶榕和红桑的日净固碳释氧能力最强,其固碳量、释氧量分别介于 $7 \sim 10$ 、 $5 \sim 7 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间^[21];陆贵巧等在辽宁省大连市对主要行道绿化树种的固碳释氧能力进行研究,结果显示,其日均固碳量、释氧量分别在 $6.48 \sim 13.61$ 、 $4.28 \sim 9.90 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 范围内^[22]。与绿化树种相比,研究中 7 种不同经济林树种的固碳量 $[10.12 \sim 19.76 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ 、释氧量 $[7.36 \sim 14.37 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ 明显较高,这说明苹果、桃和杏等 7 种经济林树种的固碳释氧能力高于大多数绿化树种,这主要是由于经济林树种的光合作用不仅须要维持自身的生理需求,还须要为其果实生长提供营养,因此其光合能力较高。此外,大量研究显示,绿化树种的固碳释氧量有明显的季节变化,通常为夏季 > 秋季 > 春季^[23-24]。而经济林树种固碳释氧量则在 7、8 月出现明显下降,产生此现象的原因是研究区域(北京市)在 7、8 月温度偏高,各经济林树种受到高温胁迫影响,部分气孔关闭,导致其固碳释氧能力下降。

3.2 结论

通过测定对比 7 种常见经济林树种的水分利用率和固碳释氧能力发现,各树种的水分利用率日变化均为上午时段高于下午时段。其中,变化幅度最大的树种为枣,最小的为杏;各树种间水分利用率最大和最小树种分别为苹果和梨。各树种的日固碳释氧量月变化趋势完全一致,即 5、6 月值最大,7、8 月有显著下降;各树种单位叶面积年固碳量、释氧量大小排序均为枣 > 桃 > 苹果 > 梨 > 杏 > 核桃 > 樱桃,经济林树种的单位叶面积日均固碳量和释氧量分别为 $10.12 \sim 19.76$ 、 $7.36 \sim 14.37 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,而单位面积果园内各树种的年固碳量、年释氧量大小排序均为桃 > 枣 > 苹果 > 梨 > 核桃 > 杏 > 樱桃。这些结果说明经济林树种不仅具有较大的经济价值,其水分利用和固碳释氧能力同样具有不可忽视的重大意义,为未来经济林发展提供了理论基础,有利于发挥经济林的生态功能。

参考文献:

- [1] 蒋有绪. 中国林业发展的环境目标战略研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- [2] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. Science, 1994, 263(5144): 185-190.
- [3] 沈国防,王礼先. 中国生态环境建设与水资源保护利用[M]. 北

京:中国水利水电出版社,2001.

- [4] 杨超,鲁绍伟,陈波,等. 北京地区常见果树蒸腾吸热和蒸腾降温效应研究[J]. 北方园艺, 2015, 39(18): 22-25.
- [5] Testi L. Carbon exchange and water use efficiency of a growing, irrigated olive orchard [J]. Environmental & Experimental Botany, 2008, 63(1-3): 168-177.
- [6] 陶晓,吴泽民,武金翠. 合肥市 8 种主要园林常绿树种水分利用效率研究[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35(2): 181-185.
- [7] 佟潇,李雪. 沈阳市 5 种绿化树种固碳释氧与降温增湿效应研究[J]. 辽宁林业科技, 2010(3): 14-16.
- [8] 张娇,李海明,施拥军,等. 30 种平原绿化乔木树种光合固碳特性分析[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(6): 6-12, 24.
- [9] 刘维东. 成都市屋顶绿化植物的选择及其生态效益研究[D]. 四川:四川农业大学, 2006.
- [10] Morgan J A, Daniel R L, et al. Gas exchange, carbon isotope discrimination, and production [J]. Crop Science, 1993, 33(1): 178-186.
- [11] 刘嘉君,王志刚,阎爱华,等. 12 种彩叶树种光合特性及固碳释氧功能[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(9): 23-25.
- [12] 龚吉蕊,赵爱,苏培玺,等. 黑河流域几个主要植物种光合特征的比较研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 587-592.
- [13] 张翠霞,张秋良,常金宝. 库布其沙漠几种植物的光合蒸腾及水分利用效率[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2007, 31(4): 81-84.
- [14] 王丽勉,秦俊,高凯,等. 室内植物的固碳放氧研究[C]// 2007 年中国园艺学会观赏园艺专业委员会年会论文集, 2007.
- [15] 金华,玉米提·哈力克,阿丽亚·拜都热拉,等. 阿克苏 8 种常见树种叶片水分利用效率特征[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(2): 44-50.
- [16] 王根绪,程国栋,徐中民. 中国西北干旱区水资源利用及其生态环境问题[J]. 自然资源学报, 1999, 14(2): 109-116.
- [17] 曹生奎,冯一起,司建华,等. 植物叶片水分利用效率研究综述[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3882-3892.
- [18] 杨新兵. 华北土石山区典型人工林优势树种及群落耗水规律研究[D]. 北京:北京林业大学, 2007.
- [19] 韩焕金. 哈尔滨市主要植物生理生态功能研究[J]. 江苏林业科技, 2005, 32(4): 5-10.
- [20] 李海梅,何兴元,宋力. 3 种灌木树种光合特性及影响因子研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 605-608.
- [21] 林欣,林晨菲,刘素青,等. 18 种常见灌木绿化树种光合特性及固碳释氧能力分析[J]. 热带农业科学, 2014, 34(12): 30-34.
- [22] 陆贵巧,尹兆芳,谷建才,等. 大连市主要行道绿化树种固碳释氧功能研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(6): 49-51.
- [23] 张艳丽,费世民,李智勇,等. 成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3878-3887.
- [24] 郭杨,卓丽环. 哈尔滨居住区常用的 12 种园林植物固碳释氧能力研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(17): 5533-5536.