

# 空气控根栽培对金桂生长及其生理生化指标的影响

李霞<sup>1</sup>,凌霄<sup>2</sup>,王良桂<sup>3\*</sup>

(1. 江苏农牧科技职业学院园林园艺学院,江苏 泰州 225300; 2. 无锡市城市管理局,江苏 无锡 214000;  
3. 南京林业大学风景园林学院,江苏 南京 210037)

**摘要:**研究空气控根栽培对金桂生长及相关生理指标的影响,为金桂的栽培生产提供借鉴。应用新型 K2 空气控根容器于 2020 年对 7 年生金桂嫁接苗进行栽培,测定金桂生长相关指标,包括光合参数,POD,SOD 活性,可溶性蛋白含量,可溶性糖,叶绿素含量。结果表明:在金桂的年生长周期内,控根组与对照组苗高之间、冠幅之间,差异不显著,而控根组根系指标得到了显著提高;控根栽培苗的光合速率、蒸腾速率、气孔导度均高于地栽苗(CK),且分别增长了 11.96%,9.57%,8.93%,9.84%。控根栽培苗的叶片 POD 活性、SOD 活性、可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素含量比 CK 增长了 39.23%,27.27%,18.00%,6.95%,27.46%。相关性分析发现,根长、根系体积、根系表面积与叶片的可溶性糖、可溶性蛋白、总叶绿素含量、光合速率极显著相关( $P<0.01$ )。空气控根容器能显著提高金桂的光合性能及生理活性,增加光合同化产物的积累,提高苗木质量。

**关键词:**空气控根;金桂;生理指标;POD;SOD;光合速率

中图分类号:Q945.1;Q946;S685.13

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2021.03.004

## Effects of root confinement cultivation on growth and physiological indexes of *Osmanthus fragrans*

Li Xia<sup>1</sup>, Ling Xiao<sup>2</sup>, Wang Liangui<sup>3\*</sup>

(1. Landscape and Horticulture College, Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China;  
2. Wuxi City Administration Bureau, Wuxi 214000, China; 3. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** To study the effects of root confinement cultivation on the growth and related physiological indexes of *Osmanthus fragrans*, and provide a reference for the cultivation, the 7-year-old grafted seedlings were cultivated in a new K2 root confinement container in 2020. Several months later, the growth related indexes were determined, including photosynthetic parameters, POD and SOD activities, soluble protein content, soluble sugar and chlorophyll content. The results showed that, in the annual growth cycle, the photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance of the seedlings by root confinement cultivation were higher than those of the seedlings (CK) by common cultivation, increased by 11.96%, 9.57%, 8.93% and 9.84% respectively. Compared with CK, POD activity, SOD activity, soluble protein, soluble sugar and chlorophyll content in leaves of root confinement seedlings increased by 39.23%, 27.27%, 18.00%, 6.95% and 27.46%. Correlation analysis showed that root length, root volume and root surface area were extremely significantly correlated with soluble sugar, soluble protein, total chlorophyll content and photosynthetic rate ( $P<0.01$ ). We concluded that root confinement cultivation could significantly improve the photosynthetic performance and other physiological activity, increase the accumulation of photosynthate, and improve the quality of seedlings.

**Key words:** Root confinement cultivation; *Osmanthus fragrans* Var. *thunbergii*; Physiological index; POD; SOD; Photosynthetic rate

收稿日期:2021-03-05;修回日期:2021-04-08

基金项目:国家自然科学基金面上项目“OflHLH82 转录因子调控桂花花香核心挥发物芳樟醇合成的机制研究”(32071828)

作者简介:李霞(1983-),女,江苏泰州人,讲师,硕士。主要从事园林植物与观赏园艺研究工作。E-mail:153074983@qq.com。

\* 通信作者:王良桂(1962-),男,安徽寿县人,教授,博士。从事植物栽培应用、园林工程管理工作。

为加快我国园林绿化向高速度高品质方向发展,木本苗木传统育苗方式向容器育苗方向转变已势在必行<sup>[1]</sup>。普通容器育苗易产生根系畸形,从而影响植物后期的生长成活。控根容器苗根系成团迅速,生根量大,且移栽易成活,市场欢迎度较高。目前控根容器已在桃<sup>[2]</sup>、葡萄<sup>[3]</sup>、无花果<sup>[4]</sup>、苹果<sup>[5]</sup>、蓝莓<sup>[6]</sup>、樱桃<sup>[7]</sup>等果树栽培上有所应用。控根栽培能影响果树光合产物分配,调节营养生长与生殖生长的关系,并能提高果树对肥料和水分利用效率,进而提高果实的产量和品质。控根容器的种类较多,空气控根栽培则主要利用空气修根原理,促发植株侧根、须根的生长,提高植株对水分和养分的吸收能力,从而提高苗木成活率。宋其岩等研究发现空气控根能提高杨梅的光合效能及叶绿素、可溶性糖和淀粉的含量<sup>[8]</sup>。苏晶分析了火箭盆对牡丹苗木生长发育和生理指标的影响,发现火箭盆培育的牡丹苗侧根数显著增加,根、叶中可溶性糖和蛋白含量相对较高<sup>[9]</sup>。曲良谱以枫杨为研究对象,得出空气控根能提高枫杨的苗木质量及根系活力<sup>[10]</sup>。

金桂(*Osmanthus fragrans* var. *thunbergii*)是园林绿化常用的优良灌木,树形优美,四季常青,也是著名的花香植物。前人对金桂的研究主要集中在光合、花香、精油含量等方面,对金桂的控根栽培研究较少,仅研究了空气控根对金桂根系构型的变化<sup>[11]</sup>,但未对其他相关生理指标进行研究。金桂属于直根系观赏树木,移栽成活率较差,本研究以金桂为试验材料,探讨在空气控根栽培模式下金桂的形态及生理指标,旨在为今后的金桂空气控根栽培提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

于 2019—2020 年在江苏农牧科技职业学院园林园艺学院基地内,以 7 年生金桂嫁接苗为试验材料,采用新型 K2 空气控根容器进行栽培试验。试验容器壁上有波纹,凹凸相间,在凸起点的外侧顶端留有小孔,容器高 60 cm,直径为 21 cm。对照为不控根栽培,在地上挖深 1 m、宽 2 m、长 2 m 的槽,内填基质。控根处理和对照选取生长势均匀一致的金桂各 20 株,采用相同基质,容积配比为田园土 50%、肥料 36%、珍珠岩 14%,并采用相同的养护管理措施。

### 1.2 测定方法

1.2.1 形态指标的测定 2020 年 11 月使用钢卷尺与测高仪测定控根组与对照组金桂苗木的冠幅与高度。同时结合土钻法(使用内径 6 cm 的土钻,钻取土芯样品,编号放入塑料袋中,40 目晒网流水冲洗,收集根样)对根系进行采样。用 Epson 数字化扫描仪(Expression 10000XL 1.0)扫描后,用 Win RHIZO(Pro 2004b)根系图像分析系统软件对根系扫描并定量分析相关指标。

1.2.2 生理生化指标的测定 用 Li-6400 便携式光合作用测定仪(美国 Li-COR 公司)于金桂生长季节 5、7、9、11 月每月中下旬选晴天 10:00—11:00 进行测定。分别从控根组与对照组正南、正东偏北 30°、正西偏北 30°共 3 个方向选取树冠中上部第 3—7 片成熟叶进行测定,每方位选取 3 片叶测定,每片叶重复测定 3 次,每片叶观测延续时间 1 min。测定净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $Tr$ )、气孔导度( $Cond$ )和水分利用效率( $WUE$ )。用愈创木酚法测定 POD 活性,氮蓝四唑(NBT)法测定 SOD 活性,用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量,蒽酮法测定可溶性糖,丙酮法测定叶绿素含量<sup>[12]</sup>。

### 1.3 数据分析

数据采用 Excel 2010 和 SPSS 23 图形处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 形态指标

由表 1 可知,在生长形态方面,控根组和对照组在 11 月测得苗高分别为 140.34、148.58 cm,冠幅分别为 135.62、140.76 cm,控根组和对照组差异不显著。在根系生长方面,控根组的金桂根长为 2 879.740 cm,比对照组增加了 21.37%;控根组根系体积和根系表面积分别比对照组增加了 34.05%、55.29%,且达到极显著水平( $P < 0.01$ )。主要是控根容器通过空气修根,促进了根系的侧根生长,根系成团快速,根系体积和表面积也相应增加。

### 2.2 生理生化指标

2.2.1 光合速率 光合速率是描述光合作用强弱的重要指标,植物的光合作用决定了植物年碳平衡以及碳代谢和物质生产之间的关系<sup>[13]</sup>。由图 1 可知在整个测定期,控根组与对照组光合速率呈单峰曲线分布,7 月值最大,11 月最小。控根栽培的金桂叶片光合速率 5—7 月的上升幅度大于对照组,7—9 月的下

降幅度趋于一致。7月与11月光合速率控根组比对照组高14.17%,17.31%。在金桂生长初期新叶片的光合能力较弱,呼吸作用较强。随着叶片的生长,光合能力逐渐增强,7月达到最高峰。9月以后,金桂受

到的光合辐射和气温降低,叶片同化CO<sub>2</sub>的能力也随之下降,控根组和对照组趋势一致,且在11月净光合速率降低至最小值。

表1 空气控根容器对金桂容器苗形态指标的影响

生长指标	苗高/cm	冠幅/cm	根长/cm	根系体积/cm <sup>3</sup>	根表面积/cm <sup>2</sup>
控根组	140.34 aA	135.62 aA	2 879.740 aA	4.373 aA	337.707 aA
对照组	148.58 aA	140.76 aA	2 372.947 bB	3.260 bB	217.383 bB

注:表中不同大、小写字母分别代表0.01,0.05水平差异显著。

2.2.2 蒸腾速率 由图2可知,控根组与对照组叶片的蒸腾速率均成单峰曲线分布,峰值出现在7月。5,7,11月蒸腾速率控根组高于对照组30.60%,8.66%,10.14%。7月光照强度最大,温度较高,蒸腾速率表现强烈。随着气温的逐渐降低及光照强度的减弱,叶片蒸腾速率也随之降低,11月降低到最低值。

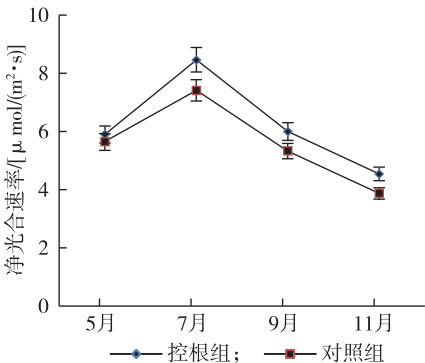


图1 光合速率随时间变化

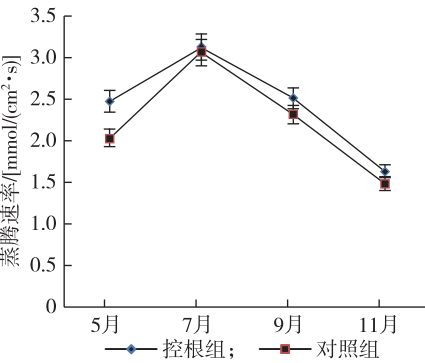


图2 蒸腾速率随时间变化

2.2.3 气孔导度 气孔导度表示气孔的开张程度,是反映植株对CO<sub>2</sub>的吸收利用程度。由图3可知,控根组和对照组叶片气孔导度在7月值最大,因7月光照辐射较强,温度高,故光能利用效率也较高,

是金桂的旺盛生长期。9月以后随着温度的降低,气孔开始逐渐缩小以防止细胞失水。11月,温度偏低,气孔导度降到最低值,金桂停止生长。

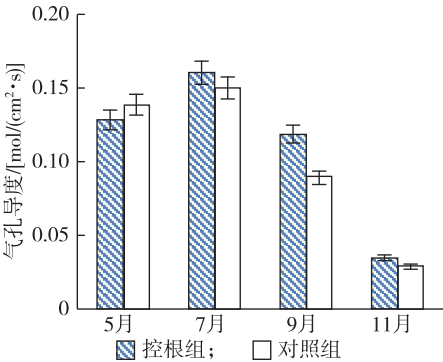


图3 气孔导度随时间变化

2.2.4 水分利用率 水分利用效率是植株水分吸收利用过程效率的指标,是光合作用与蒸腾速率之比。由图4可知,控根栽培金桂水分利用率5—11月呈先上升后下降又上升的过程。11月是水分利用率最高的月,为2.79 μmol/mmol。对照组金桂水分利用率5—9月持续下降,9—11月提升较快;5月的水分利用率最高,为2.77 μmol/mmol,5月和11月金桂的净光合速率较高,而气温和蒸腾速率低,故水分利用效率偏高。

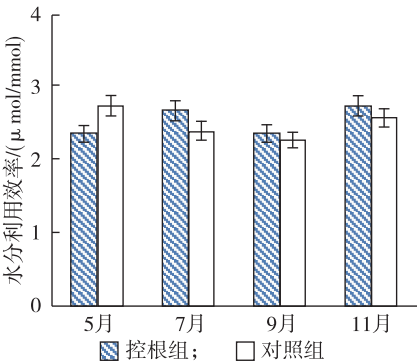


图4 水分利用率随时间变化

2.2.5 过氧化物酶(POD)活性变化 过氧化物酶普遍存在植物的各个组织器官中,是植物衰老到一定阶段的产物<sup>[3]</sup>,是植物衰老的指标<sup>[4]</sup>。控根组与对照组金桂的叶片 POD 活性的变化如图 5。从图 5 可知在整个测定期控根组与对照组 POD 活性变化,都呈单峰曲线分布。最大值都出现在生长旺盛的 7 月,而生长初期(5 月)和末期(9,11 月) POD 活性比较低。在 5,7,9,11 月,控根组的 POD 活性高于对照组分别达到 37.44%,47.45%,25.73%,42.41%。

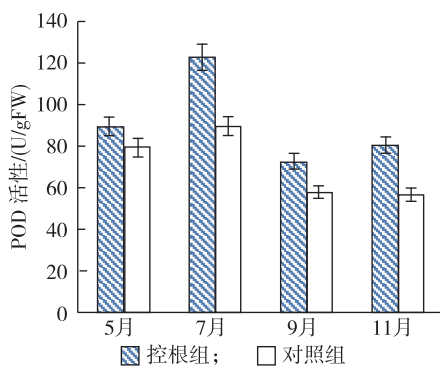


图 5 POD 活性随时间变化

2.2.6 超氧化物歧化酶(SOD)活性变化 SOD 是氧自由基代谢的重要酶类,其活性大小可以反映细胞对逆境的适应能力。由图 6 可知在整个测定期,控根与对照组在整个生长期, SOD 活性波动性变化趋势相同,都呈单峰曲线分布。最大值都出现在生长旺盛的 7 月,而生长初期(5 月)和末期(9,11 月) SOD 活性比较低。在 7,9,11 月,控根组的 SOD 活性高于对照组分别达到 26.58%,66.67%,24.24%。

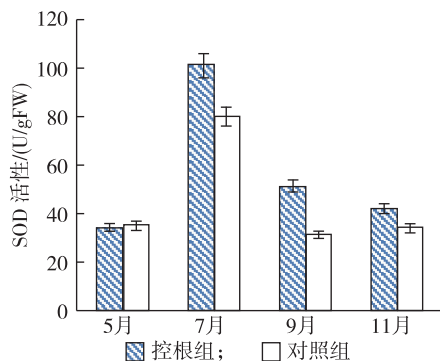


图 6 SOD 活性随时间变化

2.2.7 可溶性蛋白变化 从图 7 可知,试验组与对照组可溶性蛋白含量的季节变化具有大致相同的趋势,都为单峰曲线,最大值都出现在 9 月。在 7,9,11 月,控

根组的可溶性蛋白含量分别高于对照组 6.33%,18.13%,44.83%。在 7,9 月控根组可溶性蛋白含量比前次分别增加 52.85%,77.54%,对照组比前次分别增加 38.05%,59.81%,控根组可溶性蛋白上升速度远大于对照组。而 11 月控根组蛋白质含量较 9 月降低 21.74%,而对照组降低 36.17%,下降幅度小于对照组。

2.2.8 可溶性糖含量变化 由图 8 可知,控根组与对照组可溶性糖含量的季节变化都为单峰曲线,最大值都出现在 9 月。在 7,9,11 月,控根组的可溶性糖含量高于对照组 3.04%,8.06%,13.16%。在 7,9 月控根组可溶性糖含量比前次分别增加 91.72%,51.00%,对照组比前次分别增加 82.02%,43.97%。11 月控根组可溶性糖含量较 9 月减低 14.17%,而对照组降低 18.03%。试验组可溶性糖含量在 7,9 月增幅高于对照,在 11 月下降幅度小于对照组。

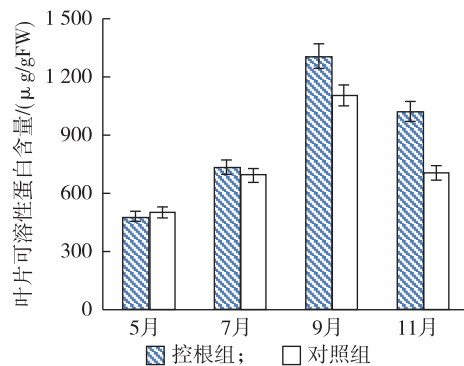


图 7 可溶性蛋白含量随时间变化

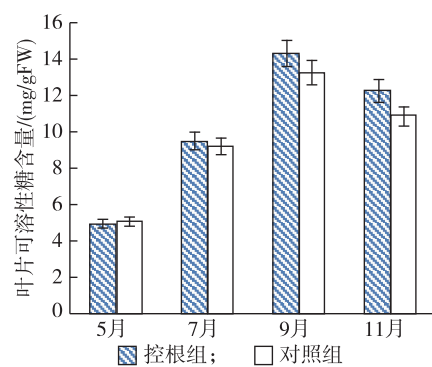


图 8 可溶性糖含量随时间变化

2.2.9 叶绿素含量 叶绿素是植物光合作用的主要色素,是参与光合作用中光能吸收、传递和转化的重要色素<sup>[8]</sup>,叶绿素含量的变化,可反映植物叶片光合作用的强弱,为苗木质量评价生理指标之一。由图 9 可知:控根组与对照组叶绿素含量的季节变化都呈单峰曲线,最大值在 9 月。在 5,7,9,11 月,控根组的叶绿素含量分别高于对照组 31.27%,



30.92%、29.29%、18.66%。在 7、9 月控根组叶绿素含量分别增加为 14.65%、2.34%，对照组分别为 14.96%、3.66%。

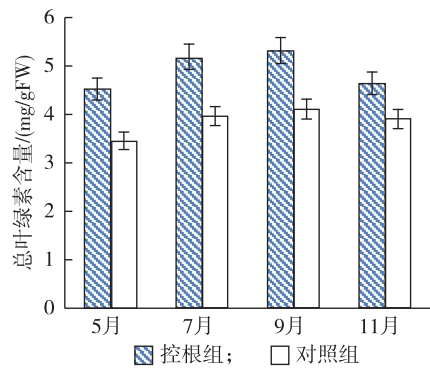


图 9 叶绿素含量随时间变化

2.3 指标相关性分析

对根系形态指标、光合特性指标等生理指标进行相关性分析,结果表明:金桂叶片的可溶性糖与可溶性蛋白极显著正相关( $P<0.01$ );总叶绿素含量与可溶性糖、可溶性蛋白呈显著正相关( $P<0.05$ );根体积、根长、根表面积与可溶性糖、可溶性蛋白、总叶绿素含量呈极显著正相关( $P<0.01$ );净光合速率与可溶性糖、根体积、根长、根表面积呈极显著正相关( $P<0.01$ );蒸腾速率与净光合速率呈极显著正相关( $P<0.01$ );水分利用率与可溶性糖、可溶性蛋白根长、根表面积、蒸腾速率呈极显著负相关( $P<0.01$ )。

表 2 指标间相关性分析

指标	SS	SP	TC	RV	RL	RS	Pn	Tr	WUE
SS	1	0.942**	0.381*	0.910**	0.911**	0.890**	0.860**	0.241	-0.566**
SP		1	0.394*	0.835**	0.899**	0.876**	0.186	0.204	-0.616**
TC			1	0.453**	0.442**	0.525**	0.455	-0.260	-0.141
RV				1	0.858**	0.863**	0.577**	0.115	-0.423*
RL					1	0.964**	0.678**	-0.004	-0.438**
RS						1	0.754**	-0.013	-0.430**
Pn							1	0.749**	-0.115
Tr								1	-0.459**
WUE									1CD

注:SS 为可溶性糖,SP 为可溶性蛋白,TC 为总叶绿素,RV 为根体积,RL 为根长,RS 为根表面积,Pn 为净光合速率,Tr 为蒸腾速率,WUE 为水分利用率;\* 为显著相关( $P<0.05$ ),\*\* 为极显著相关( $P<0.01$ )。

3 讨论与结论

控根栽培通过对根系限制生长来调节植株的生长发育,从而达到优质高产高效的栽培目的<sup>[14]</sup>。贺位忠等研究发现控根容器培育的舟山新木姜子和红楠根系长度增长更快、生长更长,根系体积和表面积显著提高<sup>[15]</sup>。王旭艳等研究也表明 K2 容器能增加根长、表面积、根系体积等<sup>[16]</sup>。本试验研究表明,空气控根容器能显著促进金桂侧根及须根的生长,从而提高根系对水分、养分的吸收效率,为金桂的移栽种植奠定基础。

控根能引起植物生理变化,植物光合与蒸腾作用、营养物质吸收、干物质累积及分配等都受到根域控制的影响。控根容器培育的金桂表现出较高的光合效能,这可能是控根育苗苗木质量提高的原因之一。可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素含量是评

定容器苗质量诸因素中的关键指标<sup>[11]</sup>,本研究表明控根容器培育金桂可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素含量高于对照,原因可能是控根容器较强的透气性促进了大量新根的萌发,根系吸收水肥能力的增强,提高地上部光合产物的合成量,进而增加叶片糖分、蛋白和叶绿素含量的积累,故苗木品质也优于地栽苗。这与控根容器影响杨梅<sup>[8]</sup>、牡丹<sup>[9]</sup>、枫杨<sup>[10]</sup>和苦楝<sup>[17]</sup>各项生理指标的研究结果基本一致。叶片的衰老是影响金桂生长和苗木品质的关键,本研究表明,控根处理的金桂叶片 SOD,POD 活性高于对照,这和张永清等<sup>[18]</sup>对高粱的研究结果不一致,可能是因为金桂根系吸收矿质离子与水分能力有所提高,引起地上部分生理活性提高,延缓了金桂叶片的衰老。

对根系形态指标、光合特性指标等生理指标进行相关性分析,结果表明:净光合速率与可溶性糖、

根体积、根长、根表面积呈极显著正相关。根体积、根长、根表面积与可溶性糖、可溶性蛋白、总叶绿素含量呈极显著正相关。说明金桂的净光合速率越高,金桂的根体积、根长、根表面积也较高,金桂的可溶性糖、可溶性蛋白、总叶绿素也相对较高。故若要提高金桂的苗木质量,应该提高金桂叶片光合性能,并寻求最佳的光合效率管理模式。

尽管已经开展了空气控根对桂花影响的一些研究,但仍存在不少问题,例如,控根限制到什么程度对桂花生长最合适,水和养分等对控根栽培桂花生长机制的影响,都需要进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 徐少锋,赵 欣.我国绿化观赏苗木容器化的发展与应用的思考[J].农业科技与信息:现代园林,2015(3): 181-184.
  - [2] 李 勇,方伟超,朱更瑞,等.双容器与控根器限根对桃树生长发育的影响[J].果树学报,2014,31(2):213-220.
  - [3] 王振平,王世平,单守明,等.限根栽培对宁夏赤霞珠葡萄生长发育和果实品质的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2010(1): 11-14.
  - [4] 杰恩斯·库尔曼拜,阿不都沙拉木,克热木·伊力.根限制栽培对无花果生长发育的影响[J].新疆农业大学学报,2003,26(3):64-66.
  - [5] 马慧丽,吕德国,秦嗣军,等.寒富苹果不同限根栽培植株的光合特性比较[J].沈阳农业大学学报,2007,38(6): 792- 795.
  - [6] 张晓玉,李树海,胡忠惠,等.不同限根方式对蓝莓生长及果实品质的影响[J].北方园艺,2019(20):56-60.
  - [7] 孙军利,赵宝龙,郁松林.限根栽培对设施大樱桃幼树控冠效果的研究[J].河南农业科学,2012,41(7):124-127.
  - [8] 宋其岩,杜国坚,陈友吾,等.杨梅控根容器苗的光合及生理特性研究[J].浙江林业科技,2010,30(1):32-35.
  - [9] 苏 晶,徐迎春,潘易萍,等.应用控根容器火箭盆培育牡丹嫁接苗的研究[J].江苏农业科学,2007(2):108-111.
  - [10] 曲良谱,周 霞,李 霞,等.枫杨容器苗控根技术研究[J].江苏农业科学,2013,41(6):145-147.
  - [11] 李 霞,吴 红,王良桂.桂花根系在控根栽培下的动态生长及垂直分布[J].林业科技开发,2013,27(6):59-61.
  - [12] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
  - [13] 范 晶.东北东部主要成林树种光合生理生态研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2002.
  - [14] 杨洪强,李林光,接玉玲.园艺植物的根系限制及其应用[J].园艺学报,2001,28(增刊):705-710.
  - [15] 贺位忠,李婷婷,陈 斌,等.控根容器对苗木根系构型和造林成活率的影响[J].林业科技开发,2015,29(2):56-59.
  - [16] 王旭艳,林夏珍.不同控根容器在浙江楠容器育苗中的效果[J].林业科技开发,2013,27(3):103-106.
  - [17] 曲良谱,喻方圆.苦楝容器育苗技术[J].林业科技开发,2008,22(6):103-106.
  - [18] 张永清,苗果园.根土空间对高粱根系生理特性及产量的影响[J].应用生态学报,2006,17(4):635-639.
- 
- (上接第 12 页)
- [4] 孙智辉,刘志超,雷延鹏,等.延安北部丘陵沟壑区植被指数变化及其与气候的关系[J].生态学报,2010,30(2):533-540.
  - [5] 张鹏骞,胡理乐,白加德.京津冀地区近 20 年 NDVI 时空变化特征[J].生态环境学报,2021,30(1):29-36.
  - [6] 何冬梅,江 浩,祝亚云.盐城滨海湿地植被恢复原则与技术概述[J].江苏林业科技,2021,48(1):53-57.
  - [7] 李 珍,王小平,陈育青,等.福建省龙文区药用植物资源调查研究[J].中国野生植物资源,2020,39(12):80-84.
  - [8] 李继红,焦裕欣.东北地区归一化植被指数与环境因子间的尺度依存关系[J].东北林业大学学报,2021,49(2):70-77.
  - [9] 杨运航,文广超,谢洪波,等.柴达木盆地典型地貌单元归一化植被指数变化特征[J].水土保持通报,2020,40(4):133-139.
  - [10] 沈一慧.基于可持续发展的湿地旅游研究——以“龙文区北部生态园区·湿地公园概念规划设计”为例[J].福建建筑,2017(6):57-61.
  - [11] 姜启功,姜 雷,封 磊.连云港南云台林场森林可持续经营技术探讨[J].江苏林业科技,2020,47(6):50-56.
  - [12] 蔡勇志,郭颖峰.漳州市龙文区打造对台服务业合作示范区的战略思考[J].台湾农业探索,2017(3):30-34.