

# 植物生长调节剂对榆叶梅生长及叶绿素荧光参数的调控效应

魏亚娟<sup>1</sup>, 刘宗奇<sup>2</sup>, 汪季<sup>1</sup>, 党晓宏<sup>1</sup>, 石涛<sup>1</sup>, 张佳鹏<sup>1</sup>, 焦宏远<sup>1</sup>

(1 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2 内蒙古自治区林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

**[摘要]** 【目的】筛选对榆叶梅(*Prunus triloba*)幼苗生长发育起促进作用的植物生长调节剂种类及质量浓度, 为榆叶梅的壮苗提供依据。【方法】以1年生榆叶梅幼苗为试验材料, 采用盆栽试验, 蘸根施用多效唑(PP<sub>333</sub>)、生根粉(GGR<sub>6</sub>) 2种药剂, 质量浓度均设50, 100, 150, 200 mg/L 4个梯度, 分别记为P50、P100、P150、P200和G50、G100、G150、G200处理, 以清水处理为对照(CK), 测定不同处理榆叶梅生长指标(株高、冠幅、基径)和生理生化指标(叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)、叶绿素总含量(Chl(a+b))、电子传递效率(ETR)、实际光化学量子效率( $\Phi$ PS II)、光化学猝灭(qP)、非光化学猝灭(qN)、最大光化学效率( $F_v/F_m$ )), 研究2种药剂对盆栽榆叶梅生长发育的影响, 对所测的指标进行相关性分析, 并利用隶属函数对不同处理榆叶梅测定指标进行综合评价。【结果】PP<sub>333</sub>抑制了榆叶梅幼苗株高的生长, 当其质量浓度为150 mg/L时, 对榆叶梅幼苗株高的抑制程度最大; GGR<sub>6</sub>促进了榆叶梅幼苗株高的生长, 当其质量浓度为100 mg/L时, 对榆叶梅幼苗株高的促进程度较大。PP<sub>333</sub>和GGR<sub>6</sub>均能明显促进榆叶梅幼苗基径增粗及冠幅的增加。随着PP<sub>333</sub>和GGR<sub>6</sub>质量浓度的增加, 榆叶梅幼苗的叶绿素含量及叶绿素荧光参数ETR、 $\Phi$ PS II、qP、 $F_v/F_m$ 均呈现先增大后减小的趋势, 且PP<sub>333</sub>和GGR<sub>6</sub>质量浓度分别为150和100 mg/L时达到峰值, 均与对照(CK)有显著差异( $P < 0.05$ ); qN呈现先减小后增大的趋势。相关分析表明, Chl a、Chl b、Chl(a+b)与叶绿素荧光参数ETR、 $\Phi$ PS II、qP、 $F_v/F_m$ 呈现极显著正相关关系( $P < 0.01$ ), 与qN呈现极显著负相关关系( $P < 0.01$ )。各处理隶属函数平均值大小顺序为G100 > P150 > P200 > P100 > G50 > G200 > G150 > P50 > CK。【结论】榆叶梅最佳促进剂为GGR<sub>6</sub>, 且当其质量浓度为100 mg/L时, 对榆叶梅幼苗生长发育的综合促进作用最佳。

**[关键词]** 榆叶梅; 植物生长调节剂; 叶绿素含量; 叶绿素荧光参数

**[中图分类号]** Q949.751.8; S482.8 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2019)03-0094-09

## Effects of plant growth regulators on growth and chlorophyll fluorescence parameters of *Prunus triloba*

WEI Yajuan<sup>1</sup>, LIU Zongqi<sup>2</sup>, WANG Ji<sup>1</sup>, DANG Xiaohong<sup>1</sup>, SHI Tao<sup>1</sup>,  
ZHANG Jiapeng<sup>1</sup>, JIAO Hongyuan<sup>1</sup>

(1 Institute of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;  
2 Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study selected the plant growth regulators and their concentrations for promoting the growth of *Prunus triloba* seedlings to provide theoretical basis for breeding strong seedlings. 【Method】 The annual seedlings of *Prunus trilobata* were selected for pot experiments. The roots were treated with paclobutrazol (PP<sub>333</sub>) and rooting powder (GGR<sub>6</sub>). The mass concentrations were 50, 100, 150,

【收稿日期】 2017-11-28

【基金项目】 国家林业局“948”项目“人工调控荒漠灌丛生态空间构型技术引进”(2015-4-22)

【作者简介】 魏亚娟(1994—), 女, 内蒙古赤峰人, 在读硕士, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: 2404336139@qq.com

【通信作者】 汪季(1957—), 男, 山东济南人, 教授, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: wangji1957@163.com

and 200 mg/L, and the treatments were recorded as P50, P100, P150, P200, G50, G100, G150, and G200 as well as water as control (CK). The growth indexes (plant height, crown width, and base diameter) and physiological and biochemical indicators (chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), total chlorophyll (Chl(a + b)), electron transport rate ( $ETR$ ), actual photochemical efficiency ( $\Phi PS II$ ), photochemical quenching ( $qP$ ), non-photochemical quenching ( $qN$ ), and maximum photochemical efficiency ( $Fv/Fm$ )) were measured. The effects of the two growth regulators were studied on the growth and development of *Prunus triloba*. The correlation analysis was used to perform measured indicators and the membership function was used to carry out comprehensive evaluation to indicators of different treatments. **【Result】** The application of 150 mg/L PP<sub>333</sub> was the most effective treatment on inhibiting the plant height growth of *Prunus triloba* seedlings. GGR<sub>6</sub> treatment promoted height growth of *Prunus triloba* seedlings with the best concentration of 100 mg/L. PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> significantly promoted the growth of base diameter. With the increase of PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> concentrations, the chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters including  $ETR$ ,  $\Phi PS II$ ,  $qP$ , and  $Fv/Fm$  increased first and then decreased. The peak values were obtained when the concentrations of PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> were 150 and 100 mg/L, all had significant difference from the control (CK) ( $P < 0.05$ ). The  $qN$  showed a trend of decreasing first and increasing afterwards. The correlation analysis showed that Chl a, Chl b and Chl(a + b) were significantly positively correlated with chlorophyll fluorescence parameters  $ETR$ ,  $\Phi PS II$ ,  $qP$ , and  $Fv/Fm$  ( $P < 0.01$ ), and significantly negatively correlated with  $qN$  ( $P < 0.01$ ). The order of the averaged values of membership functions was G100 > P150 > P200 > P100 > G50 > G200 > G150 > P50 > CK. **【Conclusion】** The best accelerating agent for *Prunus triloba* was GGR<sub>6</sub> and the best effect was obtained at the concentration of 100 mg/L.

**Key words:** *Prunus triloba*; plant growth regulators; chlorophyll content; chlorophyll fluorescence parameters

榆叶梅 (*Prunus triloba*) 为蔷薇科桃属落叶灌木或小乔木, 又名小桃红, 其具有喜光、耐寒、耐旱、不耐涝的特性, 且具有较强的抗盐碱能力, 是我国北方地区园林、庭院中常见的一种观花树种<sup>[1]</sup>。虽然榆叶梅对土壤条件要求不严, 在半干旱气候区也能正常生长, 但是为了使其更快地发挥其生态效益, 仍需对榆叶梅进行适当地人为干预, 以提高榆叶梅的生存能力, 达到壮苗的效果。

植物壮苗有许多方法, 其中运用植物生长调节剂的方法有价格低廉、简便快捷和见效快等优点。植物生长调节剂按照作用方式可分为 3 类: 促进剂、抑制剂和延缓剂。多效唑 (PP<sub>333</sub>)、生根粉 (GGR<sub>6</sub>) 分别为植物生长延缓剂和促进剂。PP<sub>333</sub> 通过抑制植物体内赤霉素的合成, 从而降低赤霉素含量, 使植株生长缓慢; 降低植物耗水量, 增加植物叶片叶绿素含量, 增强植物的光合作用、提高光合速率进而改善作物品质, 有利于增强植物的壮苗效果。而 GGR<sub>6</sub> 则通过调节植物体内内源激素含量和酶活性, 促进细胞分裂和生长, 从而促进植物生长发育和根的分蘖, 增强植物抗逆能力<sup>[2-3]</sup>。目前, 对 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 在农业、林业和园林方面的应用已有报道, 认为

PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 能够提高植物成活率<sup>[4]</sup>, 促进植物地径、生物量的增加<sup>[5]</sup>, 提高植物叶片的可溶性糖和可溶性蛋白质含量<sup>[6]</sup>。

近年来, 叶绿素荧光技术已成为人们研究植物光合作用最有力的手段之一。叶绿素荧光技术利用体内叶绿素作为天然探针, 可以更直接地反映植物在不同环境条件下的生理状况<sup>[7]</sup>。叶绿素荧光与光合作用效率密切相关, 任何环境因素对光合作用的影响都可以通过叶绿素荧光反映出来<sup>[8]</sup>。目前, 国内外研究焦点主要集中在利用叶绿素荧光鉴定植物对逆境胁迫的响应, 包括温度胁迫<sup>[9]</sup>、干旱胁迫<sup>[10]</sup>和光胁迫<sup>[11]</sup>等方面。然而, 将 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液与植物叶绿素荧光结合, 研究其对盆栽榆叶梅的壮苗效果却鲜有报道。

基于此, 本研究以 1 年生榆叶梅幼苗为试验材料, 对榆叶梅进行不同质量浓度 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液蘸根处理, 测定其生长指标和生理生化指标, 分析榆叶梅对 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液的响应趋势, 从而筛选出最适宜榆叶梅生长发育的植物生长调节剂及其质量浓度, 以期对榆叶梅幼苗壮苗抗旱技术提供理论支持和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

研究区位于内蒙古鄂尔多斯市乌审旗的国营林场,该区域属于温带极端大陆性季风气候,日照充足,气温年差较大,年均最高气温 15.6 °C,年均最低气温 -9.9 °C。蒸发强烈且降雨稀少,年均降雨量仅有 315.5 mm,而且多集中于 7~9 月份。土壤主要为风沙土,植被以沙生植被为主,主要包括柠条 (*Caragana korshinskii*)、油蒿 (*Artemisia ordosica*)、沙地柏 (*Sabina vulgaris* Ant.)、中间锦鸡儿 (*Caragana intermedia*) 等<sup>[12]</sup>。

### 1.2 试验材料

为保证试验条件的一致性,试验所用土壤为采自毛乌素沙地的风沙土。1年生榆叶梅幼苗购于当地林场,GGR<sub>6</sub>由北京艾比蒂生物科技有限公司提供,PP<sub>333</sub>由四川国光农化股份有限公司提供。

### 1.3 试验设计

采用单因素多水平试验设计,设 2 种植物生长调节剂蘸根处理,分别为 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液,以清水为对照(CK)。PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液设 50, 100, 150, 和 200 mg/L 4 个质量浓度梯度,分别编号为 P50、P100、P150、P200 和 G50、G100、G150、G200。每处理 9 盆,共计 81 盆。用不同溶液对榆叶梅幼苗进行蘸根处理 2 h,于 2016 年 4 月底将榆叶梅移栽于上底直径 24 cm、下底直径 16 cm、高 26 cm 的花盆内,盆内装有风沙土,按照当地近 30 年 4—9 月平均降水量补充水分(约为 531 mL),每 7 d 补充 1 次。

### 1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长指标 栽种后于 2016 年 8 月上中旬测定如下生长指标。每处理测定 3 株,取均值。

(1)株高。用直尺测量从基径到植株最高点的直线距离,即为株高,精确到 0.01 cm。

(2)株高增长量。植株最终株高测定值与初始株高测定值之差,即为株高增长量,精确到 0.01 cm。

(3)基径。用游标卡尺测量距地面根茎处的植株直径,即为基径,精确到 0.01 mm。

(4)冠幅。用卷尺测量植株东西方向长度与南北方向的宽度,精确到 0.1 cm。

1.4.2 叶绿素含量 采用体积分数 80%丙酮浸提法<sup>[13]</sup>提取榆叶梅叶片的叶绿素,利用紫外分光光度计测定叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)及叶绿

素总含量(Chl(a+b))。

1.4.3 叶绿素荧光参数 在晴天无风的上午 08:00—11:00,每处理选择 6 株(共 54 株)长势均一的幼苗,选取幼苗株高 2/3 处的成熟叶片。测定前,先将叶片充分暗适应 20 min。然后采用 PMA2500 叶绿素荧光仪(由德国 WALZ 公司生产)测定榆叶梅幼苗叶绿素荧光参数,包括电子传递效率(ETR)、实际光化学量子效率( $\Phi$ PS II)、光化学猝灭( $qP$ )、非光化学猝灭( $qN$ )和最大光化学效率( $F_v/F_m$ ),仪器自动保存数据。

### 1.5 数据处理

试验数据均为“平均值±标准差”的形式,运用 Excel 2007 进行统计分析,运用 SPSS 17.0 软件结合单因素分析法(one-way ANOVA)对不同数据组间的差异进行比较,并对数据进行相关性分析和隶属函数分析。隶属函数( $X(U)$ )计算公式如下:

若该指标与处理溶液质量浓度呈正相关,则  $X(U) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ;若该指标与处理溶液质量浓度呈负相关,则  $X(U) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。其中  $X$  为该指标的平均值, $X_{\max}$  和  $X_{\min}$  分别指测定值的最大值和最小值。

对 1 年生榆叶梅幼苗的生长指标(株高、基径、冠幅长度和宽度)与生理生化指标(Chl a、Chl b、Chl(a+b)、ETR、 $\Phi$ PS II、 $qP$ 、 $qN$ 、 $F_v/F_m$ ),用隶属函数法进行综合评价,以筛选有利于榆叶梅幼苗生长的调节剂及最适质量浓度。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物生长调节剂对榆叶梅生长指标的影响

植物幼苗外部形态特征在一定程度上能反映幼苗的生长状况,是判断幼苗质量及其生长情况最直观、简易的办法。从表 1 可以看出,不同 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液处理榆叶梅生长指标变化明显。PP<sub>333</sub> 抑制了榆叶梅幼苗株高的生长,而 GGR<sub>6</sub> 则促进了榆叶梅幼苗株高的生长,当 PP<sub>333</sub> 质量浓度为 150 mg/L 时,对榆叶梅幼苗株高的抑制程度最大,较 CK 降低 57.5%;GGR<sub>6</sub> 质量浓度为 100 mg/L 时,促进程度最大,株高较 CK 增高了 165.0% ( $P < 0.05$ )。PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 均能够明显促进榆叶梅幼苗基径增粗,且 P150、G100、G150、G200 处理效果与 CK 差异显著 ( $P < 0.05$ ),其中 P150、G100 处理对榆叶梅幼苗基径生长促进作用较为明显,分别较 CK 增长了 51.6% 和 65.3%;榆叶梅冠幅长度和宽度随 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度的升高,均呈现先增大

后减小的趋势,G100 处理与 CK 有显著性差异( $P < 0.05$ ),其中,P150、G100 处理榆叶梅幼苗冠幅长度、宽度均较大,分别较 CK 增加了 37.5%,91.7%

和 34.8%,75.7%。总体而言,GGR<sub>6</sub> 溶液对榆叶梅幼苗的促进作用较 PP<sub>333</sub> 明显。

表 1 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 不同处理对榆叶梅生长指标的影响

Table 1 Effects of different concentrations of PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> on *Prunus triloba* growth indexes

处理 Treatment	株高增长量/cm Plant growth rate	基径/mm Base diameter	冠幅 Crown width	
			长度/cm Length	宽度/cm Width
CK	6.67±2.08 bc	3.18±0.46 b	12.00±1.89 b	11.00±1.61 b
P50	5.33±0.58 c	3.27±0.11 ab	13.17±2.02 b	11.63±2.08 b
P100	3.17±0.42 ab	3.39±0.38 ab	14.67±1.15 b	12.83±2.25 b
P150	2.83±0.76 a	4.82±1.04 a	16.50±6.50 ab	14.83±5.48 ab
P200	3.33±0.51 c	3.43±0.88 ab	16.33±3.06 ab	13.67±3.21 ab
G50	9.67±0.58 b	3.54±0.88 ab	16.50±6.50 ab	13.33±2.08 ab
G100	17.67±3.06 a	4.94±0.79 a	23.00±4.36 a	19.33±2.08 a
G150	15.67±0.51 a	4.62±0.88 a	22.00±3.06 a	18.67±3.21 ab
G200	10.33±2.52 b	4.44±0.67 a	18.67±2.08 ab	14.53±5.48 ab

注:同列数据后标不同字母代表处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ). The same below.

## 2.2 不同植物生长调节剂对榆叶梅叶绿素含量的影响

表 2 显示,用 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 处理榆叶梅幼苗时,均能明显增加其叶绿素含量,但增幅不同。随 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度增大,榆叶梅叶片的 Chl a、Chl b、Chl(a+b)均呈现先增大后减小的趋势,且分

别在 P150 和 G100 处理下达到峰值。P150 和 G100 处理的 Chl a、Chl b、Chl(a+b)分别较 CK 增加了 37.7%,111.6%,58.9% 和 40.1%,35.5%,38.8%。PP<sub>333</sub> 处理 Chl b 的增幅较 GGR<sub>6</sub> 大,而 GGR<sub>6</sub> 处理 Chl a 的增幅较 PP<sub>333</sub> 大。

表 2 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 不同处理对榆叶梅叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of different concentrations of PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> on chlorophyll content of *Prunus triloba* mg/g

处理 Treatment	Chl a	Chl b	Chl(a+b)
CK	3.71±0.01 d	1.49±0.02 e	5.20±0.01 d
P50	4.43±0.18 c	1.86±0.10 abc	6.29±0.08 ab
P100	4.49±0.29 bc	2.18±0.12 ab	6.67±0.41 ab
P150	5.10±0.23 b	3.15±0.28 a	8.25±0.51 a
P200	4.55±0.21 bc	2.40±0.18 de	6.92±0.38 bc
G50	5.17±0.30 b	1.98±0.23 de	7.15±0.52 bc
G100	6.36±0.15 a	2.03±0.25 bcde	8.39±0.40 a
G150	5.19±0.30 b	2.02±0.26 bed	7.21±0.20 ab
G200	4.37±0.30 c	1.97±0.22 cde	6.34±0.52 c

## 2.3 不同植物生长调节剂对榆叶梅叶绿素荧光参数的影响

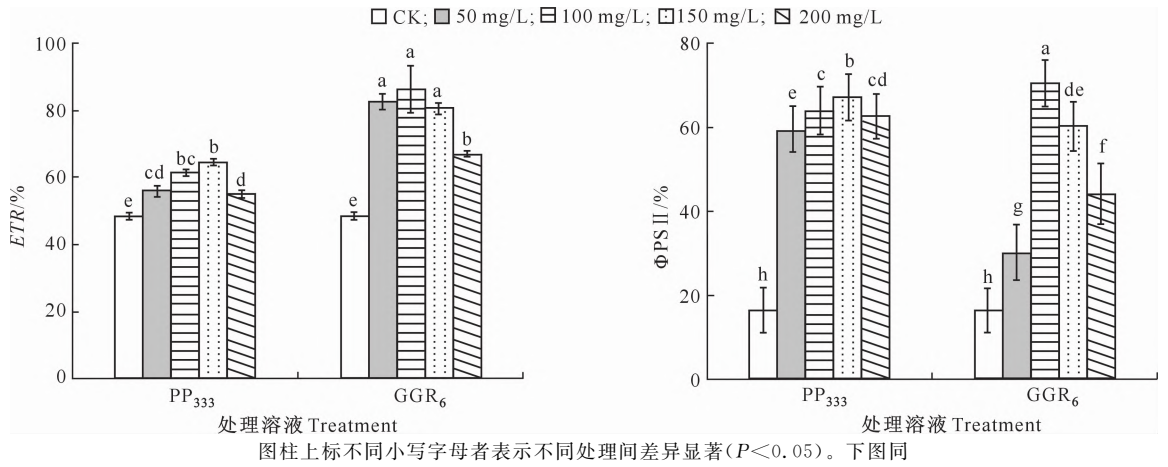
2.3.1 ETR 与  $\Phi$ PS II ETR 能反映表观电子传递的快慢, $\Phi$ PS II 能反映植物叶片光合电子传递速度的快慢。叶绿素荧光参数 ETR、 $\Phi$ PS II 均随 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度的增加而呈现先增大后减小的趋势,且峰值出现在 P150、G100 处理中,分别为 64.4%,86.3% 和 67.3%,70.5%,较 CK 分别增加了 33.1%,78.5% 和 310.2%,330.0% ( $P < 0.05$ ) (图 1)。说明当 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度分别为 150,100 mg/L 时,榆叶梅幼苗叶片的表观电子传递最快,实际光化学效率最高。且 100 mg/L GGR<sub>6</sub> 处理榆叶梅幼苗 ETR、 $\Phi$ PS II 比 150 mg/L PP<sub>333</sub> 处理

分别增加了 34.1%,4.9% ( $P < 0.05$ )。PP<sub>333</sub> 处理榆叶梅幼苗的 ETR、 $\Phi$ PS II 值较 GGR<sub>6</sub> 处理波动幅度小,说明 PP<sub>333</sub> 溶液处理榆叶梅幼苗的 ETR、 $\Phi$ PS II 较 GGR<sub>6</sub> 溶液处理稳定。

2.3.2 qP 与 qN qP 和 qN 为叶绿素荧光猝灭的两种形式,其中 qP 为光化学猝灭系数,反映了植物光合活性的高低;qN 为非光化学猝灭系数,反映了植物耗散过剩光能为热的能力,即光保护能力。从图 2 可以看出,叶绿素荧光参数 qP 随 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液质量浓度的增加呈现先增大后减小的趋势,且峰值分别出现在 P150、G100 处理中,其值分别为 0.927,0.854,较 CK 分别增加了 224.4%,198.9% ( $P < 0.05$ )。qN 的变化趋势与 qP 相反,最

小值分别出现在 P150、G100 处理中,其值分别为 0.24,0.45,较 CK 分别降低了 71.4%,46.0% ( $P < 0.05$ )。说明当 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度分别为 150,100 mg/L 时,榆叶梅光合活性最高,光保护能

力最强。150 mg/L PP<sub>333</sub> 处理榆叶梅幼苗的  $qP$  峰值比 100 mg/L GGR<sub>6</sub> 处理高 7.8%, ( $P < 0.05$ ); 100 mg/L GGR<sub>6</sub> 处理榆叶梅幼苗的  $qN$  最小值比 150 mg/L PP<sub>333</sub> 处理高 88.8% ( $P < 0.05$ )。



Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ). The same below

图 1 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 不同处理对榆叶梅叶片 ETR、ΦPSII 的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> on ETR and ΦPSII of *Prunus triloba* leaves

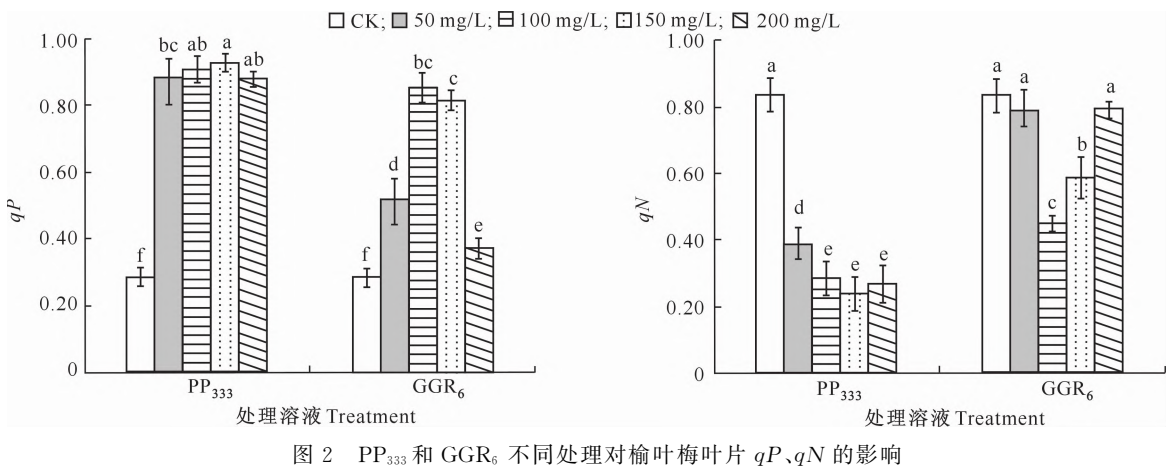


图 2 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 不同处理对榆叶梅叶片 qP、qN 的影响

Fig. 2 Effect of different concentrations of PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> on qP and qN of *Prunus triloba* leaves

2.3.3  $F_v/F_m$   $F_v/F_m$  反映了植物叶片 PS II 利用光的能力。PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 不同处理对榆叶梅叶片  $F_v/F_m$  的影响见图 3。从图 3 可以看出,榆叶梅叶片  $F_v/F_m$  随着 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度的增大呈现先增大后减小的趋势,且峰值分别出现在 P150、G100 处理中,分别为 0.77,0.74,较 CK 分别增加了 8.5%和 5.0% ( $P < 0.05$ )。说明当 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 处理  $F_v/F_m$  达最大值时,榆叶梅叶片 PSII 具有较强的保护作用,同时能够使榆叶梅保持较高的电子传递速率和光化学效率,从而提高榆叶梅的壮苗效果。150 mg/L PP<sub>333</sub> 溶液处理榆叶梅幼苗的  $F_v/F_m$  值比 100 mg/L GGR<sub>6</sub> 溶液处理增加了 3.2% ( $P < 0.05$ )。说明 PP<sub>333</sub> 溶液处理更有利于榆叶梅幼苗壮苗。

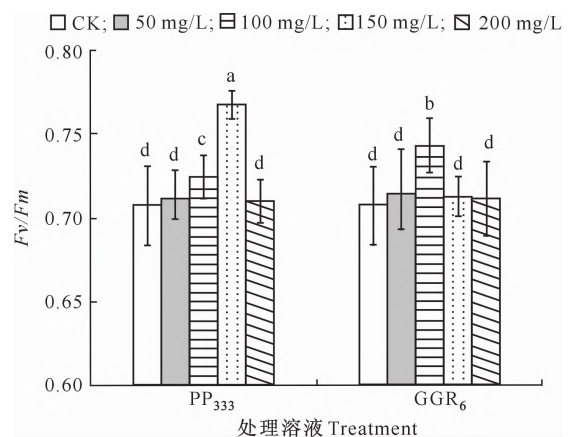


图 3 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 不同处理对榆叶梅叶片  $F_v/F_m$  的影响  
Fig. 3 Effect of different concentrations of PP<sub>333</sub> and GGR<sub>6</sub> on  $F_v/F_m$  of *Prunus triloba* leaves

## 2.4 榆叶梅生长指标与生理生化指标的相关性

由表 3 可见,榆叶梅株高增长量、基径、冠幅长度与 Chl a 呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与 Chl b 相关性不显著( $P > 0.05$ )。榆叶梅 Chl a、Chl b、

Chl(a+b)与叶绿素荧光参数  $ETR$ 、 $\Phi PS II$ 、 $qP$ 、 $Fv/Fm$  均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与  $qN$  呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。榆叶梅生长指标与  $Fv/Fm$ 、 $qP$ 、 $qN$  相关性不显著( $P > 0.05$ )。

表 3 榆叶梅幼苗各指标间的相关性

Table 3 Correlation analysis among measured indicators of *Prunus triloba* seedlings

指标 Index	株高增长量 Plant growth rate	基径 Base diameter	冠幅 Crown width		Chl a	Chl b	Chl (a+b)	ETR	$\Phi PS II$	qP	qN	Fv/Fm
			长度 Length	宽度 Width								
株高增长量 Plant growth rate	1											
基径 Base diameter	0.304	1										
冠幅长度 Length of crown width	0.660 **	0.653 **	1									
冠幅宽度 Width of crown width	0.497 **	0.637 **	0.753 **	1								
Chl a	0.531 **	0.553 **	0.572 **	0.360	1							
Chl b	-0.244	0.235	-0.080	0.019	0.311	1						
Chl(a+b)	0.286	0.525 **	0.393 *	0.280	0.897 **	0.700 **	1					
ETR	0.623 **	0.351	0.538 **	0.368	0.807 **	0.119 **	0.662 **	1				
$\Phi PS II$	0.044	0.517 **	0.312	0.203	0.615 **	0.580 **	0.733 **	0.292	1			
qP	-0.104	0.339	0.164	0.127	0.575 **	0.594 **	0.709 **	0.382 *	0.911 **	1		
qN	0.407	-0.233	0.064	0.049	-0.363 **	-0.576 **	-0.541 **	-0.051	-0.847 **	-0.919 **	1	
Fv/Fm	-0.049	0.134	-0.058	-0.158	0.558 **	0.641 **	0.717 **	0.265	0.478 *	0.440 *	-0.468 *	1

注: \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ ); \* 表示显著相关( $P < 0.05$ )。

Note: \*\* means very significant correlation ( $P < 0.01$ ); \* means significant correlation ( $P < 0.05$ ).

## 2.5 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>不同处理的隶属函数分析

采用单个指标评定 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>的植物壮苗效果具有片面性<sup>[14]</sup>,因此对多个指标进行综合评价才能体现其植物壮苗效果。从表 4 可以看出,各处理不同指标隶属函数平均值大小顺序为 G100 >

P150 > P200 > P100 > G50 > G200 > G150 > P50 > CK。其中以 G100 处理的隶属函数平均值最大,为 0.536;CK 最小,为 0.423,二者相差 33.1%。可知当 GGR<sub>6</sub>溶液质量浓度为 100 mg/L 时,其对榆叶梅幼苗生长发育的综合促进作用最佳。

表 4 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>处理下榆叶梅幼苗不同指标的综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation of different indicators of *Prunus trilobata* seedlings under different treatments

处理 Treatment	株高增长量 Plant growth rate	基径 Base diameter	冠幅 Crown width		Chl a	Chl b	Chl (a+b)	ETR	$\Phi PS II$	qP	Fv/Fm	qN	隶属函数 数总值 Total value	隶属函数 数平均值 Mean	排行 Ranking
			长度 length	宽度 width											
CK	0.42	0.51	0.38	0.39	0.47	0.34	0.42	0.41	0.52	0.38	0.33	0.50	5.07	0.423	9
P50	0.33	0.41	0.54	0.58	0.43	0.50	0.34	0.50	0.51	0.53	0.56	0.48	5.71	0.476	8
P100	0.44	0.40	0.33	0.52	0.49	0.55	0.50	0.55	0.60	0.53	0.56	0.46	5.93	0.494	4
P150	0.67	0.48	0.35	0.58	0.54	0.65	0.58	0.46	0.43	0.33	0.64	0.50	6.21	0.518	2
P200	0.43	0.36	0.56	0.61	0.45	0.56	0.50	0.52	0.52	0.61	0.56	0.43	6.11	0.509	3
G50	0.42	0.53	0.35	0.41	0.57	0.46	0.51	0.56	0.67	0.51	0.60	0.33	5.92	0.493	5
G100	0.44	0.43	0.38	0.58	0.51	0.55	0.54	0.63	0.61	0.67	0.65	0.44	6.43	0.536	1
G150	0.67	0.43	0.61	0.38	0.50	0.39	0.50	0.53	0.50	0.58	0.42	0.33	5.84	0.487	7
G200	0.47	0.46	0.42	0.41	0.54	0.56	0.55	0.48	0.57	0.53	0.37	0.51	5.87	0.489	6

## 3 讨论

近年来,利用植物生长调节剂达到壮苗的效果已成为常见手段之一。植物生长调节剂是一类由人工合成的可调节植物生长与发育的有机物质<sup>[15]</sup>。植物对生长调节剂的响应首先表现在生理和生态功

能上,如光合作用、叶绿素荧光参数、生长发育差异性;然后才表现出形态、结构性的差异<sup>[16]</sup>。植物生长调节剂通过影响叶片形态、解剖结构、光合生理特性、营养物质的吸收以及营养物质在植物体内的重新分配等一系列生理过程,使植物生长发育受到不同程度的影响<sup>[17]</sup>,从而达到预期效果。前人研究发

现,PP<sub>333</sub>主要通过植物木质部运输,而不通过植物叶片与木质部。因此本试验采用蘸根方法施用 PP<sub>333</sub>。为保证试验结果具有对比性,GGR<sub>6</sub>也采用蘸根方法处理。本研究发现,在 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>作用下,所测的 11 项指标均呈现“单峰式”升高或降低,表明对植物施用不同种类、质量浓度植物生长调节剂效果不同,低质量浓度对植物生长起促进作用,高质量浓度对植物生长起抑制作用,甚至毒害植物,即 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>对榆叶梅的生长具有“低促高抑”的双重效果。

### 3.1 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>对植物生长指标的影响

植物生长调节剂作用在植物体内一定部位,通过转移植物生长重心达到壮苗效果<sup>[18]</sup>。本研究发现,PP<sub>333</sub>可抑制榆叶梅株高增长,而 GGR<sub>6</sub>可促进榆叶梅株高增长。这是因为 PP<sub>333</sub>属于植物生长延缓剂,其通过抑制顶端优势减少植物体内赤霉素的合成,影响细胞分裂,从而改变枝梢生长势,削弱加长生长<sup>[19]</sup>;而 GGR<sub>6</sub>属于植物生长促进剂,它通过调节植物体内内源激素含量和酶活性,促进细胞分裂和生长,从而促进植物生长发育<sup>[20-21]</sup>。本试验还发现,当 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>质量浓度分别为 150 和 100 mg/L 时,对榆叶梅基径和冠幅的促进作用最显著( $P < 0.05$ ),说明 150 和 100 mg/L 分别为榆叶梅生长的最适 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>质量浓度。这与陈兵等<sup>[22]</sup>和齐颖慧等<sup>[23]</sup>对红花木莲幼苗和曙光油桃的研究结果不同。其原因是植物对不同生长调节剂的敏感度不一<sup>[24]</sup>;同时本试验对榆叶梅幼苗采取蘸根的处理方法,而前人采取的是喷施方法,由于植物器官对植物生长调节剂的敏感程度不同(根>叶)<sup>[25]</sup>,导致其最适浓度也不同<sup>[26]</sup>。另外,虽然 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>溶液对榆叶梅基径和冠幅均有促进作用,但其作用机理不同。其中 PP<sub>333</sub>主要是延缓细胞分裂与细胞伸长,使细胞排列层次增多,而不是使细胞体积增大<sup>[27]</sup>;而 GGR<sub>6</sub>主要是促进细胞分裂并进行伸长生长,使细胞体积增大。

### 3.2 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>对植物叶绿素含量的影响

叶片是植物进行光合作用的主要器官,而叶绿素是植物进行光合作用的重要色素,其中 Chl a 和 Chl b 可以将光能转化成化学能,并形成有机物。二者含量高低决定着光合作用的强弱及干物质的积累情况<sup>[28]</sup>,同时叶绿素含量也与植物的生长发育密切相关。本研究表明,当 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>质量浓度分别在 150 与 100 mg/L 时,榆叶梅叶片叶绿素总含量(Chl(a+b))最高,与对照(CK)相比显著增加( $P <$

0.05)。这一方面是由于 PP<sub>333</sub>溶液抑制了榆叶梅营养生长,影响了营养物质的分配,造成营养物质在叶片中积累,导致叶绿素含量增加<sup>[29]</sup>。此外,栅栏组织越厚,叶绿素含量越高。PP<sub>333</sub>能够增加叶片栅栏组织厚度,使叶绿素含量增加<sup>[30]</sup>。而 GGR<sub>6</sub>溶液能促进榆叶梅叶片增大,调节内源激素含量,从而增强细胞新陈代谢的能力<sup>[31]</sup>。另一方面是由于 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>处理能够延缓叶绿素分解,使叶绿素含量较对照(CK)高<sup>[32]</sup>。前人研究表明,在叶绿素合成过程中,Chl a 先于 Chl b 合成,Chl a 和 Chl b 可以通过酶进行相互转化,该过程被称为“叶绿素循环”。本研究发现,PP<sub>333</sub>对 Chl b 含量的影响大于 Chl a,而 GGR<sub>6</sub>对 Chl a 含量的影响大于 Chl b。这可能是由于 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>溶液中的某些成分影响了叶绿素循环过程中的酶活性,从而影响了 Chl a 和 Chl b 的合成及相互转化<sup>[33]</sup>;也可能是由于 PP<sub>333</sub>使榆叶梅株高降低,冠幅增大,叶片之间相互遮光,从而使叶片中的部分 Chl a 转化成 Chl b,导致其 Chl b 含量增加幅度较高<sup>[34]</sup>。但是目前有关 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>对 Chl a、Chl b 及 Chl(a+b)含量的影响鲜有研究,有待于进一步论证。

### 3.3 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>对植物叶绿素荧光参数的影响

植物叶片的生理指标不仅能反映植物的生长情况,还能反映植物的营养状况。而叶绿素荧光参数变化可以反映光合作用和热耗散过程。本研究表明,当 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>质量浓度为 0~200 mg/L 时,ETR、ΦPS II、qP、Fv/Fm 均呈现先增大后减小的趋势,但均高于对照,说明 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>质量浓度在此范围内能改善榆叶梅叶片的光合性能。这与李源等<sup>[35]</sup>对太阳扇叶片的研究结果相似。本研究中,当 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>质量浓度分别为 150 和 100 mg/L 时,榆叶梅叶绿素荧光参数 ETR、ΦPS II、qP、Fv/Fm 最高,qN 最低,且与 CK 差异显著( $P < 0.05$ ),说明这 2 种处理下榆叶梅光合作用效率最高,有利于榆叶梅幼苗对逆境形成相应的适应机制,使其 PS II 反应中心开放程度增大,用于电子传递的能量增高,从而保证了 PS II 电子传递活性,使 PS II 天线色素吸收的光能用于碳同化作用的份额增多,有利于榆叶梅的生长发育,使得榆叶梅幼苗被 PP<sub>333</sub>和 GGR<sub>6</sub>干预后,发挥更大的光合效能,同时能够改善因过量光照引起的光抑制现象。这与陈兵<sup>[36]</sup>和于永畅等<sup>[37]</sup>对红花木莲及国兰的研究结果相似。前人研究发现,Fv/Fm 可以反映植物的抗逆能力。本研究中,Fv/Fm 的变化范围较小,说明 Fv/Fm 的变

化不受物种和生长条件的限制<sup>[38]</sup>, 本研究中, 当 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度分别为 150 和 100 mg/L 时,  $F_v/F_m$  高于其他处理( $P < 0.05$ ), 说明 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 溶液有利于增强榆叶梅的抗逆能力和壮苗效果。

## 4 结 论

1) PP<sub>333</sub> 抑制了榆叶梅幼苗株高的生长, 而 GGR<sub>6</sub> 促进了榆叶梅幼苗株高的生长, 当 PP<sub>333</sub> 质量浓度为 150 mg/L 时, 对榆叶梅幼苗株高的抑制作用最大; 当 GGR<sub>6</sub> 质量浓度为 100 mg/L 时, 对榆叶梅幼苗株高的促进作用最大。PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 均能够明显促进榆叶梅幼苗基径增粗。随 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度的升高, 榆叶梅冠幅长度和宽度呈先增大后减小的趋势, 且都在 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度分别为 150, 100 mg/L 时, 榆叶梅基径和冠幅的生长变化较为明显。

2) PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 均能明显增加榆叶梅叶绿素含量, Chl a、Chl b、Chl(a+b) 均呈现先增大后减小的趋势, 且分别在 P150 和 G100 处理下达到峰值。

3) 叶绿素荧光参数  $ETR$ 、 $\Phi PS II$  和  $qP$  均随 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度的增加而呈现先增大后减小的趋势, 且当 PP<sub>333</sub> 和 GGR<sub>6</sub> 质量浓度分别在 150 和 100 mg/L 时达到极大值;  $qN$  的表现则相反。

4) 根据隶属函数分析综合判定结果, 当 GGR<sub>6</sub> 溶液质量浓度为 100 mg/L 时, 其对榆叶梅幼苗生长发育的综合促进作用最佳。

## [参考文献]

- 陈士超, 王 猛, 高 永, 等. 风沙土与黄绵土复配对榆叶梅幼苗光合特性及长势的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(4): 96-101.  
Chen S C, Wang M, Gao Y, et al. Effect of different ratio of the mixed soils on photosynthesis of *Amygdalus triloba* seedlings [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(4): 96-101.
- 贾 娟, 姚延寿, 史敏华, 等. 生根剂促进槭树植物扦插繁殖的研究进展 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 107-109.  
Jia J, Yao Y S, Shi M H, et al. Advances in the researchers of rooting agent in cutting propagation of *Aeraceae* plants [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 107-109.
- 武荣花, 李 勇, 王 升, 等. 植物生长延缓剂对盆栽月季生长发育的影响 [J]. 西北植物学报, 2012, 32(4): 767-773.  
Wu R H, Li Y, Wang S, et al. Effect of plant growth retardants on the growth and development of potted rose [J]. Acta Botanical Occident Sin, 2012, 32(4): 767-773.
- 刘戈飞, 宋晓斌, 徐永慧, 等. GGR<sub>6</sub> 在南方红豆杉扦插育苗中的作用研究 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(6): 730-733.  
Liu G F, Song X B, Xu Y H, et al. A study on role of GGR<sub>6</sub> in seedling-riasing of *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. Forest Research, 2005, 18(6): 730-733.
- 何 茜, 李吉跃, 齐 涛. GGR<sub>6</sub> 号“施丰乐”溶液浸根对银杏生长、光合特性及水分利用效率的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2006(S1): 55-59.  
He Q, Li J Y, Qi T. In fluence of phytohormone “Shifengle” and GGR<sub>6</sub> on the growth photosynthetic characteristics and water use efficiency in seedlings of *Ginkgo biloba* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006 (S1): 55-59.
- 褙维言, 张 涛, 黄孝平, 等. 中期喷施多效唑对甜高粱生长及生理特性的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 200-204.  
Xuan W Y, Zhang T, Huang X P, et al. Effects of paclobutrazol on development and physiological properties of sweet sorghum [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(3): 200-204.
- 郭延平, 张良诚, 洪双松, 等. 温州蜜柑叶片气体交换和叶绿素荧光对低温的响应 [J]. 植物生理学报, 2000, 26(2): 88-94.  
Guo Y P, Zhang L C, Hong S S, et al. Response of gas exchange and chlorophyll fluorescence to different low temperature in *Satsuma mandarin* [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2000, 26(2): 88-94.
- 赵长明, 王根轩. 干旱胁迫对沙冬青叶片防御光破坏机制的影响 [J]. 植物学报(英文版), 2002, 44(11): 1309-1313.  
Zhao C M, Wang G X. Effects of drought stress on the photo-protection in *Ammopiptanthus mongolicus* leaves [J]. Chinese Journal of Botany(English), 2002, 44(11): 1309-1313.
- 李冬林, 向其柏. 光照条件对浙江楠幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(5): 27-31.  
Li D L, Xiang Q B. Effects of light condition on the growth and photosynthetic characters of *Phoebe chekiangensis* seedlings [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2004, 28(5): 27-31.
- 孙 坤, 李 岩, 冯汉青. NaCl 胁迫对架豆叶绿素荧光参数的影响 [J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2011, 47(5): 74-77.  
Sun K, Li Y, Feng H Q. Effects of salt stress on photosynthetic parameters in bean leave [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2011, 47(5): 74-77.
- 桂仁意, 刘亚迪, 郭小勤, 等. 不同剂量<sup>137</sup>Cs- $\gamma$ 射对毛竹幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响 [J]. 植物学报, 2010, 45(1): 66-72.  
Gui R Y, Liu Y D, Guo X Q, et al. Effects of dose of <sup>137</sup>Cs- $\gamma$  irradiation on chlorophyll fluorescence parameters for leaves of seedlings of *phyllostachys heterocycla* ‘*Pubescens*’ [J]. Chinese Journal of Botany, 2010, 45(1): 66-72.
- 张 文. 复配土对榆叶梅幼苗光合作用的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.  
Zhang W. Impact of compound soil on photosynthesis of *ulmus prunus triloba* seedlings [D]. Hohhot: Inner Mongolia



- Agricultural University, 2015.
- [13] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导 [M]. 广州:华南理工大学出版社, 2015.  
Chen J X, Wang X F. Plant physiology experimental guide [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2015.
- [14] 王宇超. 三种木本滨藜植物抗逆生理特性研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2007.  
Wang Y C. The research of stress-resistant physiological characteristics of three woody *Saltbushes* [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2007.
- [15] 傅华龙,何天久,吴巧玉. 植物生长调节剂的研究与应用 [J]. 生物加工过程, 2008, 6(4): 7-12.  
Fu H L, He T J, Wu Q Y. Research and application of plant growth regulators [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2008, 6(4): 7-12.
- [16] 唐海萍,蒋高明. 植物功能型及其生态学意义 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 461-464.  
Tang H P, Jiang G M. Plant functional type and its significance in ecological research [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 461-464.
- [17] Xu C, Yin Y, Cai R, et al. Responses of photosynthetic characteristics and antioxidative metabolism in winter wheat to post-anthesis shading [J]. Photosynthetica, 2013, 51(1): 139-150.
- [18] 吴业东. 外源生长调节剂对仙客来生长与开花的影响 [D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2003.  
Wu Y D. Grows and regulates the impact on cydamen of pharmaceutical in the oheother source [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2003.
- [19] 彭予咸,胡留杰,邓敏,等. 植物生长调节剂对茶新梢叶绿素荧光特性的影响 [J]. 西南农业学报, 2013, 26(2): 514-519.  
Peng Y X, Hu L J, Deng M, et al. Effects of plant growth regulator on characteristics of chlorophyll fluorescence in leaves of new tea shoots [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(2): 514-519.
- [20] 唐中杰,房卫平,孙玉堂. GGR<sub>6</sub>号在棉花上应用效果研究 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 182-184.  
Tang Z J, Fang W P, Sun Y T. Studies on the effect of GGR<sub>6</sub> on cotton [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(1): 182-184.
- [21] 李淑娟,汪新川,李长慧. 叶面喷施植物生长剂对青海冷地早熟禾和青海中华羊茅产量的影响 [J]. 草业科学, 2010, 27(7): 68-71.  
Li S J, Wang X C, Li C H. Effect of plant growth agents application through leaf spraying on the yield of *Poa crymophila* cv. Qinghai and *Festuca sinensis* cv. Qinghai [J]. Pratacultural Science, 2010, 27(7): 68-71.
- [22] 陈兵,吴敏坤,王凌晖,等. 植物生长调节剂对红花木莲幼苗生长的影响 [J]. 广西林业科学, 2013, 42(2): 132-137.  
Chen B, Wu M K, Wang L H, et al. Effects of plant growth regulator on the growth of *Manglietia insignis* seedling [J]. Guangxi Forestry Science, 2013, 42(2): 132-137.
- [23] 齐颖慧,王永章,刘更森. 多效唑对曙光油桃生长发育和叶片光合速率的影响 [J]. 山东林业科技, 2009, 39(3): 44-46.  
Qi Y H, Wang Y Z, Liu G S. Effects of paclobutrazol on shoot growth and leaf photosynthesis in Shuguang nectarine [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2009, 39(3): 44-46.
- [24] 李风童,包建忠,刘春贵,等. PP<sub>333</sub>, CCC, B<sub>9</sub> 喷施对彩色马蹄莲矮化效应的研究 [J]. 核农学报, 2012, 26(8): 1215-1222.  
Li F T, Bao J Z, Liu C G, et al. Dwarfing effects of paclobutrazol hlorcholinchlorid and daminozide foliar sprays on *Zantedeschia hybrida* [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(8): 1215-1222.
- [25] 谢寅峰,蔡贤雷,刘伟龙,等. 高氯酸盐对空心莲子草生长及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 环境科学, 2009, 30(8): 2425-2431.  
Xie Y F, Cai X L, Liu W L, et al. Effects of perchlorate on growth and chlorophyll fluorescence parameters of *Alternanthera philoxeroides* [J]. Environmental Science, 2009, 30(8): 2425-2431.
- [26] 姚雪. 多效唑对大苞萱草生长发育及生理特性的影响 [D]. 长春:吉林农业大学, 2012.  
Yao X. The effects of paclobutrazol on growth and development and physiological characteristics of *Hemerocallis middendorfii* [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2012.
- [27] 刘兆良,沈岳清,盛敏智,等. 多效唑对部分作物植株组织结构的影响 [J]. 上海农业学报, 1995(3): 43-47.  
Liu Z L, Shen Y Q, Sheng M Z, et al. Effect of paclobutrazol (PP<sub>333</sub>) on plant histological structures of some crops [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 1995(3): 43-47.
- [28] 杨敏. 植物生长延缓剂对柠条生长及其抗性的影响 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2011.  
Yang M. The Effects of plant growth regulators on *Caragana korshinskii* kom seedling growth and stress resistant physiology [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [29] 游鸯. 多效唑对藤本月季光合特性及叶片显微结构的影响 [D]. 合肥:安徽农业大学, 2014.  
You Y. Effect on micro-structures leaves and the photosynthetic characteristics of *Rosa hybrida* with PP<sub>333</sub> [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2014.
- [30] 张桂茹,杜维广,满为群,等. 不同光合特性大豆叶的比较解剖研究 [J]. 植物学报, 2002, 19(2): 208-214.  
Zhang G R, Du W G, Man W Q, et al. Study on leaf comparative anatomy of different genotypes of soybean [J]. Chinese Bulletin Botany, 2002, 19(2): 208-214.
- [31] 陈平平,宋怀远,周亚哲,等. 移栽前控水与生根粉处理对烟苗素质与还苗期生理特性的影响 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(16): 29-33.  
Chen P P, Song H Y, Zhou Y Z, et al. Effect of water control before transplanting and rooting powder treatment on tobacco seedling quality and physiological properties at green stage [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(16): 29-

- 33.
- [32] 王丽媛,郭素娟. 2 种植物生长调节剂对板栗叶片生理特性的影响 [J]. 西南农业学报, 2016, 29(2): 266-269.  
Wang L Y, Guo S J. Effect of plant growth regulators on physiological characteristics of chestnut leaves [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(2): 266-269.
- [33] 王泳超,顾万荣,魏 湜,等. 新型植物生长复配剂对玉米幼苗形态建成及叶片生理特性的调控效应 [J]. 作物杂志, 2015(2): 89-94.  
Wang Y C, Gu W R, Wei S, et al. Effects of new plant growth compound mixtures on morphogenesis and leaf physiological characteristics of maize seedlings [J]. Crops, 2015(2): 89-94.
- [34] 李曼清. 三种植物生长物质(GGR<sub>6</sub>、IAA、PP<sub>333</sub>)对黄花风铃木幼苗生长及生理特性影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2015.  
Li M Q. The effects of three plant growth substances(GGR<sub>6</sub>, IAA, PP<sub>333</sub>) on the growth and physiological characteristics of the *Tabebuia chrysantha* seedling [D]. Nanning: Guangxi University, 2015.
- [35] 李 源,何丙辉,毛文韬,等. 多效唑对太阳扇叶片叶绿素含量及其荧光参数的影响 [J]. 河南农业科学, 2015, 44(11): 97-103.  
Li Y, He B H, Mao W T, et al. Effects of paclobutrazol on chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters of *Scaevola aemula* 'Sunfan' [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44(11): 97-103.
- [36] 陈 兵. 植物生长调节剂对红花木莲幼苗生长和生理特性的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2014.  
Chen B. Study on effects of plant growth regulator on the growth and physiological characteristics of *Manglietia insignis* seedling [D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [37] 于永畅,张 林,王厚新,等. ABA 和 PP<sub>333</sub>对国兰低温胁迫及恢复中光合作用和叶绿素荧光参数的影响 [J]. 农学学报, 2014, 4(4): 30-37.  
Yu Y C, Zhang L, Wang H X, et al. Effect of ABA and PP<sub>333</sub> on the photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters *Cymbidium seedlings* which in low temperature stress and its recovery [J]. Journal of Agriculture, 2014, 4(4): 30-37.
- [38] 杨福孙,孙爱花,王燕丹,等. 生长延缓剂对槟榔苗期叶绿素含量及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 255-257.  
Yang F S, Sun A H, Wang Y D, et al. Effects of plant growth retardants to chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters of leaves in *Areca* (*Areca catechu* L.) seedling stage [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(2): 255-257.