

doi: 10.3969/j.issn.1006-8023.2024.02.003

## 基于隶属函数综合评价法筛选蒙古栎压条繁育体系研究

颜廷武<sup>1,2</sup>, 王克瀚<sup>3</sup>, 刘洪柳<sup>1,2</sup>, 李光<sup>4</sup>, 陈若楠<sup>5</sup>, 冯健<sup>1,2\*</sup>

(1. 辽宁省林业科学研究院, 沈阳 110032; 2. 辽宁白石砬子森林生态系统国家定位观测研究站, 辽宁 丹东 118201;  
3. 辽宁省经济林研究所, 辽宁 大连 116031; 4. 岫岩满族自治县国有清凉山林场, 辽宁 鞍山 114312; 5. 国有清原满族自治县城郊林场, 辽宁 抚顺 113300)

**摘要:**蒙古栎是集用材、园林绿化及橡实利用于一身的优良树种。其无性繁育技术体系不健全是制约其产业发展的瓶颈问题。为完善蒙古栎无性繁育技术体系, 满足生产上对苗木的需求, 建立蒙古栎压条繁育技术。以2年生蒙古栎的嫩枝为穗材, 用不同质量浓度和种类的外源生长物质、不同基质及压条方式处理, 以蒙古栎压条苗的生长量、生物量及生根性状为评价指标, 采用隶属函数的综合评价法筛选处理组合。不同处理蒙古栎压条苗的生长量、生物量及生根性状等指标存在显著差异( $P < 0.05$ ), 其中, 苗高和地径均值分别为69.2 cm和7.0 mm; 叶干质量、茎干质量、根干质量和单株生物量均值分别为11.20、15.70、0.21、27.70 g; 生根率、偏根率、根长、根粗和根数均值分别为7.4%、80.6%、11.6 cm、1.6 mm和2.9条。蒙古栎压条苗在不同处理间的显著差异为筛选较优组合提供可能, 采用隶属函数法对不同处理进行排序, 最终筛选出26<sup>#</sup>处理、13<sup>#</sup>处理、24<sup>#</sup>处理、11<sup>#</sup>处理和7<sup>#</sup>处理5个处理为蒙古栎压条繁育较优处理, 其中, 26<sup>#</sup>处理的生根率、偏根率、根数、根长和根粗生根性状分别为27.6%、72.1%、3.5条、14.4 cm和1.5 mm, 除根粗指标外, 其他指标均优于参试处理均值, 生根率、根数和根长分别是参试处理均值的3.73、1.21、1.24倍; 其苗高和地径等生长量指标分别为90.2 cm和8.7 mm, 分别是参试处理均值的1.30、1.24倍; 其根干质量、茎干质量、叶干质量和单株生物量分别为0.28、31.8、19.3、51.3 g, 分别是参试处理均值的1.33、2.03、1.72、1.85倍。结果表明, 基于隶属函数综合评价法筛选试验中最优组合为26<sup>#</sup>处理, 基质为河沙和园土等体积比混合基质, 压条方式为直立压条, 同时使用铁丝进行横缢, 外源生长物质采用IBA-K(2 000 mg/L)。研究结果为完善蒙古栎压条育苗提供支撑, 为其他树种压条育苗技术体系的建立提供借鉴。

**关键词:**蒙古栎; 压条繁育; 隶属函数; 综合评价; 生根率

中图分类号: S792.186

文献标识码: A

文章编号: 1006-8023(2024)02-0017-10

## Study on Screening Layering Breeding System of *Quercus mongolica* Based on the Membership Function Comprehensive Evaluation Method

YAN Tingwu<sup>1,2</sup>, WANG Kehan<sup>3</sup>, LIU Hongliu<sup>1,2</sup>, LI Guang<sup>4</sup>, CHEN Ruonan<sup>5</sup>, FENG Jian<sup>1,2\*</sup>

(1. Liaoning Academy of Forestry Science, Shenyang 110032, China; 2. Liaoning Baishilazi Forest Ecosystem National Research Station, Dandong 118201, China; 3. Liaoning Institute of Economic Forestry, Dalian 116031, China;  
4. State-owned Xiuyan Manchu Autonomous County Qingliangshan Forest Farm, Anshan 113300, China;  
5. State-owned Qingyuan Manchu Autonomous County Suburban Forest Farm, Fushun 113300, China)

**Abstract:** *Quercus mongolica* is an excellent tree that integrates wood, landscaping and acorn utilization. The technical system of asexual breeding is not perfect, which restricts the development of its industry. In order to improve the asexual breeding technology system of *Quercus mongolica* and meet the demand of seedlings in production, the layering breeding technology of *Quercus mongolica* was established. In this study, the shoots of 2 year old *Quercus mongolica* were taken as panicle, different concentrations and types of exogenous growth substances, different substrates and lamination methods were used as treatment indexes, the growth, biomass and rooting characters of lamination seedlings of *Quercus mongolica* were used as evaluation indexes, and the comprehensive evaluation method of membership function was used to screen the treatment combinations. There were significant differences in the growth amount, biomass and rooting characters of *Quercus mongolica* laminated seedlings under different treatments ( $P < 0.05$ ), among which the average

收稿日期: 2023-09-28

**基金项目:**国家重点研发计划项目子课题(2022YFD2201004-05); 国家林草局生物安全与遗传资源管理项目(KJZXS202210); 辽宁省科学技术计划(2021030309-JH2/102); 辽宁省农科院学科建设计划(2022DD217036); 辽宁省农业科学院基本科研业务费计划项目(2021HQ1910)。

**第一作者简介:**颜廷武, 硕士, 正高级工程师。研究方向为森林生态。E-mail: 2004-dayan@163.com

**\* 通信作者:**冯健, 博士, 教授级高级工程师。研究方向为林木遗传育种。E-mail: fengjian-0205@163.com

**引文格式:**颜廷武, 王克瀚, 刘洪柳, 等. 基于隶属函数综合评价法筛选蒙古栎压条繁育体系研究[J]. 森林工程, 2024, 40(2): 17-26.

YAN T W, WANG K H, LIU H L, et al. Study on screening layering breeding system of *Quercus mongolica* based on the membership function comprehensive evaluation method[J]. Forest Engineering, 2024, 40(2): 17-26.

seedling height and ground diameter were 69.2 cm and 7.0 mm, respectively. Leaf dry weight, stem dry weight, root dry weight and biomass per plant were 11.20 g, 15.70 g, 0.21 g and 27.70 g, respectively. The average rooting rate, partial root rate, root length, root diameter and root number were 7.4%, 80.6%, 11.6 cm, 1.6 mm and 2.9, respectively. The significant difference between different treatments of *Quercus mongolica* laminate seedlings provided us with the possibility of screening the optimal combination. The membership function value method was used to sort the different treatments, and finally selected as the optimal treatment of 26<sup>#</sup> treatment, 13<sup>#</sup> treatment, 24<sup>#</sup> treatment, 11<sup>#</sup> treatment and 7<sup>#</sup> treatment, among which, the rooting characters of rooting rate, partial root rate, root length, root diameter and root number of 26<sup>#</sup> treatment were 27.6%, 72.1%, 3.5, 14.4cm, and 1.5mm, respectively. Except for the root diameter index, the other indexes were better than the mean value of the test treatment, and the rooting rate, root number and root length were 3.73 times, 1.21 times and 1.24 times of the mean value of the test treatment, respectively. The growth indexes of seedling height and ground diameter were 90.2 cm and 8.7 mm, which were 1.30 times and 1.24 times of the mean value of test treatment, respectively. The root dry weight, stem dry weight, leaf dry weight and biomass per plant were 0.28 g, 31.8 g, 19.3 g and 51.3 g, respectively, which were 1.33 times, 2.03 times, 1.72 times and 1.85 times of the mean value of the test treatment. The result showed, in the screening test based on the membership function comprehensive evaluation method, the optimal composition was 26<sup>#</sup>, and the matrix was the mixed matrix with equal volume ratio of river sand and garden soil. The layering method was vertical layering, and the iron wire was used to hang horizontally. The exogenous growth material was IBA-K 2000 mg · L<sup>-1</sup>. This study provided support for improving the layering seedling cultivation of *Quercus mongolica* and provided reference for the establishment of layering seedling technology system of other tree species.

**Keywords:** *Quercus mongolica*; layering breeding; membership function; comprehensive evaluation; rooting rate

## 0 引言

蒙古栎(*Quercus mongolica*)为壳斗科栎属落叶乔木,树高可达30 m。多分布于海拔200~2 100 m山地的阳坡、半阳坡,在我国主要分布于东北、华北和西北各地,我国周边的俄罗斯、日本、蒙古及朝鲜半岛也有分布。蒙古栎木材材质坚硬,耐腐力强,是车船、建筑和坑木等优质原材料;蒙古栎树体高大美观,是优良的园林绿化树种;蒙古栎种子含淀粉量高达47.4%以上,是优质的酿酒和饲料的原材料。目前,蒙古栎苗木繁育多以种子繁殖为主,其无性繁育技术仍不完善,主要表现为扦插育苗生根率较低<sup>[1]</sup>,嫁接育苗砧穗亲和性较差<sup>[2]</sup>,无法建立高效的无性繁育技术体系。压条繁殖具有保持母本优良特性,方法简单易操作等优点,是很多植物无性繁殖的常用技术,如平欧杂种榛(*Corylus heterophylla* × *C. avellana*)<sup>[3]</sup>、红醋栗(*Ribes rubrum*)<sup>[4]</sup>和欧洲椴(*Tilia europaea*)<sup>[5]</sup>等树种。以往研究表明,外源生长物质种类和质量浓度、基质组成及其他处理(环割、绑缚)是影响穗条能否生根及能否建立起压条繁殖技术的关键。葛萌等<sup>[5]</sup>认为500 mg/L的吲哚丁酸(IBA)溶液是欧洲椴树压条生根的较优外源生长物质,穗条生根率、平均主根数、平均主根长、平均侧根数和平均侧根长分别达到80%、29.6条、19.74 cm、15.8条和8.64 cm。王文勋等<sup>[6]</sup>研究兴安圆柏(*Juniperus sabina* var. *davurica*)压条繁殖技术认为压条前对枝条环切两圈,可以提高单株生根条数57%,而枝条最佳埋土厚度为20 cm,单株平均生根数为30.2条。有关蒙古栎压条繁殖的研究鲜有报道<sup>[7]</sup>,为建立蒙古栎压条繁殖技术,完善蒙

古栎无性繁育技术体系,满足生产上对苗木的需求,本研究以当年生蒙古栎嫩枝为穗材,用不同质量浓度和种类的外源生长物质、不同基质及压条方式处理,以蒙古栎压条苗的生长量、生物量及生根性状为评价指标,采用隶属函数的分析方法筛选最优处理组合,旨在建立高效的蒙古栎压条繁育技术,为蒙古栎苗木规模化繁殖提供技术保障,为其他植物建立压条繁育技术提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于辽宁省锦州市黑山县辽宁省经济林研究所黑山试验基地(122°07'7.50"E,41°40'2.34"N)。该地属中温带大陆性季风气候,年均气温7.9℃,无霜期165 d,年均降水量为568.4 mm,试验地土壤类型以沙壤土为主。

### 1.2 试验材料

以2年生蒙古栎苗木为材料,春季树液流动前平茬,以当年生萌生条为试验材料,开展压条试验。

### 1.3 试验设计

外源生长物质种类设计 ABT<sub>1</sub> 生根粉和吲哚丁酸钾(IBA-K)2个种类,质量浓度设计200、500、1 000、2 000、5 000、10 000 mg/L 6个水平,并且以清水为对照;压条方式设计直立与水平、是否横缢2因素2水平对比试验,横缢材料采用0.55 mm铁丝绑缚蒙古栎萌生条基部2~3 cm处;基质设计锯末、园土、混合基质(河沙和园土等体积比混合)等3种基质,基质覆盖高度15~20 cm。共设计26个试验处理,每个处理压条40丛,见表1。

表1 试验设计  
Tab. 1 Experimental design

处理 Treatment	基质 Substrate	压条方式 Layering method		外源生长物质 Exogenous growth substance		压条数量/丛 Number of Layering
		直立或水平 Upright or horizontal	横缢 Transverse constriction	种类 Species	质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> ) Mass concentration	
1 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	清水	0	40
2 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	IBA-K	200	40
3 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	IBA-K	500	40
4 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	IBA-K	1 000	40
5 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	IBA-K	2 000	40
6 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	IBA-K	5 000	40
7 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	IBA-K	10 000	40
8 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	ABT <sub>1</sub>	200	40
9 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	ABT <sub>1</sub>	500	40
10 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	ABT <sub>1</sub>	1 000	40
11 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	ABT <sub>1</sub>	2 000	40
12 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	ABT <sub>1</sub>	5 000	40
13 <sup>#</sup>	锯末	直立	是	ABT <sub>1</sub>	10 000	40
14 <sup>#</sup>	锯末	直立	否	清水	0	40
15 <sup>#</sup>	锯末	直立	否	IBA-K	1 000	40
16 <sup>#</sup>	锯末	直立	否	IBA-K	2 000	40
17 <sup>#</sup>	锯末	水平	是	清水	0	40
18 <sup>#</sup>	锯末	水平	是	IBA-K	1 000	40
19 <sup>#</sup>	锯末	水平	是	IBA-K	2 000	40
20 <sup>#</sup>	锯末	水平	否	清水	0	40
21 <sup>#</sup>	锯末	水平	否	IBA-K	1 000	40
22 <sup>#</sup>	锯末	水平	否	IBA-K	2 000	40
23 <sup>#</sup>	园土	直立	是	IBA-K	1 000	40
24 <sup>#</sup>	园土	直立	是	IBA-K	2 000	40
25 <sup>#</sup>	河沙:园土	直立	是	IBA-K	1 000	40
26 <sup>#</sup>	河沙:园土	直立	是	IBA-K	2 000	40

#### 1.4 压条时间

6月10日开展压条试验。

#### 1.5 数据调查与统计

9月18日开展调查,每个处理5次重复,每个重复调查8丛。调查压条生根率、最长根长、最长根粗和生根数等生根指标,调查地径、苗高等苗木生长指标,称量根、茎和叶干鲜质量等生物量。采用Excel 2007、SPSS 22.0、R 4.3.1等数据分析软件对数据进行统计分析,生根率方差分析及多重比较采用其反正弦旋转数据。对各指标进行主成分分析,根据特征值 $\geq 1$ 确定主成分个数。使用隶属函数法对各处理的生根率、生长量和生物量进行综合评价,某一主成分的隶属函数值计算公式为

$$U(X_j) = (X_j - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1)$$

式中: $U(X_j)$ 为主成分的隶属函数值; $X_j$ 为主成分值; $X_{j\min}$ 和 $X_{j\max}$ 分别为主成分的最小值和最大值<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理蒙古栎压条苗的生长特性

不同处理蒙古栎压条苗的苗高均值为69.2 cm,其中,6<sup>#</sup>处理苗高最大,达到99.4 cm,7<sup>#</sup>处理苗高最小,仅为26.2 cm,两者相差73.2 cm;地径均值为7.0 mm,其中,26<sup>#</sup>处理地径最大,达到8.7 mm,7<sup>#</sup>处理地径最小,仅为4.2 mm,两者相差4.5 mm;高径比均值为99.1,其中,6<sup>#</sup>处理高径比最大,达到169.1。方差分析表明,不同处理间蒙古栎压条苗的苗高、地径和高径比差异显著( $P < 0.05$ ),详见表2。

表2 不同处理蒙古栎压条苗的生长指标

Tab. 2 Growth indexes of *Quercus mongolica* layering seedlings under different treatments

处理 Treatment	苗高/cm Seedling height	地径/mm Ground diameter	高径比 Ratio of height to diameter
1 <sup>#</sup>	73.8±7.2abc	7.4±0.3ab	99.4±8.0ab
2 <sup>#</sup>	78.6±13.6abc	7.5±1.1ab	103.5±4.7ab
3 <sup>#</sup>	67.9±16.9abc	8.4±0.7a	81.3±17.9b
4 <sup>#</sup>	75.1±6.2abc	6.9±0.6abc	116.9±18.0ab
5 <sup>#</sup>	77.8±12.8abc	7.6±1.3ab	104.8±7.5ab
6 <sup>#</sup>	99.4±50.6a	6.3±0.5abc	169.1±94.7a
7 <sup>#</sup>	26.2±6.1c	4.2±0.5c	59.3±6.7b
8 <sup>#</sup>	83.6±20.4abc	6.9±0.8abc	116.4±15.6ab
9 <sup>#</sup>	67.2±11.6abc	7.3±1ab	91.8±6.3ab
10 <sup>#</sup>	46.3±11.7abc	5.9±1.1abc	77.4±7.4b
11 <sup>#</sup>	54.7±5.2abc	6.3±0.7abc	87.2±3.3ab
12 <sup>#</sup>	78.8±24.9abc	7.8±1.4ab	92.9±17.4ab
13 <sup>#</sup>	53.2±10.4abc	6.0±0.7abc	85.4±6.3ab
17 <sup>#</sup>	62.1±8.8abc	6.1±0.6abc	102.2±6.0ab
18 <sup>#</sup>	37.4±5.2bc	5.0±0.3bc	73.0±7.4b
19 <sup>#</sup>	70.9±8.4abc	6.9±0.7abc	103.9±9.3ab
23 <sup>#</sup>	77±3.8abc	8.0±0.6a	96.6±4.0ab
24 <sup>#</sup>	76.6±10.0abc	8.3±0.8a	92.9±9.4ab
25 <sup>#</sup>	91.4±20.1ab	8.1±0.8a	109.5±13.3ab
26 <sup>#</sup>	90.2±7.5ab	8.7±0.9a	105.5±8.1ab
平均	69.2	7.0	99.1

注:不同小写字母表示 Duncan 多重比较差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences in Duncan's multiple comparisons ( $P<0.05$ ). The same below.

## 2.2 不同处理蒙古栎压条苗的生物量特性

不同处理蒙古栎压条苗的叶干质量均值为 11.2 g, 最大值为 26<sup>#</sup>处理, 达到 19.3 g, 最小值为 7<sup>#</sup>处理, 仅为 2.6 g, 两者相差 16.7 g; 茎干质量均值为 15.7 g, 最大值为 26<sup>#</sup>处理, 达到 31.8 g, 最小值为 7<sup>#</sup>处理, 仅为 3.1 g, 两者相差 28.7 g; 根干质量均值为 0.21 g, 最大值为 13<sup>#</sup>处理, 达到 0.61 g, 最小值为 10<sup>#</sup>处理, 仅为 0.08 g, 两者相差 0.53 g。单株生物量均值为 27.7 g, 最大值为 26<sup>#</sup>处理, 达到 51.3 g, 最小值为 7<sup>#</sup>处理, 仅为 5.8 g, 两者相差 45.5 g。不同处理蒙古栎压条苗的叶干质量占总干质量的均值为 41.6%, 最大值为 1<sup>#</sup>处理, 占比为 47.1%, 最小值为 2<sup>#</sup>处理, 占比为 36.38%; 茎干质量占总干质量的均值为 57.2%, 最大值为 2<sup>#</sup>处理, 占比为 63.16%, 最小值为 7<sup>#</sup>处理, 占比为 51.92%; 根干质量占总干质量的均值为 1.2%, 最大值为 7<sup>#</sup>处理, 占比为 4.19%, 最小值为 12<sup>#</sup>处理, 占比为 0.37%。方差分析表明, 不同处理间蒙古栎压条苗的单株生物量、根干质量、茎干质量、叶干质量以及根干质量占总干质量的比例等指标的差异显著 ( $P<0.05$ ), 见表 3。

## 2.3 不同处理蒙古栎压条苗的生根特性

不同处理蒙古栎压条苗的生根率均值为 7.4%, 最大值为 26<sup>#</sup>处理, 达到 27.6%, 14<sup>#</sup>~16<sup>#</sup>、20<sup>#</sup>~22<sup>#</sup>生根率均为 0, 两者相差 27.6%; 偏根率均

表3 不同处理蒙古栎压条苗生物量指标

Tab. 3 Biomass indexes of *Quercus mongolica* layering seedlings under different treatments

处理 Treatment	根生物量 Root biomass		茎生物量 Stem biomass		叶生物量 Leaf biomass		单株生物量 Individual biomass
	干质量/g Dry weight	占比(%) Proportion	干质量/g Dry weight	占比(%) Proportion	干质量/g Dry weight	占比(%) Proportion	干质量/g Dry weight
1 <sup>#</sup>	0.11±0.03b	0.59±0.16c	12.10±2.50bc	52.28±6.05a	16.30±7.60ab	47.14±6.14a	32.00±8.30abcd
2 <sup>#</sup>	0.13±0.04b	0.46±0.15c	19.00±4.10abc	63.16±1.56a	11.20±2.70ab	36.38±1.68a	30.30±6.80abcd
3 <sup>#</sup>	0.19±0.06ab	0.64±0.18c	19.60±4.00abc	58.95±4.08a	12.50±1.90ab	40.40±4.11a	32.30±5.30abcd
4 <sup>#</sup>	0.16±0.07b	0.97±0.42bc	14.80±2.70abc	55.70±1.58a	11.00±1.70ab	43.33±1.47a	25.90±4.30abcd
5 <sup>#</sup>	0.14±0.05b	0.84±0.33bc	23.70±9.00ab	59.40±2.71a	14.90±5.40ab	39.76±2.61a	44.30±15.40ab
6 <sup>#</sup>	0.15±0.07b	1.12±0.49bc	8.00±1.30bc	56.60±2.98a	5.90±0.90ab	42.28±3.27a	14.10±2.00bcd
7 <sup>#</sup>	0.16±0.06b	4.19±1.78a	3.10±1.10c	51.92±1.80a	2.60±0.90b	43.89±2.71a	5.80±1.90d
8 <sup>#</sup>	0.13±0.03b	0.60±0.11c	15.10±6.90abc	55.45±3.22a	11.10±4.00ab	43.95±3.22a	26.30±10.70abcd
9 <sup>#</sup>	0.12±0.12b	0.41±0.37c	16.90±5.40abc	59.52±0.92a	11.30±3.40ab	40.06±0.59a	28.40±8.80abcd
10 <sup>#</sup>	0.08±0.04b	0.96±0.67bc	8.30±3.40bc	53.32±2.49a	6.50±2.40ab	45.73±1.93a	14.90±5.80bcd
11 <sup>#</sup>	0.25±0.03ab	1.53±0.22bc	10.00±2.30bc	57.43±1.59a	6.90±1.20ab	41.05±1.54a	17.10±3.50bcd
12 <sup>#</sup>	0.12±0.05b	0.37±0.23c	23.50±10.40ab	58.60±4.00a	14.30±6.40ab	41.04±4.04a	37.80±16.60abc
13 <sup>#</sup>	0.61±0.36a	2.44±0.72ab	12.60±3.70bc	59.75±1.36a	7.60±1.80ab	37.80±1.64a	20.80±5.90abcd
17 <sup>#</sup>	0.42±0.29ab	1.53±0.86bc	16.20±4.30abc	60.70±1.80a	10.20±2.90ab	37.77±2.23a	26.70±7.30abcd

续表 3

处理 Treatment	根生物量 Root biomass		茎生物量 Stem biomass		叶生物量 Leaf biomass		单株生物量 Individual biomass
	干质量/g Dry weight	占比(%) Proportion	干质量/g Dry weight	占比(%) Proportion	干质量/g Dry weight	占比(%) Proportion	干质量/g Dry weight
18 <sup>#</sup>	0.30±0.15ab	3.44±2.01ab	6.20±1.60bc	53.41±1.96a	4.90±1.40ab	43.15±3.69a	11.40±3.00cd
19 <sup>#</sup>	0.10±0.07b	0.43±0.25c	16.30±3.20abc	58.62±2.18a	11.50±2.60ab	40.96±2.13a	28.00±5.70abcd
23 <sup>#</sup>	0.18±0.08ab	0.73±0.35bc	13.40±0.60abc	54.20±1.32a	11.20±0.70ab	45.07±1.63a	24.80±1.00abcd
24 <sup>#</sup>	0.29±0.13ab	0.58±0.14c	24.90±6.20ab	60.15±0.85a	16.30±3.90ab	39.27±0.83a	41.40±10.20abc
25 <sup>#</sup>	0.27±0.12ab	0.67±0.12c	22.50±8.00ab	59.20±1.79a	15.30±5.20ab	40.13±1.78a	38.20±13.30abc
26 <sup>#</sup>	0.28±0.09ab	0.52±0.13c	31.80±4.30a	61.61±0.93a	19.30±2.10a	37.87±1.02a	51.30±6.50a
平均 Average	0.21	1.20	15.70	57.2	11.20	41.60	27.70

值为 80.6%,最大值为 6<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>、10<sup>#</sup>和 12<sup>#</sup>,均为 100%,最小值为 13<sup>#</sup>,仅为 38.8%;最长根长均值为 11.6 cm,最大值为 13<sup>#</sup>处理,达到 16.7 cm,最小值为 9<sup>#</sup>处理,为 7.7 cm,两者相差 9 cm;最长根粗均值为 1.6 mm,最大值为 6<sup>#</sup>处理,达到 2.4 mm,最小值为 9<sup>#</sup>处理,为

1.0 mm,两者相差 1.4 mm;根数均值为 2.9 条,最大值为 13<sup>#</sup>处理号,达到 7.1 条,最小值为 10<sup>#</sup>处理,为 1.3 条,两者相差 5.8 条。方差分析表明,不同处理间蒙古栎压条苗的生根率、偏根率、生根数量、最长根长和最长根粗差异极显著( $P<0.01$ ),见表 4。

表 4 不同处理蒙古栎压条苗的生根指标

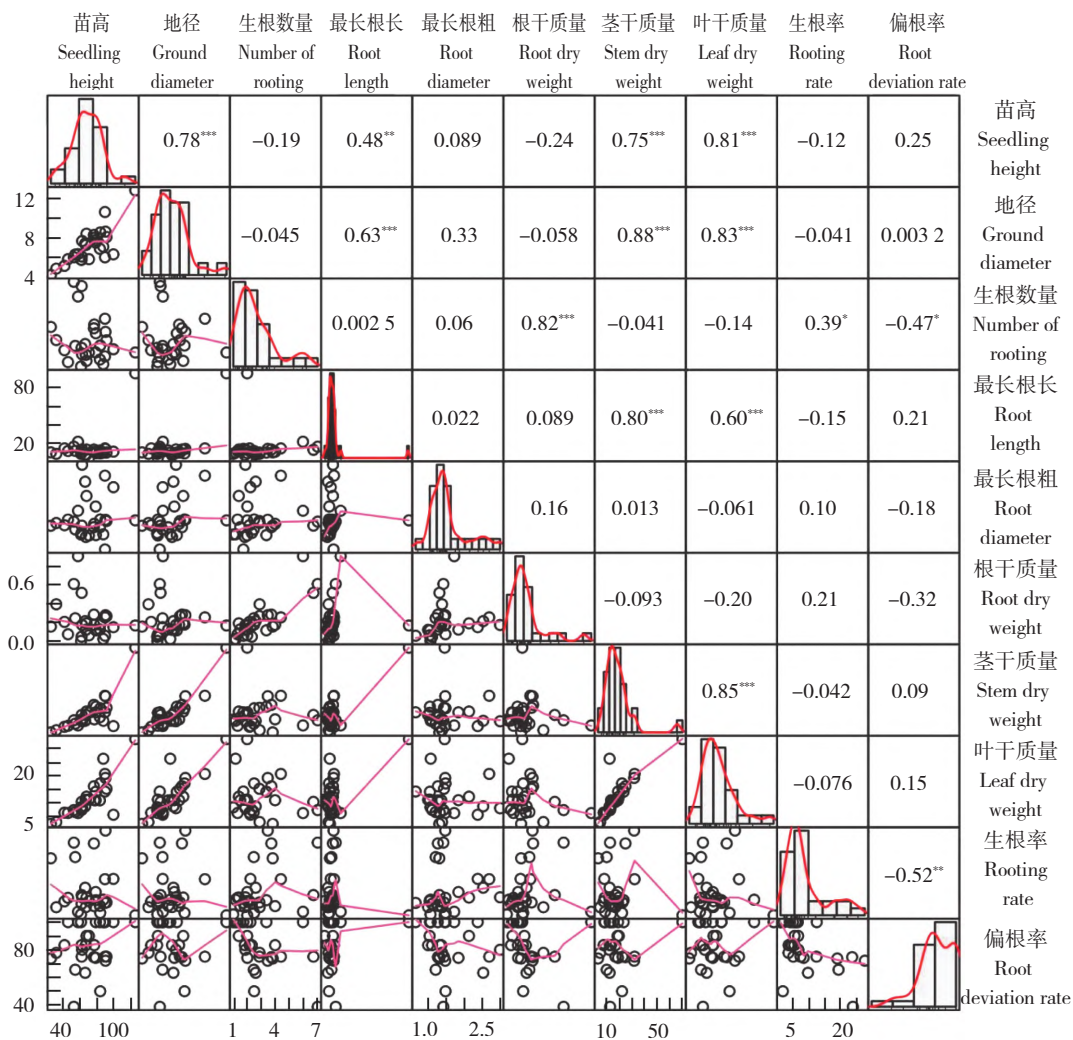
Tab. 4 Rooting indexes of *Quercus mongolica* layering seedlings under different treatments

处理 Treatment	生根率(%) Rooting rate	偏根率(%) Root deviation rate	生根数量/条 Number of rooting	最长根长/cm Longest root length	最长根粗/mm Longest root diameter
1 <sup>#</sup>	6.5±1.5de	88.9±11.1a	1.6±0.3c	12.2±1.1ab	2.1±0.4ab
2 <sup>#</sup>	8.5±2.4cde	74.2±10.6ab	2.0±0.4bc	9.8±0.8ab	1.8±0.3abc
3 <sup>#</sup>	6.8±1.2cde	90.0±10.0a	1.4±0.2c	13.7±2.5ab	2.1±0.2ab
4 <sup>#</sup>	7.7±1.6cde	77.1±13.0ab	2.3±0.5bc	10.7±1.5ab	1.8±0.4abc
5 <sup>#</sup>	8.2±2.2cde	84.4±10.5ab	2.9±0.8bc	8.5±2.1b	1.7±0.3abc
6 <sup>#</sup>	12.6±2bcd	100.0±0a	2.2±0.4bc	11.4±3.6ab	2.4±0.3a
7 <sup>#</sup>	19.0±3.8ab	73.7±7.0ab	3.8±0.8abc	10.6±1.1ab	1.3±0.1abc
8 <sup>#</sup>	4.2±1.3e	100.0±0a	1.5±0.4c	12.8±0.5ab	1.3±0.2bc
9 <sup>#</sup>	3.8±1.8ef	83.3±16.7ab	1.8±0.8bc	7.7±1.9b	1.0±0c
10 <sup>#</sup>	6.7±2.3de	100.0±0a	1.3±0.2c	12.1±2.2ab	1.5±0.2abc
11 <sup>#</sup>	19.4±7.1abc	65.6±12.8ab	2.5±0.7bc	12.2±1.0ab	1.2±0.2bc
12 <sup>#</sup>	5.9±2.1de	100.0±0a	3.4±1.2abc	10.4±2.5ab	1.1±0.1bc
13 <sup>#</sup>	23.8±6.7ab	38.8±7.7b	7.1±1.6a	16.7±2.4a	1.4±0abc
14 <sup>#</sup>	0±0f				
15 <sup>#</sup>	0±0f				
16 <sup>#</sup>	0±0f				
17 <sup>#</sup>	4.5±1.8ef	80.0±20.0ab	5.6±3.6ab	12.5±1.8ab	1.3±0.3bc
18 <sup>#</sup>	4.7±1.5ef	80.6±12.5ab	2.5±0.9bc	12.0±2.5ab	1.4±0.2abc
19 <sup>#</sup>	3.4±1.2ef	70.0±20.0ab	2.4±0.6bc	10.3±2.5ab	1.3±0.2bc
20 <sup>#</sup>	0±0f				
21 <sup>#</sup>	0±0f				
22 <sup>#</sup>	0±0f				
23 <sup>#</sup>	4.1±1.9ef	83.3±16.7ab	4.0±1.2abc	11.2±4.5ab	1.4±0.3abc
24 <sup>#</sup>	23.6±3.2ab	74.7±11.4ab	3.7±1.1abc	13.7±1.5ab	1.3±0.2bc
25 <sup>#</sup>	5.3±1.7de	75.0±25.0ab	2.9±0.8bc	10.4±1.3ab	1.4±0.1abc
26 <sup>#</sup>	27.6±3.1a	72.1±7.6ab	3.5±0.7abc	14.4±2.3ab	1.5±0.2abc
平均 Average	7.4	80.6	2.9	11.6	1.6

2.4 不同处理下各生长指标间的相关性分析

苗高与地径、最长根长、茎干质量和叶干质量呈极显著正相关( $P < 0.01$ );地径与苗高、最长根长、茎干质量、叶干质量呈极显著正相关( $P < 0.01$ );生根数量与根干质量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与生根率呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与偏根率呈显著负相关( $P < 0.05$ );最长根长与苗高、地径、茎干质量、叶干质量呈极显著正相关( $P < 0.01$ );最长根粗与其他指标无显著相关性;根干质量与生根数量呈极显著正相关( $P < 0.01$ );茎干质量与苗高、地径、最长根

长、叶干质量呈极显著正相关( $P < 0.01$ );叶干质量与苗高、地径、最长根长、茎干质量呈极显著正相关( $P < 0.01$ );生根率与生根数量呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与偏根率呈极显著负相关( $P < 0.01$ );偏根率与生根数量呈显著负相关( $P < 0.05$ ),与生根率呈显著负相关( $P < 0.05$ )。上述研究结果表明,生长量各指标之间、生物量各指标之间及生长量指标与生物量指标之间相关性较强;生根性状各指标之间相关性较强,而与生长量指标、生物量指标间相关性较弱,如图1所示。



\*\*\* 表示在 0.001 水平上显著相关; \*\* 表示在 0.01 水平上显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

\*\*\* indicates a significant correlation at the 0.001 level; \*\* indicates a significant correlation at the 0.01 level; \* indicates a significant association at the 0.05 level.

图1 蒙古栎压条苗生长量、生物量、生根情况各指标间 Pearson 相关分析结果

Fig. 1 Pearson correlation analysis results of growth, biomass and rooting of *Quercus mongolica* layering seedlings

## 2.5 基于隶属函数的最佳处理筛选

不同外源生长物质种类和质量浓度、压条基质和压条方式均影响蒙古栎压条苗的生长量、生物量和生根性状,采用某一个指标评价蒙古栎压条效果具有局限性。因此,本研究采用主成分分析和隶属函数值法对不同压条处理效果进行综合评价。对蒙古栎压条苗的苗高、地径、根干质量、茎干质量、叶干质量、偏根率、根数、最长根长和最长根粗9个指标进行主成分分析,结果表明,根据特征值 $\geq 1$ 确定本试验的主成分为3个,贡献率分别为32.705%、25.186%、13.227%,累积贡献率为71.118%,选取这3个主成分来反映蒙古栎压条育苗效果,见表5。

表5 蒙古栎压条育苗的各指标主成分分析

Tab.5 Principal component analysis of each index of *Quercus mongolica* layering seedling cultivation

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率(%) Contribution rate	累积贡献率(%) Cumulative contribution rate
$F_1$	2.943	32.705	32.705
$F_2$	2.267	25.186	57.891
$F_3$	1.190	13.227	71.118

第1主成分为最重要的主成分,特征向量中荷载较高的为茎干质量、地径、叶干质量和苗高;第2主成分荷载较高的是根数、偏根率、根干质量和根长;第3主成分荷载较高的是根粗。各主成分的表达式为

$$F_1 = 0.698X_1 + 0.877X_2 + 0.381X_3 + 0.913X_4 + 0.77X_5 - 0.122X_6 + 0.223X_7 + 0.212X_8 + 0.081X_9 \quad (2)$$

$$F_2 = -0.264X_1 - 0.173X_2 + 0.68X_3 - 0.141X_4 - 0.263X_5 - 0.748X_6 + 0.809X_7 + 0.633X_8 + 0.035X_9 \quad (3)$$

$$F_3 = -0.146X_1 + 0.214X_2 + 0.069X_3 - 0.052X_4 - 0.174X_5 + 0.206X_6 - 0.257X_7 + 0.363X_8 + 0.919X_9 \quad (4)$$

式中: $X_1$ 为苗高; $X_2$ 为地径; $X_3$ 为根干质量; $X_4$ 为茎干质量; $X_5$ 为叶干质量; $X_6$ 为偏根率; $X_7$ 为根数; $X_8$ 为根长; $X_9$ 为根粗。

采用模糊数学中的隶属函数法,选取与蒙古栎压条育苗相关的3个主成分,对26个压条处理指标进行隶属函数值( $U$ )评价, $U$ 越大,表明蒙古栎压条苗生长效果最好,见表7。根据主成分分析贡献率, $U = 0.460U_1 + 0.354U_2 + 0.186U_3$ ,式中, $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 分

别为3个主成分的隶属函数值。最后对蒙古栎压条育苗生根效果进行综合评价,生根率的权重占50%,其他指标的权重共占50%,结果表明,平均隶属函数值排序前5名分别为26#处理、13#处理、24#处理、11#处理和7#处理,这5个处理的平均苗高、地径、根干质量、茎干质量、叶干质量、生根率、偏根率、根数、根长和根粗分别为60.18 cm、6.7 mm、0.318 g、16.48 g、10.54 g、22.68%、64.98%、4.12条、13.52 cm和1.34 mm,分别为参试处理均值的0.87、0.96、1.51、1.05、0.94、3.06、0.81、1.42、1.17、0.84倍,见表6。

## 3 结论与讨论

以往研究表明,压条繁殖技术在植物无性繁殖中的应用并不广泛,开展相关研究较多的树种主要有榛子<sup>[3]</sup>、苹果(*Malus*)<sup>[9]</sup>、荔枝(*Litchi chinensis*)<sup>[10]</sup>、闽楠(*Phoebe bournei*)<sup>[11]</sup>和银杏(*Ginkgo biloba*)<sup>[12]</sup>等树种。在这些树种的压条繁育技术研究中,评价压条是否成功的指标较单一,多以一个或者一类指标作为评价指标,如高美娜等<sup>[9]</sup>开展的绞缢对苹果矮化砧压条生根及相关生理指标的影响研究中,仅采用了生根率作为绞缢与对照在生根方面差异的评价指标。王克瀚等<sup>[3]</sup>开展的不同基质对平欧杂种榛压条繁殖苗木影响研究中使用了苗高和地径等指标作为评价指标。郑雨盼等<sup>[11]</sup>在研究常用促根生长调节剂对闽楠高空压条生根的影响研究中使用了生根率、根生物量等指标作为评价指标。单一指标或者单独一类指标无法科学、全面地评价一个树种的压条繁育技术。在以往研究中,采用苗木生长量、生物量及根系性状来综合评价苗木品质的较少<sup>[13-15]</sup>。本研究在选择评价指标体系时,既选择决定蒙古栎压条繁育技术是否成功的关键性指标,即生根性状指标,其中又包含生根率、偏根率、根长、最长根数和最长根粗等重要指标;又选择了与苗木品质相关的生长量和生物量指标,其中又包含了苗高、地径、高径比、叶干质量、茎干质量、根干质量和单株生物量等指标。本研究结果表明,不同处理对生根性状、生长量和生物量的影响是不同的,如6#处理,其生根率、根长、根粗和根数指标较好,生根率和根粗分别是参试处理均值的1.7倍和1.5倍,根数和最长根长指标也接近参试处理的均值;但是,其压条苗的根干质量、茎干质量、叶干

质量和单株生物量分别只有 0.15、8.5、9.14、1.1 g,均低于参试处理均值,参试处理均值分别是 6#处理的 1.4、1.96、1.9、1.96 倍。这一结果表明,如果单独选择生根性状作为评价指标,6#处理可能是较优处

理,而如果单独选择生物量作为评价指标,其却不是较优处理。本研究采用多指标体系对蒙古栎压条不同处理进行比较,可以较系统地评价出不同处理的优劣。

表 6 蒙古栎压条繁殖不同处理的综合评价

Tab. 6 Comprehensive evaluation of different treatments for layering propagation of *Querena mongolica*

处理 Treatment	生根率隶属函数值 Rooting rate membership function value	生长发育指标隶属函数值 Growth and development index membership function value				综合评价 Comprehensive evaluation	排名 Sorting
		$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U$		
1	0.23	0.13	0.04	0.05	0.08	0.16	12
2	0.31	0.14	0.06	0.03	0.09	0.20	7
3	0.25	0.15	0.07	0.05	0.11	0.18	10
4	0.28	0.12	0.11	0.03	0.10	0.19	9
5	0.30	0.16	0.03	0.02	0.08	0.19	8
6	0.46	0.09	0.05	0.05	0.07	0.26	6
7	0.69	0	0.29	0.01	0.10	0.40	5
8	0.15	0.12	0.02	0.02	0.06	0.11	18
9	0.14	0.11	0	0	0.05	0.09	20
10	0.24	0.05	0.05	0.03	0.05	0.14	15
11	0.70	0.08	0.25	0.01	0.13	0.41	4
12	0.22	0.16	0.02	0	0.08	0.15	14
13	0.86	0.12	0.70	0.01	0.31	0.59	2
14	0					0	21
15	0					0	21
16	0					0	21
17	0.16	0.12	0.35	0.01	0.18	0.17	11
18	0.17	0.04	0.26	0.02	0.11	0.14	16
19	0.12	0.11	0.11	0.01	0.09	0.11	19
20	0					0	21
21	0					0	21
22	0					0	21
23	0.15	0.13	0.15	0.02	0.12	0.13	17
24	0.86	0.19	0.21	0.01	0.16	0.51	3
25	0.19	0.18	0.11	0.01	0.12	0.16	13
26	1.00	0.23	0.18	0.02	0.17	0.59	1

采用多个指标对蒙古栎压条处理进行综合评价,可较全面地评价各处理的优劣,但也出现了如何将这些指标进行综合评价的问题。同时,研究也表明,生长量各指标之间、生物量各指标之间及生长量指标与生物量指标之间相关性较强;生根性状指标各指标之间相关性较强,而与生长量指标、生物量指标间相关性较弱。说明各指标间具有一定

的独立性。因此,选择一个适宜的计算方法对这些指标进行综合评价显得尤为重要。以往研究表明,隶属函数法可较好地多指标进行平衡,在实践中也有较多应用<sup>[16-18]</sup>,如:徐珊珊等<sup>[8]</sup>研究 IAA 和 NAA 对降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)扦插繁殖的影响中采用主成分和隶属函数值综合评价出处理 12、16、5、11 为较优处理,生根率分别为 96.10%、97.66%、

96.10%、96.88%;李晓欣等<sup>[19]</sup>研究不同处理对4种榆属(*Ulmus*)植物嫩枝扦插生根的影响中采用隶属函数值综合判断出处理4为最优处理,生根率和根系效果指数分别为78.7%和0.019;孔雨光等<sup>[20]</sup>研究基质和生长调节剂对紫椴(*Tilia amurensis*)嫩枝扦插的影响中采用隶属函数法对各指标进行综合分析,5号处理的隶属函数值最大,生根率最高,达到90.33%,且根系数量、最大根长及根幅适当,是紫椴嫩枝扦插的最佳处理。因此,本研究采用隶属函数值法对不同处理进行排序,最终筛选出26<sup>#</sup>处理、13<sup>#</sup>处理、24<sup>#</sup>处理、11<sup>#</sup>处理和7<sup>#</sup>处理5个处理为蒙古栎压条繁殖较优处理,其中,26<sup>#</sup>(基质采用河沙和园土混合土,压条方式采用直立压条,同时使用铁丝进行横缢,外源激素采用2000 mg/L吲哚丁酸钾)处理的生根率、偏根率、根数、根长和根粗等生根性状分别为27.6%、72.1%、3.5条、14.4 cm和1.5 mm,除根粗指标外,其他指标均优于参试处理均值,生根率、根数和根长分别是参试处理均值的3.73、1.21、1.24倍;其苗高和地径等生长量指标分别为90.2 cm和8.7 mm,分别是参试处理均值的1.3倍和1.24倍;其根干质量、茎干质量、叶干质量和单株生物量分别为0.28、31.8、19.3、51.3 g,分别是参试处理均值的1.33、2.03、1.72、1.85倍。

综上所述,基于隶属函数综合评价法筛选试验中最优组合为26<sup>#</sup>,基质采用河沙和园土等体积比混合基质,压条方式采用直立压条,同时使用铁丝进行横缢,外源生长物质采用IBA-K(2000 mg/L)。

### 【参 考 文 献】

- [1] 黄秦军,李文文,丁昌俊. 蒙古栎嫩枝扦插繁殖技术研究[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(1): 27-33.  
HUANG Q J, LI W W, DING C J. Study on cuttage propagation techniques of *Quercus mongolica* with softwood cuttings[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2013, 33(1): 27-33.
- [2] 李奎全,王君,许延国,等. 蒙古栎嫁接技术[J]. 吉林林业科技, 2019, 48(2): 7-10.  
LI K Q, WANG J, XU Y G, et al. Grafting technology of *Quercus mongolica* [J]. Journal of Jilin Forestry Science and Technology, 2019, 48(2): 7-10.
- [3] 王克瀚,张悦,郝家臣,等. 不同基质对平欧杂种榛压条繁殖苗木影响分析[J]. 辽宁林业科技, 2020(1): 46-47.  
WANG K H, ZHANG Y, HAO J C, et al. Influence of different substrate material on layering propagation of *Corylus heterophylla* × *C. avellana* [J]. Liaoning Forestry Science and Technology, 2020(1): 46-47.
- [4] 张海旺,王洪江,马艳丽,等. 红醋栗压条繁殖效果研究[J]. 辽宁林业科技, 2018(1): 34-36.  
ZHANG H W, WANG H J, MA Y L, et al. Study on propagation effect of red gooseberry layering [J]. Liaoning Forestry Science and Technology, 2018(1): 34-36.
- [5] 葛萌,程平,李宏,等. 欧洲椴树分段压条繁殖技术的研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(15): 104-109.  
GE M, CHENG P, LI H, et al. Sectional layering propagation technology of *Tilia europaea* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(15): 104-109.
- [6] 王文勋,邢学一. 兴安圆柏压条繁殖技术的研究[J]. 河北林业科技, 2008(5): 7-8.  
WANG W X, XING X Y. Study on layering propagation technology of *Sabina vulgaris* in Xing'an [J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2008(5): 7-8.
- [7] 颜廷武,冯健,马悦. 蒙古栎压条育苗技术[J]. 辽宁林业科技, 2021(1): 75-76.  
YAN T W, FENG J, MA Y. Layering technique of *Quercus mongolica* [J]. Liaoning Forestry Science and Technology, 2021(1): 75-76.
- [8] 徐珊珊,刘小金,徐大平,等. IAA和NAA对降香黄檀扦插繁殖的影响[J]. 林业科学研究, 2021, 34(5): 168-176.  
XU S S, LIU X J, XU D P, et al. Influence of IAA and NAA on cutting propagation of *Dalbergia odorifera* [J]. Forest Research, 2021, 34(5): 168-176.
- [9] 高美娜,赵清,孙明飞,等. 绞缢对‘冀站2号’苹果矮化砧压条生根及相关生理指标的影响[J]. 山东农业科学, 2022, 54(2): 57-62.  
GAO M N, ZHAO Q, SUN M F, et al. Effects of strangulation on layering rooting and related physiological characters of Jizhen 2 apple dwarfing rootstock [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(2): 57-62.
- [10] 严荣斌,卢晨升,蒙海勤,等. 桂味荔枝圈枝压条生根试验初报[J]. 南方园艺, 2022, 33(3): 35-37.  
YAN R B, LU C S, MENG H Q, et al. Preliminary report on rooting experiment of ring-branch layering of Guiwei荔枝 [J]. Southern Horticulture, 2022, 33(3): 35-37.
- [11] 郑雨盼,杨锦昌,邹文涛,等. 常用促根生长调节剂对闽楠高空压条生根的影响[J]. 热带作物学报, 2020, 41(9): 1803-1807.  
ZHENG Y P, YANG J C, ZOU W T, et al. Effects of rooting plant growth regulators on rooting of air-layers of *Phoebe bournei* [J]. Chinese Journal of Tropical Crops,

- 2020, 41(9): 1803-1807.
- [12] 朱李奎,何青松,马开骠,等.生根粉浓度和环剥宽度对银杏高空压条生根的影响[J].经济林研究,2017,35(4):236-241.  
ZHU L K, HE Q S, MA K B, et al. Effects of rooting powder concentration and girdling width on shoot rooting during *Ginkgo biloba* air layering [J]. Nonwood Forest Research, 2017, 35(4): 236-241.
- [13] 王妍,冯金玲,吴小慧,等.施肥对闽楠根系形态及苗木质量的调控作用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(10):44-56.  
WANG Y, FENG J L, WU X H, et al. Effects of fertilization on root morphology and seedling quality of *Phoebe bournei* [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2022, 50(10): 44-56.
- [14] 李贵芬,江敏,李昕蔓,等.无纺布容器高度对蒙古栎幼苗生长的影响[J].河北林业科技,2022(1):37-41.  
LI G F, JIANG M, LI X M, et al. Effect of container height of non-woven fabric on the quality of *Quercus mongolica* seedlings [J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2022(1): 37-41.
- [15] 陆秀君,李宏祎,艾万峰,等.容器规格、基质配比和缓释肥对蒙古栎容器苗质量的影响[J].东北林业大学学报,2020,48(7):17-22.  
LU X J, LI H Y, AI W F, et al. Effects of container size, matrix ratio and slow/controlled release fertilizer on container seedling of *Quercus mongolica* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(7): 17-22.
- [16] 南吉斌,杨广环,吴天彧,等.西藏3种沙棘属植物抗旱性比较研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(1):37-47.  
NAN J B, YANG G H, WU T Y, et al. Comparison of drought resistance of three Hippophae species in Tibet [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2021, 49(1): 37-47.
- [17] 张艳福,姚卫杰,郭其强,等.干旱胁迫对砂生槐种子萌发和幼苗生长的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(10):45-56.  
ZHANG Y F, YAO W J, GUO Q Q, et al. Effect of drought stress on seed germination and seedling growth of *Sophora moorcroftiana* [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2015, 43(10): 45-56.
- [18] 王情世,樊军锋,周永学,等.2个杨树新无性系叶片的旱生结构研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(5):45-49,56.  
WANG Q S, FAN J F, ZHOU Y X, et al. Research on drought resistance on anatomical structure of leaves of two new poplar clones [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2012, 40(5): 45-49, 56.
- [19] 李晓欣,常金宝,柴楠,等.不同处理对4种榆属植物嫩枝扦插生根的影响[J].中南林业科技大学学报,2018,38(5):65-69.  
LI X X, CHANG J B, CHAI N, et al. Effects of different treatments on softwood cutting propagation of four species of *Ulmus* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2018, 38(5): 65-69.
- [20] 孔雨光,燕丽萍,吴德军,等.基质和生长调节剂对紫椴嫩枝扦插的影响[J].中南林业科技大学学报,2020,40(6):25-33.  
KONG Y G, YAN L P, WU D J, et al. Effects of substrate and growth regulator on softwood cutting of *Tilia amurensis* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(6): 25-33.