

衡阳市紫色土区金槐嫁接育苗及高效栽培技术研究

龙姣春^{1*}, 曹沁洋¹, 宁 波¹, 付平国², 周仁飞¹, 苏 都¹, 尹维亚¹

¹衡阳市林业科学研究所, 湖南 衡阳

²衡阳县华盛达农林科技有限公司, 湖南 衡阳

收稿日期: 2025年11月10日; 录用日期: 2025年12月29日; 发布日期: 2026年1月5日

摘要

为破解衡阳紫色土区金槐嫁接成活率低、栽培产量不稳定及土壤贫瘠等产业瓶颈, 以金槐优良品种(桂G9-1、桂G9-2)为研究对象, 在衡阳县西渡镇陡岭村试验基地开展系列田间试验, 系统探究嫁接育苗关键技术及紫色土栽培优化措施。通过设置基质类型、砧木密度、嫁接时间与接穗年龄等育苗试验, 以及种植密度、追肥模式、冬季修剪时间等栽培试验, 分析各处理对金槐嫁接成活率、植株生长量及槐米鲜质量的影响。结果表明: ①沙质壤土(黄心土:河沙 = 1:1)是国槐砧木育苗的最优基质, 砧木适宜保留密度为株行距10 cm × 25 cm (40株/m²); ②金槐枝接以3月采用1年生接穗成活率最高(96.7%), 芽接最佳时间为春季3月与秋季10月(成活率均达97%以上); ③紫色土栽培中, 土层厚度 < 30 cm、30~50 cm、>50 cm时, 适宜种植密度分别为2.5 m × 3 m、3 m × 3.5 m、3.5 m × 3.5 m; ④最优追肥方案为尿素0.2 kg/株 + 复合肥(N:P:K = 15:15:15)0.3 kg/株, 成年树冬季修剪最佳时间为2月。研究明确了衡阳紫色土区金槐嫁接育苗与高效栽培的关键技术参数, 为当地金槐产业提质增效及生态经济型林业发展提供科学依据与技术支撑。

关键词

金槐, 嫁接育苗, 高效栽培, 紫色土, 衡阳市

Study on Grafting and Seedling-Raising and High-Efficiency Cultivation Techniques of *Sophora japonica* cv. Jinhuai in the Purple Soil Area of Hengyang City

Jiaochun Long^{1*}, Qinyang Cao¹, Bo Ning¹, Pingguo Fu², Renfei Zhou¹, Du Su¹, Weiya Yin¹

*第一作者。

文章引用: 龙姣春, 曹沁洋, 宁波, 付平国, 周仁飞, 苏都, 尹维亚. 衡阳市紫色土区金槐嫁接育苗及高效栽培技术研究[J]. 林业世界, 2026, 15(1): 113-122. DOI: 10.12677/wjf.2026.151014

¹Hengyang Forestry Science Institute, Hengyang Hunan

²Hengyang County Huashengda Agriculture and Forestry Technology Co., Ltd., Hengyang Hunan

Received: November 10, 2025; accepted: December 29, 2025; published: January 5, 2026

Abstract

To address the industrial bottlenecks in the purple soil area of Hengyang, such as low grafting survival rate of *Sophora japonica* cv. Jinhuai, unstable cultivation yield, and poor soil fertility, a series of field experiments were conducted at the experimental base in Douling Village, Xidu Town, Hengyang County, with elite *S. japonica* varieties (Gui G9-1 and Gui G9-2) as the research objects. The study systematically explored the key technologies for grafting and seedling-raising, as well as the optimized cultivation measures for *S. japonica* in purple soil. Seedling-raising experiments (including different substrate types, rootstock densities, grafting times, and scion ages) and cultivation experiments (including different planting densities, topdressing modes, and winter pruning times) were designed to analyze the effects of various treatments on the grafting survival rate of *S. japonica*, plant growth, and fresh weight of Huaimi (flower buds of *S. japonica*). The results showed that: 1) Sandy loam (yellow subsoil:river sand = 1:1) was the optimal substrate for raising rootstocks of *S. japonica* (rootstock for Jinhuai), and the suitable rootstock retention density was 40 plants/m² with a plant-row spacing of 10 cm × 25 cm; 2) For branch grafting of *S. japonica*, the highest survival rate (96.7%) was achieved when using 1-year-old scions in March, while the optimal times for bud grafting were March (spring) and October (autumn), with survival rates both exceeding 97%; 3) In purple soil cultivation, the suitable planting densities were 2.5 m × 3 m, 3 m × 3.5 m, and 3.5 m × 3.5 m when the soil layer thickness was <30 cm, 30~50 cm, and >50 cm, respectively; 4) The optimal top-dressing scheme was 0.2 kg urea per plant + 0.3 kg compound fertilizer (N:P:K = 15:15:15) per plant, and the best time for winter pruning of mature *S. japonica* trees was February. This study clarified the key technical parameters for *S. japonica* grafting, seedling-raising, and high-efficiency cultivation in the purple soil area of Hengyang, providing a scientific basis and technical support for improving the quality and efficiency of the local *S. japonica* industry and the development of eco-economic forestry.

Keywords

Sophora japonica cv. Jinhuai, Grafting and Seedling-Raising, High-Efficiency Cultivation, Purple Soil, Hengyang City

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金槐(*Sophora japonica* cv. jinhuai)是从豆科植物槐树中选育出的优良栽培品种，槐米颜色金黄，故名为金槐[1]。金槐含有丰富的芦丁，其质量分数可达 20%~40%，是河南、山西等地出产的白槐、青槐、黄槐的 1~2 倍，远远高于 2020 年版《中华人民共和国药典》(简称《中国药典》)中槐米 15% 的芦丁含量限度[2]；金槐主产于广西桂北、湘南地区。槐米为豆科植物槐的花朵或花酱，夏季花未开前采收其花蕾，称为“槐米”。槐米的功能主治：凉血止血，清肝降火。主治肠风便血，痔血，尿血，血淋，崩漏，赤白痢，目赤，疮毒，高血压等病症[3]。金槐根系相当发达，耐旱抗瘠薄，是紫色土适生树种，因此，在衡

阳紫色土地区种植金槐具有良好的经济效益、生态效益和社会效益[4] [5]。

本研究针对衡阳地区紫色土存在的土壤贫瘠、经济产出低及生态环境脆弱等突出问题，于2015年我们从广西全州引进了金槐优良品种，系统探究了嫁接时间、嫁接方式与接穗选择对金槐嫁接成活率的影响，以及种植密度、追肥处理、地表覆盖和冬季修剪时间对金槐植株生长量与槐米鲜质量的作用。研究旨在为衡阳紫色土区金槐产业的高效发展提供可靠的技术支撑。

2. 材料与方法

2.1. 试验区概况

试验地设在湖南省衡阳市衡阳县，属亚热带季风气候，温暖湿润，雨水集中、春暖多变、夏秋多旱、冬寒期短、暑热期长的特征，年降水量1452 mm，年平均气温17.9℃左右，1月平均气温4.6℃，7月平均气温30.3℃。土壤为紫色土，pH值7。

2.2. 供试材料

- (1) 育苗：选取金槐优良植株的1年生或2年生生长健壮的枝条作为接穗，以一年生国槐种子苗作为嫁接砧木。
- (2) 栽培品种：金槐桂G9-1，金槐桂G9-2，栽培苗木为2年生嫁接容器苗[6]。
- (3) 肥料种类：尿素(总氮含量>46%)、复合肥(N:P:K=15:15:15)。

2.3. 试验方法

2.3.1. 试验设计

- (1) 苗床播种基质对比试验
以育苗基质为处理因子，设置3个处理组：① 黄心土(新鲜未种植)；② 沙质壤土(黄心土：河沙=1:1，体积比)；③ 园土。苗床宽度为2 m，统一常规田间管理，测定种子发芽保存率及苗木生长指标。随机区组设计，3次重复。
- (2) 砧木保存密度对比试验
随机区组设计，3次重复。区组为不同密度，分别为：株行距为8 cm×25 cm，10 cm×25 cm，12 cm×25 cm，5 cm×35 cm，8 cm×35 cm，10 cm×35 cm。
- (3) 枝接时间对比试验
随机区组设计，3次重复区组。嫁接时间分别为：春季2月中旬，春季3月，春季4月，夏季5月，统一采用1年生接穗进行枝接，每小区50株，测定嫁接成活率及新梢生长指标。
- (4) 枝接接穗年龄对比试验
随机区组设计，以接穗年龄为处理因子，设置2个梯度：1年生枝条、2年生枝条。统一于春季3月进行枝接，每小区50株，对比不同年龄接穗对嫁接效果的影响。
- (5) 芽接时间对比试验
随机区组设计，3次重复，区组为嫁接时间，分别为：秋季10月中旬，春季3月，春季4月，夏季5月。均采用1年生枝条，每小区为50株[7] [8]。
- (6) 土层厚度和栽培密度协同试验
采用双因素试验设计，以土层厚度和栽植密度为处理因子。土层厚度设置3个梯度：<30 cm、30~50 cm、>50 cm；栽植密度设置5个梯度：株行距2.5 m×3 m、3 m×3 m、3 m×3.5 m、3.5 m×3.5 m、3.5 m×4 m。不同土层厚度对应设置3个针对性密度处理：① 土层<30 cm：2.5 m×3 m、3 m×3 m、3 m

$\times 3.5\text{ m}$; ② 土层 30~50 cm: $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 、 $3\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ 、 $3.5\text{ m} \times 3.5\text{ m}$; ③ 土层 > 50 cm: $3\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ 、 $3.5\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ 、 $3.5\text{ m} \times 4\text{ m}$, 测定植株保存率、生长量及槐米鲜质量。

(7) 追肥模式优化试验

随机区组设计, 3 次重复, 以追肥处理为因子, 设置 4 个处理组: ① 尿素 0.5 kg/株; ② 复合肥(N:P:K = 15:15:15) 0.5 kg/株; ③ 尿素 0.2 kg/株 + 复合肥 0.3 kg/株; ④ CK(不追肥)。试验地块统一设置为土层厚度 30~50 cm、栽植密度 $3\text{ m} \times 3.5\text{ m}$, 抚育管理措施一致, 小区面积 1 亩, 每小区设 3 个样点, 培育至当年 7 月, 测定 10 年生金槐生长量、槐米鲜质量及芦丁含量。

(8) 成年树冬季修剪时间对比试验

随机区组设计, 3 次重复, 以冬季修剪时间为处理因子, 设置 3 个时间梯度: 12 月、1 月、2 月[8]。小区样地面积 1 亩, 结合冬季清园进行修剪, 统一采用当年生枝条留 20~30 cm 截枝处理, 及时清除枯枝落叶及浮土, 伐除枯死植株, 测定修剪后萌条生长、花序指标及槐米鲜质量。

2.3.2. 试验方法

育苗试验: 当年 11 月调查成活率, 测量嫁接成活后的新梢长和径粗;

栽培试验: 苗木为 2 年生容器苗, 选取样地, 样地面积为 1 亩, 培育 6 年测定 6 年生金槐生长量、槐米鲜质量及芦丁含量。

2.3.3. 数据统计与分析

利用 Excel 2007 软件与 DPS 9.1 进行试验数据的处理与分析。

3. 试验结果与分析

3.1. 不同基质对国槐种子苗生长情况对比分析

利用 DPS9.1 分析, 播种基质对高生长量、地径生长量、侧根数量、发芽保存率影响极显著; 黄心土与园土对苗木生长的影响不显著, 黄心土与沙质壤土对发芽保存率影响不显著, 而用园土处理的发芽保存率明显降低。从表 1 可以看出: 在相同管理条件下, 沙质壤土作为基质国槐苗高生长量、地径生长量、侧根数量、种子发芽保存率均最高, 分别达 131.6 cm, 1.5 cm, 13 根, 92.0%, 黄心土次之, 分别为 101.2 cm, 1.2 cm, 11 根, 90.2%, 园土的金槐高生长量、地径生长量、侧根数量、种子发芽保存率最低, 分别为 98.1 cm, 1.1 cm, 9 根, 80.5%, 因此, 沙质壤土是国槐种子苗(砧木)最适宜的育苗基质。主要原因是因园土的病害多, 黄心土的粘性重, 而沙质壤土透气性好等。

Table 1. Seed germination, growth performance and germination retention rate in different sowing substrates

表 1. 不同播种基质种子发芽生长情况及发芽保存率

序号	播种基质	高生长量(cm)	地径生长量(cm)	侧根数量(个)	发芽保存率(%)
1	黄心土	$101.2 \pm 3.39\text{b}$	$1.2 \pm 0.16\text{b}$	$11 \pm 2.54\text{b}$	$90.2 \pm 2.50\text{a}$
2	沙质壤土	$131.6 \pm 2.18\text{a}$	$1.5 \pm 0.11\text{a}$	$13 \pm 1.22\text{a}$	$92.0 \pm 2.47\text{a}$
3	园土	$98.1 \pm 5.00\text{b}$	$1.1 \pm 0.30\text{b}$	$9 \pm 2.42\text{b}$	$80.5 \pm 3.36\text{b}$

注: 同列数据不同字母表示差异显著, 相同字母或无字母表示差异不显著, P 值 < 0.01 表示同列数据差异极显著, $0.01 < P$ 值 < 0.05 表示同列数据差异显著, $P > 0.05$ 表示同列数据差异不显著; 下表同。

3.2. 砧木保留密度对国槐种子苗生长的影响

从表 2 可以看出, 利用 DPS9.1 分析, 砧木保留密度对高生长量、地径生长量、侧根数量的影响极显

著；株行距 $10\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ (40 株/ m^2) 金槐苗高生长量最大，为 135.6 cm ，其次为株行距 8×35 (36 株/ m^2)，为 124.7 cm ，株行距 8×25 (50 株/ m^2)，分别为 124.7 cm ， 118.4 cm ，地径生长量、侧根数量与密度均成反比，综合苗木规格和出圃数量，以株行距 $10\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ (40 株/ m^2) 为最适宜密度，较适宜密度为株行距 $8\text{ cm} \times 35\text{ cm}$ (36 株/ m^2)。

Table 2. Growth performance of *Sophora japonica* seedlings under different retention densities
表 2. 国槐不同保留密度种子苗生长情况

株行距(cm)	高生长量(cm)	地径生长量(cm)	侧根数量(个)
8×25 (50 株/ m^2)	$118.4 \pm 7.11\text{c}$	$1.1 \pm 0.24\text{c}$	$9 \pm 2.45\text{c}$
10×25 (40 株/ m^2)	$135.6 \pm 4.57\text{a}$	$1.2 \pm 0.27\text{bc}$	$11 \pm 2.50\text{abc}$
12×25 (33 株/ m^2)	$105.2 \pm 6.57\text{de}$	$1.5 \pm 0.28\text{ab}$	$12 \pm 2.57\text{ab}$
5×35 (57 株/ m^2)	$108.6 \pm 7.28\text{d}$	$1.0 \pm 0.25\text{c}$	$9 \pm 2.00\text{c}$
8×35 (36 株/ m^2)	$124.7 \pm 7.50\text{b}$	$1.3 \pm 0.28\text{abc}$	$10 \pm 2.24\text{bc}$
10×35 (29 株/ m^2)	$102.0 \pm 6.00\text{e}$	$1.6 \pm 0.30\text{a}$	$13 \pm 2.74\text{a}$

3.3. 不同嫁接时间对枝接成活率及生长的影响

从表 3 可以看出，利用 DPS9.1 分析结果表明，不同时间对枝接的成活率及生长情况影响差异极显著；其中 3 月枝接的成活率最高，为 96.7%，嫁接后新梢生长量以 3 月为最大，新梢长和粗分别为 55.6 cm 、 0.6 cm ，其次为 2 月，成活率 95.6%，新梢长和粗分别为 51.2 cm 、 0.5 cm ；4 月和 5 月枝接的成活率和新梢生长量均较差。因此，金槐枝接以 2 月、3 月为最佳时间。

Table 3. Survival rate and growth performance of branch grafting at different times
表 3. 不同时间枝接的成活率及生长情况

嫁接时间	新梢长(cm)	新梢径粗(cm)	成活率(%)
2 月	$51.2 \pm 0.16\text{b}$	$0.5 \pm 0.02\text{b}$	$95.6 \pm 0.35\text{b}$
3 月	$55.6 \pm 0.22\text{a}$	$0.6 \pm 0.03\text{a}$	$96.7 \pm 0.19\text{a}$
4 月	$44.2 \pm 0.13\text{c}$	$0.4 \pm 0.03\text{c}$	$90.2 \pm 0.24\text{c}$
5 月	$40.3 \pm 0.26\text{d}$	$0.3 \pm 0.03\text{d}$	$89.5 \pm 0.34\text{d}$

3.4. 不同年龄接穗对枝接成活率及生长的影响

从表 4 可以看出，利用 DPS9.1 分析，不同年龄接穗对枝接成活率及生长的影响极显著，1 年生接穗枝接的成活率(96.7%)显著高于 2 年生接穗(91.3%)，且 1 年生接穗枝接后新梢的长度与粗度，亦明显大于 2 年生接穗枝接的新梢生长量；综合嫁接成活率与新梢生长表现，金槐枝接应优先选用 1 年生接穗。

Table 4. Effects of scions of different ages on the survival rate and growth performance of branch grafting
表 4. 不同年齡接穗对枝接的成活率及生长情况

接穗年龄	新梢长(cm)	新梢径粗(cm)	成活率(%)
1a 生	$55.6 \pm 0.26\text{a}$	$0.6 \pm 0.03\text{a}$	$96.7 \pm 0.28\text{a}$
2a 生	$50.5 \pm 0.41\text{b}$	$0.4 \pm 0.03\text{b}$	$91.3 \pm 0.47\text{b}$

3.5. 嫁接时间对芽接成活率及生长的影响

从表 5 可以看出, 利用 DPS9.1 分析结果表明, 不同时间对芽接的成活率及新梢长生长影响差异极显著, 不同时间对芽接新梢粗生长影响差异显著; 其中春季 3 月与秋季 10 月芽接的成活率均较高, 且它们之间无显著差异, 其生长量亦如此; 其余 4 月、5 月芽接的成活率均较低, 但均大于 90%, 且新梢生长不如春季 3 月与秋季 10 月芽接的。因此, 金槐芽接在春季 3 月与秋季 10 月最适宜。

Table 5. Survival rate and growth performance of bud grafting at different times

表 5. 不同时间芽接的成活率及生长情况

嫁接时间	新梢长(cm)	新梢径粗(cm)	成活率(%)
3 月	58.2 ± 1.9a	0.7 ± 0.1a	97.6 ± 1.1a
4 月	52.6 ± 2.4b	0.5 ± 0.1b	92.7 ± 1.1b
5 月	49.2 ± 1.1c	0.4 ± 0.1b	90.2 ± 1.2c
10 月	60.3 ± 1.0a	0.7 ± 0.1a	97.5 ± 0.8a

3.6. 不同土层厚度、密度金槐栽培试验分析

Table 6. Effects of different soil layer thicknesses and planting densities on the growth and fresh weight of *Sophora japonica* “Jinhuai”

表 6. 不同土层厚度及栽植密度对金槐生长量及鲜质量的影响

土层厚度(cm)	栽植密度	保存率(%)	地径(cm)	树高(m)	冠幅(m)	鲜质量(kg/亩)
<30	2.5 m × 3 m	86.5 ± 5.18e	7.3 ± 0.85e	2.0 ± 0.25f	2.4 ± 0.47de	182.56 ± 6.26f
	3 m × 3 m	83.3 ± 3.88f	7.1 ± 0.60e	1.9 ± 0.33fg	2.2 ± 0.23ef	145.60 ± 9.14g
	3 m × 3.5 m	81.1 ± 3.86f	6.9 ± 0.61e	1.8 ± 0.33g	2.1 ± 0.19f	127.26 ± 5.78h
30~50	3 m × 3 m	94.6 ± 0.41b	10.8 ± 0.32d	2.5 ± 0.17de	2.7 ± 0.24c	213.50 ± 15.81d
	3 m × 3.5 m	92.1 ± 0.63c	11.2 ± 0.55d	2.4 ± 0.20e	2.5 ± 0.17cd	241.60 ± 17.13c
	3.5 m × 3.5 m	88.9 ± 1.03d	12.3 ± 0.46c	2.7 ± 0.14cd	2.6 ± 0.19c	198.62 ± 10.71e
>50	3 m × 3.5 m	96.8 ± 0.36ab	12.8 ± 0.37b	2.8 ± 0.12bc	3.4 ± 0.14b	308.7 ± 10.28b
	3.5 m × 3.5 m	98.1 ± 0.42a	12.9 ± 0.30b	3.0 ± 0.11ab	3.3 ± 0.15b	409.32 ± 13.51a
	3.5 m × 4 m	97.8 ± 0.48a	18.2 ± 0.30a	3.2 ± 0.16a	3.9 ± 0.13a	312.45 ± 10.22b

Table 7. Two-way analysis of variance (ANOVA) results (F-values) for the effects of different soil layer thicknesses and planting densities on the growth and fresh weight of *Sophora japonica* “Jinhuai”

表 7. 不同土层厚度及栽植密度对金槐生长量及鲜质量双因素方差分析结果(F 值)

方差来源	保存率(%)	地径(cm)	树高(m)	冠幅(m)	鲜质量(kg/亩)
土层厚度	202.57**	1463.288**	174.292**	226.987**	2731.802**
栽植密度	11.621**	150.101**	3.27*	4.479*	205.192**
土层厚度*栽植密度	5.097**	98.396**	4.757**	8.585**	115.027**

由表 6 可知, 金槐适宜性强, 在无灌溉设施的条件下, 在贫瘠的紫色土均能生长, 保存率高, 金槐的地径、冠幅、鲜果产量均随着土层厚度增加而均逐渐增大; 土层厚度小于 30 cm 的适宜密度为株行距 2.5 m × 3 m, 土层厚度 30 cm~50 cm 的适宜密度为株行距 3 m × 3.5 m, 土层厚度大于 50 cm 的适宜密度

为株行距 $3.5\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ 。根据方差分析结果由表 7 可知, 土层厚度对保存率、地径、树高、冠幅和鲜质量均有极显著影响($P < 0.01$); 栽植密度对保存率、地径和鲜质量均有极显著影响($P < 0.01$), 栽植密度对树高、冠幅有显著影响($P < 0.05$); 土层厚度和栽植密度处理对保存率、地径、树高、冠幅和鲜质量均有极显著影响($P < 0.01$)。

3.7. 追肥模式优化试验分析

从表 8 可以看出: 在同地同管理条件下, 组合肥(尿素 0.2 kg/株 + 复合肥(N:P:K = 15:15:15) 0.3 kg/株)处理的金槐生长量和鲜质量均高于复合肥(N:P:K = 15:15:15) 0.5 kg/株、尿素 0.5 kg/株和 CK(不追肥)组的。不同追肥处理与对照, 对金槐地径、树高、冠幅、鲜质量影响极显著; 各追肥处理: 组合肥(尿素 0.2 kg/株 + 复合肥 0.3 kg/株)、尿素(0.5 kg/株)与复合肥(N:P:K = 15:15:15) 0.5 kg/株处理均对金槐地径、树高、冠幅、鲜质量影响极显著, 最适宜追肥处理方式为尿素 0.2 kg/株 + 复合肥(N:P:K = 15:15:15) 0.3 kg/株, 其鲜质量最高, 为 326.34 kg/亩; 各处理之间对芦丁含量的影响不显著。

Table 8. Statistical table of growth, fresh fruit yield and rutin content of *Sophora japonica* “Jinhuai” under different topdressing treatments

表 8. 不同追肥处理金槐生长量、鲜果产量与芦丁含量统计表

追肥类型	地径(cm)	树高(m)	冠幅(m)	鲜质量(kg/亩)	芦丁含量(%)
CK(不追肥)	$9.6 \pm 0.19\text{c}$	$2.1 \pm 0.13\text{d}$	$2.3 \pm 0.12\text{c}$	$121.3 \pm 10.53\text{d}$	$37.3 \pm 0.17\text{b}$
复合肥 0.5 kg/株	$15.2 \pm 0.37\text{b}$	$2.6 \pm 0.13\text{b}$	$2.8 \pm 0.17\text{b}$	$212.14 \pm 10.47\text{c}$	$37.4 \pm 0.18\text{ab}$
尿素 0.5 kg/株	$17.6 \pm 0.48\text{a}$	$2.4 \pm 0.22\text{c}$	$3.8 \pm 0.16\text{a}$	$308.7 \pm 13.16\text{b}$	$37.3 \pm 0.12\text{b}$
尿素 0.2 kg/株 + 复合肥 0.3 kg/株	$17.8 \pm 0.46\text{a}$	$2.8 \pm 0.21\text{a}$	$3.7 \pm 0.13\text{a}$	$326.34 \pm 11.43\text{a}$	$37.5 \pm 0.21\text{a}$

3.8. 成年树冬季修剪试验分析

利用 DPS9.1 分析结果表明, 冬季不同修剪时间对金槐萌条、花序生长量及鲜质量的影响极显著($P < 0.01$), 从表 9 可看出, 2 月修剪的金槐萌条、花序生长均好于 12 月和 1 月, 其鲜质量也是最高, 1 月次之, 12 月最差, 因此, 衡阳成年树冬季修剪最佳时间是 2 月。

Table 9. Growth and fresh weight of *Sophora japonica* “Jinhuai” under different winter pruning times

表 9. 冬季不同修剪时间金槐生长量及鲜质量情况

修剪时间	平均萌条粗(cm)	平均萌条长(m)	平均花序长(cm)	鲜质量(kg/亩)
12 月	$2.1 \pm 0.021\text{c}$	$1.2 \pm 0.17\text{c}$	$40.5 \pm 1.64\text{c}$	$310.65 \pm 12.62\text{c}$
1 月	$2.5 \pm 0.17\text{b}$	$1.5 \pm 0.11\text{b}$	$45.3 \pm 1.24\text{b}$	$335.41 \pm 14.43\text{b}$
2 月	$3.2 \pm 0.16\text{a}$	$1.8 \pm 0.12\text{a}$	$55.6 \pm 1.37\text{a}$	$386.50 \pm 13.80\text{a}$

4. 结论与讨论

4.1. 核心研究发现

本研究针对衡阳紫色土区金槐产业发展的关键瓶颈, 通过系统的田间试验, 明确了从嫁接育苗到高效栽培的一系列关键技术参数:

嫁接育苗体系: 确定了以沙质壤土(黄心土:河沙 = 1:1)为最优砧木育苗基质, 株行距 $10\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ (40 株/m^2)为适宜砧木密度; 枝接最佳时间为 3 月并采用 1 年生接穗, 芽接适宜期为 3 月与 10 月, 成活

率均可达 97%以上。

栽培密度配置:建立了紫色土土层厚度与金槐种植密度的协同适配方案:土层 <30 cm、30~50 cm、>50 cm 时, 最适密度分别为 $2.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 、 $3 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ 、 $3.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ 。

肥培与树体管理:提出了以“尿素 0.2 kg/株 + 复合肥(N:P:K = 15:15:15) 0.3 kg/株”为最优追肥方案;明确了成年树冬季修剪以 2 月为最佳时期, 可显著促进萌条生长并提高槐米产量。

4.2. 嫁接育苗关键技术参数及适配性分析

(一) 基质与砧木密度优化

试验结果表明, 沙质壤土(黄心土:河沙 = 1:1)是国槐砧木育苗的最优基质, 该基质培育的国槐苗高生长量达 $131.6 \pm 2.18 \text{ cm}$ 、地径生长量 $1.5 \pm 0.11 \text{ cm}$ 、侧根数量 13 ± 1.22 根、种子发芽保存率 $92.0\% \pm 2.47\%$, 显著优于黄心土与园土($P < 0.01$) (表 1)。这一结果与向元昌等[7]提出的“金槐砧木育苗需选择疏松透气、保水保肥能力均衡的基质”结论一致, 其核心原因在于沙质壤土有效解决了黄心土粘性重、通气性差导致的根系发育受阻问题, 同时规避了园土病害基数高、养分失衡造成的发芽保存率低($80.5 \pm 3.36\%$)的缺陷, 为砧木健壮生长奠定基础。

在砧木保留密度方面, 株行距 $10 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ ($40 \text{ 株}/\text{m}^2$) 为最优密度, 此密度下砧木高生长量最大($135.6 \pm 4.57 \text{ cm}$), 且地径($1.2 \pm 0.27 \text{ cm}$)、侧根数量(11 ± 2.50 根)等指标协调, 兼顾苗木规格与出圃数量(表 2)。该密度设置既避免了高密度(如 $8 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$, $50 \text{ 株}/\text{m}^2$)下植株间光照、养分竞争激烈导致的地径细($1.1 \pm 0.24 \text{ cm}$)、侧根少(9 ± 2.45 根)问题, 又克服了低密度(如 $10 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$, $29 \text{ 株}/\text{m}^2$)下土地利用率低的局限, 与经交生等[9]研究指出的“砧木密度需平衡个体生长与群体效益”的技术原则高度契合。

(二) 嫁接时间与接穗选择的区域特异性

金槐枝接以 3 月采用 1 年生接穗效果最佳, 成活率达 $96.7\% \pm 0.19\%$, 新梢长 $55.6 \pm 0.22 \text{ cm}$ 、径粗 $0.6 \pm 0.03 \text{ cm}$, 显著优于 2 月、4 月及 5 月处理($P < 0.01$); 芽接最佳时间为春季 3 月与秋季 10 月, 成活率均超 97% (3 月 $97.6\% \pm 1.1\%$ 、10 月 $97.5\% \pm 0.8\%$), 新梢生长量显著高于 4 月、5 月芽接处理(表 3, 表 5)。同时, 1 年生接穗嫁接成活率($96.7\% \pm 0.28\%$)及新梢生长量均显著优于 2 年生接穗(成活率 $91.3\% \pm 0.47\%$) (表 4), 这与蒋运生等[4]提出的“金槐嫁接应优先选择 1 年生健壮接穗以提升愈伤组织形成效率”的观点相符, 因 1 年生接穗细胞分裂活性高、养分积累集中, 能快速与砧木建立养分传输通道。

值得注意的是, 本研究确定的嫁接时间较广西全州产区晚 10 天左右——陈宗游等[6]指出广西桂北地区金槐枝接、芽接适宜在 2 月下旬至 3 月 10 日、9 月下旬至 10 月中下旬开展, 而衡阳枝接最佳时间为 3 月、芽接为 3 月与 10 月。这一区域差异主要源于衡阳纬度偏北(约 26°N), 春季日均温稳定达到 10°C 以上的时间较广西桂北(约 25°N)推迟, 导致金槐树体萌动与愈伤组织形成时间延后, 印证了邓送银等[8]提出的“金槐嫁接时间需根据纬度与气温条件动态调整”的结论, 凸显了技术参数区域适配的重要性, 也符合吴良欢等[9]提出的“木本植物修剪时间需与休眠期温度变化同步”的调控理论。

4.3. 紫色土高效栽培关键技术及实践价值

(一) 种植密度与土层厚度的协同适配

试验发现, 金槐种植密度需与紫色土土层厚度精准匹配: 土层厚度 <30 cm 时, 适宜种植密度为 $2.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, 鲜质量达 $182.56 \pm 6.26 \text{ kg}/\text{亩}$; 土层厚度 30~50 cm 时, 适宜密度为 $3 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$, 鲜质量 $241.60 \pm 17.13 \text{ kg}/\text{亩}$; 土层厚度 >50 cm 时, 适宜密度为 $3.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$, 鲜质量 $409.32 \pm 13.51 \text{ kg}/\text{亩}$, 且土层厚度与栽植密度的交互作用对金槐保存率、地径、树高、冠幅及鲜质量均有极显著影响($P < 0.01$) (表 6, 表 7)。

该研究与国内现有研究存在明显差异——邓送银等[8]提出广西全州金槐种植密度为 $4\text{ m} \times 3\text{ m}$ 或 $4\text{ m} \times 3.5\text{ m}$ (47~55株/亩),而衡阳薄土层区域($<30\text{ cm}$)采用 $2.5\text{ m} \times 3\text{ m}$ (89株/)的高密度,核心原因在于衡阳紫色土土层更薄(多数区域 $<50\text{ cm}$)、肥力更低,高密度栽培可在保证单株生长空间的前提下,通过增加单位面积植株数量弥补单株产量不足,同时提升地表植被覆盖度,减少紫色土水土流失,与王志伟等[10]在紫色土区增加林间或林下植被覆盖可有效减少水土流失的研究结论一致,实现经济效益与生态效益的协同,这同时也为史艳财等[11]研究的“喀斯特石山区金槐密度调控技术”在紫色土区的应用提供了新的实践参考。

(二) 追肥模式与修剪时间的技术优化

最优追肥方案为尿素 $0.2\text{ kg}/\text{株}$ +复合肥(N:P:K=15:15:15) $0.3\text{ kg}/\text{株}$,该方案下金槐鲜质量达 $326.34 \pm 11.43\text{ kg}/\text{亩}$,地径 $17.8 \pm 0.46\text{ cm}$ 、树高 $2.8 \pm 0.21\text{ m}$ 、冠幅 $3.7 \pm 0.13\text{ m}$,显著优于单一施肥(尿素 $0.5\text{ kg}/\text{株}$ 或复合肥 $0.5\text{ kg}/\text{株}$)与不追肥处理($P < 0.01$),且各追肥处理对芦丁含量影响不显著($P > 0.05$),芦丁含量稳定在37.3%~37.5%,远高于《中国药典》(2020年版)15%的含量限度(表8)。这一结果验证了谢锋[12]提出的“金槐槐米发育需氮磷钾协同供应”的结论;同时也验证了王渭玲等[13]在药用植物施肥中“不同的氮磷配比可有效提高丹参的生长、产量和品质的共性结论。氮素(尿素)主要驱动前期营养生长,为树体构建和光合产物积累奠定基础;而磷、钾(复合肥)对后期花芽分化、花粉育性及槐米充实至关重要。该配比避免了单一尿素可能引起的徒长((树高 $2.4 \pm 0.22\text{ m}$ 、冠幅 $3.8 \pm 0.16\text{ m}$ 但鲜质量 $308.7 \pm 13.16\text{ kg}/\text{亩}$)及单一复合肥施肥导致的营养生长不足(地径 $15.2 \pm 0.37\text{ cm}$ 、树高 $2.6 \pm 0.13\text{ m}$)的问题)或单一复合肥导致的营养生长不足。各处理间芦丁含量无显著差异,说明该药用成分的合成主要受品种遗传特性和采收期环境调控,对短期追肥反应不敏感,这为简化肥培管理、聚焦产量提升提供了依据。

成年树冬季修剪最佳时间为2月,此时修剪后金槐平均萌条粗 $3.2 \pm 0.16\text{ cm}$ 、萌条长 $1.8 \pm 0.12\text{ m}$ 、花序长 $55.6 \pm 1.37\text{ cm}$ 、鲜质量 $386.50 \pm 13.80\text{ kg}/\text{亩}$,显著优于12月、1月修剪处理($P < 0.01$)(表9)。该结果与广西产区技术参数存在差异——陈宗游等[6]提出广西金槐修剪应在冬至后10~15天或春分前开展,而衡阳2月修剪效果最佳,主要因衡阳12月、1月日均温常低于 5°C ,过早修剪易导致剪口冻害,影响萌条萌发;2月气温回升(日均温 4.6°C 左右)后修剪,剪口愈合速度快,萌条生长健壮,这为蒋运生[1]提出的“金槐修剪需结合当地气候节律”的观点提供了实证支持。

4.4. 本研究的局限性

本研究虽初步构建了衡阳紫色土区金槐生产的关键技术体系,但仍存在若干局限:

- ① 试验尺度局限:所有试验均在衡阳县单一试验基地完成,虽具典型性,但其结论在衡阳全市乃至湘中紫色土区不同小气候和土壤亚类中的普适性仍需通过多点区域试验进一步验证。
- ② 观测周期限制:栽培试验的观测周期为6年,虽能反映中幼林期的响应,但未能涵盖金槐完整经济寿命周期(如盛果期维持、衰老更新)的长期效应,特别是长期施肥下的土壤肥力演变、树体营养平衡及可持续产量潜力尚未明晰。
- ③ 机理探讨深度不足:研究侧重于田间表型观测与产量形成,对于关键技术措施(如特定施肥配比、修剪时间)影响金槐光合产物分配、内源激素调控、芦丁合成关键酶活性等深层生理生化机制,以及金槐根系与紫色土微生物互作的生态过程,尚未开展深入研究。

4.5. 未来研究方向

基于本研究的成果与不足,未来可在以下方向深入开展工作:

- ① 技术区域化验证与优化:在湘中紫色土分布区设立多点长期定位试验,综合评价并优化本技术体

系在不同立地条件下的适应性，建立梯度化的栽培模式推荐方案。

② 深入机理研究：运用植物生理学、土壤微生物组学及代谢组学等方法，揭示金槐在紫色土逆境下的养分高效利用机制、芦丁合成与积累的调控网络，以及修剪、施肥等措施干预这些过程的分子与生理基础。

③ 探索复合经营模式：研究金槐林下间作耐阴药用植物或牧草等复合经营模式的生态与经济可行性，以期提高紫色土区单位土地面积的综合效益，增强系统稳定性。

④ 关注长期生态效应：监测评估金槐纯林或复合经营模式对紫色土理化性质、水土保持功能、生物多样性等方面的长期影响，为生态经济型林业发展提供更全面的科学评估。

参考文献

- [1] 蒋运生. 金槐规范化种植技术(一) [J]. 广西林业, 2013(5): 48-49.
- [2] 李振志, 朱华, 谢锋, 等. 不同产地槐米中芦丁的含量测定[J]. 世界中医药, 2013, 8(8): 952-954.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 333.
- [4] 蒋运生. 金槐良种选育及配套栽培技术推广[Z]. 广西壮族自治区, 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 2016-04-15.
- [5] 李锋, 唐辉, 韦霄, 等. 广西全州县金槐生产存在的问题及发展对策[J]. 广西科学院学报, 2009, 25(2): 130-134.
- [6] 陈宗游. 金槐早熟优良品种选育及高产高效示范[Z]. 广西壮族自治区, 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 2018-10-19.
- [7] 向元昌, 蔡光泽, 袁昌益, 等. 金槐嫁接育苗方法[P]. 中国, CN201811020909.8. 2019-01-15.
- [8] 邓送银, 廖双源. 全州县金槐高产栽培技术浅析[J]. 南方园艺, 2016, 27(2): 54-57.
- [9] 吴良欢, 马军伟, 杜尧舜. 木本植物修剪时期与生理代谢的关系[J]. 林业科学, 2018, 54(7): 173-180.
- [10] 王志伟, 朱捍华. 生态措施对亚热带丘陵区紫色土水土保持效应及机理[J]. 农业现代化研究, 2025, 32(2): 226-229.
- [11] 史艳财, 邹蓉, 唐健民, 等. 不同修剪方式对喀斯特石山区金槐槐米性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(7): 95-98.
- [12] 谢锋. 金槐槐米品质及规范化种植关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 成都中医药大学, 2014.
- [13] 王渭玲, 梁宗锁, 孙群, 等. 不同氮磷施用量对丹参产量及有效成份的影响[J]. 中国农学通报, 2005(3): 218-221.