

适合机械化移栽的菜心种苗集约化 培育技术研究

伍洁¹, 黄洁颖², 张亮², 钟珉², 宋世威², 杨暹^{2*}

¹广东省农业技术推广中心种植业技术与种业推广部, 广东 广州

²华南农业大学园艺学院, 广东 广州

收稿日期: 2026年4月24日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月28日

摘要

为解决菜心机械化移栽中存在的农机农艺脱节、幼苗基质散坨、徒长苗损伤等瓶颈问题, 本文开展集约化播种效率对比、育苗穴盘筛选、育苗基质筛选及烯效唑壮苗调控试验, 系统探究适合机械化移栽的菜心种苗培育技术。结果表明: 2BS-6型精量播种机的播种效率达每小时810盘, 是人工播种的15倍; 72孔穴盘育苗的幼苗茎粗、根重、壮苗指数及根系活力均最优, 基质散坨率为0, 适配机械化夹取需求; JIFFY牌进口育苗基质在幼苗生长指标、根系发育及盘根效果上显著优于国产基质; 烯效唑10倍液叶面喷施处理可有效抑制幼苗徒长, 促进茎粗和根系发育, 壮苗效果最佳。综合形成的菜心集约化育苗技术体系, 可培育出符合机械化移栽要求的壮苗, 为菜心生产机械化升级提供技术支撑。

关键词

菜心, 机械化移栽, 集约化育苗

Study on Intensive Cultivation Technology of Flowering Chinese Cabbage Seedlings Suitable for Mechanized Transplanting

Jie Wu¹, Jieying Huang², Liang Zhang², Min Zhong², Shiwei Song², Xian Yang^{2*}

¹Extension Division of Planting Technology and Seed Industry, Guangdong Provincial Agricultural Technology Extension Center, Guangzhou Guangdong

²College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong

Received: April 24, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 28, 2026

*通讯作者。

文章引用: 伍洁, 黄洁颖, 张亮, 钟珉, 宋世威, 杨暹. 适合机械化移栽的菜心种苗集约化培育技术研究[J]. 农业科学, 2026, 16(5): 834-841. DOI: 10.12677/hjas.2026.165102

Abstract

To address the bottlenecks in mechanical transplanting of flowering Chinese cabbage, including the disconnect between agricultural machinery and cultivation practices, substrate clod disintegration of seedlings, and damage to leggy seedlings, comparative trials were conducted on intensive sowing efficiency, seedling tray selection, substrate selection, and uniconazole-mediated growth regulation to systematically explore seedling cultivation techniques suitable for mechanical transplanting. The results showed that the 2BS-6 precision seeder achieved a sowing efficiency of 810 trays per hour, which was 15 times that of manual sowing. Seedlings raised in 72-cell trays exhibited optimal stem diameter, root weight, seedling index, and root activity, with 0 substrate clod disintegration rate, meeting the requirements for mechanical gripping. The JIFFY imported substrate significantly outperformed the domestic substrate in seedling growth, root development, and root ball formation. Foliar application of 10 times diluted uniconazole effectively inhibited seedling excessive growth, promoted stem thickening and root growth, and achieved the best seedling vigor. The integrated intensive seedling cultivation system produced robust seedlings suitable for mechanical transplanting, providing technical support for the mechanization upgrade of flowering Chinese cabbage production.

Keywords

Flowering Chinese Cabbage, Mechanical Transplanting, Intensive Seedling Cultivation

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

菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)作为华南地区特色优势蔬菜, 口感柔嫩、营养丰富, 富含类黄酮和硫苷化合物等活性成分, 已成为全国性大宗蔬菜[1]。目前全国菜心栽培面积超 1000 万亩, 其中广东省栽培面积达 400 万亩, 占全省蔬菜播种面积的 20%, 出口量占全省蔬菜出口总量的 20%, 在农业经济和蔬菜周年供应中占据重要地位[2]。

传统菜心生产采用直接撒播加间苗定苗模式, 集约化程度低, 劳动力成本占生产成本的 60%以上, 严重制约产业高质量发展[3]。机械化移栽是提升菜心生产效率、降低劳动成本的关键途径, 但集约化育苗环节的技术瓶颈尚未突破, 比如育苗穴盘规格与移栽机械不匹配、基质盘根效果差导致移栽时散坨、幼苗徒长易被机械臂损伤等问题, 显著降低移栽成活率和生产效益[4] [5]。其中, 徒长苗防控是集约化育苗的核心难点, 直接影响机械化移栽的可行性[6]。

为此, 本研究针对菜心机械化移栽的育苗需求, 开展播种方式优化、穴盘规格筛选、育苗基质比较及壮苗调控技术研发, 旨在集成一套农机农艺融合的菜心集约化育苗技术体系, 为菜心机械化移栽提供优质种苗保障, 推动产业规模化、标准化发展。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

供试菜心品种为“70 天”菜心; 播种设备为 2BS-6 型蔬菜穴盘精量播种机, 由广东省绿翔机电安装

工程有限公司生产；育苗穴盘选用 72 孔、105 孔、128 孔、200 孔四种规格(底部带漏水眼)；育苗基质为 JIFFY 牌进口育苗基质(以优质泥炭为主要原料, pH 为 5.6~6.2, EC 值为 0.9~1.2 mS/cm, 有机质含量 \geq 65%, 总孔隙度 82%~86%)和国产商品蔬菜育苗基质(主要成分为草炭:椰糠:珍珠岩 = 5:3:2, pH 为 6.2~6.8, EC 值为 1.3~1.7 mS/cm, 有机质含量 \geq 48%, 总孔隙度 72%~76%); 植物生长调节剂为 5%烯效唑可湿性粉剂(江苏剑牌农化股份有限公司, 有效成分含量 50 g/kg); 追肥选用三元复合肥(N-P₂O₅-K₂O = 15-15-15)。

2.2. 试验地点与时间

试验于 2024 年 10 月~11 月在广东省从化区从玉菜场(北纬 23°35', 东经 113°32')开展, 试验地海拔 65 m, 属亚热带季风气候, 育苗期间平均气温 22℃~28℃, 相对湿度 70%~85%。

2.3. 试验设计

2.3.1. 集约化播种效率对比试验

设置机械播种和人工播种两个处理, 机械播种采用 2BS-6 型蔬菜穴盘精量播种机, 人工播种采用传统手工点播, 均选用 72 孔穴盘和 JIFFY 牌进口基质, 测定单位时间(小时)播种数量, 计算播种效率。

2.3.2. 育苗穴盘筛选试验

采用 JIFFY 牌进口基质, 设置 72 孔、105 孔、128 孔、200 孔四种穴盘处理, 每个处理 3 次重复, 每重复 3 盘。播种后于真叶长出之前, 浇 0.2%三元复合肥水溶液, 真叶长出后浇 0.2%~0.5%三元复合肥水溶液, 每 3 天浇 1 次; 育苗过程保持基质湿润。幼苗 3~4 片真叶时测定相关指标。

2.3.3. 育苗基质筛选试验

选用 72 孔穴盘, 设置 JIFFY 牌进口基质和国产基质两个处理, 每个处理 3 次重复, 每重复 3 盘。待第一片真叶露出后进行追肥, 每隔 2~3 天于傍晚用 0.2%~0.5%三元复合肥水淋施一次。幼苗 3~4 片真叶时取样测定生长及质量指标。

2.3.4. 烯效唑壮苗调控试验

采用 72 孔穴盘加 JIFFY 牌基质, 设置 3 个处理: 清水对照(CK)、烯效唑 10 倍液(有效成分浓度 5000 mg/L)、烯效唑 25 倍液(有效成分浓度 2000 mg/L)。每个处理 3 次重复, 每重复 3 盘。于出苗齐苗后进行叶面喷施 1 次, 每穴盘施用 100 mL, 幼苗 3~4 片真叶时测定指标。

2.4. 栽培管理措施

播种前平整育苗场地, 铺设薄膜或地布, 基质打碎后加湿至手捻不出水状态, 装入穴盘至 2/3 高度并铺平。机械播种每穴 1 粒, 人工播种同步, 播种后覆盖 1 cm 厚基质, 微喷喷淋至穴盘底部滴水。育苗期间根据天气早、午、晚各淋水 1 次, 保持基质湿润; 出苗后每隔 2~3 天傍晚喷施 0.2%~0.5%三元复合肥水溶液, 施肥后及时淋水防肥害。

2.5. 测定指标与方法

2.5.1. 生长指标

测定株高(地表至生长点)、茎粗(子叶节下 1 cm 处)、根长(最长根长度)、有效叶片数; 采用称重法测定地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重(80℃烘干 48 h)、地下部干重; 采用叶面积仪测定单叶叶面积。

2.5.2. 生理与质量指标

采用分光光度法测定叶绿素含量(丙酮提取法)和根系活力(TTC 法); 壮苗指数计算公式为: 壮苗指

数 = (茎粗/株高) × 整株干重; 基质散坨率 = 散坨苗数/总苗数 × 100%。

2.6. 数据分析

采用 Excel 2010 整理数据, SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析, Duncan 氏多重检验法进行差异显著性分析($P < 0.05$)。

3. 结果与分析

3.1. 集约化播种效率对比

菜心机械播种与人工播种效率差异显著(表 1)。机械播种每小时可完成 810 盘, 而人工播种仅为 54 盘, 机械播种效率是人工播种的 15 倍, 显著降低了播种环节的劳动强度和时间成本。

Table 1. Comparison of efficiency of different sowing methods

表 1. 不同播种方式的效率对比

播种方式	播种总量(盘/h)	播种效率(倍)
机械播种	810 a	15
人工播种	54 b	1

注: 表中同列不同小写字母表示 5%水平差异显著($P < 0.05$)。

3.2. 不同穴盘规格对菜心幼苗生长及育苗质量的影响

72 孔穴盘育苗的菜心幼苗在茎粗、地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、地下部干重等指标上均显著优于其他规格穴盘(图 1, 表 2), 其中茎粗达 1.45 mm, 地上部鲜重 1.632 g, 地下部鲜重 142.3 mg, 分别较 128 孔穴盘提高 27.2%、59.8%、102.1%。105 孔穴盘幼苗各项指标次之, 200 孔穴盘幼苗除株高外, 其余指标均表现最差。株高在各处理间无显著差异, 72 孔和 105 孔穴盘幼苗株高略高于 128 孔和 200 孔。



注: 左上: 72 孔; 右上: 105 孔; 左下: 128 孔; 右下: 200 孔。

Figure 1. Growth of flowering Chinese cabbage seedlings under different plug tray specifications

图 1. 不同穴盘下的菜心幼苗生长情况

Table 2. Effects of different plug tray specifications on growth of flowering Chinese cabbage seedlings
表 2. 不同规格穴盘对菜心幼苗生长的影响

穴盘规格	株高(cm)	茎粗(mm)	根长(cm)	地上部鲜重(g/株)	地下部鲜重(mg/株)	总鲜重(g/株)	地上部干重(mg/株)
72 孔	5.5 a	1.45 a	12.8 a	1.632 a	142.3 a	1.775 a	72.06 a
105 孔	5.3 a	1.19 b	12.4 a	1.189 b	105.7 b	1.295 b	60.77 a
128 孔	5.4 a	1.14 b	12.3 a	1.021 b	70.4 c	1.092 b	48.79 b
200 孔	4.3 b	1.22 b	11.0 a	0.931 b	73.9 c	1.005 b	49.31 b

注：表中同列不同小写字母表示 5%水平差异显著(P < 0.05)。

72 孔穴盘菜心幼苗的壮苗指数、叶绿素含量均显著最高(表 3)，分别达 0.0218 和 1.92 mg/g，基质散坨率为 0，完全满足机械化移栽的夹取要求。105 孔穴盘幼苗壮苗指数 0.0155，基质散坨率 17.6%，不利于机械夹取。128 孔和 200 孔穴盘幼苗壮苗指数仅为 0.0118 和 0.0112，散坨率分别为 9.5%和 3.5%；且 200 孔穴盘因穴孔间距过小，幼苗叶片交织易造成机械损伤。根系活力在各处理间无显著差异，128 孔穴盘幼苗略高。

Table 3. Effects of different plug tray specifications on quality of flowering Chinese cabbage seedlings
表 3. 不同规格穴盘对菜心幼苗质量的影响

穴盘规格	地下部干重(mg/株)	整株干重(g/株)	壮苗指数	叶面积(mm ²)	叶绿素含量(mg/g)	根系活力	基质散坨率(%)
72 孔	10.73 a	0.0828 a	0.0218 a	906.43 a	1.92 a	682.73a	0
105 孔	8.31 b	0.0691 b	0.0155 b	812.40 b	1.84 a	674.01 a	17.6%
128 孔	7.16 b	0.0560 b	0.0118 b	713.79 c	1.62 b	755.20 a	9.5%
200 孔	8.37 b	0.0577 b	0.0112 b	595.96 d	1.63 b	706.33 a	3.5%

注：表中同列不同小写字母表示 5%水平差异显著(P < 0.05)。

3.3. 不同育苗基质对菜心幼苗生长及育苗质量的影响

表 4 和表 5 结果显示，JIFFY 牌进口基质培育的幼苗在各项生长指标上均显著优于国产基质。进口基质幼苗株高 6.8 cm，茎粗 1.67 mm，根长 12.8 cm，分别较国产基质提高 58.1%、15.9%、23.1%；地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、地下部干重分别提高 59.9%、31.9%、22.9%、40.3%。生理与质量指标方面，进口基质幼苗壮苗指数 0.0426，叶绿素含量 1.98 mg/g，根系活力 778.78，均显著高于国产基质，且基质散坨率为 0，而国产基质散坨率达 30.3%，无法满足机械化移栽要求。

Table 4. Effects of different seedling raising substrates on growth of flowering Chinese cabbage seedlings
表 4. 不同育苗基质对菜心幼苗生长的影响

基质	株高(cm)	茎粗(mm)	根长(cm)	地上部鲜重(g/株)	地下部鲜重(mg/株)	总鲜重(g/株)	地上干重(mg/株)
进口	6.8 a	1.67 a	12.8 a	2.862 a	165.8 a	3.0278 a	93.23 a
国产	4.3 b	1.44 b	10.4 b	1.789 b	125.6 b	1.9146 b	75.88 b

注：表中同列不同小写字母表示 5%水平差异显著(P < 0.05)。

Table 5. Effects of different seedling raising substrates on quality of flowering Chinese cabbage seedlings
表 5. 不同育苗基质对菜心幼苗质量的影响

基质	地下干重 (mg/株)	整株干重 (g/株)	壮苗指数	叶面积 (mm ²)	叶绿素含量 (mg/g)	根系活力	基质散坨率 (%)
进口	13.65 a	0.1069 a	0.0426 a	967.54 a	1.98 a	778.78 a	0
国产	9.73 b	0.0856 b	0.0264 b	898.36 b	1.81 a	613.23 b	30.3%

注：表中同列不同小写字母表示 5%水平差异显著(P < 0.05)。

3.4. 不同浓度烯效唑对菜心壮苗培育的影响

由表 6 和表 7 可知，烯效唑处理对菜心幼苗生长具有显著调控作用。10 倍液处理的幼苗茎粗达 2.12 mm，显著高于对照和 25 倍液处理，较对照提高 26.9%；根长、地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、地下部干重均为各处理最高。25 倍液处理幼苗株高显著低于对照，表现为过度矮化，植株总鲜重、总干重和壮苗指数与对照无显著差异，但两处理均显著低于 10 倍液处理。幼苗的叶绿素含量和根系活力以 10 倍液和 25 倍液处理较高，显著高于对照。各处理基质散坨率均为 0。

Table 6. Effects of different concentrations of uniconazole on growth of flowering Chinese cabbage seedlings
表 6. 不同浓度烯效唑对菜心幼苗生长的影响

烯效唑浓度	株高(cm)	茎粗(mm)	根长(cm)	地上鲜重 (g/株)	地下鲜重 (mg/株)	总鲜重 (g/株)	地上干重 (mg/株)
0 (CK)	6.8 a	1.67 c	12.8 b	2.862 b	165.8 b	3.0278 b	93.23 b
10 倍	6.72 a	2.12 a	14.3 a	3.232 a	172.6 a	3.4046 a	110.34 a
25 倍	5.3 b	1.82 b	11.6 c	2.876 b	158.9 b	3.0349 b	93.28 b

注：表中同列不同小写字母表示 5%水平差异显著(P < 0.05)。

Table 7. Effects of different concentrations of uniconazole on quality of flowering Chinese cabbage seedlings
表 7. 不同浓度烯效唑对菜心幼苗质量的影响

烯效唑浓度	地下干重 (mg/株)	全株干重 (g/株)	壮苗指数	叶面积 (mm ²)	叶绿素含量(mg/g)	根系活力	基质散坨率 (%)
0 (CK)	13.65 b	0.1069 b	0.0426 b	967.54 b	1.98 b	778.78 b	0
10 倍	14.26 a	0.1246 a	0.0727 a	1021.65 a	2.23 a	891.56 a	0
25 倍	13.98 b	0.1073 b	0.0510 b	873.32 c	2.35 a	882.76 a	0

注：表中同列不同小写字母表示 5%水平差异显著(P < 0.05)。

4. 讨论

4.1. 播种方式与穴盘规格对菜心机械化移栽育苗的影响

机械化播种是集约化育苗的基础环节，本研究中 2BS-6 型精量播种机的播种效率是人工播种的 15 倍，与梁桂梅等[7]在烤烟育苗中的研究结果一致，说明机械播种可显著提升育苗效率，降低劳动成本。穴盘规格直接影响幼苗生长空间和盘根效果，72 孔穴盘因孔穴空间充足，能为幼苗根系发育提供良好环

境,使茎粗、根重等指标显著优于其他规格,且基质散坨率为0,这与菜心幼苗生长周期短、根系不发达的特性相适应[8]。值得注意的是,虽然128孔穴盘幼苗根系活力略高,但盘根效果远不如72孔穴盘,其原因在于根系盘根效果主要取决于根系绝对生物量和根系在基质中的分布密度,而非单纯的根系活力。72孔穴盘幼苗地下部干重显著高于其他处理($P < 0.05$),根系绝对量充足,且在较大的穴孔空间内根系呈放射状均匀分布,与基质颗粒形成紧密的网络结构,因此基质散坨率为0。128孔穴盘虽单位体积根系活力较高,但单株根系生物量仅为72孔的66.7%,根系网络不够发达,导致散坨率达9.5%;200孔穴盘根冠比最高,但单株根系总生物量不足,且穴孔空间狭小限制了根系横向扩展,根系集中在穴孔底部,与上部基质结合力弱,因此仍存在3.5%的散坨率。105孔、128孔和200孔穴盘因空间受限,幼苗生长受到抑制,且存在不同程度的散坨问题,其中200孔穴盘还因穴孔间距过小导致叶片交织,增加机械损伤风险,这与王研等[9]在辣椒育苗中关于穴盘规格影响幼苗质量的结论相符。

4.2. 育苗基质对菜心幼苗生长及盘根效果的作用

育苗基质的理化性质直接影响幼苗根系发育和盘根效果,JIFFY牌进口基质在保水保肥性、透气性等方面优于国产基质,使幼苗生长更健壮,根系活力更高,盘根效果更好,散坨率为0,而国产基质散坨率达30.3%,这与谢志勇等[10]在烤烟基质筛选中的研究结果一致,进一步分析表明,JIFFY进口基质较低的EC值避免了苗期盐胁迫,较高的总孔隙度保证了良好的水气协调,有利于根系伸长和侧根发生,因此根系生物量显著高于国产基质,根坨紧实度高。而国产基质EC值偏高,易导致根系根尖受损,抑制根系横向扩展,且总孔隙度较低,透气性差,根系多集中在穴孔底部,与上部基质结合力弱,因此散坨率较高。但进口基质成本较高,后续可研究国产基质的改良技术,通过添加腐熟有机肥、珍珠岩等调整理化性质,在降低成本的同时保证育苗效果。

4.3. 烯效唑壮苗调控的作用机制

烯效唑作为常用的植物生长调节剂,可通过抑制赤霉素合成,控制幼苗徒长,促进茎粗和根系发育[11]。本研究中烯效唑10倍液处理效果最佳,既抑制了徒长,又未造成过度矮化,使幼苗茎粗、根长等指标显著提升,这与刘星贝等[12]在甜芥茎秆抗倒性能调控中的研究结果相符;而25倍液处理因浓度过高导致幼苗过度矮化,生长受到抑制,说明烯效唑的应用需严格控制浓度。此外,烯效唑处理还提高了叶绿素含量和根系活力,增强了幼苗光合作用和养分吸收能力,为机械化移栽后的缓苗和生长奠定基础。

5. 结论

本研究通过系统试验,明确了适合菜心机械化移栽的集约化育苗技术体系,采用2BS-6型精量播种机进行播种,选用72孔穴盘和JIFFY牌进口育苗基质,出苗齐苗后叶面喷施烯效唑10倍液,配合“基质湿润管理+0.2%~0.5%三元复合肥追肥”的栽培措施,可培育出株高5.5~6.8 cm、茎粗1.45~2.12 mm、壮苗指数 ≥ 0.0218 、基质散坨率为0的优质壮苗,满足机械化移栽要求。该技术体系可显著提升播种效率,降低劳动成本,提高移栽成活率和生产效益,为菜心产业机械化升级提供技术支撑。

基金项目

广东省农业技术推广中心项目“菜心壮苗与高效移栽配套技术开发与应用示范”(NJTG20240267),国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-23-B11)。

参考文献

[1] 杨心彪,黄兴学.基于模糊数学隶属函数法评价不同菜薹品种的营养品质与食用感官品质[J].湖北农业科学,

-
- 2024, 63(9): 134-141.
- [2] 徐宁. 在这里, 看见中国蔬菜产业未来[J]. 半月谈, 2021(15): 27-29.
- [3] 李春燕, 刘成文. 气吸式精量播种机的播种技术及效益分析[J]. 棉花科学, 2007, 29(4): 24-26.
- [4] 王跃勇. 基于机器视觉和仿真试验的蔬菜穴盘幼苗移栽关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [5] 王天一, 尚庆茂. 蔬菜宜机化育苗技术研究及应用[J]. 蔬菜, 2025(9): 145-150.
- [6] 王红飞, 尚庆茂. 蔬菜徒长苗的形态及生理特征研究进展[J]. 中国蔬菜, 2017(7): 22-28.
- [7] 梁桂梅, 冷杨. 大力发展集约化育苗推进蔬菜产业现代化[J]. 中国农技推广, 2014, 30(7): 3-5.
- [8] 朱云娜, 杨庆庆. 水杨酸处理对菜心生长发育及其品质的影响[J]. 北方园艺, 2020(22): 53-59.
- [9] 王研, 李灵芝. 穴盘规格与灌溉量协同对西葫芦育苗的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2023, 41(8): 858-864.
- [10] 谢志勇. 基于烤烟基质选择育苗及管理技术研究[J]. 中国科技博览, 2014(4): 96.
- [11] 韩毅强. 赤霉素及烯效唑浸种对大豆根系及农艺性状的效应研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [12] 刘星贝, 汪灿. 喷施烯效唑对甜芥茎秆抗倒性能及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(24): 4903-4915.