

不同育苗载体对生菜育苗及机械移栽适配性的影响

曹彩红¹, 张松阳¹, 田雅楠¹, 曹玲玲¹, 姜凯²

(1. 北京市农业技术推广站 北京 100029; 2. 北京市农林科学院智能装备技术研究中心 北京 100097)

摘要:为解决常规穴盘基质育苗在生菜机械化移栽中存在的伤根及缓苗慢等问题,本研究系统评价了无纺布育苗块与纸钵育苗块2种新型育苗载体对生菜幼苗质量、机械移栽适配性及定植后发根的影响。结果表明,与常规穴盘基质育苗相比,无纺布育苗块和纸钵育苗块均能显著促进幼苗生长,壮苗指数分别显著提高了110.00%、90.00%。在机械移栽适配性方面,无纺布育苗块和纸钵育苗块的散坨率较常规穴盘基质育苗分别显著降低了13.54和7.27个百分点,移栽合格率分别为90.97%和90.17%,较常规穴盘基质育苗分别显著提高了14.40和13.60个百分点。定植后,2种新型育苗载体培育的幼苗根表面积、根体积、总根长等指标均显著优于常规穴盘基质育苗,表现出更强的发根与快速缓苗能力。综上,无纺布育苗块与纸钵育苗块通过优化根坨结构,在壮苗培育、移栽适配性与栽后发根等方面均显著优于常规穴盘基质育苗,为促进秧苗机械化移栽提供了有效途径。就育苗和移栽效果来看,无纺布育苗块稍优于纸钵育苗块,但前者的外包装材料(无纺布)难分解,增加了捡拾用工,因此在实际应用中还需结合生态、成本与生产需求等因素进行选择。

关键词:生菜;育苗载体;育苗质量;机械化移栽;缓苗

中图分类号:S636.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)07-236-07

Effects of different nursery systems on lettuce seedling cultivation and mechanical transplanting adaptability

Cao Caihong¹, Zhang Songyang¹, Tian Ya'nan¹, Cao Lingling¹, Jiang Kai²

(1. Beijing Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100029, China; 2. Intelligent Equipment Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: To address the problems of root damage and slow seedling recovery in plug tray seedling cultivation for mechanized lettuce transplanting, this study systematically evaluated the effects of two novel nursery carriers—non-woven fabric nursery blocks and paper pot nursery blocks—on lettuce seedling quality, mechanical transplanting adaptability, and post-transplant rooting. The results showed that, compared with conventional plug-tray substrate seedlings, both the non-woven fabric and paper pot nursery blocks significantly promoted seedling growth, with seedling vigor indices of 0.002 1 and 0.001 9, representing increases of 110.00% and 90.00%, respectively. Regarding mechanical transplanting adaptability, the root ball disintegration rates of the non-woven fabric and paper pot nursery blocks were significantly reduced by 13.54 and 7.27 percentage points, respectively, compared with conventional plug-tray substrate seedlings. Their qualified transplanting rates reached 90.97% and 90.17%, which were 14.40 and 13.60 percentage points higher than that of the conventional method. After transplanting, seedlings raised in the two novel carriers showed significantly greater root surface area, root volume, and total root length than conventional plug-tray substrate seedlings, demonstrating stronger rooting ability and rapid seedling recovery. In conclusion, by optimizing the root ball structure, the non-woven fabric and paper pot nursery blocks significantly outperformed conventional plug-tray substrate seedlings in cultivating vigorous seedlings, improving transplanting adaptability, and promoting post-transplant rooting, thereby providing an effective approach to facilitating mechanized seedling transplanting. Between the two, the non-woven fabric nursery block was slightly superior to the paper pot nursery block; however, the outer wrapping material of the former (non-woven fabric) is difficult to decompose, which increases the labor required for collection. Therefore, practical application should also take ecological, cost, and production requirement factors into consideration.

Key words: Lettuce; Seedling cultivation system; Seedling quality; Mechanical transplanting; Recovery from transplanting

收稿日期:2025-12-31;修回日期:2026-02-12

基金项目:国家自然科学基金面上项目(32171898);北京市设施蔬菜创新团队(BAIC01);北京市乡村振兴农业科技项目(NY2502090225)

作者简介:曹彩红,女,高级农艺师,主要从事蔬菜集约化育苗及有机栽培技术研究与推广工作。E-mail:caihong8765@126.com

通信作者:姜凯,男,正高级工程师,主要从事设施农业智能装备与农业机器人的研究与示范推广工作。E-mail:jiangk@nrcita.org.cn

生菜是重要的叶用蔬菜,其栽培面积与产量在我国绿叶菜中均位居前列,当前规模化、机械化生产需求日益突出。据FAO统计数据,2023年我国生菜和菊苣类蔬菜播种面积达63.30万hm²,占全球总播种面积的49.23%,年产量147.26万t,占全球总产量的51.97%^[1]。

育苗是蔬菜生产的第一关键环节,俗话说“苗好三成收”。近年来,集约化育苗发展迅速。据统计,目前我国建有蔬菜集约化育苗场逾3000个,年商品苗生产量约3500亿株^[2]。当前育苗生产通过应用精量播种机、播种流水线、自走喷灌机、潮汐式灌溉、物流苗床、环境控制系统等设备,在播种育苗、水肥灌溉、病虫害防治、环境控制等环节基本实现机械化,有效地促进了育苗生产效率和秧苗质量的提升。

但秧苗从苗棚到田间的移栽环节,由于蔬菜种类的多样性及特殊性,机械化移栽技术相对复杂。生菜栽培密度较高,为4500~5000株·667m²,多采用人工移栽,劳动强度大且耗费时间长。随着农业劳动人口老龄化加剧和用工成本不断增加,亟需解决劳动力短缺、生产效率低和人工成本高等难题,因此蔬菜移栽机械化成为节本增效的必然选择,也是实现蔬菜产业全程机械化、规模化和标准化生产的关键环节^[3-4]。而当前生菜秧苗机械化移栽的限制因素主要有以下四个方面:一是幼苗组织柔嫩、叶片脆嫩,机械取苗和投苗过程中易造成叶片损伤或断裂,影响缓苗速度与外观商品性^[5-7];二是苗龄短、根系盘结程度较弱,取苗时易散坨伤根,对穴盘规格、基质黏聚性和苗龄要求较高^[8-9];三是栽植深度一致性难保证,生菜心叶需露于土表,机械栽植过深或过浅均会影响生菜成活与生长^[10];四是移栽后土壤与根系贴合不紧密,易造成失水或悬根,影响缓苗速度,尤其在高温或干燥条件下更为突出^[11]。因此,农机农艺融合优化配置是解决机械移栽的科学路径。前人研究多通过采用生长调节剂、微生物菌剂,控制苗龄或采用不同规格穴盘等方式,调整秧苗株型,促进根系生长,让秧苗呈现“理想株型”——株型紧凑,根系发达。胡鹏昊^[12]在朝天椒苗期分别喷施调环酸钙、增胺酯和扎根N66三种植物生长调节剂,结果表明喷施200mg·L⁻¹调环酸钙可促进朝天椒幼苗生长、改善株型、增强茎秆机械强度。王婧^[13]研究表明,以600mg·L⁻¹调环酸钙和60mg·L⁻¹增胺酯复配处理大葱种苗,可有效调整幼苗植株形态特征,提高幼苗生理活性。丁文

忻等^[14]研究表明甘蓝在苗龄30~33d时,与移栽机适配性较好,投苗率与移栽成活率均较高。王克磊等^[9]研究表明,番茄采用50孔穴盘育苗,苗龄30d时幼苗生长最佳,根系活力和净光合速率均最高,最适合机械化移栽。但在实际生产中生长调节剂的使用量难把控,且效果不稳定,而对育苗载体方面的研究相对较少,基质块育苗技术的引入为机械移栽提供了新的思路。

为此,结合生菜种植模式与机械化移栽作业特点,本研究引进无纺布育苗块和纸钵育苗块2种新型育苗载体,二者分别用无纺布和专用纸将育苗基质包裹成圆柱形钵状体,自成根坨,移栽时无需脱盘,可减少取苗时伤根和叶片损伤,有利于提高移栽效率与成活率。已有研究表明,纸钵育苗块能促进某些蔬菜幼苗根系发育、提高壮苗指数^[15],但其在生菜育苗中的应用及与机械化移栽的配合效果尚缺乏系统研究。为此,本试验采用不同育苗载体进行生菜育苗,并结合移栽机开展田间机械移栽试验,综合分析不同育苗方式对生菜秧苗质量、机械移栽适配性及栽后发根情况的影响,旨在为生菜壮苗培育和机械化移栽的农艺配套技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为射手101生菜,为结球生菜品种,购自北京圣华德丰种子有限公司。试验所用的常规穴盘基质、无纺布育苗块、纸钵育苗块等3种育苗载体,基质主要成分均为草炭、蛭石、珍珠岩,体积比为3:1:1。育苗基质购自丰成育苗基质厂,无纺布育苗块购自吉林众鑫垚农业科技有限公司,纸钵育苗块购自东莞恩苗智能科技有限公司,3种育苗载体基本信息如表1所示。

1.2 试验设计

试验于2025年3—4月在北京市昌平区特菜大观园育苗温室进行。

采用105孔穴盘育苗。育苗基质先浇水预湿,达到“手握成团,落地即散”再装入穴盘。将无纺布育苗块、育苗纸钵和育苗基质分别装入穴盘,于2025年3月10日播种,每个穴孔播1粒种子,播种后覆盖蛭石,完全随机摆放到苗床架上,然后浇透水,至穴盘底部透水孔滴水为宜。每处理1张105孔穴盘,5次重复。苗棚日常环境控制、水肥灌溉及病虫害防治统一管理。子叶展平后,开始施肥,采

表 1 3 种育苗载体的基本信息
Table 1 Basic information of 3 types of seedling cultivation substrates

处理 Treatment	育苗载体 Seedling cultivation substrate	规格 Specification
CK	常规穴盘基质 Plug tray seedling cultivation	105 孔穴盘, 上口径为 35 mm×35 mm, 底径为 10 mm×10 mm, 高度 40 mm, 每穴体积为 36 cm ³ 105-cell plug tray, top opening 35 mm×35 mm, bottom 10 mm×10 mm, height 40 mm, cell volume 36 cm ³
T1	无纺布育苗块 Non-woven fabric seedling block	直径 35 mm, 高 40 mm, 体积为 38.5 cm ³ Diameter=35 mm, height=40 mm, volume=38.5 cm ³
T2	纸钵育苗块 Paper pot seedling block	直径 35 mm, 高 40 mm, 体积为 38.5 cm ³ Diameter=35 mm, height=40 mm, volume=38.5 cm ³

用水溶性三元复合肥(氮、磷、钾质量比 19:19:19, 以色列海法集团生物有限公司),秧苗从子叶展平至 2 叶 1 心期期间,水溶肥稀释浓度为 1‰~1.5‰, 2 叶 1 心至 4~5 片叶期间,稀释浓度为 3‰~5‰。

1.3 生长指标测定

播种后第 30 天(2025 年 4 月 10 日),统一进行田间调查与取样,每处理随机选取 5 棵测定叶片数、株高、茎粗、地上部鲜/干质量、根部鲜/干质量;株高测定茎基部到生长点的高度,茎粗测定子叶下部粗度。利用 LA-S 全能型植物分析仪(杭州万深检测科技有限公司)对生菜全部叶片以及根进行扫描与分析,测定叶表面积(cm²)以及总根长(cm)、根表面积(cm²)、根体积(mm³)。从根基部剪开,分别称量地上部鲜质量(g)与根鲜质量(g),再将地上部和根部在 105 ℃杀青 10 min,75 ℃烘干至恒质量,分别测定干质量(g),并计算壮苗指数。每处理 5 次重复。

生菜壮苗指数=茎粗/株高×全株干质量。

1.4 机械移栽的适配性

1.4.1 散坨率测定 参照唐玉新等^[16]的方法计算合格率和散坨率。散坨率统计方法:每个处理随机选取 50 株苗进行测试,从 60 cm 高度自由落体落下,收集散坨质量,散坨质量与原坨质量比<20%的植株为合格植株,≥20%的植株为散坨植株。

合格率/%=合格株数/供试株总数×100; (1)

散坨率/%=散坨株数/供试总株数×100。 (2)

1.4.2 移栽合格率 采用随机区组设计,每个处理随机选取 3 盘苗,用高效率蔬菜移植机 2ZY-2A (PVHR2-E18)(东风井关农业机械有限公司)进行田间移栽试验,畦宽 110 cm,畦高 20 cm,行距×株距为 35 cm×35 cm。移栽后统计漏栽数、倒伏数、埋苗数、露苗数和伤苗数,计算移栽合格率^[14]。

移栽合格率/%=[测试苗总数-(漏栽数+倒伏数+埋苗数+露苗数+伤苗数)]/测试苗总数×100。

1.5 定植后缓苗期发根情况观测

分别于生菜秧苗定植第 0、5、10 天,每个小区随机选取 5 株菜苗调查发根情况,测定根系的鲜质量,然后采用 LA-S 全能型植物分析仪系统进行扫描,测定总根长、根表面积、根体积,最后将根系在 105 ℃杀青 10 min,75 ℃烘干至恒质量,测定其干质量。

1.6 数据分析

采用 WPS office 2024 整理试验数据和作图;采用 IBM SPSS Statistics 22.0 进行数据分析;采用 Duncan 检验方法($P<0.05$)进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同育苗载体对生菜幼苗生长的影响

2.1.1 不同育苗载体对生菜幼苗生长指标的影响 由表 2 可知,3 种育苗载体培育的生菜幼苗株

表 2 不同育苗载体对幼苗生长指标的影响
Table 2 Effects of different seedling cultivation substrates on seedling growth indices

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem thickness/cm	叶表面积 Leaf surface area/cm ²	地上部鲜质量 Above-ground fresh mass/g	根鲜质量 Root fresh mass/g
CK	12.77±3.19 a	0.27±0.07 a	169.05±29.87 b	2.87±0.86 b	0.13±0.01 b
T1	12.60±1.47 a	0.26±0.03 a	212.26±32.54 a	4.60±0.86 a	0.18±0.03 a
T2	12.37±0.75 a	0.34±0.03 a	208.80±13.06 a	3.76±0.73 ab	0.15±0.00 ab

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

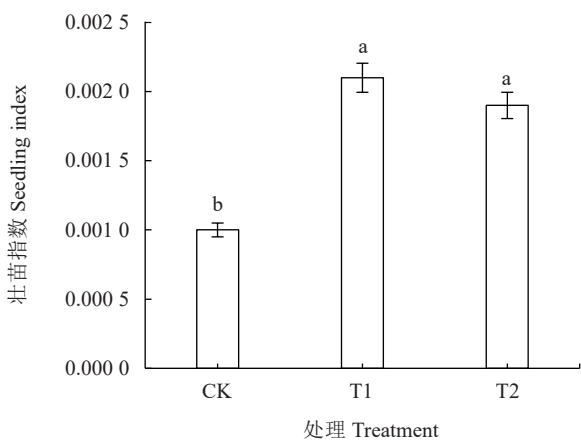
Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

高和茎粗差异均不显著。T1、T2 处理叶表面积均显著高于 CK,较 CK 分别增加 25.56%和 23.51% ; T1 处理幼苗地上部鲜质量和根鲜质量均显著高于 CK,较 CK 分别增加 60.28%和 38.46%。

2.1.2 不同育苗载体对生菜幼苗干物质积累和壮苗指数的影响 由表 3 可知,与 CK 相比,T1 和 T2 处理的地上部干质量和全株干质量均有所增加,地上部干质量分别增加了 143.59%和 64.10%,全株干质量分别增加了 126.67%和 57.78%;T1 和 T2 处理

表 3 不同育苗载体对生菜幼苗干物质积累的影响
Table 3 Effects of different seedling cultivation substrates on dry matter accumulation in lettuce seedlings

处理 Treatment	地上部干质量 Above-ground dry mass	根干质量 Root dry mass	全株干质量 Whole plant dry mass
CK	0.039±0.01 b	0.006±0.000 a	0.045±0.010 b
T1	0.095±0.03 a	0.007±0.000 a	0.102±0.030 a
T2	0.064±0.01 ab	0.007±0.000 a	0.071±0.010 ab



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 不同育苗载体对生菜秧苗壮苗指数的影响
Fig. 1 Effects of different seedling cultivation substrates on the seedling index of lettuce seedlings

的根干质量与 CK 均无显著差异。由图 1 可知,与 CK 相比,T1 和 T2 处理的壮苗指数均显著提高,较 CK 分别提高了 110.00%和 90.00%。由此可以看出,无纺布和纸钵育苗块对生菜苗期生长均具有一定促进作用,可增加干物质的积累,有利于培育壮苗,T1 处理整体优于 T2。

2.1.3 不同育苗载体对生菜幼苗根系生长的影响 由表 4 可知,T1、T2 处理幼苗的总根长、根表面积和根体积均显著高于 CK,而二者间无显著差异。表明育苗纸钵和无纺布育苗块这 2 种育苗载体对生菜苗期根系生长均具有显著的促进作用,利于苗期发根。

表 4 不同育苗载体对生菜幼苗根系生长的影响
Table 4 Effects of different seedling cultivation substrates on the root growth of lettuce seedlings

处理 Treatment	根表面积 Root surface area/cm ²	根体积 Root volume/cm ³	总根长 Total root length/cm
CK	13.74±4.51 b	0.10±0.03 b	155.89±51.19 b
T1	25.92±1.02 a	0.18±0.02 a	190.42±83.28 a
T2	21.34±6.48 a	0.17±0.06 a	206.37±57.02 a

2.2 不同育苗载体对生菜秧苗机械移栽的适配性分析

2.2.1 不同育苗载体对生菜秧苗散坨的影响 散坨率是评价种苗质量的重要参考指标,直接影响移栽的效果,散坨率越低则越有利于机械化移栽,移栽成活率也越高。由表 5 可知,与 CK 相比,T1、T2 处理散坨率均显著下降,分别降低了 13.54 和 7.27 百分点,且 T1 处理的散坨率显著低于 T2,较 T2 降低了 6.27 百分点。不同育苗载体对散坨质量具有一定影响,与 CK 相比,T1、T2 处理散坨质量>20%的幼苗株数均显著减少,散坨质量占比 10%~20%的幼苗株数 3 个处理间均无显著差异。结果表明,无纺布和纸钵育苗块均能更好地固定基质成坨不散,有效降低移栽过程中基质散坨率,减少根系的损伤,从而提高幼苗移栽成活率。

表 5 不同育苗载体对生菜幼苗散坨率的影响
Table 5 Effects of different seedling cultivation substrates on scattered lump rate

处理 Treatment	散坨质量占比<10.0%的株数 Seedling number with scattered lump rate <10.0%	散坨质量占比 10.0%~20.0%的株数 Seedling number with scattered lump rate 10.0%-20.0%	散坨质量占比大于 20%的株数 Seedling number with scattered lump rate >20.0%	散坨率 Scattered lump rate %
CK	34.77±0.25 b	4.6±0.72 a	10.03±1.88 a	20.07±3.70 a
T1	42.83±0.25 a	3.9±0.30 a	3.27±0.31 c	6.53±0.61 c
T2	39.50±0.85 a	4.1±0.10 a	6.40±0.90 b	12.80±1.80 b

2.2.2 不同育苗载体对生菜幼苗移栽效果的影响 旱地栽植机械:JB/T 10291—2013^[17]行业标准规定,高速移栽机的漏栽率、伤苗率、露苗率、埋苗率应低于 5%,倒伏率应低于 7%,移栽合格率应大于 90%。由表 6 可知,CK 的露苗率为 5.67%,埋苗率为 5.63%,整体移栽合格率为 76.57%,未达到机

械移栽标准的要求。而 T1、T2 处理漏栽率、倒伏率、露苗率、埋苗率均显著低于 CK,漏栽率分别降低了 3.03 和 2.00 百分点,倒伏率分别降低了 2.76 和 2.46 百分点,露苗率分别降低了 3.44 和 3.27 百分点,埋苗率分别降低了 4.13 和 4.03 百分点,整体机械化移栽的合格率分别显著提高了 14.40 和

表 6 不同育苗载体对移栽效果的影响
Table 6 Effects of different seedling cultivation substrates on transplanting performance %

处理 Treatment	漏栽率 Missed hill rate	倒伏率 Laid seedling rate	露苗率 Exposed seedlings rate	伤苗率 Wounded seedlings rate	埋苗率 Covered seedlings rate	合格率 Qualified rate
CK	3.03±0.47 a	4.53±0.25 a	5.67±0.21 a	4.57±0.25 a	5.63±0.21 a	76.57±0.47 b
T1	0.00±0.00 c	1.77±0.12 b	2.23±0.15 b	3.53±0.21 a	1.50±0.36 b	90.97±0.67 a
T2	1.03±0.25 b	2.07±0.25 b	2.40±0.20 b	2.73±0.32 a	1.60±0.20 b	90.17±0.32 a
标准规定指标 Standard specified indicator	≤5.00	≤7.00	≤5.00	≤5.00	≤5.00	≥90.00

13.60 百分点,均符合机械栽植标准要求。

2.3 不同育苗载体对生菜秧苗移栽后发根情况的影响

2.3.1 不同育苗载体对生菜秧苗移栽后根系生物量的影响 如表 7 所示,在移栽第 5、10 天,T1 和 T2 处理幼苗根鲜质量和根干质量均显著高于 CK,但二者均无显著差异。移栽后第 5 天,T1 和

T2 根鲜质量分别较 CK 提高 51.11%和 47.34%,根干质量分别较 CK 提高 30.77%和 26.69%;移栽后第 10 天,T1 和 T2 根鲜质量分别较 CK 提高 30.13%和 52.24%,根干质量分别较 CK 提高 82.33%和 103.20%。表明无纺布和纸钵育苗块培育的幼苗在定植后根系发根快,根系生物量均显著提高。

表 7 不同育苗载体对生菜秧苗移栽后根系生物量的影响
Table 7 Effects of different seedling cultivation substrates on root biomass of lettuce seedlings after transplanting

处理 Treatment	根鲜质量 Root fresh mass/mg			根干质量 Root dry mass/mg		
	0 d	5 d	10 d	0 d	5 d	10 d
CK	127.00±14.42 b	150.67±5.13 b	253.33±16.26 b	5.47±0.31 a	6.37±0.45 b	8.43±0.15 b
T1	153.67±4.62 a	227.67±9.61 a	329.67±16.44 a	7.00±1.15 a	8.33±0.60 a	15.37±0.60 a
T2	165.67±4.16 a	222.00±3.61 a	385.67±33.02 a	6.87±0.91 a	8.07±0.15 a	17.13±0.29 a

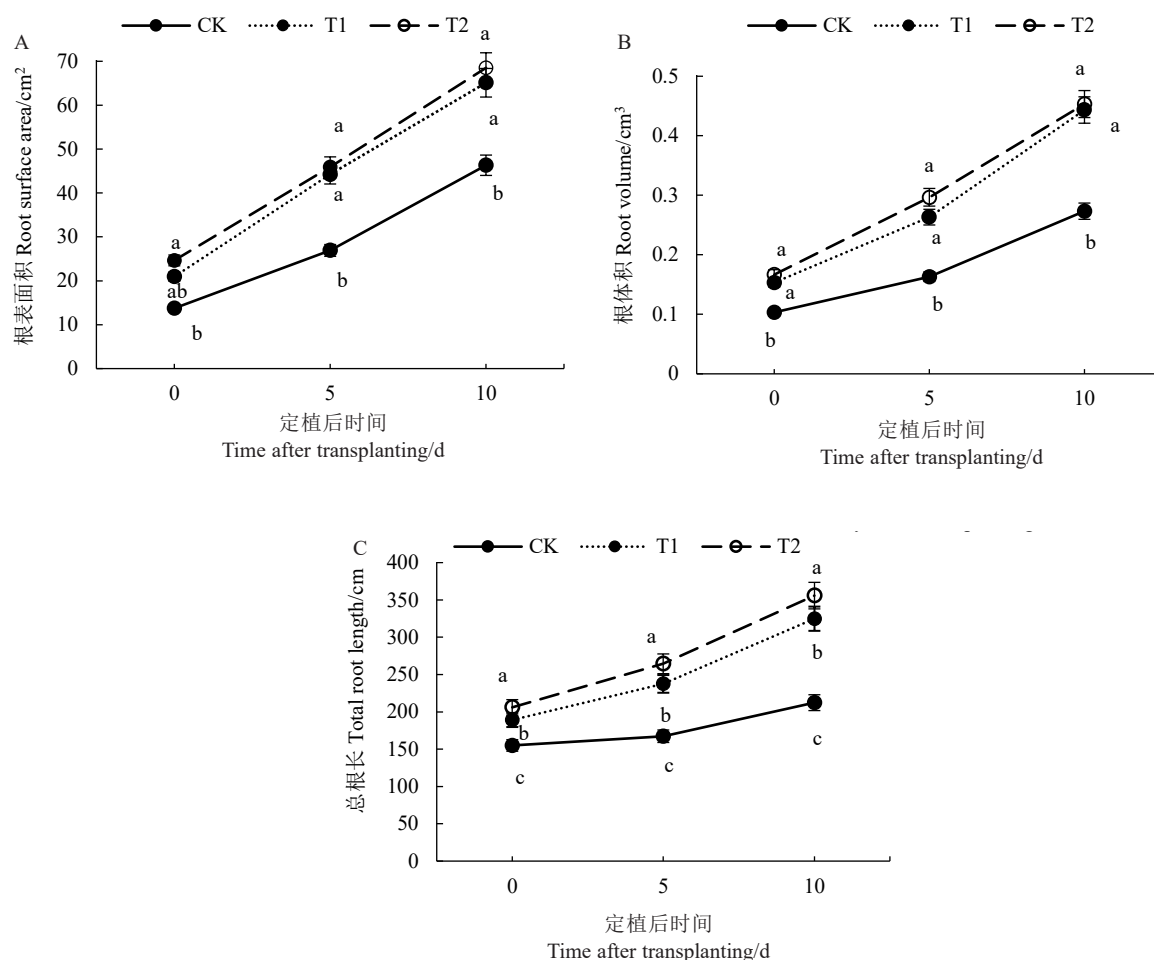
2.3.2 不同育苗载体对生菜秧苗移栽后根系生长指标的影响 由图 2 可知。T1、T2 处理的秧苗在移栽第 0、5、10 天的根表面积和根体积均显著大于 CK,而二者间均无显著差异;3 种育苗载体培育的秧苗移栽后各时期总根长差异均显著,均为 T2>T1>CK,同时根据根系生长曲线可以看出,CK 的增长速率均低于 T1、T2 处理。综上,纸钵育苗块和无纺布育苗块这 2 种育苗载体对生菜定植后根系生长均具有显著的促进作用。

3 讨论与结论

本研究系统探究了不同育苗载体对生菜幼苗生长、机械移栽适配性及移栽后恢复速度的影响,结果表明无纺布育苗块与纸钵育苗块综合表现优

于常规穴盘育苗,为生菜机械化移栽生产体系优化提供了实践依据。

在幼苗生长与壮苗培育方面,无纺布育苗块与纸钵育苗块均能显著促进生菜幼苗叶表面积增加,促进地上部和根系生长,以及干物质积累,其中壮苗指数分别较常规穴盘基质育苗提高 110.00%和 90.00%,说明二者均有利于培育根系发达、物质积累充分的健壮幼苗。刘柯等^[18]研究表明,与常规穴盘基质育苗相比,纸钵育苗块育苗可使西瓜嫁接苗的最新展开叶叶柄长、叶面积以及茎叶鲜质量、干质量显著增加。王希波等^[15]研究表明纸钵育苗块能够促进番茄幼苗根系发育,加快地上部生长,总生物量较常规穴盘基质育苗提高 10.27%,壮苗指数提高 7.50%。陈潇等^[19]研究表明,纸钵育苗块可促使



注:不同小写字母表示同一时期不同处理在 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level at the same stage.

图2 不同育苗载体对生菜幼苗移栽后的根系生长指标的影响

Fig. 2 Effects of different seeding cultivation substrates on root growth indicators of seedlings after transplanting

番茄和辣椒幼苗稳定、高效生长,提高壮苗指数。Xu 等^[20]研究表明番茄、辣椒和甘蓝纸钵育苗块培育的幼苗定植时间可比穴盘基质苗提前 10 d。这可能与无纺布育苗块和纸钵育苗块这 2 种育苗载体的独特结构密切相关,无纺布育苗块和纸钵育苗块的侧壁与穴盘间有空隙,形成了通气层,育苗过程中产生空气修根效应,能减少根系在容器内盘旋缠绕,促进根系向外伸展,形成更多有效根;同时移栽后,根系几乎不受扰动,没有明显的缓苗期,能迅速继续生长。

在移栽方面,常规穴盘基质育苗在机械移栽过程中,根系易散坨受损,出现缓苗慢、成活率低等问题。而前人研究多通过喷施生长调节剂^[12-13]、微生物菌剂^[14]、优化穴盘规格^[15]等方式来调控秧苗地上部生长,协调地上部株型与根系的生长,而基质块育苗技术的引入为机械移栽提供了新的思路^[21-23]。

本研究引进无纺布育苗块与纸钵育苗块 2 种新型育苗载体,结果表明,在机械移栽时,二者均能显著降低散坨率,其中无纺布育苗块最低,为 6.53%,纸钵育苗块次之。与常规穴盘基质育苗相比,无纺布育苗块与纸钵育苗块的散坨率分别降低了 13.54 和 7.27 百分点,且移栽合格率均高于 90%,分别提高了 14.40 和 13.60 百分点,符合行业标准要求($\geq 90\%$),而常规穴盘基质育苗移栽合格率仅为 76.57%,未达到行业标准($\geq 90\%$)。有效破解了移栽散坨率高、难达合格率的难题。这与刘柯等^[18]研究结果一致,西瓜采用纸钵育苗块培育嫁接苗,嫁接 19 d 后,秧苗移栽散坨率为 3.30%,定植时间比常规穴盘基质育苗提前 6~12 d。因此,无纺布和纸钵育苗块能有效固定根坨,减少移栽损伤,更适合机械化移栽作业。主要原因可能是这 2 种育苗载体均能够自行成坨,有效固定基质,在移栽过程中

有效解决了散坨的问题,且大大降低了伤根率,提高了移栽成功率。

在移栽后根系生长方面,无纺布与纸钵育苗块培育的幼苗在移栽后根系生长更快,根表面积、根体积及总根长均显著大于常规穴盘育苗,表明无纺布育苗块与育苗纸钵培育的幼苗移栽后发根能力强,能更快适应定植环境,有利于缓苗与后期生长。其主要原因可能是,穴盘苗的根系与穴盘壁紧贴在一起,基质的透气性相对不佳,不利于根系的呼吸,同时水肥浇灌后保水保肥能力不足,也容易受外界空气温湿度影响,造成“窝根”现象,且移栽时从穴盘中拔出时根系容易受损,需要5~7 d恢复和缓苗。

此外,新型育苗载体的应用价值还需兼顾生态与经济效益。纸钵育苗块由一层育苗专用纸包裹基质,移栽到田间遇水后会快速腐烂分解,而无纺布育苗块由一层无纺布包裹,降解较慢,需要在下一茬整地时清理出来,以免造成土壤污染。在育苗成本上,与常规穴盘育苗相比,无纺布育苗块和育苗纸钵2种新型育苗载体的单价略高,分别为0.14和0.17元·株⁻¹,常规穴盘育苗折合仅0.03元·株⁻¹,但前两者搭配机械移栽带来的便捷性,可减少人工成本,且移栽后的生长优势可能会带来更好的经济效益。

综上所述,无纺布育苗块和纸钵育苗块2种新型育苗载体,在生菜育苗阶段、机械移栽适配性及移栽后恢复能力上综合表现优于常规穴盘基质育苗,能显著促进生菜幼苗的叶面积扩展、干物质积累及根系发育,壮苗指数分别提高110.00%和90.00%,同时利于机械移栽,散坨率分别降低了13.54和7.27百分点,合格率分别提高14.40和13.60百分点。就育苗和移栽效果来看,无纺布育苗块稍优于纸钵育苗块,但后者具有定植后快速降解的优势。因此,实际应用中需平衡成本、生态与生产需求进行选择。后续研究可进一步探讨不同育苗载体对生菜产量、品质及土壤生态环境的影响,为技术优化与推广提供更全面的依据。

参考文献

- [1] FAOSTAT. 联合国粮食与农业组织[EB/OL]. [2025-05-13]. <https://www.fao.org/faostat/zh/#data/QCL/visualize>.
- [2] 孙小武,武占会,冯一新,等.“十三五”我国蔬菜育苗技术研究进展[J]. 中国蔬菜,2021(8):18-26.
- [3] Pahua R, Verma H K, Uddin M. A wireless sensor network for greenhouse climate control[J]. IEEE Pervasive Computing, 2013, 12(2):49-58.
- [4] Nagesh K D N. ARM based remote monitoring and control system for environmental parameters in greenhouse, March 05-07, 2015[C]//IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), India: Coimbatore, 2015: 1-6.
- [5] 李华,曹卫彬,李树峰,等.辣椒穴盘苗自动取苗机构运动学分析与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(23):20-27.
- [6] Park M S, Kim H C, An S, et al. Influence of preplant root substrate nitrogen levels on growth of selected fruit bearing vegetable seedlings in cylindrical paper pots[J]. Horticulture, Environment and Biotechnology, 2021, 62(3):367-375.
- [7] 张学东,崔巍,刘云强,等.穴盘苗移栽自动取苗技术研究现状与展望[J]. 中国农机化学报,2023,44(12):17-24.
- [8] 刘洋,毛罕平,徐静云,等.机械移栽黄瓜穴盘育苗品质评价与试验[J]. 农业机械学报,2018,49(增刊1):75-82.
- [9] 王克磊,朱隆静,苏世闻,等.不同规格穴盘对番茄幼苗生长及其机械化移栽的影响[J]. 浙江农业学报,2021,33(5):840-845.
- [10] 张浩然,高艳明,李建设,等.不同菌剂处理下甘蓝幼苗对机械化移栽的适配性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(1):122-132.
- [11] 程博,苏浴源,闫凤岐,等.露地结球叶菜补齐机械化移栽断链探索:以张家口坝上地区为例[J]. 中国农机化学报,2023,44(12):1-4.
- [12] 胡鹏昊.植物生长调节剂对朝天椒幼苗宜机化移栽特性和生长的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2024.
- [13] 王婧.植物生长调节剂对大葱幼苗宜机化移栽特性和生长的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2024.
- [14] 丁文忻,李建设,高艳明,等.不同苗龄甘蓝机械化移栽效率比较[J]. 中国瓜菜,2025,38(11):193-200.
- [15] 王希波,杨文强,钟昆恒,等.纸钵对番茄幼苗生长的影响[J]. 农业工程技术,2023,43(3):59-62.
- [16] 唐玉新,殷晓丹,吴海明,等.无锡地区适合机械化移栽花椰菜穴盘育苗技术规程[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):222-224.
- [17] JB/T 10291—2013 旱地栽植机械[S].
- [18] 刘柯,施先锋,葛米红,等.纸钵育苗对西瓜断根嫁接苗生长的影响[J]. 中国蔬菜,2025(1):124-131.
- [19] 陈潇,钟昆恒,曹健,等.纸钵育苗对番茄辣椒幼苗生长和壮苗指数的影响[J]. 长江蔬菜,2021(10):14-17.
- [20] Xu C, Kim S H, Kim J K, et al. The effect of transplant age on vegetable growth characteristic in a cylindrical paper pot system[J]. Horticulture, Environment and Biotechnology, 2021, 62(3):313-323.
- [21] 王小蒙,邵海峰,田龙军,等.微生物菌肥施用量对油菜种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 磷肥与复肥,2019,34(1):36-38.
- [22] 崔志超,管春松,徐陶,等.基质块育苗移栽技术与装备发展现状[J]. 中国农机化学报,2022,43(5):29-34.
- [23] 陈永生,刘先才.2019中国蔬菜机械化发展报告[J]. 中国农机化学报,2020,41(3):46-53.