

不同苗龄甘蓝机械化移栽效率比较

丁文忻, 李建设, 高艳明, 海 东

(宁夏大学葡萄酒与园艺学院 宁夏银川 750021)

摘 要: 针对六盘山区甘蓝幼苗形态特征与移栽机械不适配的问题, 使用 2ZB-2B 式半自动双行移栽机, 以当地主栽品种中甘 15 为试材, 设置 T1: 39 d, T2: 36 d, T3: 33 d, T4: 30 d, T5: 27 d, T6: 24 d 共 6 个苗龄处理, 记录幼苗形态特征及机械移栽情况, 并测定其田间生长状况、品质、产量等指标, 以期筛选出适宜机械化移栽的甘蓝幼苗苗龄。结果表明, T3(苗龄 33 d)和 T4(苗龄 30 d)处理与移栽机适配性较好, 投苗率、移栽成活率高, 移栽后产量分别达到了 75.05、74.02 t·hm⁻², 品质表现优异, 综合评价系数分别为 0.82、0.63。综上所述, 为促进六盘山区甘蓝农机农艺融合高效化发展, 可优先选择苗龄 33 d 和苗龄 30 d 的甘蓝幼苗进行机械化移栽。

关键词: 甘蓝; 苗龄; 机械移栽; 品质; 产量

中图分类号: S635

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)11-193-08

Study on mechanized transplanting efficiency of cabbage at different seedling ages

DING Wenxin, LI Jianshe, GAO Yanming, HAI Dong

(College of Wine and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: Aiming at the problem that the morphological characteristics of cabbage seedlings in Liupanshan area were not suitable for transplanting machinery, 2ZB-2B semi-automatic double-row transplanting machine was used, with the local main cultivar Zhonggan 15 as the test material. Six seedling age treatments were set up, including T1: 39 d, T2: 36 d, T3: 33 d, T4: 30 d, T5: 27 d and T6: 24 d. The morphological characteristics of seedlings and mechanical transplanting were recorded, and the field growth status, quality and yield were measured, in order to screen out the seedling age of cabbage seedlings suitable for mechanized transplanting. The results showed that T3 (seedling age of 33 d) and T4 (seedling age of 30 d) had good adaptability to transplanting machine, high seedling rate and transplanting survival rate. The yield after transplanting reached 75.05 and 74.02 t·hm⁻², respectively, and the quality performance was excellent. The comprehensive evaluation coefficients were 0.82 and 0.63, respectively. In summary, in order to promote the efficient development of the integration of agricultural machinery and agronomy of cabbage in Liupan Mountain area, the cabbage seedling age of 33 days and 30 days were preferentially selected for mechanized transplanting.

Key words: Cabbage; Seedling age; Mechanical transplanting; Quality; Yield

甘蓝 (*Brassica oleracea* L.) 属十字花科芸薹属蔬菜^[1], 富含碳水化合物、蛋白质等成分, 并具有保健功能^[2], 适应性及抗逆性均较强, 是世界卫生组织推荐的最佳蔬菜之一^[3]。甘蓝为低密度种植的蔬菜, 种植时需要保持合适的株距、行距, 因此一般多采用移栽方式^[4]。余建国等^[5]研发了一种 2ZB-2 型蔬菜移栽机, 作业参数由电气系统控制并可实现无极调整。金永旺等^[6]设计了一种多叶片式鸭嘴栽植机构, 直立度合格率为 96.70%, 符合行业标准的要

求。俞高红等^[7]针对现有植苗机构用于小株距蔬菜移栽时出现的轨迹不合理等问题, 研发了一种植苗机构, 植苗合格率达 91.70%, 可满足小株距高密度移栽要求。对于甘蓝机械化移栽, 现有研究多聚焦于移栽机结构优化^[8]和作业参数^[9]的调整, 针对甘蓝幼苗形态特征与机械适配性的研究相对较少, 这直接影响着甘蓝机械化移栽的推广效果。

苗龄作为表征甘蓝幼苗发育阶段的核心指标, 通过形态建成和生理代谢双重途径影响机械移栽

收稿日期: 2025-04-17; 修回日期: 2025-06-22

基金项目: 六盘山区冷凉蔬菜产业关键技术集成研究与应用示范(2021YFD1600302)

作者简介: 丁文忻, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜栽培生理生态。E-mail: 1779397449@qq.com

通信作者: 高艳明, 女, 教授, 研究方向为设施蔬菜栽培生理与营养施肥。E-mail: myangao@163.com

效果。甘蓝幼苗具有展幅大、叶片厚、侧根发达、易散坨等特点,其茎粗、展幅、株高等形态参数直接影响移栽机械鸭嘴钳的抓取力,进而影响机械移栽投苗率、成活率。当幼苗株高大于鸭嘴钳轨迹高度或展幅大于鸭嘴钳最大开度时,在移栽过程中容易出现“拖苗”“卡苗”现象^[10];幼苗株高、茎粗过小,容易造成幼苗茎秆折断、基质散坨率高^[11]以及“埋苗”现象^[12],均会降低移栽机的作业质量和效率,同时也会增加人工成本。目前六盘山区甘蓝种植仍以人工移栽为主,劳动强度大,移栽效率低,研究幼苗苗龄形态特征与移栽机械适配性是解决这一问题的关键。

因此,本试验以宁夏六盘山区主栽甘蓝品种中甘 15 为研究对象,设置不同的甘蓝苗龄进行机械化移栽,通过记录幼苗形态特征以及机械移栽情况,并对其田间生长指标、品质、产量等进行相关性分析和隶属函数综合评价,以期筛选出适宜机械化移栽的甘蓝幼苗苗龄,为甘蓝机械化移栽技术优化提供技术支撑,以满足市场所需,提高当地蔬菜产业整体效益和市场竞争能力,对六盘山区甘蓝产业健康可持续发展具有重大意义。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试材料中甘 15 由中蔬种业科技(北京)有限公司提供,为早熟春秋型甘蓝品种,圆球形,定植后 50~55 d 即可采收。

1.2 试验地概况

本试验于 2024 年 4 月在宁夏固原市西吉县马莲乡万亩露地冷凉蔬菜基地进行,该地属温带半干旱大陆性气候,年平均气温 5.8℃,年平均降水量 440 mm,无霜期年平均 138 d,年平均日照时数 2282 h。

1.3 试验设计

本试验采用单因素完全随机区组设计,3 次重复。2024 年 4 月 24 日开始播种,选用 128 孔穴盘育苗,每次播种 3 盘,每隔 3 d 播 1 次,共播 6 次,设置 T1:39 d,T2:36 d,T3:33 d,T4:30 d,T5:27 d,T6:24 d 共 6 个苗龄处理。2024 年 6 月 1 日统一采用 2ZB-2B 式半自动双行移栽机移栽,移栽机机械参数见表 1,六盘山区人工移栽甘蓝效率见表 2,机械移栽与人工移栽效率比见表 3,每畦定植 2 行,小区面积 14.5 m²。甘蓝生育期内,农艺管理措施相同。

表 1 2ZB-2B 式半自动双行移栽机机械参数
Table 1 Mechanical parameters of 2ZB-2B semi-automatic double-row transplanter

参数 Parameter	数值 Value
投苗筒尺寸 Fuselage size/cm	9.5×10
插植筒尺寸 Duckbill pliers size/cm	23×12.5
种植行数 Number of rows planted	2
株行距 Distance between plants/cm	30×50
播种深度 Planting depth/cm	4
栽植频率 Transplanting frequency/(plant·min ⁻¹)	38

表 2 六盘山区人工移栽甘蓝效率
Table 2 The efficiency of artificial transplanting of cabbage in Liupan Mountain area

	第 1 次 The first time/ plant	第 2 次 The second time/ plant	第 3 次 The third time/ plant	平均栽植株数 Number of average transplanted plant/ (plant·min ⁻¹)
测试时间 Testing time/10 min				
株数(2 人共同作业) Number of plants (2 persons working together)	130	142	166	7.3

表 3 六盘山区机械移栽与人工移栽效率比
Table 3 Efficiency ratio of mechanical transplanting and artificial transplanting in Liupan Mountain area

移栽方式 Transplanting method	移栽株数 Number of transplanted plant/ (plant·min ⁻¹)	效率比 Efficiency ratio
机械移栽 Mechanical transplanting	38.0	5.21
人工移栽 Artificial transplanting	7.3	

1.4 指标测定方法

1.4.1 机械移栽情况 移栽前记录不同苗龄苗态、空穴率(穴盘未出苗数/总育苗数×100%),参考唐玉新等^[13]方法测定散坨率(苗块取自 60 cm 左右高度自然落下,收集散坨称质量后与原坨质量相比,得到百分数,即为散坨率)。移栽过程中记录机械投苗株数、投苗率(投苗成功株数/总投苗数×100%),移栽 7 d 后计算成活率(成活幼苗株数/投苗成功株数×100%)。

1.4.2 生长指标测定 移栽前记录幼苗形态特征,定植后 7 d(缓苗期),每个处理选择长势均匀的 9 株测定株高(用卷尺测量植株茎部露出土表位置到自然生长点的垂直高度,cm)、茎粗(用卷尺测量植株茎部露出土表向上 0.5 cm 处茎的直径,mm)、展幅(用卷尺测定植株展开水平投影面的平均直径,cm),并计算叶面积($A=\pi\frac{(L+W)^2}{16}$,A 为叶面积,cm²;L 和 W 分别为最大叶片的最大长度和最大

宽度,cm),并分别在莲座期、结球期和成熟期再次测量株高、展幅、茎粗、叶面积,共测 4 次;成熟期测定纵径(用卷尺测量叶球纵切面的最大纵径,cm)、横径(用卷尺测量叶球横切面的最大横径,cm)、球形指数(纵径/横径)、中心柱高(用卷尺测定叶球纵切后从叶球内茎底部到茎尖处的最大距离,cm)、紧实度^[14]($X = \frac{W}{\frac{\pi}{6}HD^2}$, X 为叶球紧实度;

W 为单球质量,g; D 为叶球横径,cm; H 为叶球纵径,cm)、单球质量(植株砍根后,去掉老叶,仅保存一层外叶的球质量,kg)、单株质量(植株砍根后整株的质量,kg)、净菜率(单球质量/单株质量 \times 100%)、折合产量($t \cdot hm^{-2}$)。

1.4.3 品质指标测定 甘蓝成熟后每个处理取 3 株,用手持型测糖仪(PAL-1 糖度计)测定可溶性固形物含量;参考邹琦^[15]的方法,采用紫外分光光度法测定维生素 C 含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量,采用水杨酸法测定硝酸盐含量。

1.4.4 综合评价 参考王世尧等^[16]的方法计算不同苗龄甘蓝各指标隶属函数值,进而计算综合评价系数。

$$X(f) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}; \tag{1}$$

$$X(f) = 1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}. \tag{2}$$

式中: $X(f)$ 为不同处理测定指标的隶属函数值, X 为不同苗龄甘蓝某一指标的测定值, X_{\max} 、 X_{\min} 分别为该测定指标的最大值和最小值。与生长表现正相关采用(1)式,反之用(2)式。计算各指标的隶属函数值,加和求平均值,再对平均值排序进行综合评价。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2017 和 IBM SPSS Statistics 23.0 软件进行试验数据统计分析和作图,采用 Duncan's 多重比较法进行差异显著性分析($P < 0.05$),结果以平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 甘蓝幼苗移栽前种苗参数

由表 4 可知,除 T6 处理外,其余处理幼苗均处于 5 叶 1 心状态。随着苗龄的增加,甘蓝的株高、展幅、茎粗均增加。其中,T1 处理的株高、展幅、茎粗均最高;T2、T3 处理的株高、茎粗和展幅均无显著差异;T6 处理育苗天数短,株型小,空穴率最高,达到了 11.72%。从散坨率来看,各处理散坨率均低于 20%,均达到大田机械化移栽要求^[17]。

表 4 不同苗龄甘蓝移栽前种苗参数

Table 4 Seedling parameters of cabbage at different seedling ages before transplanting

处理 Treatment	苗态 Seedling state	株高 Plant height/cm	展幅 Expand/cm	茎粗 Stem thickness/mm	空穴率 Porosity of planting holes/%	散坨率 The rate of scattered lump/%
T1	5 叶 1 心 Five leaves and one heart	5.24 \pm 0.48 a	19.77 \pm 0.52 a	2.95 \pm 0.06 a	3.13	0.50
T2	5 叶 1 心 Five leaves and one heart	4.88 \pm 0.18 a	16.44 \pm 0.89 b	2.74 \pm 0.15 a	2.34	0.49
T3	5 叶 1 心 Five leaves and one heart	4.78 \pm 0.28 a	16.01 \pm 1.24 b	2.71 \pm 0.03 a	5.86	0.63
T4	5 叶 1 心 Five leaves and one heart	4.07 \pm 0.20 b	14.64 \pm 0.90 bc	2.35 \pm 0.14 b	3.91	0.54
T5	5 叶 1 心 Five leaves and one heart	3.59 \pm 0.58 b	13.21 \pm 2.29 c	2.29 \pm 0.14 b	5.81	0.89
T6	4 叶 1 心 Four leaves and one heart	2.82 \pm 0.13 c	8.20 \pm 0.38 d	2.06 \pm 0.27 b	11.72	1.59

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.

2.2 不同苗龄甘蓝幼苗机械移栽情况

由表 5 可知,T1 处理甘蓝幼苗因展幅过大,移栽过程中易出现“卡苗”现象,每分钟移栽株数仅 36 株,投苗率仅 85.71%,虽移栽成活率高,但移栽速率、投苗率低于其他处理,机械损伤严重。T2、T3、T4、T5、T6 处理每分钟移栽株数均为 38 株,投苗率均高于 T1 处理,但 T6 处理株型小,根系发育不完全,移栽过程中易出现“埋苗”现象,导致移栽

成活率较低。T3、T4、T5 处理株型紧凑、直立性好,机械移栽投苗率、成活率均较高,T4 处理移栽成活率最高,达到了 98.15%。

2.3 不同苗龄甘蓝机械化移栽后各生育期生长指标比较

如图 1-A 所示,缓苗期 T1、T2、T3 处理的株高均显著高于 T4、T5、T6。T1 处理株高最高(5.24 cm),T6 处理株高最低(2.82 cm),较 T1 显著

表 5 不同苗龄甘蓝机械移栽情况
Table 5 Mechanical transplanting of cabbage at different seedling ages

处理 Treatment	垄长 Ridge length/m	移栽株数 Transplanted plant count/(plant·min ⁻¹)	总株数 Total number of plants	投苗率 Seedling stocking rate/%	移栽成活率 Transplant survival rate/%
T1	52	36	350	85.71	98.00
T2	52	38	350	91.43	97.81
T3	52	38	350	94.29	97.58
T4	52	38	350	92.86	98.15
T5	52	38	350	96.57	97.63
T6	52	38	350	94.29	93.94

降低 46.18%。结球期各处理株高较莲座期迅速增高,T3、T4 处理株高显著高于 T2、T6。成熟期各处理间株高均无显著差异,长势一致。

如图 1-B 所示,缓苗期 T3 处理的展幅最大(24.92 cm);T6 处理的展幅最小(19.23 cm),且莲座期各处理展幅较缓苗期均增大,T3 处理的展幅最大(44.41 cm),较 T5 处理(39.89 cm)显著增加了

11.33%。T3 处理莲座期的展幅较缓苗期增加了 78.21%。结球期、成熟期各处理间展幅均无显著差异。

如图 1-C 所示,缓苗期 T1 处理的叶面积与 T3、T4 均无显著差异,但显著大于 T2、T5、T6;莲座期 T1 处理的叶面积(291.49 cm²)显著大于 T5(256.89 cm²)、T6(228.07 cm²);结球期 T3、T4 处理

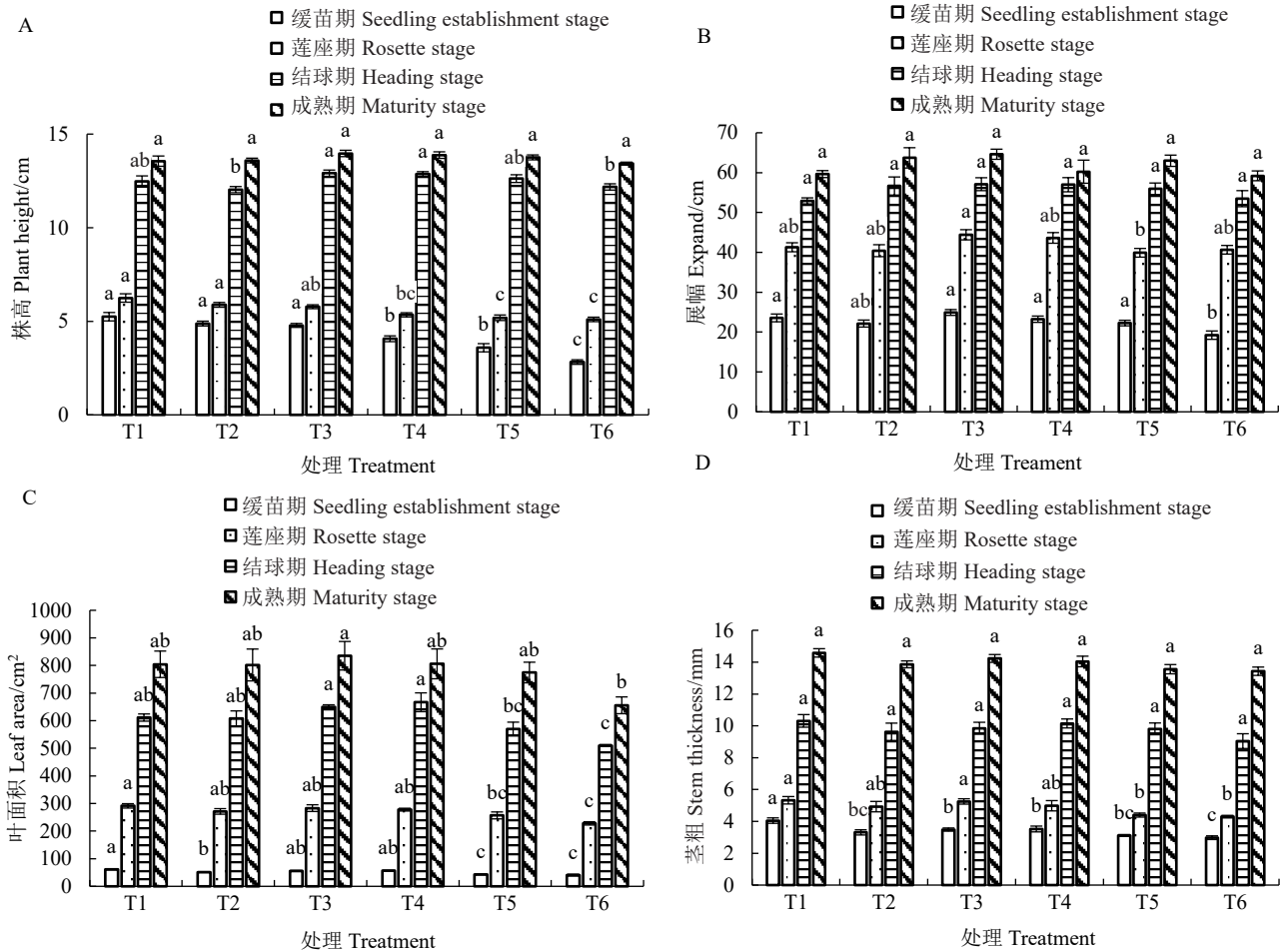


图 1 不同苗龄甘蓝机械化移栽后各生育期生长指标比较
Fig. 1 Comparison of growth indexes of cabbage at different seedling ages after mechanized transplanting

的叶面积均显著大于 T5、T6,其中,T4 处理较 T6 显著增加 30.67%;成熟期 T3 处理叶面积最大(835.40 cm²),较 T6 显著增加了 27.38%。随着甘蓝的生长,各处理叶面积均呈大幅增加趋势。

如图 1-D 所示,缓苗期 T1 处理的茎粗(4.05 mm)显著高于其他处理,较 T6(2.98 mm)显著增加 35.9%。莲座期 T1、T3 处理的茎粗显著高于 T5、T6。结球期、成熟期各处理间茎粗长势一致,均无显著差异。

2.4 不同苗龄甘蓝机械化移栽后叶球、产量性状比较

如表 6 所示,从叶球性状来看,不同苗龄甘蓝

中心柱高在 6.80~7.73 cm 之间,纵径在 16.50~18.43 cm 之间,横径在 16.17~18.30 cm 之间。各处理间球形指数均无显著差异。T3 处理的紧实度最高(0.66),显著高于 T4(0.54)、T5(0.52)、T6(0.55)。

从产量性状来看,T1、T3、T4 处理间的单株质量、单球质量及产量无显著差异。其中,T1 处理的单株质量(1.90 kg)、单球质量(1.39 kg)、产量(79.33 t·hm⁻²)均最高,均显著高于 T2、T5、T6 处理。各处理间的净菜率无显著差异。T3 处理的单球质量为 1.32 kg,产量达到了 75.05 t·hm⁻²,仅较 T1 低 5.4%。T6 处理的单株质量、单球质量、产量均低于其他处理。

表 6 不同苗龄甘蓝机械化移栽后叶球、产量性状比较									
Table 6 Comparison of leaf head and yield traits of cabbage with different seedling ages after mechanized transplanting									
处理 Treatment	中心柱高 Central column height/cm	纵径 Vertical diameter/cm	横径 Transverse diameter/cm	球形指数 Globose index	紧实度 Degree of ramming	单株质量 Single plant mass/kg	单球质量 Single head mass/kg	净菜率 Net vegetable rate/%	产量 Yield/(t·hm ⁻²)
T1	7.73±0.50 a	17.60±0.36 ab	18.30±0.50 a	0.96±0.02 a	0.58±0.04 ab	1.90±0.09 a	1.39±0.02 a	0.74±0.03 a	79.33±1.19 a
T2	7.43±0.72 a	18.43±0.21 a	18.17±0.85 a	1.02±0.05 a	0.60±0.04 ab	1.71±0.08 bc	1.27±0.01 bc	0.74±0.03 a	72.20±0.72 bc
T3	7.23±0.81 a	16.50±0.70 c	16.17±1.00 a	1.02±0.06 a	0.66±0.03 a	1.81±0.10 ab	1.32±0.05 ab	0.73±0.07 a	75.05±2.97 ab
T4	7.63±0.29 a	16.80±0.70 bc	17.77±1.55 a	0.95±0.05 a	0.54±0.04 b	1.76±0.07 abc	1.30±0.03 abc	0.74±0.04 a	74.02±1.91 ab
T5	6.83±0.76 a	17.90±0.61 a	17.20±1.21 a	1.04±0.06 a	0.52±0.05 b	1.67±0.11 bc	1.22±0.09 bc	0.74±0.10 a	69.26±5.23 bc
T6	7.23±0.06 a	17.50±0.36 abc	17.20±1.87 a	1.02±0.09 a	0.55±0.08 b	1.63±0.07 c	1.18±0.08 c	0.73±0.03 a	66.98±4.44 c

2.5 不同苗龄甘蓝机械化移栽后品质比较

不同苗龄甘蓝机械化移栽后的品质如表 7 所示。各处理间的可溶性固形物含量均无显著差异,其中,T4 处理的可溶性固形物含量(w,后同)最高,为 5.60%。T3 处理的维生素 C 含量最

高,为 112.31 mg·100 g⁻¹,显著高于 T1、T2、T5、T6。T3 处理的可溶性糖含量最高(7.49%),显著高于 T1、T4、T5、T6,且较 T6 显著增高 33.04%。T3、T4 处理的维生素 C 含量及可溶性蛋白含量均无显著差异。T3 处理的硝酸盐含量最低。

表 7 不同苗龄甘蓝机械化移栽后品质比较					
Table 7 Quality comparison of cabbage with different seedling ages after mechanized transplanting					
处理 Treatment	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	w(硝酸盐) Nitrate content/ (mg·kg ⁻¹)
T1	4.93±0.81 a	99.61±0.78 bc	6.11±0.54 b	0.82±0.10 bc	100.19±1.89 a
T2	5.47±0.12 a	88.94±6.59 d	6.71±0.84 ab	0.74±0.13 c	94.02±8.48 ab
T3	5.53±0.25 a	112.31±7.59 a	7.49±0.16 a	1.05±0.06 ab	88.73±2.50 b
T4	5.60±0.10 a	104.42±0.96 ab	6.20±0.18 b	1.24±0.21 a	99.75±3.37 a
T5	5.37±0.12 a	92.53±2.87 cd	6.13±1.09 b	1.07±0.04 ab	90.70±2.65 ab
T6	4.93±0.81 a	99.61±0.78 cd	5.63±0.25 b	0.82±0.10 c	97.52±6.19 ab

2.6 不同苗龄甘蓝幼苗形态特征、产量性状以及机械移栽情况相关性

不同苗龄甘蓝幼苗移栽前形态特征与叶球、产量性状以及机械移栽情况相关性分析如表 8 所示,

株高与单球质量、产量均呈显著正相关,与空穴率呈显著负相关。茎粗与单球质量、产量均呈显著正相关。展幅与单球质量、产量呈极显著正相关,与空穴率呈显著负相关,与移栽成活率呈显著正相关。

表 8 不同苗龄甘蓝幼苗形态特征与产量性状及机械移栽情况相关性
Table 8 Correlation between morphological characteristics and yield traits and mechanical transplanting of cabbage seedlings at different seedling ages

指标 Indicator	株高 Plant height	茎粗 Stem thickness	展幅 Expand	球形 指数 Glo- bose index	紧实度 Degree of ramming	单球 质量 Single head mass	产量 Yield	空穴率 Porosity of planting holes	散坨率 The rate of scattered lump	投苗率 Seedling stocking rate	移栽 成活率 Transplant survival rate	移栽 株数 Trans- planted plant count
株高 Plant height	1											
茎粗 Stem thickness	0.983**	1										
展幅 Expand	0.968**	0.948**	1									
球形指数 Globose index	-0.367	-0.303	-0.457	1								
紧实度 Degree of ramming	0.625	0.636	0.437	0.112	1							
单球质量 Single head mass	0.890*	0.872*	0.922**	-0.665	0.467	1						
产量 Yield	0.886*	0.869*	0.920**	-0.673	0.458	1.000**	1					
空穴率 Porosity of planting holes	-0.846*	-0.770	-0.885*	0.401	-0.217	-0.700	-0.699	1				
散坨率 The rate of scattered lump	-0.713	-0.641	-0.673	0.000	-0.313	-0.382	-0.377	0.887*	1			
投苗率 Seedling stocking rate	-0.693	-0.744	-0.694	0.643	-0.260	-0.755	-0.762	0.504	0.254	1		
移栽成活率 Transplant survival rate	0.757	0.667	0.824*	-0.242	0.243	0.657	0.652	-0.894*	-0.775	-0.197	1	
移栽株数 Transplanted plant count	-0.542	-0.633	-0.640	0.550	-0.049	-0.723	-0.729	0.344	0.000	0.854*	-0.200	1

注:*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平极显著相关。
Note: * represents significant correlation at 0.05 level; ** represents extremely significant correlation at 0.01 level.

2.7 不同苗龄甘蓝品质、产量及机械移栽情况综合评价

运用隶属函数法,通过对不同苗龄甘蓝机械移栽效率及机械移栽后品质指标、产量指标进行综合评价,结果见表 9。综合评价系数越高,甘蓝综合表现越好。各处理综合评价排名由高到低依次为: T3>T4>T5>T1>T2>T6。T6 处理仅投苗率和移栽株数的隶属函数值超过 0.5,整体表现较弱。T1 处理单球质量、产量、移栽成活率的隶属函数值达到 1; T2 处理移栽成活率和移栽株数的隶属函数值为 1; T5 处理投苗率、移栽成活率及移栽株数的隶属函数值为 1。T1、T2、T5 处理表现中等。T3 处理的维生素 C 含量、可溶性糖含量、硝酸盐含量、紧实度、移栽成活率以及移栽株数的隶属函数值均为 1。T4 处理各指标中,可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性蛋白含量、投苗率、移栽成活率及移栽株数

的隶属函数值均超过 0.6。T3、T4 处理综合评价系数分别为 0.82、0.63,整体表现较好。

3 讨论与结论

移栽是甘蓝生产中的关键环节之一,在保证全苗率的基础上还能提高甘蓝的产量,但是人工移栽费时费力,因此研究和发展甘蓝机械化移栽技术刻不容缓^[18],而甘蓝苗龄与机械化移栽效果关系密切。移栽过早或过晚,均会在不同程度上影响植株生长和群体结构的形成^[19],进而降低机械移栽效果。本试验中,T6 处理的移栽成活率最低,仅为 93.94%。可能是因为甘蓝定植过早,幼苗根系发育不完全,另外,机械移栽易因夹持力不当易导致茎秆断裂或根系损伤^[20],且株高较其他处理低,同一深度移栽易造成“埋苗”现象,导致机械移栽后成活率低;同时 T6 处理散坨率、空穴率也高,增加了生产

表 9 不同苗龄甘蓝品质、产量及机械移栽情况综合评价

Table 9 Comprehensive evaluation of quality, yield and mechanical transplanting of cabbage with different seedling ages

指标 Index	隶属函数值 Subordinate function value					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.00	0.81	0.90	1.00	0.66	0.00
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.46	0.00	1.00	0.66	0.15	0.12
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.26	0.58	1.00	0.31	0.27	0.00
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.32	0.00	0.62	1.00	0.66	0.26
硝酸盐含量 Nitrate content	0.00	0.04	1.00	0.54	0.83	0.23
紧实度 Degree of ramming	0.43	0.57	1.00	0.14	0.00	0.21
单球质量 Single head mass	1.00	0.42	0.65	0.57	0.18	0.00
产量 Yield	1.00	0.42	0.65	0.57	0.18	0.00
空穴率 Porosity of planting holes	0.90	0.00	0.60	0.20	0.60	0.00
散坨率 The rate of scattered lump	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00
投苗率 Seedling stocking rate	0.00	0.45	0.73	0.64	1.00	0.73
移栽成活率 Transplant survival rate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
移栽株数 Transplanted plant count	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
综合评价系数 Comprehensive evaluation coefficient	0.45	0.41	0.82	0.63	0.54	0.20
排名 Ranking	4	5	1	2	3	6

成本。本研究还发现,T5、T6 处理苗龄较小,由于前期营养生长较缓慢,较早过渡到生殖生长,导致成熟期田间生长状况虽与其他处理差异不大,但单株质量、单球质量、产量均低于其他处理,这与肖仕楼等^[21]的研究结果一致。本研究中,T1 处理每分钟移栽株数仅 36 株,投苗率仅 85.71%,均低于其他处理,机械损伤严重,这可能是由于定植过晚,甘蓝幼苗移栽展幅过大(19.77 cm),机械移栽时易出现“卡苗”“挂苗”现象,且根系体积和苗体质量增加,进而导致漏栽和伤苗^[22]。T2、T3、T4 处理株型紧凑,株高在 4.07~4.88 cm 之间,展幅在 14.64~16.44 cm 之间,移栽过程中“埋苗”“拖苗”“卡苗”现象较少,与移栽机适配性好,机械移栽投苗率、成活率高,表现较好,T4 处理移栽成活率最高,达到了 98.15%。

对不同苗龄甘蓝机械化移栽后各生育期生长指标进行比较发现,各处理株高、展幅、茎粗、叶面积均随生育期天数的增加呈增长趋势。成熟期 T3 处理株高、展幅、叶面积均最高,但各处理间株高、展幅、茎粗均无显著差异,T6 处理株高、展幅、叶面积、茎粗均最低。同时,T3 处理的叶球紧实度最高,单球质量(1.32 kg)、产量(75.05 t·hm⁻²)均仅次于 T1 处理(1.39 kg、79.33 t·hm⁻²),在叶球、产量性状方面表现较好。甘蓝的可溶性固形物、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 和硝酸盐含量等指标是评价品质特征的主要指标。其中,可溶性固形物含量可衡量

蔬菜水果等作物的成熟情况^[23]。可溶性糖是低温条件下细胞内的保护物质,其含量与植物的抗旱性呈正相关^[24]。T3、T4 处理的可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均较高。硝酸盐含量是衡量食品质量安全的一个重要指标^[25],过量的硝酸盐会危及人类健康^[26]。本研究中各处理硝酸盐含量均在人体安全范围内^[27],T3 处理的硝酸盐含量最低。

试验对不同苗龄甘蓝幼苗特征、产量及机械移栽情况的 12 个指标进行相关性分析。结果表明,株高与空穴率呈显著负相关,展幅与空穴率呈显著负相关,与移栽成活率呈显著正相关。李德翠等^[28]研究发现,番茄穴盘苗株高过高容易使茎秆弯曲;株高过低,会降低幼苗移栽成活率,株高过高或过低均会导致产量降低,这与本研究结果一致。T1 处理株高、展幅过大,虽空穴率低,但每分钟移栽株数较少且易伤苗;T6 处理株高过低、展幅过小,空穴率高,移栽成活率低,均不同程度地影响机械移栽效率。因此,合理选择甘蓝幼苗苗龄,使株高、展幅符合机械移栽要求,可提高机械移栽效率和质量,进而提高经济效益。

单一指标的高低往往不能充分反映作物的综合表现,运用隶属分析可在一定程度上克服这一不足,目前隶属函数分析已广泛应用于燕麦^[29]、黑芝麻^[30]、大豆^[31]等作物。本试验对不同苗龄甘蓝品质、产量及机械移栽情况的 13 个指标进行综合隶属函

数评价,各处理综合评价排名由高到低依次为:T3>T4>T5>T1>T2>T6。T3、T4处理综合评价系数分别为0.82、0.63,整体表现较好。

为筛选出宜机移栽的甘蓝苗龄,本试验比较了6个甘蓝苗龄的幼苗形态特征、机械移栽情况、移栽后大田生长状况,叶球表现、产量和品质的差异性,最终得出结论:T3和T4处理,即苗龄33 d和30 d株型紧凑、直立性好,根系包裹基质紧密,散坨率符合大田机械移栽标准,机械移栽伤根少,移栽投苗率、成活率高,与移栽机适配性较好,基本能达到机械化移栽作业要求,省时省力,移栽后产量分别达到了75.05、74.02 t·hm⁻²,品质表现优异,可为六盘山区机械化移栽甘蓝幼苗提供参考。

参考文献

- [1] 申领艳,闫凤岐,栗淑芳,等.冀西北生态环境下结球甘蓝农艺性状与单株产量的相关分析[J].河北农业科学,2020,24(4):77-81.
- [2] 杨丽梅,方智远,刘玉梅,等.“十一五”我国甘蓝遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2011(2):1-10.
- [3] 张明伟.秋冬季大棚甘蓝栽培技术[J].农业知识,2023(11):27-28.
- [4] 张兆辉,陈春宏,邵翔.甘蓝机械化栽培研究进展[J].长江蔬菜,2020(3):8-11.
- [5] 余建国,张建强,陈军,等.2ZB-2型蔬菜移栽机设计与试验研究[J].农机化研究,2021,43(11):115-119.
- [6] 金永旺,胡建平,吕俊鹏,等.蔬菜自动移栽机多叶片式鸭嘴栽植机构设计与试验[J].农业机械学报,2024,55(增刊1):217-229.
- [7] 俞高红,李成虎,汪应萍,等.小株距高密度蔬菜植苗机构设计与试验[J].农业机械学报,2023,54(3):96-105.
- [8] 刘凡一,侯明洋,谢守勇,等.多体恒姿回转式甘蓝取苗装置设计与试验[J/OL].农业工程学报,1-11[2025-04-16].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2047.S.20250411.1045.002>.
- [9] 鲁丁,王卫兵,韩帅.移栽机取苗机构设计及参数优化[J].机械设计与制造,2024(5):290-295.
- [10] 张兆辉,田守波,陈春宏,等.适合机械化移栽的甘蓝植株形态特征研究[J].上海农业学报,2021,37(5):101-107.
- [11] 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.
- [12] 穆晓国.不同农艺措施对甘蓝生长及土壤环境的影响[D].宁

夏银川:宁夏大学,2023.

- [13] 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.
- [14] 潘跃平,毛忠良,孙春青,等.不同播期对越冬结球甘蓝品种产量性状的影响[J].江苏农业科学,2017,45(23):138-139.
- [15] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2012.
- [16] 王世尧,张果,杨书才,等.基于隶属函数法的蝴蝶兰栽培基质综合评价[J].北方园艺,2025(8):72-81.
- [17] 唐玉新,刘晓宏,徐华晨,等.适合机械化移栽的番茄穴盘育苗成苗标准试验[J].江苏农业科学,2017,45(17):119-122.
- [18] 张倩男,王克雄,张晓娟,等.甘蓝机械化移栽及配套栽培技术[J].中国瓜菜,2021,34(6):101-103.
- [19] 张宇,张含笑,冷锁虎,等.油菜毯状苗适宜播期研究[J].中国油料作物学报,2020,42(2):210-215.
- [20] 王品隆,颜华,李鹏斌,等.2ZSJ-4型挠性圆盘高速移栽机力学特性试验[J].农业工程,2021,11(8):90-96.
- [21] 肖仕楼,邝美玲,冯瑞安,等.不同苗龄定植对辣椒生长及产量的影响[J].农业科技通讯,2021(4):186-188.
- [22] 吴雪梅,管宜萱,耿广东,等.辣椒漂盘苗机械化移栽适应性研究[J].农机化研究,2024,46(8):179-185.
- [23] 陈中炜.不同芥菜和甘蓝品种的重要品质性状鉴定及茉莉酸甲酯处理对芥菜硫苷含量的影响研究[D].杭州:浙江农林大学,2019.
- [24] 王磊,李建勇,张振贤,等.冻害低温下越冬甘蓝渗透调节物质的变化和作用[J].山东农业大学学报(自然科学版),2001,32(4):487-490.
- [25] 马祥兰,王舒亚,莫琪江,等.不同施肥模式对娃娃菜生长、产量及品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2024,59(4):104-112.
- [26] 俞丽红,施星仁,黄通,等.不同覆盖方式对高温季节小白菜产量和品质的影响[J].长江蔬菜,2023(14):53-56.
- [27] 王茜茜,叶洪洋洋,庞林江,等.烹饪方式、贮藏温度对蔬菜硝酸盐含量的影响[J].食品科技,2017,42(2):109-113.
- [28] 李德翠,高文瑞,徐刚,等.番茄穴盘苗特性和基质掉落损失对幼苗机械移栽的影响研究[J].安徽农学通报,2020,26(11):62-63.
- [29] 董嘉莉,何建龙,杜建民,等.宁夏银北地区不同饲用燕麦品种适应性评价[J/OL].草地学报,1-19[2024-07-31][2025-03-12].<https://link.cnki.net/urlid/11.3362.S.20250312.1105.002>.
- [30] 何斌,万泽华,万子玮,等.黑芝麻苗期耐低钾性状的综合分析[J/OL].江西农业大学学报,1-14[2024-12-06][2025-02-19].<https://link.cnki.net/urlid/36.1028.S.20250219.0844.002>.
- [31] 袁宇婷,张晓燕,吴谷丰,等.基于主成分和隶属函数分析的大豆种质资源耐盐性综合评价[J].大豆科学,2025,44(1):22-32.