

蒋 兰, 吴崇友, 汤 庆, 等. 油菜毯状苗形态特征及物理机械特性[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(2): 248-254.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.02.002

油菜毯状苗形态特征及物理机械特性

蒋 兰^{1,2}, 吴崇友², 汤 庆², 张 敏², 王 刚²

(1. 安徽农业大学工学院, 安徽 合肥 230036; 2. 农业农村部南京农机化研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为了提高油菜毯状苗机械化移栽质量, 选择宁杂 1838 和沔油 737 2 个油菜品种研究了油菜毯状苗的形态特征, 对秧苗根茎结合处进行了拉伸试验, 并对毯状苗基质进行了拉伸、剪切以及模拟切割试验。试验结果表明: 播种后 30~45 d, 不同品种油菜毯状苗形态特征(苗高、茎部直径、苗幅宽、裸苗质量、基质密度)存在差异, 宁杂 1838 单株切块毯状苗呈现高瘦型, 沔油 737 呈现矮胖型; 油菜毯状苗形态特征参数服从正态分布或偏态分布, 不同苗龄的毯状苗形态特征参数分布集中程度存在差异; 2 个油菜品种毯状苗苗高、茎部直径、苗幅宽、裸苗质量和基质密度均与苗龄呈正相关, 相关系数在 0.956 9 至 0.999 8 之间; 宁杂 1838 和沔油 737 油菜毯状苗自然状态直立角度均值分别为 80.12° 和 84.59°, 根茎处拉断力分别为 18.82~26.31 N 和 31.51~41.84 N, 基质弹性模量分别为 0.082~0.108 MPa 和 0.092~0.149 MPa, 内摩擦系数分别为 0.358 和 0.368, 粘聚应力分别为 0.093 MPa 和 0.108 MPa, 切块阻力范围分别为 15.941~24.615 N 和 17.675~26.530 N。

关键词: 油菜毯状苗; 秧苗形态; 力学性能; 移栽质量

中图分类号: S565.404.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)02-0248-07

Morphological characteristics and physical-mechanical properties of rapeseed carpet seedling

JIANG Lan^{1,2}, WU Chong-you², TANG Qing², ZHANG Min², WANG Gang²

(1. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to solve the problem of low survival rate in the mechanized transplanting process of rapeseed carpet seedlings, the morphological characteristics, mechanical properties of rapeseed carpet seedlings of two rape varieties, Ningza 1838 and Fengyou 737, were studied. The tensile test was carried out on the rhizome position of seedlings, and the tensile test, direct shear test and simulated slicing test were carried out on the substrate of rapeseed carpet seedling. The results showed that there were differences in morphological characteristics of different varieties for rapeseed carpet seedlings within 30 to 45 days after sowing, which included seedling height, rhizome diameter, seedling width, bare seedling quality, substrate density. The morphology of single rapeseed carpet seedling block of Ningza 1838 was high-thin type and that of Fengyou 737 was short-stout type. The morphological characteristics parameters of rapeseed carpet seedlings were subject to

收稿日期: 2018-07-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(51575284); 国家重点研发计划项目(2017YFD0700804); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-13)

作者简介: 蒋 兰(1994-), 女, 河北邯郸人, 硕士, 研究方向为机械设计及其自动化。(Tel) 13002559618; (E-mail) jianglan0719@163.com

通讯作者: 吴崇友, (Tel) 15366092918; (E-mail) cywu59@sina.com

normal or skewed distribution. There were differences in the distribution and concentration of the morphological characteristics parameters of rapeseed carpet seedlings at different ages. The morphological characteristics including seedling height, rhizome diameter, seedling width, bare seedling quality and substrate density were positively correlated with seedling age, and the correlation coefficient was between 0.956 9 and 0.999 8. The average vertical an-

gles in the natural state of Ningza 1838 and Fengyou 737 were 80.12 degrees and 84.59 degrees, respectively. The tensile force of rhizome positions for Ningza 1838 was between 18.82 N and 26.31 N, and Fengyou 737 was between 31.51 N and 41.84 N. The elastic modulus ranges of carpet seedling substrates were 0.082-0.108 MPa and 0.092-0.149 MPa, respectively. The internal friction coefficients of Ningza 1838 and Fengyou 737 were 0.358 and 0.368, respectively, and the cohesive stresses were 0.093 MPa and 0.108 MPa, respectively. The ranges of the slicing resistance of two rapeseed varieties were 15.941-24.615 N and 17.675-26.530 N.

Key words: rapeseed carpet seedling; seedling morphology; mechanical properties; transplanting quality

油菜是中国重要油料作物之一,长江流域是世界最大的冬油菜种植区,也是中国最集中的油菜产区,油菜种植面积约占全国的 85%^[1-4]。前茬作物以水稻为主,通常采用稻-油或稻-稻-油轮作的种植制度,由于茬口紧张,直接播种,油菜生育期不足,多采用育苗移栽的种植方式。油菜育苗移栽缩短了本田生育期,对于保证粮油合理轮作,实现稳产和高产具有重要作用^[5-10]。

目前中国油菜移栽主要采用人工移栽的方式,用工多,成本高。现有的油菜移栽机作业效率低,无法适应于水稻茬黏重土壤条件^[11-15]。为了改善油菜移栽现状,通过吸收借鉴水稻插秧机取块栽插原理,设计了油菜毯状苗高速移栽机^[16-18]。该机通过分插机构快速旋转带动秧爪对毯状基质进行切块取苗,并携带苗块至推苗处,通过推苗顶杆快速推苗入土,完成移栽。移栽效果取决于分插机构运动轨迹、推苗时机、油菜毯状苗秧苗和基质的物理机械特性。毯状苗外形特征、苗与基质的质量分布情况以及秧苗自然状态直立角度在一定程度上影响移栽后毯状苗的立苗效果。为此,有必要研究油菜毯状苗的形态特征和物理机械特性。以往研究主要针对油菜裸苗或钵体苗的形态特征和物理特性,对于毯状苗的研究相对缺乏^[19-24]。

本研究以宁杂 1838 和沔油 737 2 个品种的油菜毯状苗为研究对象,进行播种后 30~45 d 适栽期内不同品种、不同苗龄的毯状苗形态特征参数和物理机械特性的试验研究,为油菜毯状苗高速移栽机取苗、推苗、覆土镇压等关键部件结构、运动学参数的设计与优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器设备

选取宁杂 1838 和沔油 737 2 个油菜品种,采用 280 mm×580 mm 规格秧盘进行育苗,苗密度为 1 m²

4 000~5 000 株。在油菜毯状苗单株形态特征试验中,取样时间从播种后 30 d 开始,此后间隔 5 d 取样 1 次,共计 4 次。参照当地油菜种植要求,取样日期分别为:2017-10-30、2017-11-04、2017-11-09、2017-11-14。物理机械特性试验的苗龄为 40 d。测得基质含水率均值为 48.4%。

试验仪器:INSTRON3343 型单立柱电子万能材料试验机,量程 0~1 kN;TJ 型应变控制三速电动直剪仪;游标卡尺(0.02 mm)等。

1.2 试验方法

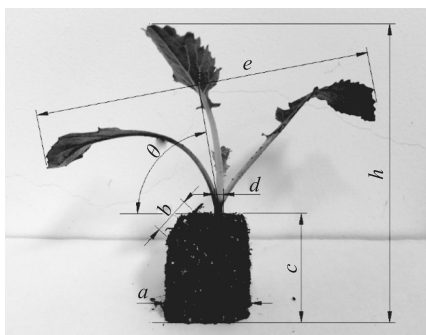
1.2.1 油菜毯状苗单株形态特征试验 将基质连同毯状苗进行切块,挑选出单个基质块上只有 1 株秧苗、基质完整且大小均匀的苗块。2 个油菜品种中各随机选取 50 个苗块样品。

苗高、苗幅宽和基质块体积测量:用游标高度尺测量苗高,其高度为基质块顶部到秧苗顶端的垂直距离,苗幅宽为秧苗最宽两点间的距离,根部直径为根茎结合处的直径(图 1)。通过测量基质块长、宽和高确定基质块体积。

毯状苗自然状态直立角度测量:对每个苗块样品进行拍照,通过计算机在图像上进行测量。毯状苗自然状态的直立角度定义为:自然状态下苗幅宽中点到根部与基质块结合点的连线与水平线所成的锐角(图 1)。

裸苗质量(不含根系质量)和基质密度测量:以秧苗根茎与基质相接处分割秧苗与基质,测量秧苗质量即为裸苗质量 m_1 。基质密度计算公式为: $\rho = [(m_0 - m_1) / (a \times b \times c)] \times 1\,000$,式中, ρ 为基质密度(g/cm³), m_0 为苗块总质量(g), m_1 为裸苗质量(g), a 为基质块长度(mm), b 为基质块宽度(mm), c 为基质块高度(mm)。

1.2.2 油菜苗拉伸力学性能试验 对油菜毯状苗根茎结合处进行拉伸试验。每组选取 10 株油菜裸苗,记录茎部直径,分别在油菜根茎结合处上、下 5



a 为基质块长度(mm), b 为基质块宽度(mm), c 为基质块高度(mm), d 为茎部直径(mm), e 为苗幅宽(mm), θ 为自然状态直立角度($^{\circ}$), h 为苗高(mm)。

图 1 油菜毯状苗形态特征

Fig.1 Morphological characteristics of rapeseed carpet seedling

mm 位置夹持。将秧苗固定在材料试验机上, 拉伸夹具选用 V 型夹头。为了避免油菜根茎部因为夹具的挤压和摩擦作用而破损, 在夹持位置包裹纱布^[25]。

1.2.3 油菜毯状苗基质拉伸试验 在秧苗根茎结合处剪断去除秧苗, 将基质部分按照截面积为 $25\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ 进行切块, 用材料试验机的上、下夹具固定条块状基质。设定试验机拉伸速率为 30 mm/min , 设定终止条件为拉伸位移 30 mm 。

1.2.4 油菜毯状苗基质剪切试验 用横截面积为 30 cm^2 的环状切割器垂直压入基质中进行取样。将基质样品放置于直剪仪的固定上盒和活动下盒内, 首先对试样施加垂直压力, 然后再对活动下盒施加水平剪力, 上、下盒之间的错动使基质受剪破坏。考虑到试验时间过长会影响数据的准确性, 因此设定剪切速度为 0.8 mm/min 。

1.2.5 油菜毯状苗模拟切块取苗试验 为了模拟油菜毯状苗切块取苗过程, 选取油菜毯状苗高速移栽机上配用的宽度为 21 mm 的秧针, 通过上夹具固定。将毯状苗基质按照截面积为 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 进行切块, 并放置在底部定位夹具上, 定位夹具中间凹槽宽度为 26 mm , 与试验样机中秧针的结构尺寸相同。设定秧针切割速率为 10 mm/s , 试验终止条件设定为秧针切割位移 80 mm 。

2 结果与分析

2.1 不同苗龄油菜毯状苗形态特征

为分析油菜宁杂 1838 和沔油 737 在播种后

30~45 d 内不同苗龄毯状苗形态特征的变化过程与差异程度, 利用 SPSS 软件对试验数据进行统计分析。采用 SW 检验(Shapiro-Wilk)对苗高、茎部直径、苗幅宽、裸苗质量、基质密度进行正态性检验, 结果见表 1 和表 2。从表 1 中可以看出, 不同品种的油菜毯状苗苗高、茎部直径、苗幅宽、裸苗质量和基质密度在不同苗龄阶段存在差异。播种后 30~45 d 内, 宁杂 1838 和沔油 737 苗高均值分别为 121.17 mm 和 87.68 mm , 苗幅宽均值分别为 77.34 mm 和 87.09 mm , 苗高与苗幅宽比值分别为 0.64 和 0.99 。从形态特征看, 宁杂 1838 秧苗较高, 苗幅宽较小, 呈高瘦型; 沔油 737 秧苗较矮, 苗幅宽较大, 呈矮胖型。

表 1 不同品种油菜毯状苗的形态特征

Table 1 Morphological characteristics of rapeseed carpet seedling of different cultivars

秧苗形态特征	宁杂 1838	沔油 737
苗高(mm)	121.17	87.68
茎部直径(mm)	1.88	2.33
苗幅宽(mm)	77.34	87.09
裸苗质量(g)	0.80	0.73
基质密度(g/cm^3)	0.79	0.88

从表 2 中可以看出, 同一油菜品种不同苗龄的毯状苗形态特征的分布存在差异, 不同油菜品种同一苗龄的毯状苗形态特征分布也存在差异。播种后 30~45 d, 毯状苗形态特征服从正态分布或偏态分布。以宁杂 1838 苗高为例, 播种后 30~45 d, 苗高峰由平坦型转变为尖峰型, 说明随着苗龄增加, 苗高逐渐趋于集中; 偏度系数先减小后增加, 4 次取样均服从负偏态分布, 说明播种后 30~45 d 存在部分明显较矮的秧苗。同理分析沔油 737 苗高, 播种后 30 d 左右苗高分布较为宽泛, 并且存在部分较矮苗; 播种后 35~45 d 苗高分布较为集中, 但与宁杂 1838 相比分布集中程度较低, 在 40 d 和 45 d 存在部分旺长苗。推测在播种后 30~45 d, 随着苗龄增加, 沔油 737 苗高分布逐渐趋于集中, 播种后 35 d 左右苗高分布集中程度较高, 移栽后的油菜毯状苗立苗质量较好。

表 2 油菜毯状苗形态特征分布偏度系数和峰度系数

Table 2 Skewness coefficient and kurtosis coefficient of rapeseed carpet seedling morphological parameters

油菜毯状 苗形态 特征		播种后 30 d			播种后 35 d			播种后 40 d			播种后 45 d		
		偏度 系数	峰度 系数	变异系数 (%)	偏度 系数	峰度 系数	变异系数 (%)	偏度 系数	峰度 系数	变异系数 (%)	偏度 系数	峰度 系数	变异系数 (%)
苗高	P1	-0.67	2.17	19.63	-0.15	2.49	13.36	-0.32	4.09	17.45	-0.54	3.79	18.52
	P2	-0.44	2.48	15.94	0.06	3.57	14.04	0.58	3.25	17.17	0.74	3.16	17.32
茎部直径	P1	-0.45	4.83	18.06	-0.74	4.71	17.96	0.48	4.13	15.87	0.42	3.82	15.14
	P2	0.42	4.38	12.19	0.69	4.44	10.58	1.23	3.9	15.42	1.01	4.03	20.04
苗幅宽	P1	0.23	2.27	28.62	0.30	2.45	26.38	0.54	3.27	24.51	0.72	3.12	30.04
	P2	0.24	2.04	28.59	0.38	2.13	25.91	0.39	3.04	22.66	0.57	2.74	28.34
裸苗质量	P1	-0.55	2.92	15.28	-0.20	2.61	14.41	0.07	3.85	12.86	-0.24	3.53	17.92
	P2	-0.06	2.95	17.31	0.02	3.14	14.25	0.57	2.43	18.42	1.04	2.11	22.60
基质密度	P1	0.09	2.31	11.55	-0.12	2.45	12.17	0.28	2.33	12.56	0.31	2.58	13.02
	P2	0.57	2.75	7.59	0.28	2.23	8.33	0.09	3.53	7.26	0.17	2.38	10.81

P1、P2 分别为宁杂 1838、沔油 737。

油菜毯状苗移栽机的栽植机构为旋转式分插机构,移栽过程中,栽植机构旋转速度较快,取苗、运苗和推苗均作用在毯状苗底部的基质块上,毯状苗苗高、苗幅宽、茎部直径、秧苗与基质块的质量分布对稳苗、立苗效果具有直接影响。毯状苗苗幅宽过大时,伤苗现象严重,影响移栽质量;毯状苗苗高过小时,埋苗现象严重,影响移栽成活率;毯状苗苗高过高或茎部直径过小或秧苗与基质块的质量比值过大时,毯状苗会因落地时运动状态不稳定导致秧苗倾倒,影响栽植立苗率。在播种后 30~45 d 适栽期内,不同品种、不同苗龄的油菜毯状苗形态特征呈现明显差异,因此,充分考虑秧苗与机具的适应程度,选取适宜的油菜品种以及移栽时间,是提高油菜毯状苗移栽机移栽质量,增强毯状苗稳苗、立苗效果的关键。

2.2 油菜毯状苗形态特征变化规律

为分析不同苗龄的油菜毯状苗形态特征的变化规律,绘制形态特征参数均值与时间的曲线图(图 2)。利用 SPSS 软件对图 2 中各形态特征均值进行线性拟合,拟合结果见表 3。在播种后 30~45 d 适栽期内,宁杂 1838 和沔油 737 油菜毯状苗苗高、茎部直径、苗幅宽、裸苗质量和基质密度均与苗龄呈正相关,相关系数在 0.956 9 至 0.999 8 之间。与宁杂 1838 相比,沔油 737 苗高、苗幅宽和裸苗质量形态特征曲线斜率较小,生长较为缓慢。

2.3 油菜毯状苗自然状态直立角度变化规律

油菜毯状苗自然状态下的直立角度是影响移栽

过程中秧苗与基质运动状态和移栽后秧苗立苗率的重要因素。从表 4 可以看出,不同品种、不同苗龄的油菜毯状苗自然状态直立角度和其分布集中程度存在差异。在播种后 30~45 d 适栽期内,沔油 737 自然状态直立角度均值较大,变异系数较小,表明沔油 737 在自然状态下生长直立程度较高且角度分布集中,推测沔油 737 油菜毯状苗移栽后立苗、稳苗效果更好,更适宜移栽机移栽。在播种后 30~45 d,沔油 737 自然状态直立角度缓慢增加;宁杂 1838 油菜毯状苗自然状态直立角度先增加后减小,35 d 左右具有最大的自然状态直立角度。

2.4 油菜毯状苗秧苗拉伸力学性能

将油菜裸苗根茎结合处承受的最大拉力作为拉断力,对油菜毯状苗进行拉伸力学试验。结果表明,不同截面直径的秧苗拉断力存在差异,截面直径较大的秧苗承受的拉断力也相对较大。宁杂 1838 拉断力为 18.82~26.31 N,拉断应力均值为 6.37 MPa;沔油 737 拉断力为 31.51~41.84 N,拉断应力均值为 7.49 MPa。

2.5 油菜毯状苗基质拉伸力学性能

根据拉伸-位移曲线,得到油菜毯状苗基质的拉伸力学性能。宁杂 1838 毯状苗基质抗拉强度为 10.410~15.271 kPa,均值为 12.352 kPa;弹性模量为 0.082~0.108 MPa,均值为 0.090 MPa。沔油 737 抗拉强度为 13.255~18.974 kPa,均值为 16.057 kPa;弹性模量为 0.092~0.149 MPa,均值为 0.137 MPa。

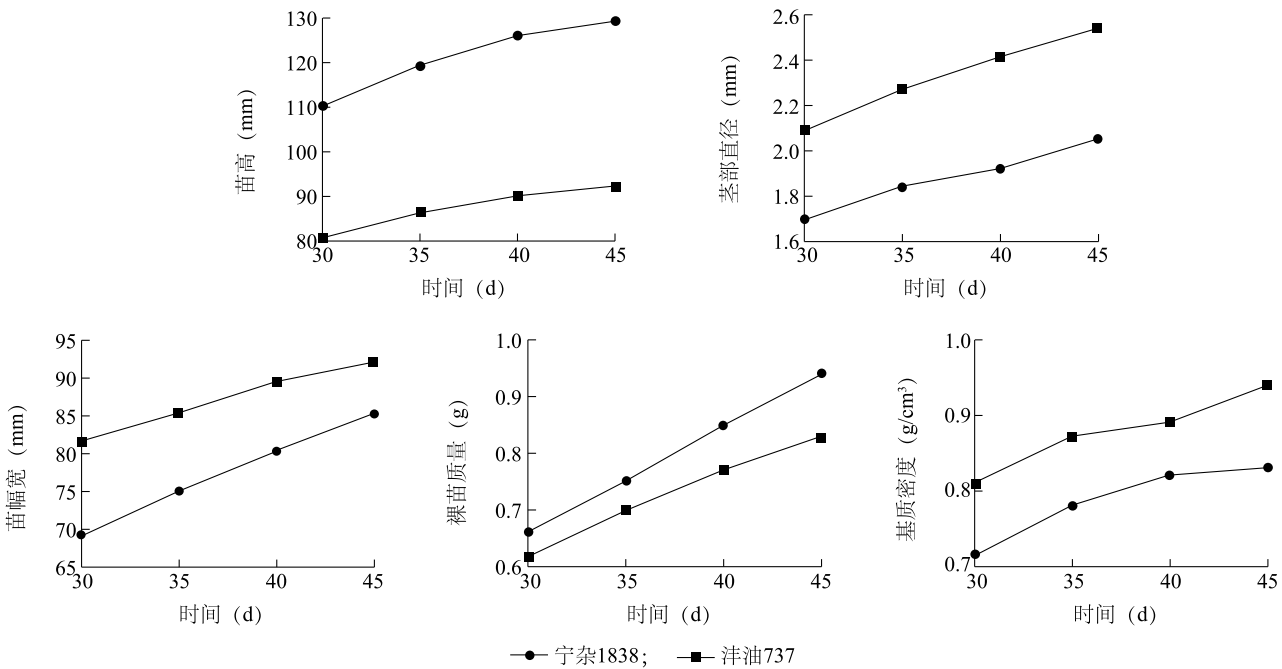


图 2 油菜毯状苗形态特征变化曲线
Fig.2 Variation curve of rapeseed carpet seedling morphological parameters

表 3 油菜毯状苗形态特征拟合曲线参数和相关系数
Table 3 Fitting curve parameters and correlation coefficients of rapeseed carpet seedling morphological parameter

	宁杂 1838			沔油 737		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
苗高	1.265	73.725	0.978 0	0.761	59.160	0.981 6
茎部直径	0.023	1.030	0.995 1	0.030	1.210	0.997 0
苗幅宽	1.074	37.055	0.999 5	0.709	60.490	0.996 3
裸苗质量	0.019	0.095	0.999 8	0.014	0.205	0.998 0
基质密度	0.007	0.510	0.956 9	0.008	0.570	0.984 3

拟合曲线模型为 $y=ax+b$, r 为相关系数。

表 4 油菜毯状苗自然状态直立角度
Table 4 Vertical angle of rapeseed carpet seedlings in natural state

品种	播种后 时间 (d)	自然状态直立角度			
		均值 (°)	最小值 (°)	最大值 (°)	变异系数 (%)
宁杂 1838	30	78.37	37	90	16.59
	35	81.07	45	90	14.89
	40	81.13	46	90	14.62
	45	79.92	42	90	14.26
沔油 737	30	84.06	60	90	8.72
	35	84.58	68	90	7.98
	40	84.72	65	90	8.23
	45	84.99	63	90	8.57

拉伸-位移曲线显示,在到达屈服点后,拉力出现阶梯性减小。试验中也观察到,当拉力达到屈服点后,基质内土壤出现分离,分离的土壤依靠油菜根系连接。随着拉伸位移继续增加,油菜根系被拉断,基质可承受的拉力减小,因此拉力出现阶梯性降低。由此可以判断,基质拉伸试验中,油菜根系生长状况以及盘根质量是决定抗拉强度的重要因素。

2.6 油菜毯状苗基质抗剪强度

分别采用 250 kPa、300 kPa、350 kPa 和 400 kPa 4 种法向载荷进行基质剪切试验,每组试验重复 10 次。当直剪仪固定上盒的力发生突变时说明基质已被剪断,突变前受力即为基质的剪切力,从而计算得出抗剪强度。根据库仑定律 $\tau=c+f\sigma$,对不同法向载荷下的抗剪强度进行线性拟合,从而得到基质试样的内摩擦系数(f)和粘聚应力(c)。图 3 为 2 个油菜品种毯状苗基质的线性拟合回归曲线。从图 3 中可以得到,宁杂 1838 和沔油 737 毯状苗基质的内摩擦系数分别为 0.358 和 0.368,粘聚应力分别为 0.093 MPa 和 0.108 MPa。

在实际取苗过程中,秧针插入基质并通过剪切和撕扯作用将苗块取下,断面处的油菜根系被完全切断或拉断,因此取苗过程中基质块的受力情况同时取决于基质土壤和盘结根系的抗拉强度和抗剪强度。剪切试验过程中,由于基质的剪切位移较小,当

基质被剪断后,基质内部分油菜根系仍然保持完好。说明试验所测得的剪切力主要为基质的剪切力,可

以推断实际作业时基质所受剪切力应大于试验所测结果。

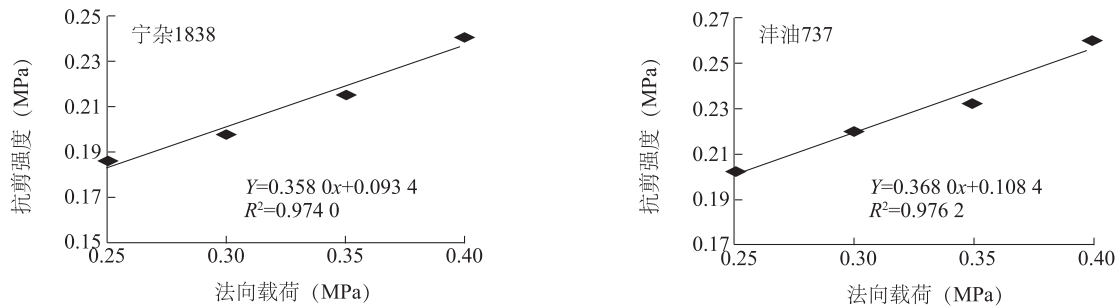


图3 不同油菜品种毯状苗基质的抗剪强度-法向载荷线性拟合曲线

Fig.3 Linear fitting curve between shear strength and normal load of carpet seedling substrate of different rapeseed varieties

2.7 油菜毯状苗模拟切块力学参数

在模拟切块取苗试验中,载荷出现2次峰值。在秧针位移约30 mm时产生第1次载荷峰值,此位置为秧针两端尖点刚穿透试样处,随着秧针继续切割,当位移达到约65 mm时出现第2次载荷峰值,此时秧针的横切段面完全穿入基质。由于秧针的几何结构特点导致切割过程中出现2次载荷峰值,由此可以推测秧针对基质的切割力取决于秧针与基质接触面积的变化速率,接触面积变化越快,切割力越大。将切割过程中载荷最大值定义为切块阻力。宁杂1838秧苗的切块阻力为15.941~24.615 N,沔油737秧苗的切块阻力为17.675~26.530 N,切块阻力出现时秧针位移均值分别为66.235 mm和66.183 mm(表5)。

表5 油菜毯状苗模拟切块力学参数

Table 5 Mechanical parameters of simulated slicing of rapeseed carpet seedlings

试验组	宁杂 1838		沔油 737	
	切块阻力 (N)	秧针位移 (mm)	切块阻力 (N)	秧针位移 (mm)
1	24.615	68.884	19.577	73.471
2	22.529	66.159	24.034	65.582
3	20.082	70.212	22.416	65.436
4	18.995	64.375	20.362	62.921
5	19.414	68.250	20.858	68.357
6	18.868	65.853	26.530	69.748
7	20.016	71.007	20.013	64.035
8	15.941	64.217	21.945	63.273
9	20.225	62.857	17.675	68.984
10	18.515	60.534	21.799	60.019
均值	19.920	66.235	21.521	66.183

3 结 论

宁杂1838和沔油737 2个品种的油菜毯状苗在播种后30~45 d内形态特征参数分布比较集中。宁杂1838具有较大的苗高和裸苗质量,较小的茎部直径、苗幅宽和基质密度。宁杂1838呈高瘦型,沔油737呈矮胖型。播种后30~45 d适栽期内,宁杂1838和沔油737毯状苗各形态特征参数服从正态分布或偏态分布。同一苗龄不同油菜品种和同一油菜品种不同苗龄的毯状苗形态特征参数分布集中程度均存在差异。对播种后30~45 d宁杂1838与沔油737油菜毯状苗的各形态特征均值进行线性拟合,发现两品种油菜毯状苗苗高、茎部直径、苗幅宽、裸苗质量和基质密度均与时间呈正相关,相关系数在0.956 9至0.999 8之间。播种后30~45 d,随着苗龄增加,宁杂1838油菜毯状苗自然状态直立角度先增加后减小,35 d时最大,均值为80.12°;沔油737油菜毯状苗自然状态直立角度缓慢增加,均值为84.59°。

播种后40 d,宁杂1838和沔油737油菜毯状苗根茎结合处拉断力分别为18.82~26.31 N和31.51~41.84 N,毯状苗基质抗拉强度分别为10.410~15.271 kPa和13.255~18.974 kPa,弹性模量分别为0.082~0.108 MPa和0.092~0.149 MPa,内摩擦系数分别为0.358和0.368,粘聚应力分别为0.093 MPa和0.108 MPa,切块阻力分别为15.941~24.615 N和17.675~26.530 N。不同品种、苗龄的油菜毯状苗形态和物理机械特性呈现明显差异。充分考虑秧苗

与机具的适应程度,选取适宜的油菜品种以及移栽时间,是提高油菜毯状苗移栽机移栽质量,增强毯状苗稳苗、立苗效果的关键。

参考文献:

- [1] LI X Y, ZUO Q S, CHANG H B, et al. Higher density planting benefits mechanical harvesting of rapeseed in the Yangtze River Basin of China[J]. *Field Crops Research*, 2018, 218: 97-105.
- [2] 谷晓博,李援农,黄 鹏,等. 种植方式和施氮量对冬油菜产量与水氮利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(10): 113-123.
- [3] 陈碧云,许 鲲,高桂珍,等. 种植密度对不同油菜品种产量与含油量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(22): 83-89.
- [4] QIONG H, WEI H, YAN Y, et al. Rapeseed research and production in China[J]. *The Crop Journal*, 2017, 5(2): 127-135.
- [5] 李泽华,马 旭,齐 龙,等. 华南双季稻区水稻不同机械化栽植方式对比试验与评价[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(3): 40-47.
- [6] 徐 海. 油菜全程机械化的应用与关键技术研究[J]. *农机化研究*, 2018, 40(6): 38-42.
- [7] 吴崇友,易中懿. 我国油菜全程机械化技术路线的选择[J]. *中国农机化*, 2009(2): 3-6.
- [8] 于晓旭,赵 匀,陈宝成,等. 移栽机械发展现状与展望[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(8): 44-53.
- [9] 袁文胜,吴崇友,于修刚,等. 粘重土壤条件下油菜移栽机械化研究前景初探[J]. *中国农机化*, 2011(1): 69-71, 77.
- [10] 刘志军,王晓霞. 油菜生产过程中的机械化技术应用研究[J]. *农机化研究*, 2018, 40(2): 110-113, 118.
- [11] JIN X, LI D Y, MA H, et al. Development of single row automatic transplanting device for potted vegetable seedlings[J]. *Int J Agric & Biol Eng*, 2018, 11(3): 67-75.
- [12] YE B L, YI W M, YU G H, et al. Optimization design and test of rice plug seedling transplanting mechanism of planetary gear train with incomplete eccentric circular gear and non-circular gears[J]. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017, 10(6): 43-55.
- [13] 王永维,何焯亮,王 俊,等. 旱地蔬菜钵苗自动移栽机栽植性能试验[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(3): 19-25.
- [14] 万 霖,汪 春,车 刚. 小型蔬菜移栽机的改进设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(6): 117-122.
- [15] KARLEN D L. Suggested strategies to attract reviewers for soil& tillage research submissions[J]. *Soil and Tillage Research*, 2014, 144: 228-231.
- [16] 吴崇友,吴 俊,张 敏,等. 油菜毯状苗机械移栽技术研究[J]. *中国农机化学报*, 2016, 37(12): 6-10.
- [17] 吴 俊,汤 庆,袁文胜,等. 油菜毯状苗移栽机开沟镇压部件设计与参数优化[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(21): 46-53.
- [18] 汤 庆,吴崇友,袁文胜,等. 油菜毯状苗高速移栽机覆土镇压装置结构设计[J]. *中国农机化学报*, 2016, 37(3): 20-22, 33.
- [19] 王 英,陈建能,吴加伟,等. 用于机械化栽植的西兰花钵苗力学特性试验[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(24): 1-10.
- [20] 金 鑫,姬江涛,刘卫想,等. 基于钵苗运动动力学模型的鸭嘴式移栽机结构优化[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(9): 58-67.
- [21] 刘明峰,胡先朋,廖宜涛,等. 不同油菜品种适栽期机械化移栽植株形态特征研究[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(S1): 79-88.
- [22] 向 伟,吴明亮,庞晓远,等. 油菜钵苗物理机械特性试验研究[J]. *农业工程*, 2013, 3(5): 17-20.
- [23] 庞晓远,吴明亮,官春云,等. 油菜裸苗物理机械特性试验研究[J]. *农机化研究*, 2011, 33(9): 150-153.
- [24] 王苏飞. 油菜毯状苗切块移栽机理研究与参数优化[D]. 北京:中国农业科学院, 2016.
- [25] 刘兆朋,谢方平,吴明亮. 成熟期油菜茎秆力学特性试验研究[J]. *农机研究*, 2009, 31(2): 147-149.

(责任编辑:张震林)