

不同栽培方式对油菜根系形态构型和产量的影响

张 瑛^{1,2} 丁广大^{1,2} 蔡红梅² 徐芳森^{1,2} 石 磊^{1,2}

1. 华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室, 武汉 430070;

2. 农业部长江中下游耕地保育重点实验室/华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070

摘要 以甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.)常规种“华双5号”和杂交种“华油杂10号”为试验材料,采用田间小区试验考察直播、直接拔苗移栽和锄头辅助拔苗移栽方式下油菜全生育期根系形态构型、地上部生物量和产量的差异。结果表明,在播种时间和种植密度相同的条件下,同一生育期2个品种直播油菜的根系形态指标(根干质量、主根长、主根直径和根体积等)显著高于锄头辅助拔苗移栽,锄头辅助拔苗移栽油菜的根系形态指标显著高于直接拔苗移栽;地上部生物量和产量各处理间具有显著差异,表现为直播>锄头辅助拔苗移栽>直接拔苗移栽。同一处理,相同时期华油杂10号根系形态指标、地上部生物量和产量均显著高于华双5号。油菜地上部生长和产量均与根系性状密切相关,干质量大、主根粗,粗壮一级侧根多的根系有助于吸收养分和水分,地上部生长好,产量高。

关键词 油菜; 直播; 移栽; 根系; 生物量; 产量

中图分类号 S 565.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)04-0025-08

油菜是我国重要的油料作物,菜籽油是国产食用植物油的第一大来源,在我国食用油市场中具有举足轻重的地位^[1]。油菜栽培方式与地区的自然条件和耕作制度等有密切的关系。长江流域油菜主要产区一般为一年二熟制,该区域油菜采用育苗移栽,能充分利用自然条件提高复种指数,确保粮油丰收。目前我国油菜主产区油菜种植60%以上采用移栽,而世界农业机械化发达的国家油菜种植大都是采用直播^[2-3]。20世纪70年代以来,油菜主产区稻作制度已发生巨大变化,“双改单”现象明显。2007年,我国南方单季稻种植面积占水稻种植总面积的51.23%,安徽、浙江和湖北省单季稻面积分别占当地水稻种植面积的75%、70%和60%左右,近几年仍有增加趋势^[4-5]。单季稻收获时间早,为油菜大面积直播创造了条件。直播油菜在一定范围内能充分利用群体生长优势,争取有足够的有效角果数,且不需育苗和移栽,省工节本,能够较好地解决当前农村劳动力紧张的问题^[6]。

根系是植物水分和养分吸收的主要器官,是连接土壤和植物的纽带。根系也是植物光合产物的重要储备器官,根的腐烂分解为土壤提供碳,因此,能

够增加土壤有机质^[7]。王寅等^[8]研究发现不同种植方式下油菜施氮效果存在差异,直播油菜对外源氮肥的需求量显著少于移栽油菜,原因可能是直播油菜拥有庞大的根群结构,吸收土壤氮素的能力比较强。Fageria^[9]和Liu等^[10]研究表明,油菜根系在土壤中的空间分布、与土壤接触面积的大小等形态构型对水分和养分的吸收十分重要。根系的大小决定植物的抗旱性,在干旱条件下根系能够通过产生更多的侧根和更大的根容量来增加水分的吸收能力;另外,粗根木质部导管直径较大,蒸腾流纵向运输阻力较小,有利于增强植物的抗旱能力^[11]。养分在土壤中的分布通常是不均匀的,通常被距离较近的根系优先吸收,如有较大表面积,根能吸收更多磷和氮^[12-13]。不同的物种之间根系形态构型及其功能有较大差异。与短根和根毛很少的根比较,具有更长根长和有更多根尖数的根养分吸收大幅增加^[14]。帅海洪等^[15]研究表明,6个甘蓝型油菜杂交品种移栽处理籽粒平均产量均高于直播处理30%以上。移栽油菜单株产量比直播油菜产量高,主要原因可能在于移栽油菜育苗播种早,生育期长。另外,育苗移栽的油菜因主根损伤折断,入土较浅,但支根则

收稿日期: 2013-11-30

基金项目: 教育部新世纪优秀人才项目(NCET-13-0809)和国家重点基础研究发展规划项目(2011CB109302)

张 瑛, 硕士研究生, 研究方向: 植物营养生理与遗传。E-mail: zhangying9629@gmail.com

通信作者: 石 磊, 博士, 教授, 研究方向: 植物营养生理与遗传。E-mail: leish@mail.hzau.edu.cn

较为发达,侧根和支细根有利于吸收土壤表层的有效养分^[16]。

油菜直播轻简化栽培因不需育苗和移栽,既节省了秧田,又减少了劳动力投入,其省工节本效果明显,可有效解决农村劳动力紧张的问题,是将来我国油菜种植的主要模式^[17]。本研究以长江中下游推广的甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.)品种“华双 5 号”(常规种)和“华油杂 10 号”(杂交种)为试验材料,通过田间试验研究相同播期和种植密度下直播和不同移栽方式对油菜常规品种和杂交品种根系形态构型、地上部生物量和产量的影响以及油菜产量和根系性状的相关性,为新形势下油菜“根系育种”和“轻简化”直播栽培提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试油菜品种为华双 5 号(HS5)和华油杂 10 号(HZ10),分别由华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室吴江生教授和洪登峰副教授提供。

1.2 试验设计

试验在华中农业大学校内试验田进行,属于冬油菜区,试验田土壤类型为黄棕壤。试验设直播(direct seeding, DS)、直接拔苗移栽(direct transplanting, DT;油菜主根折断,根系会受到较大损伤)和锄头辅助拔苗移栽(assistant transplanting, AT;尽可能不破坏根系,根系损伤较小)3 个处理,每次取样时 3 次重复。为确保除栽培方式以外的试验条件一致,3 个处理均于 2012 年 10 月 4 日播种,2013 年 5 月 5 日和 5 月 11 日分批收获。试验共设 15 个小区,每个小区设 6 个大小为 1.3 m^2 的微区,依次为华双 5 号直播、华油杂 10 号直播、华双 5 号直接拔苗移栽、华油杂 10 号直接拔苗移栽、华双 5 号锄头辅助拔苗移栽、华油杂 10 号锄头辅助拔苗移栽。每个微区 2 行,每行种植 7 株,株距为 28 cm,行距为 33 cm,种植密度为 7.9×10^4 株/hm²。N、P₂O₅ 和 K₂O 施用量分别为 225、60 和 120 kg/hm²,播种前 1 周基施复合肥(N 12.8%, P₂O₅ 6.8%, K₂O 12.9%)875 kg/hm²,剩余氮肥按 20%越冬肥、15% 薹肥、15% 花肥以尿素(含 N 46%)作肥源施入。硼砂(含 B 11%)按 15 kg/hm² 与复合肥拌匀一起施入。

1.3 取样与测试

1)取样时间和方法。分别在幼苗期(移栽时,

2012 年 11 月 15 日)、缓苗期(移栽后 45 d, 2013 年 1 月 1 日)、抽薹期(2013 年 3 月 3 日)、盛花期(2013 年 3 月 16 日和 3 月 21 日)、角果期(2013 年 4 月 17 日)和成熟期(2013 年 5 月 5 日和 5 月 11 日)取样。华油杂 10 号较华双 5 号提前进入盛花期和成熟期,因此,前者取样时间早于后者。每个时期随机选取 3 个小区进行取样,每个小区为 1 个重复。取样时每个品种、处理、重复选取长势均匀的 5 株,用锄头(幼苗期)和铁锹(抽薹期至成熟期)将根挖出,尽量保持根的完整性;地上部苗期主要是叶片、薹薹期后分叶、茎、薹(花、角果等)取样。

2)根系形态构型的测定。幼苗期(移栽时)、缓苗期(移栽后一个半月)的根系较小,取样后采用根系扫描仪 EPSON(PERFECTION C700)对根进行扫描,用 WinRHIZO PRO 2009 软件进行分析,获得总根长、根系总表面积、根系平均直径、根总体积、根尖数等数据。抽薹期至成熟期,引入林学研究中根系分级测定方法,人工测量主根长、主根直径、 $>2 \text{ mm}$ 的一级侧根数和 $>5 \text{ mm}$ 的一级侧根数(角果期及成熟期)、根体积。根系用蒸馏水洗干净后,称鲜质量,然后 105 ℃ 杀青 30 min, 65.5 ℃ 烘干至恒质量,称干质量。

3)地上部生物量的测定。地上部 105 ℃ 杀青 30 min, 65.5 ℃ 烘干至恒质量,称干质量。

4)测产与考种。每个微区取长势均匀的 5 株,脱粒,称 5 株籽粒产量,计算总产。另取长势均匀的 5 株进行考种,调查每株角果数、每角粒数和千粒重。

1.4 统计分析

采用 Microsoft Excel 2007 软件和 SPSS 17.0 数据处理系统进行数据统计分析。

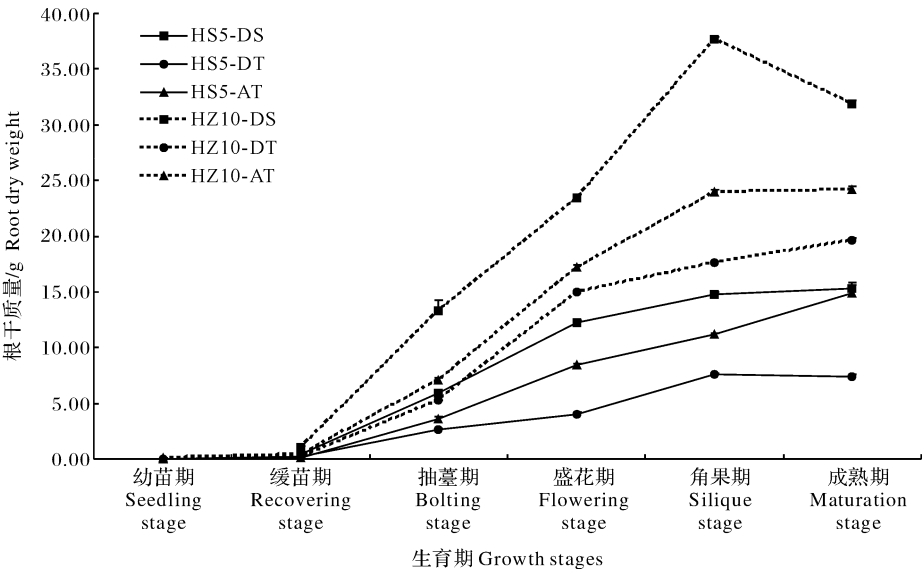
2 结果与分析

2.1 不同栽培方式对油菜根系和地上部干质量的影响

幼苗期(油菜移栽时)2 个品种 AT 处理的根干质量显著高于 DT 处理。缓苗期华双 5 号 DS 处理的根干质量显著大于 DT、AT 处理,DT、AT 处理之间没有显著差异。华双 5 号从抽薹期至角果期、华油杂 10 号从缓苗期至收获期 3 个处理的根干质量之间具有显著差异,均表现为 DS>AT>DT。成熟期华双 5 号 DS 处理和 AT 处理的根干质量没有显著差异,但显著高于 DT 处理。2 个品种同一处理方式进行比较,除缓苗期 DT 处理的根干质量无

显著差异外,其他时期华油杂 10 号各处理的根干质量均显著高于华双 5 号。缓苗期至角果期,2 个品种各处理根干质量均表现出显著增加趋势;从角果

期到成熟期,华双 5 号 DS、DT 以及华油杂 10 号 AT 根干质量均没有显著差异,华油杂 10 号 DS 处理表现出显著降低(图 1)。



DS:直播 Direct seeding;DT:直接拔苗移栽 Direct transplanting;AT:锄头辅助拔苗移栽 Assistant transplanting;下同 The same as below.

图 1 华双 5 号和华油杂 10 号 DS、DT 和 AT 不同生育期样品(5 株)根干质量

Fig.1 Root dry weight (5 plants) of HS5 and HZ10 of DS,DT and AT treatments at different growth stages

移栽定植前(幼苗期)2 个品种间及同一品种不同处理间地上部干质量均没有显著差异。缓苗期 2 个品种地上部干质量 DS 处理均显著高于相应的 DT、AT 处理,华双 5 号地上部干质量 DT、AT 处理间没有显著差异,华油杂 10 号地上部干质量 AT 处理显著高于 DT。缓苗期 DS 处理地上部干质量华油杂 10 号显著大于华双 5 号;DT、AT 处理 2 个品种间均没有显著差异。抽薹期、盛花期、角果期和成熟期各品种地上部干质量 3 个处理差异显著,表现为 DS>AT>DT;并且同一处理华油杂 10 号均显著大于华双 5 号。从缓苗期到角果期,各品种各处理地上部干质量均显著增加。成熟期与角果期比较,2 个品种 DS 处理 2 个时期地上部干质量没有显著差异;华双 5 号 DT 处理地上部干质量显著增加;华双 5 号 AT 处理、华油杂 10 号 DT 和 AT 处理的地上部干质量均有所下降(图 2)。从苗期到成熟期,每个品种地上部与根系干质量变化趋势基本一致。

2.2 不同栽培方式对油菜根系形态构型的影响

幼苗期(移栽定植时)AT 处理 2 个品种总根长、根总表面积、根总体积和根尖数均显著长(大,多)于 DT 处理,根平均直径没有显著差异(表 1)。

直接拔苗处理,华油杂 10 号总根长、根总表面积、根总体积和根尖数均显著长(大,多)于华双 5 号,根平均直径无显著差异;AT 处理的总根长、根总表面积、平均直径和根尖数 2 个品种间均没有显著差异,但华油杂 10 号根总体积显著大于华双 5 号(表 1)。缓苗期华双 5 号 DS 和 AT 处理总根长没有显著差异,但显著高于 DT 处理;华油杂 10 号 DS 处理总根长最长,显著高于 DT 和 AT 处理,后两者之间没有显著性差异。2 个品种 AT 和 DT 处理根系总表面积无显著差异,显著小于 DS 处理。华双 5 号 DS 处理和 DT 处理根系总体积没有显著差异,且显著大于 AT 处理;华油杂 10 号各处理根系总体积具有显著差异,表现为 DS>DT>AT。华双 5 号 3 个处理根平均直径无显著差异;华油杂 10 号 DS 处理根系平均直径显著高于 AT 处理,但 DS 和 DT 之间及 DT 和 AT 处理之间均没有显著差异(表 1)。华双 5 号 3 个处理根尖数具有显著性差异,为 DT>DS>AT;华油杂 10 号 DT 和 DS 根尖数没有显著性差异,显著高于 AT。同一处理,华油杂 10 号总根长,根系总表面积、根系总体积和根尖数均显著高于华双 5 号(图 3)。

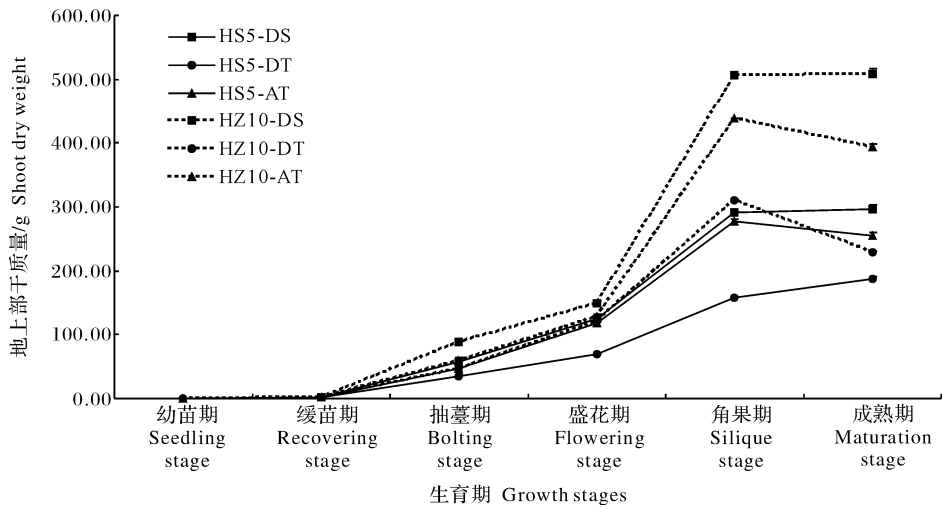


图 2 华双 5 号和华油杂 10 号 DS、DT 和 AT 不同生育期地上部样品(5 株)干质量

Fig.2 Shoot dry weight (5 plants) of HS5 and HZ10 of DS,DT and AT treatments at different growth stages

表 1 华双 5 号和华油杂 10 号不同栽培方式下幼苗期和缓苗期根系形态指标¹⁾

Table 1 Root system parameters of HS5 and HZ10 of DS,DT and AT treatments at seedling stage and recovering stage

生育期 Growth stages	品种 Varieties	处理 Treatments	总根长/cm Total root length	总表面积/cm ² Total surface area	总体积/cm ³ Total volume	平均直径/cm Average diameter	根尖数 Number of root tips
幼苗期 Seedling stage	华双 5 号 HS5	DS	/	/	/	/	/
		DT	41.47±2.14 c	10.68±0.88 c	0.22±0.01 c	0.80±0.02 a	67.3±1.6 c
		AT	97.48±2.48 a	22.09±1.89 ab	0.40±0.01 b	0.78±0.02 a	136.9±2.8 a
	华油杂 10 号 HZ10	DS	/	/	/	/	/
		DT	72.38±2.08 b	19.87±0.93 b	0.40±0.01 b	0.82±0.02 a	100.7±0.8 b
		AT	101.48±2.97 a	24.14±1.17 a	0.49±0.01 a	0.79±0.04 a	135.1±1.8 a
缓苗期 Recovering stage	华双 5 号 HS5	DS	206.82±8.77 d	71.08±4.70 c	1.93±0.10 cd	0.97±0.05 b	368.0±8.2 c
		DT	168.75±30.42 e	51.79±6.94 d	1.83±0.07 d	1.00±0.09 b	541.2±34.8 b
		AT	233.84±5.71 c d	58.86±3.38 d	1.26±0.04 e	0.90±0.14 b	274.3±15.3 d
	华油杂 10 号 HZ10	DS	376.09±33.65 a	167.43±11.96 a	5.00±0.24 a	1.45±0.10 a	675.9±5.1 a
		DT	262.47±9.70 bc	107.73±5.19 b	3.93±0.61 b	1.21±0.30 ab	686.1±42.5 a
		AT	273.42±5.91 b	101.85±2.28 b	2.37±0.17 c	0.98±0.28 b	569.3±29.4 b

1)同一列小写字母相同者,表示同一发育时期 $P<0.05$ 水平上差异不显著;同一列小写字母不同者,表示同一发育时期 $P<0.05$ 水平上差异显著。The same lowercase letter each column means no significant difference at $P<0.05$,different lowercase letter each column means significant difference at $P<0.05$. 下表同 The same as follow tables.

表 2 表明,抽薹期华双 5 号和华油杂 10 号 DT 处理的主根长最短,华双 5 号 DS 处理主根长显著短于 AT 处理,而华油杂 10 号 DS 处理根长显著长于 AT 处理,2 个品种趋势相反,可能由取样造成。2 个品种主根直径和根体积 3 个处理具有显著差异,均表现为 DS>AT>DT。华双 5 号 AT>2 mm 的一级侧根数显著高于 DS,DS 显著高于 DT。华油杂 10 号 3 个处理>2 mm 的一级侧根数则表现为 DS<DT<AT(图 3)。盛花期 2 个品种 DS 处理和 AT 处理的主根长没有显著差异,均显著高于

DT 处理;华油杂 10 号 DS 处理和 AT 处理的主根长显著高于华双 5 号相应处理,DT 处理的主根长 2 个品种间没有显著差异。2 个品种 DS 处理和 AT 处理的主根直径均没有显著差异,华油杂 10 号 DT、AT 处理间也无显著差异。2 个品种根体积均表现为 DS>AT>DT。华双 5 号和华油杂 10 号 3 个处理>2 mm 的一级侧根数与抽薹期华油杂 10 号的趋势一致,表现为 DS<DT<AT。抽薹期和盛花期同一处理华油杂 10 号的主根直径、根体积和>2 mm 的一级侧根数均显著大于华双 5 号。角果期

表 2 华双 5 号和华油杂 10 号不同栽培方式下抽薹期至成熟期根系形态指标

Table 2 Root system parameters of HS5 and HZ10 of DS,DT and AT treatments from bolting stage to maturation stage

生育期 Growth stages	品种 Varieties	处理 Treatments	主根长/cm	主根直径/cm	根体积/cm ³ Root volume	>2 mm 的一级侧 根数 Number of	>5 mm 的一级侧 根数 Number of
			Primary root length	Primary root diameter		>2 mm first order lateral root	>5 mm first order lateral root
抽薹期 Bolting stage	华双 5 号 HS5	DS	11.65±0.55 c	1.50±0.01 b	9.82±0.17 c	6.9±0.8 d	/
		DT	6.21±1.13 d	1.05±0.04 e	4.68±0.14 f	5.3±1.2 e	/
		AT	13.43±0.16 b	1.17±0.06 d	5.49±0.22 e	8.6±0.4 c	/
	华油杂 10 号 HZ10	DS	16.86±0.83 a	1.70±0.06 a	20.58±0.45 a	9.3±0.9 c	/
		DT	4.42±0.92 e	1.24±0.03 d	8.32±0.13 d	11.4±0.6 b	/
		AT	12.34±0.16 bc	1.41±0.00 c	11.32±0.17 b	13.0±0.9 a	/
盛花期 Flowering stage	华双 5 号 HS5	DS	12.12±0.85 b	1.64±0.06 c	14.09±0.14 c	7.6±0.7 f	/
		DT	4.78±0.21 c	1.45±0.02 d	4.63±0.53 e	9.3±0.6 e	/
		AT	12.87±0.60 b	1.59±0.01 c	8.60±0.35 d	15.0±1.0 c	/
	华油杂 10 号 HZ10	DS	14.23±0.71 a	1.83±0.03 a	23.56±0.48 a	11.5±0.5 d	/
		DT	4.94±0.62 c	1.73±0.03 b	14.41±0.31 c	24.3±0.6 b	/
		AT	14.54±0.93 a	1.78±0.00 ab	16.85±0.37 b	27.3±1.5 a	/
角果期 Silique stage	华双 5 号 HS5	DS	14.44±0.71 b	1.83±0.02 c	11.83±0.23 d	8.0±1.0 e	2.0±0.2 b
		DT	9.35±1.01 e	1.38±0.03 e	6.14±0.53 f	14.0±1.0 d	0.0±0.0 e
		AT	11.14±0.78 d	1.74±0.06 d	10.15±0.18 e	19.1±1.0 c	0.0±0.0 e
	华油杂 10 号 HZ10	DS	17.44±0.84 a	2.26±0.05 a	31.72±0.23 a	14.5±0.9 d	4.0±0.3 a
		DT	12.90±0.53 c	1.84±0.06 c	16.57±0.17 c	24.6±0.9 b	0.9±0.1 d
		AT	16.42±0.40 a	2.00±0.03 b	20.64±0.57 b	27.7±1.0 a	1.2±0.1 c
成熟期 Maturation stage	华双 5 号 HS5	DS	14.13±0.44 c	1.80±0.07 bc	14.27±0.31 d	6.0±0.4 f	2.4±0.3 b
		DT	6.57±0.60 d	1.44±0.10 d	7.21±0.24 f	7.5±0.3 e	0.0±0.0 d
		AT	13.44±1.40 c	1.70±0.07 c	9.74±0.56 e	9.4±0.2 d	0.4±0.1 c
	华油杂 10 号 HZ10	DS	18.34±0.56 a	2.21±0.12 a	29.04±0.43 a	11.4±0.4 c	4.7±0.1 a
		DT	13.32±0.19 c	1.86±0.01 b	15.51±0.51 c	20.2±0.2 b	0.4±0.0 c
		AT	16.69±0.72 b	1.94±0.05 b	19.01±0.51 b	24.5±0.3 a	0.4±0.0 c

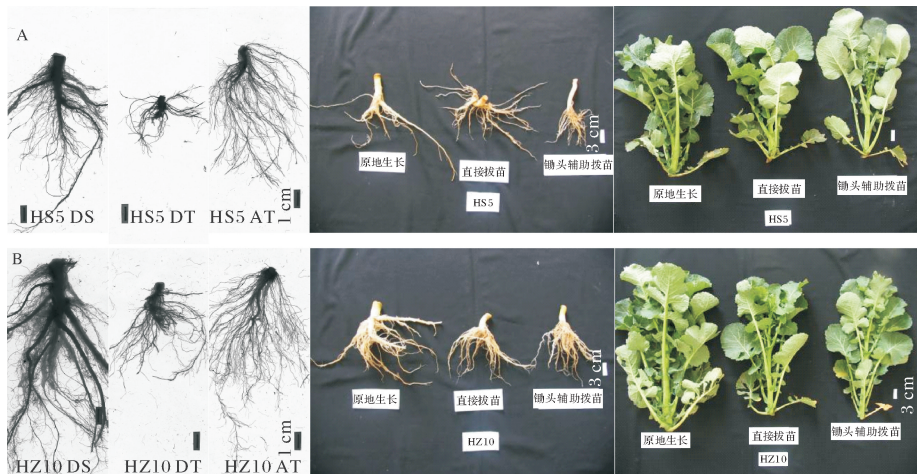


图 3 华双 5 号 (A) 和华油杂 10 号 (B) DS、DT 和 AT 缓苗期根系、抽薹期根和地上部形态

Fig. 3 Root system at the recovering stage and root and shoot at bolting stage of HS5 (A) and HZ10 (B) of DS,DT and AT treatments

华油杂 10 号 DS 和 AT 处理主根长没有显著差异,显著长于 DT 处理。2 个品种主根直径、根体积和 华双 5 号的主根长 3 个处理间均有显著差异,表现为 DS>AT>DT。同一处理华油杂 10 号所有根系形态指标(主根长、主根直径、根体积、>2 mm 的一级侧根数和>5 mm 的一级侧根数)均显著长(大、多)于华双 5 号。成熟期华双 5 号 DS 和 AT 处理的主根长和主根直径没有显著差异,显著长(大)于 DT 处理;华油杂 10 号主根直径 DT、AT 处理间无显著差异,显著低于 DS 处理。2 个品种根体积以及华油杂 10 号主根长均表现为 DS>AT>DT。盛花期至成熟期华双 5 号和华油杂 10 号>2 mm 的一级侧根数均为 DS<DT<AT 处理;角果期和成熟期华双 5 号和华油杂 10 号 DS 处理>5 mm 的一级侧根数显著高于 DT、AT 处理。与角果期比较,成熟

期主根直径、根体积和>2 mm 的一级侧根数没有显著变化或呈现出下降趋势。

2.3 不同栽培方式对油菜产量的影响

华油杂 10 号籽粒产量 3 个处理间具有显著差异,表现为 DS>AT>DT;华双 5 号籽粒产量 DS 和 AT 没有显著差异,显著高于 DT 处理。2 个品种每株角果数各处理也具有显著差异,表现为 AT>DS>DT。2 个品种 AT 和 DT 处理每角粒数均没有显著差异,但显著小于 DS 处理;同一处理比较,华油杂 10 号籽粒产量、每株角果数和每角粒数均显著高于华双 5 号,千粒重趋势相反。华双 5 号 DS 处理的千粒重显著高于 DT 处理;DS 处理和 AT 处理,AT 处理和 DT 处理千粒重均无显著差异;华油杂 10 号 DS 处理千粒重最大,DT 处理千粒重最小(表 3)。

表 3 华双 5 号和华油杂 10 号不同栽培方式下产量和产量构成因子

Table 3 Seed yield and yield components of HS5 and HZ10 of DS,DT and AT treatments

品种 Varieties	处理 Treatments	产量/(kg/hm ²) Seed yield	每株角果数 Silique number per plant	每角粒数 Seed number per silique	千粒重/g 1 000-seed weight
华双 5 号 HS5	DS	2 359.0±22.9 d	197.3±8.8 e	26.6±0.6 c	3.89±0.03 a
	DT	1 538.4±88.9 e	168.1±3.3 f	23.9±0.9 d	3.81±0.03 b
	AT	2 243.6±54.0 d	298.9±6.6 d	24.8±1.0 d	3.86±0.00 ab
华油杂 10 号 HZ10	DS	3 936.2±95.2 a	367.9±6.7 b	31.3±0.5 a	3.26±0.05 c
	DT	2 915.3±38.3 c	348.6±4.1 c	28.4±0.9 b	2.91±0.02 e
	AT	3 418.0±69.5 b	409.9±8.6 a	29.2±1.0 b	3.06±0.01 d

3 讨 论

3.1 不同栽培方式油菜根系形态构型的差异

根系是作物吸收水分、养分及合成多种生理活性物质的重要器官,其生长发育状况及在土壤中的时空分布,不仅决定作物在其生长期对水分和养分的吸收利用能力,还直接影响作物地上部冠层的建成、同化物的分配及最终产量的形成^[18]。油菜苗前期主根以下扎为主,苗后期除继续下扎外,主根不断膨大,进行根颈充实,贮藏养分。越冬期间根系生长比地上部茎叶生长快。开春后,气温逐渐升高,根系向水平方向发生大量支细根,到盛花期或角果后期达到顶峰,之后根系逐渐衰老^[10,16,19]。从幼苗期至角果期,华双 5 号和华油杂 10 号各处理主根直径一直呈现递增趋势,但是角果期和成熟期 2 个时期的主根直径几乎没有变化,表明根系进入角果期后基本停止生长;华双 5 号 DS、DT 和华油杂 10 号 AT 处理成熟期根干质量与角果期比较无显著差异,华油杂 10 号根干质量显著降低,这与 Liu

等^[10,19]研究结果基本一致。本研究结果还表明,不同的栽培方式对油菜根系形态构型有较大影响,华双 5 号和华油杂 10 号 2 个品种主根长、主根直径、根干质量和根体积总体上均为 DS>AT>DT。DS 处理油菜主根较长,主根直径粗,粗壮一级侧根多,支细根密度小。从盛花期至成熟期 2 个品种>2 mm 的一级侧根数的趋势均表现为 AT>DT>DS(表 2),且移栽油菜的根干质量均小于 DS 油菜的根干质量(图 1),这表明移栽过程中根系受到不同程度的损伤,没有或很少有粗壮一级侧根,但后期支细根密度大;AT 处理的根系发育好于 DT(表 2,图 3)。

3.2 不同栽培方式油菜产量和根系形态构型的关系

近年来通过改进栽培技术,直播油菜在一定范围内也能充分利用群体生长优势,争取有足够的有效角果数,籽粒产量水平可与移栽油菜接近^[8]。本研究常规油菜品种“华双 5 号”DS 和 AT 处理的籽粒产量没有显著性差异,与上述结论一致;并且华油

杂 10 号直播的籽粒产量显著高于移栽产量, 华双 5 号直播产量也显著高于直接拔苗移栽产量(表 3)。邹应斌等^[20]也指出作物免耕直播与翻耕移栽具有同样的产量潜力, 省工、节本、增效的效益显著, 是我国作物低成本、高效益栽培的主要途径之一。另外, 杂交品种华油杂 10 号各处理的籽粒产量均高于常规品种华双 5 号, 因此, 生产中通过选择优良品种, 适当密植, 直播油菜产量也能达到甚至超过移栽油菜。

油菜主根一般生长得较深, 对吸收深层土壤的水分有很大帮助; 侧根和支细根往往吸收较多土壤表层的有效养分^[21]。本研究直播油菜较移栽油菜地上部生长好(图 3), 原因在于 DS 处理根系完整, 主根入土很深, 有利于水分的吸收, 同时侧根粗壮, 有利于养分的吸收; 而拔苗移栽处理植株主根折断, 根系损伤较大, 水分和养分的吸收受到抑制。王小娟等^[22]研究表明, 油菜的籽粒产量与苗期和盛花期根系的各项指标呈正相关, 并且根质量、根体积对油菜籽粒产量的贡献大于根长和一级侧根数。本研究收获时华双 5 号 DS 与 AT 2 个处理之间的根干质量、主根长和主根直径均没有显著差异, 籽粒产量也没有显著差异, 均显著高于 DT 处理; 华油杂 10 号的根系性状和籽粒产量均为 DS>AT>DT(表 2, 表 3), 籽粒产量和根系相关指标具有显著的相关性, 根干质量大、主根长、主根直径粗、粗壮一级侧根多的植株籽粒产量比较高。华油杂 10 号各处理的根系发育均好于华双 5 号相应处理, 产量也表现为华油杂 10 号>华双 5 号。油菜根系形态构型与作物水分吸收和养分获取密切相关, 因此, 有必要进行油菜优异根系种质的筛选, 根据不同的育种需要和目标, 如高产、抗逆、养分高效、优质等, 进行根系遗传改良, 培育具有目标性状的油菜新品种。

本研究重点在于明确不同栽培方式对油菜根系形态构型的影响, 因此, 试验设计 DS、DT 和 AT 3 个处理播种日期均为 10 月 4 日, 移栽时间均为 11 月 15 日, 移栽处理移栽时间与农业实际生产相比偏晚。如果不同处理采用不同播种时间, 同一生育期取样时, 处理间根系形态构型的差异可能同时由移栽处理和生长时间导致, 不能区分 2 个影响因子的贡献; 并且在越冬期如发生 -4~4℃ 低温, 早播条件下植株冻害明显, 晚播条件下冻害较轻^[23]。如果 3 个处理都提前到 9 月初同时播种, 直播处理播种时期与农业生产中实际情况也不符合。另外, 农业

生产中直播处理植株密度一般显著大于移栽处理, 本研究为便于直播和移栽处理间根系形态构型能相互比较, 直播和移栽处理密度一致。下一步将深入研究不同播期和密度下不同移栽方式油菜根系形态构型的差异及其对产量的影响。

参 考 文 献

- [1] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 300-302.
- [2] 刘后利. 实用油菜栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 316-320.
- [3] 傅寿仲. 双低油菜核心竞争力研究—油菜栽培及其成本效益分析[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(3): 100-104.
- [4] 程勇翔, 王秀珍, 黄敬峰, 等. 中国水稻生产的时空动态分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(17): 3473-3485.
- [5] 胡忠孝. 中国水稻生产形势分析[J]. 杂交水稻, 2009, 24(6): 1-7.
- [6] 陈红, 陈小平, 阮有宏, 等. 直播油菜生育特性及高产栽培技术[J]. 现代农业科技, 2010(1): 76-77.
- [7] LYNCH J P, LYNCH A F, JONATHAN P. Roots of the second green revolution[J]. Australian Journal of Botany, 2007, 55(5): 493-512.
- [8] 王寅, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 移栽和直播油菜的氮肥施用效果及适宜施氮量[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4406-4414.
- [9] FAGERIA N K. Influence of dry matter and length of roots on growth of five field crops at varying soil zinc and copper levels[J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27: 1517-1523.
- [10] LIU L P, GAN Y T, BUECKERT R, et al. Rooting systems of oilseed and pulse crops. I: temporal growth patterns across the plant developmental periods[J]. Field Crops Research, 2011, 122: 256-263.
- [11] GOWDA R P V, HENRY A, YAMAUCHI A, et al. Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice[J]. Field Crops Research, 2011, 122: 1-13.
- [12] MARSCHNER H. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition[J]. Field Crops Research, 1998, 56: 203-207.
- [13] SULLIVAN W M, JIANG Z C, HULL R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass[J]. Crop Science, 2000, 40: 765-772.
- [14] DONG B, RENGEL Z, GRAHAM R D. Root morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency[J]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18: 2761-2773.
- [15] 帅海洪, 丁秋凡, 陈卫江, 等. 双季稻区油菜移栽与直播性状比较研究[J]. 湖南农业科学, 2010(1): 28-30.
- [16] 胡立勇, 丁艳锋. 作物栽培学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 374-402.
- [17] 张春雷, 李俊, 余利平, 等. 油菜不同栽培方式的投入产出比较

研究[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(1): 57-64.

[18] 王永华, 王玉杰, 郭天财, 等. 两种气候年型下不同栽培模式对冬小麦根系时空分布及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2826-2837.

[19] LIU L P, GAN Y T, BUECKERT R, et al. Rooting systems of oilseed and pulse crops. II: Vertical distribution patterns across the soil profile[J]. Field Crops Research, 2011, 122(3): 248-255.

[20] 邹应斌, 李克勤, 任泽民. 作物复种的免耕直播栽培研究进展[J]. 中国农学通报, 2004, 20(1): 90-95.

[21] 严小龙, 廖红, 年海. 根系生物学: 原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 95-101.

[22] 王小娟, 宋海星, 官春云, 等. 不同供氮水平下油菜根系的反应差异[J]. 湖南农业大学学报, 2011(6): 592-597.

[23] 徐正华, 张晓红, 胡立勇, 等. 不同栽培措施对油菜抗寒性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(6): 661-667.

Effects of different planting methods on root system architecture and yield of oilseed rape

ZHANG Ying^{1,2} DING Guang-da^{1,2} CAI Hong-mei² XU Fang-sen^{1,2} SHI Lei^{1,2}

1. National Key Lab of Crop Genetic Improvement, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Key Lab of Cultivated Land Conservation, Ministry of Agriculture/Microelement Research Centre, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Field plot experiments were conducted to investigate the root morphology and architecture traits, shoot biomass and seed yield of Huashuang 5 (HS5, conventional variety) and Huayouza 10 (HZ10, hybrid variety) (*Brassica napus* L.) under three cultivation methods including direct seeding (DS), direct transplanting (DT) and assistant transplanting with hoe (AT) during the whole growth stage. The results showed that root traits such as root dry weight, primary root length, root diameter and root volume under DS were more (better) than that under AT, the latter were more (better) than that under DT at the same growth stage with the same density and sowing time. Significant difference was existed in shoot biomass and seed yield among the three cultivation methods in the order of DS>AT>DT at the same growth stage. Root traits, shoot biomass and seed yield of HZ10 were better (higher) than that of HS5 at the same growth stage. Shoot biomass and seed yield were significantly correlated with root traits in oilseed rape under all the three cultivation methods. Varieties with greater root dry weight, thicker primary root and more 1st order lateral roots can absorb more nutrient and water, and produce more biomass and seed yield. Root breeding would play more important roles in improving seed yield of oilseed rape.

Key words oilseed rape; direct seeding; transplanting; root system; biomass; seed yield

(责任编辑: 陆文昌)