

油菜毯状苗适宜移栽密度研究

曹金华, 冯云艳, 冷锁虎*, 左青松, 杨光, 尤晶晶, 杨颖

(扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室/农业农村部长江中下游作物生理生态与栽培重点开放实验室, 江苏 扬州, 225009)

摘要:为探讨油菜毯状苗移栽的适宜密度, 采用田间试验, 以甘蓝型油菜品种宁杂 1818 为材料, 研究了毯状苗不同移栽密度对油菜籽粒产量、品质及单株干物质积累的影响。结果表明, 油菜产量与密度间呈二次抛物线关系, 随密度增加呈现先增加后降低的趋势。移栽密度为 22.5 万株/hm² 时, 一穴一株处理(CK)产量最高, 为 3806.81 kg/hm², 一穴两株处理(M4)产量略低于 CK, 二者差异不显著, 但 M4 处理显著高于其它处理。随密度增加, 单株角果数和每角粒数减少, 而群体角果数增多。单株产量与成熟期和薹茎-初花期的干物质积累量间呈现极显著正相关关系。随密度增加, 油菜籽粒含油量小幅度增大, 蛋白质、硫苷和芥酸含量降低。以最高产量下降 1% 以内为标准得出适宜的移栽密度范围为 22.75 万 ~ 28.39 万株/hm², 而且生产上油菜毯状苗移栽时可灵活采用一穴两株或一穴一株, 简化、高产、高效。

关键词: 油菜; 毯状苗; 移栽密度; 产量; 干物质积累; 品质

中图分类号: S565.4

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2020)02-0223-07



OSID

Optimum transplanting density of rapeseed blanket seedlings

CAO Jin-hua, FENG Yun-yan, LENG Suo-hu*, ZUO Qing-song, YANG Guang, YOU Jing-jing, YANG Ying
(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province/Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: To explore a suitable transplanting density of transplanting rapeseed from blanket seedlings, effects of transplanting density on yield, quality and dry matter accumulation of rapeseed (*Brassica napus* L.) were studied in field. Cultivar Ningza 1818 was the material. Results showed that relationship between rapeseed yield and transplanting density could be described with a quadratic parabola. With increasing density, rapeseed yield and dry matter accumulation after anthesis increased first and then decreased. With transplanting density of 225 000/hm² plants, the yield of one-plants-a-hole (CK) was the highest among all treatments, which was 3806.81 kg/hm². Yield of two-plants-a-hole (M4) was lower than CK with no significant difference. But yield of M4 was significantly higher than those of the others. With increasing density, pod number per plant and seed number per pod decreased and pods population was the opposite. Significant positive correlation was found between yield per plant and dry matter accumulation at mature stage and the stage of bud to initial flower. With increasing density, seed oil content increased slightly, glucosinolate and erucic acid contents decreased. According to the standard of maximum yield decreasing within 1%, the suitable transplanting density range was 227 500 to 283 900 plants per hectare. When transplanting, two-plants-a-hole or one-plant-a-hole could be used more flexible, more simple with higher yield and efficiency.

Key words: *Brassica napus* L.; rapeseed blanket seedling; transplanting density; yield; dry matter accumulation; quality

长江流域是我国以种植水稻为主的粮食主产区, 油菜是稻-油和稻-稻-油栽培的良好茬口^[1]。但

收稿日期: 2020-02-09

基金项目: 国家自然科学基金(51575284)

作者简介: 曹金华(1982-), 女, 博士研究生, 研究方向为油菜栽培生理, E-mail: jinhuacao@126.com

* 通讯作者: 冷锁虎(1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为作物高产高效栽培理论与技术、作物营养生理, E-mail: oilseed@yzu.edu.cn

由于土壤黏重、水稻收获期不断推迟等问题,即使加大播种量,油菜产量也大幅降低,总体经济效益差,使得冬闲田面积不断扩大^[2,3]。育苗移栽虽能有效缓解茬口问题,但传统的育苗移栽难以配套机械化操作,费工、费时、成本高,生产效率低^[4]。针对上述生产问题,本团队研发了“油菜毯状苗机械化高效移栽技术”,被列入2018年农业农村部十项重大引领性农业技术^[5]。该技术自动化程度高,适应茬口、气候和机械化收获,技术应用成本低,可有效提高茬口较迟地区的油菜生产能力,实现油菜轻简化高效栽培。因此,开展高产、高效的油菜毯状苗移栽配套栽培技术研究,对该技术加快推广应用具有重要意义。

前人针对密度对油菜产量的影响,已做过大量研究^[6,7],普遍认为适当密植能够提高群体角果数,进而提高油菜产量。陈新军等^[8]研究表明,密度过高,单株有效角果数减少,单株生产力降低,且易倒伏。杨勇等^[9]研究发现,在高、低两种施肥水平下,适当密植均有利于获得高产。张晓龙等^[10]研究认为,迟播的油菜可以通过适当增加密度提高产量,密植的增产效果显著。还有一些研究结果表明,群体叶面积指数、光能利用率随着种植密度的增加而增加,群体和个体间矛盾协调发展,因而油菜产量得以提高^[11,12]。然而,前人研究中油菜移栽方式往往采用一穴一株。近年来,有研究报道^[13,14],采用一穴两株移栽方式既能保证移栽密度,又省工节本,而且不影响产量。

油菜毯状苗机械化移栽技术是一项新的研究领域,目前相关研究较少。前人有关油菜毯状苗的研究主要集中在培育壮苗方面^[15,16],而关于毯状苗移栽后的研究主要集中在基肥施用^[17~19]、施氮量^[17]及植株碳氮积累运转^[20]等方面,对毯状苗移栽方式、密度、产量及干物质积累的相关研究还未见报道。因此,本试验根据现有条件及生产中存在的问题,研究油菜毯状苗机械移栽密度对籽粒产量、品质等的影响,为优化油菜毯状苗移栽密度,配套农机农艺,实现高产、高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

品种为江苏省农业科学研究院选育的甘蓝型双低油菜杂交种宁杂1818。

1.2 试验设计

试验于2015–2016年度在扬州大学农学院试验

农场进行,试验地土壤肥力中等,均匀一致,排灌方便。试验油菜移栽前取大田耕层0~20 cm土壤样品测定土壤肥力为:土壤有机质含量23.80 g·kg⁻¹,碱解氮125.76 mg·kg⁻¹、速效磷19.12 mg·kg⁻¹、速效钾111.90 mg·kg⁻¹。试验设置了7个毯状苗移栽密度,M1:9.0万株/hm²、M2:13.5万株/hm²、M3:18.0万株/hm²、M4:22.5万株/hm²、M5:27.0万株/hm²、M6:31.5万株/hm²、M7:36.0万株/hm²,各密度下均为一穴两株。另外设置了密度为22.5万株/hm²,一穴一株处理为对照(CK)。试验所用毯状苗为9月22日在水稻育秧盘中播种培育,育秧盘规格长×宽×高为575 mm×275 mm×25 mm,毯状苗密度控制在4500~4800株/m²,于2015年10月18日进行人工移栽,移栽苗龄为三叶一心。2016年5月25日收获。移栽后7d施用112.5 kg/hm²尿素作苗肥,基肥高10 cm时施用300 kg/hm²复合肥作基肥。每处理3次重复,小区面积30 m²,随机区组排列。油菜生育期内田间管理均按当地油菜大田常规方法进行。

1.3 测定内容与方法

蕾薹期、初花期和成熟期不同处理分别选取有代表性的非边行连续植株10株,于105℃条件下杀青30 min,再于80℃恒温条件下烘干至恒重,称量干物重。

成熟期每小区选取代表性植株10株,考察角果数、千粒重和籽粒产量,每角粒数由籽粒重、角果数和千粒重计算而来。

油菜籽粒品质分析采用近红外分析仪(NIRS3700)进行油菜籽粒光谱扫描分析,主要分析芥酸、硫苷、含油量、蛋白质含量。

1.4 数据处理与分析

利用Microsoft Excel 2007进行数据处理和通径分析,DPS7.05软件进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 毯状苗移栽油菜籽粒产量及构成因素

2.1.1 产量 不同毯状苗移栽密度对油菜籽粒产量有影响(表1)。可以看出,随着密度的增加,油菜产量呈现出先增加后降低的趋势。本试验中设置密度为22.5万株/hm²一穴一株的处理为对照。对照(CK)产量最高,为3806.81 kg/hm²;处理M4(22.5万株/hm²一穴两株)的产量仅次于对照,为3699.94 kg/hm²,该密度下一穴两株与一穴一株间差异不显著,但M4处理与其它处理间产量差异均达到显著水平。处理M4与M1、M2相比,增产幅度分别达到

表1 不同密度对产量及其构成因素的影响
Table 1 Effect of transplant density on yield and yield components of rapeseed

处理 Treatment	密度/(×10 ⁴ /hm ²) Density	产量/(kg/hm ²) Yield	单株角果数 Silique per plant	群体角果数/(×10 ⁶ /hm ²) Silique of population	每角粒数 Seeds per silique	千粒重/g 1000-seed weight	收获指数 HI
一穴一株CK One plant per hole	22.5	3806.81 a	308.79 ab	69.48 abc	13.30 bc	4.37 abc	0.223a
一穴两株M1 Two plants per hole	9.0	2376.04 e	355.38 a	31.99 e	17.43 a	4.27 bc	0.221a
一穴两株M2 Two plants per hole	13.5	2859.58 d	344.96 ab	46.57 de	14.30 b	4.30 abc	0.223a
一穴两株M3 Two plants per hole	18.0	3407.70 b	298.42 abc	53.72 cd	14.23 b	4.48 ab	0.224a
一穴两株M4 Two plants per hole	22.5	3699.94 a	287.42 bcd	64.67 bc	13.03 bc	4.51 a	0.225a
一穴两株M5 Two plants per hole	27.0	3481.31 b	273.08 cd	73.73 ab	10.90 cd	4.35 abc	0.220a
一穴两株M6 Two plants per hole	31.5	3385.20 b	251.04 cd	79.08 ab	10.19 d	4.28 abc	0.219a
一穴两株M7 Two plants per hole	36.0	3171.90 c	228.96 d	82.43 a	9.19 d	4.24 c	0.217a

注:表中数据为3次重复平均值;不同小写字母表示 $P<0.05$
Note: The data are averages of 3 repetitions. Different lowercase letters indicate significant differences at 0. 05 level; HI: harvest index

55. 7%、29. 4%。

将密度和产量进行回归分析可知(图1),产量与密度间呈二次抛物线关系 $y = -4.5427x^2 + 232.3x + 638.39$ ($R^2=0.9579$)。根据方程可以得出,最适宜密度为25.57万株/hm²,此时最高产量为3608.17 kg/hm²,密度过大或过小都会导致产量下降,但在最适密度附近随密度的增减,产量下降幅度较小。如以产量比最高产量下降1%以内($3608.17 \times 99\% = 3572.09$)作为适宜的密度范围,则对应的移栽密度为22.75万~28.39万株/hm²。不同密度处理间油菜收获指数总体较低,有随密度增加呈现先增后减的趋势,但处理间差异不显著。同一密度下M4处理与CK相比,M4的收获指数略高,可能是因其穴距较大,有利于植株后期通风透光,提高光合产物向籽粒的转运效率,增加粒重。

2.1.2 产量构成因素 从产量构成因素来看(表1),毯苗移栽油菜不同密度处理的单株角果数和每角粒数随着密度的增大均呈现出逐渐减少的趋势,而群体角果数随密度变化的趋势与之相反,即随着密度的增大而增大。处理M1(9.0万株/hm²)的单株角果数最多,达到355.38个,与M4、M5、M6、M7处理间差异均达到显著水平,与M2、M3处理间差异不显著。处理M7的单株角果数最少,为228.96个,比M1减少了126.42个,减少幅度为55.2%。M2与

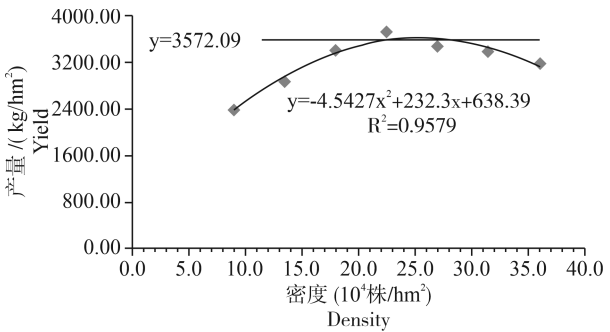


图1 密度与产量的回归分析
Fig. 1 Regression analysis between density and yield

M5、M6、M7处理间以及M3与M7处理间差异也均达到显著水平。群体角果数以M7处理的最多,达到82.43×10⁶个/hm²,与M5、M6、CK处理间差异不显著,与其它密度处理间差异达到显著水平。

将群体角果数和产量进行回归分析,得出产量与群体角果数呈二次曲线关系 $y = -1.0576x^2 + 140.35x - 1125.5$,根据方程得出最佳群体角果数为66.35×10⁶个/hm²($y = 3530.83$),则适宜群体角果数范围为60.58×10⁶~72.13×10⁶个/hm²(比最高产量下降1%以内)。处理M1的每角粒数与其它处理间差异均达到显著水平,比M7处理多8.24粒,增幅高达89.7%。千粒重的变化趋势则是随着密度的增大先增大后减小,其中M4处理的为4.51g,与M1、M7处理间差异显著。

从表1还可以看出,CK与M4为相同密度条件下,移栽方式不同,即一穴一株与一穴两株的对比试验中,CK(一穴一株)处理的产量、单株角果数、群体角果数和每角粒数均高于M4(一穴两株)处理,而千粒重则低于M4处理,二者产量及构成因素间差异均未达到显著水平。

2.2 产量构成因素与产量间的通径分析

对不同密度条件下群体角果数、每角粒数、千粒重和产量进行相关分析表明,群体角果数、千粒重与产量呈正相关关系(分别为 $r=0.713$, $r=0.628$),每角粒数与产量呈负相关关系($r=-0.628$)。对产量构成因素与产量进行通径分析可知(图2),千粒重对产量的作用最大,其次是群体角果数,每角粒数对产量则有一定的负作用。群体角果数的增加使得每角粒数增加,同时也会造成千粒重小幅度减小,进而引起产量下降。因此,增加群体角果数、确保每角粒数、提高千粒重三方面协调,有利于毯状苗移栽油菜获得高产。

2.3 毯状苗移栽油菜不同生育时期干物质积累

毯状苗不同移栽密度下,不同生育时期和不同生育阶段单株产量和干物质积累量均有随着密度增大而减小的趋势(表2),不同密度处理间差异显著。各处理干物质积累量随生育进程逐渐增大,至成熟期达到最大。同一密度下,处理M4与CK相比

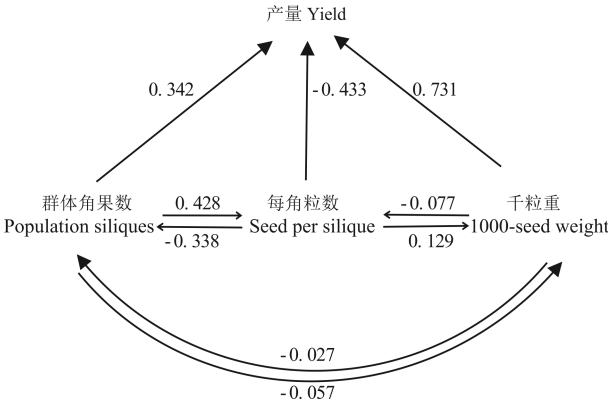


图2 不同密度下产量构成因素与产量的通径分析
Fig. 2 Path analysis between yield components and yield under different densities

差异不显著,M4的各生育时期和生育阶段的单株干物质积累量略低,成熟期和初花-成熟期分别比CK低2.77g和1.99g,单株产量低0.48g。不同生育时期和不同生育阶段的干物质积累量与产量间均呈正相关关系,其中成熟期和蕾薹-初花期的相关系数达到极显著水平,相关系数分别是0.996和0.966,是影响产量的关键时期。因此,油菜蕾薹-初花期应做好生长调控,既要保证足够的营养生长又要促进生殖生长,为生育后期籽粒的发育和充实奠定物质基础,成熟期干物质积累量多,有利于获得高产。

表2 不同生育时期单株干物质积累量

Table 2 Dry matter accumulation of single plant in different growth stages /(g/plant)

处理 Treatment	密度/($\times 10^4/\text{hm}^2$) Density	产量 Yield	蕾薹期 Bud stage	初花期 early flowering stage	成熟期 Maturity	蕾薹-初花期 Bud to early flowering stage	初花-成熟期 Early flowering to maturity
一穴一株CK One plant per hole	22.5	16.92c	30.30cd	47.23d	75.93cd	16.93c	28.70ab
一穴两株M1 Two plant per hole	9.0	26.40a	52.09a	80.90a	115.02a	28.81a	35.92a
一穴两株M2 Two plant per hole	13.5	21.18b	38.61b	66.08b	94.07b	27.47a	27.99b
一穴两株M3 Two plant per hole	18.0	18.93bc	32.72c	57.06c	84.67c	24.34b	27.61b
一穴两株M4 Two plant per hole	22.5	16.44c	29.54cd	46.45d	73.16d	16.92c	26.71b
一穴两株M5 Two plant per hole	27.0	12.89d	28.01d	38.88e	58.56e	10.86cd	19.68cd
一穴两株M6 Two plant per hole	31.5	10.75d	25.80e	33.49ef	48.18f	7.69d	14.69de
一穴两株M7 Two plant per hole	36.0	8.81d	23.24e	29.44f	40.59f	6.20d	11.15e
r			0.557	0.907*	0.996**	0.966**	0.952*

注:r为与产量相关系数。表中数据为后不同小写字母表示 $p<0.05$
Note: r: Correlation coefficient between yield and dry matter accumulation. Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level

2.4 毯状苗移栽油菜籽粒品质

由表2可以看出,毯状苗不同移栽密度下油菜籽粒品质存在一定差异。含油量有随着密度增加而提高的趋势,但增加幅度较小,各处理间差异不显著。蛋白质、硫苷、芥酸含量变化趋势均与之相反,即随着密度的增大逐渐减小,各品质性状处理间差异均达到显著水平。同一密度不同移栽方式的处理M4与CK间各品质性状差异也不显著。说明增加密度可以不同程度上提高毯状苗移栽油菜的含油量,降低蛋白质、硫苷和芥酸含量,移栽方式对品质没有显著影响。

3 讨论与结论

密度是影响油菜生长发育及产量的重要因子之一,对油菜产量的调控起关键作用。合理密植可以协调个体与群体、营养器官与生殖器官、植株生长与环境条件间的关系,培育高光效群体结构,通过提高单位面积产量获得高产^[21]。有关密度影响油菜产量的研究报道较多^[22~24],研究指出油菜高产的适宜密度因品种、农艺措施、环境的不同而相应变化。前人有关油菜种植密度的研究结果存在一定争议,普遍认为^[11,12,24],在其它条件相同的情况下,增加密度会显著降低油菜的单株有效角果数、有效分枝数和每角粒数,有效提高分枝高度和千粒重。而

Shen等^[25]研究认为,油菜种植密度对每角粒数和千粒重影响不大,密度过大会降低油菜产量。随着密度增加,单株角果数、每角粒数和一次有效分枝数显著减少,这与前人研究结果相同;但分枝高度和千粒重呈先增加后降低的趋势,这与前人研究结果不一致。杨经泽^[26]等也认为栽培密度对单位面积总角果数影响最大,同时株高会随密度增加而降低,一次分枝数及分枝角果数减少,这与本研究结果一致,因此油菜适当密植可以增加角果数,提高产量,降低株高,有利于增强植株的抗倒性。油菜干物质积累是籽粒产量形成的基础,一般干物质积累量的增加有利于籽粒产量的提高,不同生育时期和不同生育阶段的单株产量和干物质积累量随密度增大而减小,成熟期和蕾薹-初花期的干物质积累量与产量极显著正相关,尤其是蕾薹-初花期是影响产量的关键时期。因此,油菜蕾薹-初花期应协调好营养生长与生殖生长间的矛盾,控旺促长,植株健壮、成熟期干物质积累量较高的油菜更易获得高产,前人研究也得出了相同结论^[27,28]。

毯状苗移栽油菜随密度的增加,籽粒含油量呈现逐渐提高趋势,这与唐湘如等^[29]研究结果相同,但与张子龙等^[30]、沈明星等^[31]研究结果不一致;蛋白质含量^[29,30]、芥酸和硫苷含量^[32]降低,这与本研究结果相同,而黄萌等^[33]研究认为,硫苷和蛋白质含量与移

表3 不同密度对油菜籽粒品质的影响
Table 3 Effect of transplant density on quality of rapeseed

处理 Treatment	密度/($\times 10^4/\text{hm}^2$) Density	含油量/% Oil content	蛋白质/% Protein	硫苷含量/($\mu\text{mol/g}$) Glucosinolate content	芥酸含量/% Erucic acid
一穴一株CK One plant per hole	22.5	47.57 a	20.31 bc	18.12 ab	1.29 c
一穴两株M1 Two plants per hole	9.0	47.50 a	21.35 a	19.86 a	1.69 a
一穴两株M2 Two plants per hole	13.5	47.51 a	20.75 ab	18.73 ab	1.61 ab
一穴两株M3 Two plants per hole	18.0	47.69 a	20.30 bc	17.67 ab	1.34 bc
一穴两株M4 Two plants per hole	22.5	47.79 a	20.25 bc	16.77 b	1.28 c
一穴两株M5 Two plants per hole	27.0	47.83 a	20.15 bc	16.34 b	1.26 c
一穴两株M6 Two plants per hole	31.5	48.15 a	20.14 bc	16.24 b	1.20 c
一穴两株M7 Two plants per hole	36.0	48.33 a	19.69 c	15.82 b	1.10 c

注:同列数据为后不同小写字母表示 $p<0.05$
Note: Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level

栽密度无显著相关性,芥酸含量随移栽密度增加呈现逐渐增加趋势,这与本研究结果不一致。分析其原因可能是,学者们的研究对象、研究方法、品种选择以及品质检测手段不同所致。

长江流域复种指数高,茬口相对紧张,以往油菜种植主要以移栽为主,强调大壮苗移栽,特别是20世纪80年代提出的“秋发”栽培带动油菜生产上对稀植高产栽培模式的试验与示范开发,多年的生产实践也证明“秋发”栽培是油菜取得高产的一条有效途径^[34],但这种栽培模式费工,不简化^[35]。近年来,农村劳动力紧缺,油菜人工移栽用工问题日益严峻,极大程度影响了我国油菜生产。“油菜毯状苗机械化高效移栽技术”是一种新型的机械移栽技术,该技术改变了传统的育苗和移栽方式,变大苗为小苗,通过农机农艺融合,配套高密度(4500~4800株/m²)的油菜毯状苗,进行油菜机械化移栽,简化高效。同时该技术也对毯状苗提出更高的要求,采用化控技术培育出的毯状苗,必须要有“高密度、盘根成毯、矮壮健、卷而不散”等特点,毯状苗移栽时株型矮壮、根颈短、根系发达、叶色浓绿、苗龄适中,一般只有3~4片叶,苗体较小,移栽后需要及时浇水,成苗率可达80%~90%^[36],否则成活率可能会相对较低。左青松等^[20]研究表明,在高产栽培条件下(目标产量3750 kg/hm²),一穴一株和一穴两株的处理产量间无显著差异,这与本研究结果相似。与一穴一株移栽方式相比,采用一穴两株移栽方式可调节群、个体的源库关系,使温、光等环境资源得到充分利用,从而提高干物质积累量和收获指数,同时分枝间还可以相互支撑,增强抗倒性,增加群体产量^[13,14],省时省力,简化高效。根据本研究结果可以看出,毯状苗油菜移栽时,只要保证每穴中有1株苗成活就能获得较高产量。对于劳动力缺乏,茬口较迟稻油产区,该技术有广阔的应用前景,可有效促进该地区油菜生产力提高。因此,生产上移栽油菜可根据毯状苗密度、土壤状况、机械适应性等灵活采用一穴两株或一穴一株,移栽适宜密度范围22.75万~28.39万株/hm²。

参考文献:

- [1] 王积军,熊延坤,周广生.南方冬闲田发展油菜生产的建议[J].中国农技推广,2014,30(5):6-8. DOI: 10.3969/j.issn.1002-381X.2014.05.002.
- [2] 王翠翠,陈爱武,王积军,等.湖北双季稻区免耕直播油菜生长及产量形成[J].作物学报,2011,37(4):694-702. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2011.00694.
- [3] Wang S, Wang E L, Wang F, et al. Phenological development and grain yield of canola as affected by sowing date and climate variation in the Yangtze River Basin of China[J]. Crop Pasture Sci, 2012, 63(5): 478.
- [4] 高正路. 2ZY-2型油菜移栽机的设计[J]. 江苏农机与农艺, 2001, 27(1): 6-7. DOI: 10.3969/j.issn.1673-3142.2001.03.003.
- [5] 2018年十项重大引领性农业技术公布[OL]. 中华人民共和国农业农村部官网: http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/201807/t20180720_6154461.htm. 2018-07-20.
- [6] 马霓,张春雷,李俊,等.种植密度对直播油菜结实期源库关系及产量的调节[J].中国油料作物学报,2009,31(2):180-184. DOI: CNKI: SUN: ZGYW.0.2009-02-012.
- [7] 蒋守华,刘葛山.不同密度、施氮量对油菜淮油18号产量的影响[J].江苏农业科学,2013,41(12):83-85. DOI: CNKI: SUN: JSNY.0.2013-12-029.
- [8] 陈新军,戚存扣,张洁夫,等.不同栽培密度对苏优5号油菜农艺性状及产量的影响[J].江苏农业科学,2005,33(3):39-40. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1302.2005.03.013.
- [9] 杨勇,刘强,宋海星,等.不同种植密度和施肥水平对油菜养分吸收和产量的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2011,37(6):586-591. DOI: 10.3724/SP.J.1238.2011.00586.
- [10] 张晓龙,何俊龙,宋海星,等.播期、密度和施肥量对直播油菜重要农艺性状与产量的影响[J].中国土壤与肥料,2014(5):70-74. DOI: 10.11838/sf-sc.20140514.
- [11] Diepenbrock W. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review [J]. Field Crop Res, 2000, 67(1): 35-49. DOI: 10.1016/S0378-4290(00)00082-4.
- [12] Kuai J, Sun Y Y, Zuo Q S, et al. The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing [J]. Sci Rep, 2015, 5: 18835. DOI: 10.1038/srep18835.
- [13] 唐校强,曹流俭,周可金,等.移栽密度和方式对油菜生长发育与产量的影响[J].安徽农业大学学报,2012,39(3):430-434.
- [14] 胡正军,田祖庆,李国安,等.棉地油菜一穴双株移栽应用初报[J].作物研究,2006,20(3):259-260. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5280.2006.03.018.
- [15] 张含笑,林参,左青松,等.种植密度和施肥量对油菜毯状苗生长的影响[J].作物学报,2019,45(11):1691-1698. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2019.94029.
- [16] 冯倩南.油菜毯状苗育苗基质优化研究[D].扬州:扬州大学,2018.
- [17] 杨光,冷锁虎,左青松,等.基肥施用时期和施氮量

- 对毯苗移栽油菜株高和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(4): 30-37.
- [18] 晋晨, 李苗苗, 葛家颖, 等. 薹肥施用时期对垄作摆栽油菜群体结构的影响[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(1): 98-103. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2016.01.015.
- [19] 吴正贵, 李苗苗, 吴玉珍, 等. 薹肥对毯状苗移栽油菜成熟期干物质积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 81-85. doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2017.18.021.
- [20] 左青松, 刘浩, 蒯婕, 等. 氮肥和密度对毯状苗移栽油菜碳氮积累、运转和利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3522-3531. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2016.18.006.
- [21] 岳绪国, 顾炳朝, 唐泽庆, 等. 不同密度水平对甘蓝型油菜“镇油5号”产量及经济性状的影响[J]. 江西农业学报, 2008, 20(11): 45-46, 49. DOI: CNKI: SUN: JXNY.0.2008-11-014.
- [22] 惠飞虎, 孙统庆, 孙家刚, 等. 油菜的源库关系研究 II. 种植密度对油菜籽粒充实期源库的调节[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(4): 436-439. DOI: CNKI: SUN: ZGYW.0.2006-04-011.
- [23] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000: 387-485.
- [24] 宋稀, 刘凤兰, 郑普英, 等. 高密度种植专用油菜重要农艺性状与产量的关系分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1800-1806. DOI: CNKI: SUN: ZNYK.0.2010-09-006.
- [25] Shen Q, Ran W, Cao Z. Mechanisms of nitrite accumulation occurring in soil nitrification [J]. Chemosphere, 2003, 50(6): 747-753. DOI: 10.1016/s0045-6535(02)00215-1.
- [26] 杨经泽, 刘凤兰, 李光明, 等. 油菜新品种中双9号不同栽培密度试验[J]. 湖北农业科学, 2004, 43(3): 39-41. DOI: 10.3969/j.issn.0439-8114.2004.03.013.
- [27] 刘晓伟, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 直播冬油菜干物质积累及氮磷钾养分的吸收利用[J]. 中国农业科学, 2011, 44(23): 4823-4832. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2011.23.008.
- [28] 戴敬, 徐俊兵, 喻义珠, 等. 冬油菜春后干物质积累与产量的关系[J]. 扬州大学学报, 2005, 26(1): 77-80. DOI: CNKI: SUN: JSNX.0.2005-01-021.
- [29] 唐湘如, 官春云. 油菜栽培密度与几种酶活性及产量和品质的关系[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2001, 27(4): 264-267. DOI: CNKI: SUN: HNND.0.2001-04-004.
- [30] 张子龙, 王瑞, 李加纳, 等. 密度和氮素与甘蓝型黄籽油菜主要品质的关系[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 28(3): 349-352. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9868.2006.03.001.
- [31] 沈明星, 王海侯, 孙华, 等. 移栽密度对双低油菜苏油4号产量与品质的影响[J]. 江西农业学报, 2009, 21(8): 22-24. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8581.2009.08.009.
- [32] 邱江, 黄秀芳, 戚存扣, 等. 移栽密度和施氮量对宁油14号油菜产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2006, 34(4): 22-24, 45. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2006.04.008.
- [33] 黄萌, 眭彬彬, 张建栋, 等. 移栽密度对高含油量双低油菜苏油5号产量、产油量及品质的影响[J]. 江西农业学报, 2015, 27(10): 54-57. DOI: 10.19386/j.cnki.jxnyxb.2015.10.012.
- [34] 赵合句, 李光明, 李英德, 等. 油菜秋发高产技术[J]. 中国油料, 1989, 11(3): 58-60.
- [35] 殷艳, 王汉中, 廖星. 2009年我国油菜产业发展形势分析及对策建议[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(2): 259-262.
- [36] 扬州大学. 一种促进油菜机插毯状苗早活棵的处理剂及应用方法[P]. 中国发明专利: CN103804096B, 2014.05.21.

(责任编辑:郭学兰)