

付三雄, 周晓婴, 张 维, 等. 种植密度和施氮量对油菜产量、品质及机收性状的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(3): 548-556.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.03.010

种植密度和施氮量对油菜产量、品质及机收性状的影响

付三雄, 周晓婴, 张 维, 陈 锋, 高建芹, 张洁夫, 戚存扣

(国家油菜改良中心南京分中心, 农业部长江下游棉花与油菜重点实验室(南京), 江苏省农业科学院经济作物研究所, 江苏南京 210014)

摘要: 为研究施氮量与种植密度对油菜机收性状及产量和品质的影响, 以宁油 20 号为试验材料, 设置施纯氮量 240 kg/hm²、300 kg/hm²、360 kg/hm², 以及种植密度 1 hm² 3.00×10⁵ 株、3.75×10⁵ 株、4.50×10⁵ 株、5.25×10⁵ 株、6.00×10⁵ 株不同处理。结果表明, 高施氮量能获得最高的籽粒产量与产油量, 但籽粒产量的增加幅度大于产油量, 产油量在不同施氮量间差异不显著。改变施氮量与种植密度对经济性状、产量构成因素均可产生显著影响, 其中密度间差异对主要经济性状的影响超过施氮量的差异, 施氮量差异对产量构成因素的影响超过密度间差异。随施氮量增加含油量和硫苷含量下降。籽粒脂肪酸组成比较稳定, 但芥酸含量随施氮量增大而增加; 油酸含量随施氮量增大而降低。株高随施氮量增加升高不明显, 随密度增加而降低; 低氮量高密度种植能获得较高分枝点高度; 分枝数随施氮量减少而减少, 随密度增大而减少。因此, 若以减少施肥、节本增效为前提, 选择施纯氮 240 kg/hm², 并且在 1 hm² 3.00×10⁵~6.00×10⁵ 株范围内提高密度, 有利于获得高产油量和机收性状的形成。

关键词: 油菜; 施氮量; 种植密度; 产量; 品质

中图分类号: S565.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)03-0548-09

Influences of planting density and nitrogen application rate on yield and quality and machine harvest traits of rapeseed (*Brassica napus* L.)

FU San-xiong, ZHOU Xiao-ying, ZHANG Wei, CHEN Feng, GAO Jian-qin, ZHANG Jie-fu, QI Cun-kou
(Nanjing Sub-center (Rapeseed) of National Center of Oilseeds Crop Improvement/Key Laboratory of Cotton and Rapeseed (Nanjing), Ministry of Agriculture/Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: The effects of application amounts of nitrogen and planting density on yield and quality of rape cultivar Ningyou20 were studied by setting three nitrogen levels (240 kg/hm², 300 kg/hm² and 360 kg/hm²) and five planting densities in 1 hm² (3.00×10⁵ plants, 3.75×10⁵ plants, 4.50×10⁵ plants, 5.25×10⁵ plants, 6.00×10⁵ plants). The results showed that the high nitrogen level resulted in high grain yield and oil yield of rapeseed, and the increment in grain yield was greater than that in oil yield. The changes of economic traits caused by planting densities was greater than those by nitrogen

rates, while the changes of yield components caused by different nitrogen rates was larger than those by planting densities. A fall in the content of oil and glucosinolate in rapeseed followed the increase in nitrogen application rates. Increased nitrogen levels also led to elevated seed erucic acid content and declined oleic acid content. Fatty acid content in seeds stayed stable. Increased planting

收稿日期: 2015-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571710); 国家油菜产业技术体系建设专项(CARS-13)

作者简介: 付三雄(1976-), 男, 湖北汉川人, 博士, 副研究员, 研究方向为油菜遗传育种。(Tel) 025-84390368; (E-mail) naufsx@163.com

density caused shorter plant and less number of branching. High planting density and low nitrogen application level led to high branching. Taken together, the rapeseed applied with nitrogen at 240 kg/hm^2 and planted at the density of 3.00×10^5 — 6.00×10^5 plants per hectare could be harvested by machine and achieve high oil yield.

Key words: rapeseed; nitrogen application rate; planting density; yield; quality

油菜是中国主要油料作物,全国油菜籽总产量约占油料作物总产量的 2/3 左右,油菜生产对国民经济发展举足轻重^[1]。但目前中国油菜生产仍属劳动密集型产业,种植 1 hm^2 油菜至少需要 150 个工,用工成本占油菜生产总成本的 60% 左右。长江流域为优势油菜产业带,占全国种植面积的 80% 以上^[2]。油菜种植以育苗移栽为主,与直播油菜相比,苗床育苗需多用工 1 hm^2 15~30 个,大田移栽需多用工 1 hm^2 45~60 个,直接导致了生产成本增加。特别是江苏省等沿海经济发达地区,改革开放以来随着工业化进程加快,城乡经济得到快速发展,农村劳动力成本不断增加。同时随着农业劳动力向城市转移,农村劳力日渐短缺,加之种植业结构调整,部分地区中晚粳稻、晚粳稻面积增加,茬口推迟,这些都对传统的油菜种植方式提出了挑战。由于中国油菜效益比较低,国际市场竞争力弱,制约了中国油菜产业的进一步发展。为了解决这一问题,油菜育种与栽培家提出了通过油菜生产的全程机械化作业降低油菜生产成本,提高种植油菜的比价效益^[3]。然而,油菜机械化作业水平远远低于小麦、水稻、大豆和玉米^[4-5],2009 年中国油菜机收水平只有 8.2%^[6]。尽管最近几年机收水平有较大发展,但截至 2014 年油菜机收水平也仅为 25.32%,远远不能满足生产需要,而发达国家油菜主要生产国如加拿大、德国等油菜生产已全面实现机械化作业。要改变这一现状,必须变革现有的油菜种植方式,实施简化栽培,降低生产成本,提高综合经济效益,实行全程机械化作业是油菜生产的必由之路。

施肥量,尤其施氮量是影响油菜产量与品质的重要因子。合理施肥具有提高油菜生物量、分枝数、角果数、籽粒产量和收获指数等方面的作用。氮肥水平在影响油菜生长发育的同时,对产量、品质的形成起到不同的调控作用,合理增施氮肥可提高油菜群体质量,增加籽粒和油脂产量,但降低籽粒含油率。氮肥用量对油脂营养、菜籽饲用等品质性状的影响较为复杂^[7-12],结论不尽一致。多数研究者提出油菜施氮量在 180~360

kg/hm^2 可获得较高产量^[7,13-15]。前人研究指出密植油菜是通过提高群体有效角果数来实现增产^[3,16],但密度对产量、含油量、硫苷及脂肪酸组成的影响,不同研究的结论不尽相同。在不同土壤肥力及施肥水平条件下,种植密度对油菜生长的影响效应是不同的。在较高肥力条件下,由于个体发育良好,增加密度的增产效应相对较小,甚至可能会因为群体过于拥挤而减产;在肥力较低条件下,密度对油菜的增产效应及范围增大,但在过于贫瘠、养分极度缺乏的土壤上,增加密度由于缺少植物必需的养分条件,也会因个体发育不良使增产效应减小。Leach 等^[17]对甘蓝型冬油菜的研究结果表明,在高密度种植下,有效分枝数减少,单株角果数下降且千粒质量增加。冯娟等^[18]研究发现,机械撒播油菜单株生产力、单株角果数均随密度增加而减少,而密度对每角粒数和千粒质量影响不大。目前有关油菜生产中施肥量与密度之间相互关系的研究报道较少,尤其是通过肥料与密度互作来调控油菜品种适合机械化收获的研究报道更少。为此,本研究在保证油菜高产所需氮肥供给的前提下,通过高密度直播栽培,设置 3 个施氮量梯度和 5 种不同高种植密度组合进行大田试验,以节肥高密为出发点,探讨现有油菜育成品种在高密度直播条件下其机收性状、产量性状及品质性状的变化规律,以期为油菜生产中通过合理节肥和高密度种植科学调控群体结构有利于机械收获提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为双低常规油菜品种宁油 20 号,江苏省农业科学院经济作物研究所选育,2010 年通过江苏省农作物品种审定委员会审定。宁油 20 号株型紧凑,适合直播种植,种子由江苏省农业科学院油菜研究室提供。供试肥料:尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(P_2O_5 12%)、氯化钾(K_2O 60%)、硼砂。

1.2 试验设计

试验于 2011—2012 年度在江苏省农业科学院

溧水植物科学基地油菜育种田进行。供试土壤为黄棕壤,前茬空茬。土壤肥力中等,土壤养分含量:土壤有机质含量 28.16 g/kg,全氮 1.85 g/kg,碱解氮 155.8 mg/kg,速效磷 8.4 mg/kg,速效钾 84.8 mg/kg,pH 值 6.8。

设置 3 个施氮(N)量处理:240 kg/hm²、300 kg/hm²、360 kg/hm²,分别用 N1、N2、N3 表示;设置 5 个种植密度:1 hm² 3.00×10⁵株、3.75×10⁵株、4.50×10⁵株、5.25×10⁵株、6.00×10⁵株,分别用 M1、M2、M3、M4、M5 表示。施肥与密度处理组合共 15 个处理,随机区组排列,3 次重复。小区面积 16 m²。2011 年 9 月 27 日播种,播种方式为直播,播种量分别为 6.0 kg/hm²、7.5 kg/hm²、9.0 kg/hm²、10.5 kg/hm²、12.0 kg/hm²,播后利用喷灌充分浇水直至出苗,油菜出苗后按设计密度在子叶期至 3 叶期间苗,4 叶期定苗。2012 年 5 月 26 日收获。试验用氮、磷、钾肥分别为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、氯化钾(K₂O 60%),同时使用硼砂 15 kg/hm²。磷肥、硼肥全作基肥施用,氮肥、钾肥分别按基肥:苗肥:薹肥为 5:2:3 的比例施用,其中苗肥于 2011 年 12 月 22 日结合松土施入,薹肥在 2012 年 2 月 18 日施入。苗期及时中耕除草,初花期喷施菌核净防治菌核病,其他田间管理按常规方法进行。

1.3 调查及测定分析方法

在播种前 7 d,以 S 形多点采集试验田耕层土壤,混匀风干后磨碎测定基础土壤理化性状。土壤养分指标采用常规方法测定^[19]。

成熟期收获前 2~3 d,在每个小区中间 3 行选取有代表性的植株 10 株,按照油菜区域试验方法测定株高、分枝部位、主花序长、单株有效分枝数、单株有效角果数、每角粒数、千粒质量等指标。收割时分小区单打单收,按小区实际收获籽粒晒干称质量计算大田产量。产油量通过产量×含油量计算获得,油分含量用 SZF-06A 脂肪测定仪抽提油分,差减法计算;硫代葡萄糖苷(简称硫苷)含量用液相色谱法测定;脂肪酸组成分析,用 1:1 乙醚石油醚混合液浸提后,气相色谱仪测定脂肪酸相对含量^[20],包括芥酸、棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、廿碳烯酸。利用 Excel 和 SPSS 统计软件进行数据整理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量与种植密度对油菜机收性状的影响

由表 1 可以看出,株高随施氮量增大而升高但差异不显著,株高随密度减小而逐步升高的规律很明显,且在密度 M1 与 M4 处理之间达到显著性差异;双因素综合比较,株高最小为 N1M5 处理,最高为 N2M1 处理,两处理间株高差值达 17.11 cm,差异显著。分枝点高度随施氮量增大而逐步减小,且在肥料 A1 与 A3 处理之间达到极显著差异;分枝点高度最大值为 N1M4 处理,最小值为 N3M1 处理,两处理间分枝点高度差值达 20.39 cm,差异显著。一次分枝数、二次分枝数、角果长度均随施氮量增大而逐步增加,一次分枝数、角果长度随密度增大而逐步减小,一次分枝数在密度 M1 与 M4 处理之间差异达到显著水平,在 M1 与 M5 处理之间差异达到极显著水平。一次分枝数、二次分枝数在肥料 N1 与 N3 处理间达到极显著差异水平。不同施 N 量和密度处理对主花序长的影响不显著。角果长度、二次分枝数的最大值出现在 N2M1 和 N3M3 处理,角果长度最低值出现在 N1M5 处理;一次分枝数的最大值出现在 N3M1 处理,最低值是 N2M5 处理;相比之下,不同密度之间的株高、分枝点高度、主花序长、一次分枝数、二次分枝数、角果长度的最大差值分别达到 10.56 cm、7.87 cm、4.41 cm、2.15 个、1.58 个、0.31 cm,不同施氮量之间的株高、分枝点高度、主花序长、一次分枝数、二次分枝数、角果长度的最大差值分别为 1.47 cm、9.72 cm、1.37 cm、2.03 个、2.9 个、0.08 cm。即在本试验处理范围内,除分枝点高度和二次分枝数外,密度间差异对主要经济性状的影响超过了施氮量间差异。

2.2 不同施氮量与种植密度对油菜产量构成因素的影响

表 2 表明,单株角果数、分枝角果数、二次分枝角果数、千粒质量在不同肥料处理间差异达到极显著水平。各肥力下单株角果数、分枝角果数、二次分枝角果数、千粒质量均表现为 N3 处理>N2 处理>N1 处理,其中除千粒质量最大值为 N3M5 处理外,其余最大值均为 N3M3 处理;一次分枝角果数在不同施

表 1 不同施氮量与密度处理下油菜经济性状

Table 1 Economic traits of rapeseed in different nitrogen fertilization and planting density treatments

处理	株高 (cm)	处理	分枝点 高度 (cm)	处理	一次 分枝数	处理	二次 分枝数	处理	角果长度 (cm)	处理	主花序长 (cm)
N3	172.89aA	N1	80.98aA	N3	8.01aA	N3	3.43aA	N3	5.87a	N2	54.84a
N2	172.20aA	N2	79.27aAB	N2	6.63bAB	N2	1.28bB	N2	5.83a	N1	54.42a
N1	171.42aA	N3	71.26bB	N1	5.98bB	N1	0.53bB	N1	5.79a	N3	53.47a
M1	178.15aA	M4	81.59aA	M1	8.00aA	M3	2.30aA	M1	5.97a	M3	55.74a
M2	172.93abAB	M5	78.67aA	M2	7.16abAB	M5	2.15aA	M2	5.85a	M1	55.70a
M3	172.22abAB	M2	76.85aA	M3	6.89abAB	M1	2.02aA	M3	5.85a	M4	55.63a
M4	169.96bAB	M3	75.00aA	M4	6.46bAB	M4	1.55aA	M4	5.84a	M5	52.81a
M5	167.59bB	M1	73.72aA	M5	5.85bB	M2	0.72aA	M5	5.66a	M2	51.33a
N2×M1	178.89aA	N1×M4	89.22aA	N3×M1	8.56aA	N3×M3	5.00aA	N2×M1	6.04a	N2×M1	58.11a
N3×M2	178.11aA	N2×M4	83.11abA	N3×M2	8.56aA	N3×M5	4.11abAB	N3×M4	6.00a	N1×M3	57.56a
N3×M1	178.00aA	N1×M2	82.89abA	N2×M1	8.11abA	N3×M1	3.56abcAB	N1×M1	5.99a	N1×M4	56.33a
N1×M1	177.56aA	N2×M5	82.22abA	N3×M4	7.94abcAB	N3×M4	3.22abcAB	N3×M2	5.96a	N3×M3	56.33a
N1×M2	174.33abA	N1×M5	79.67abA	N3×M5	7.56abcAB	N2×M1	2.17abcAB	N3×M1	5.87a	N1×M1	55.89a
N2×M3	173.67abA	N1×M3	78.33abA	N2×M2	7.47abcAB	N2×M5	1.89abcAB	N3×M3	5.87a	N2×M4	55.67a
N1×M4	171.89abA	N2×M2	77.78abA	N3×M3	7.44abcAB	N3×M2	1.28bcAB	N1×M2	5.86a	N2×M5	55.11a
N2×M5	171.89abA	N2×M1	77.56abA	N1×M1	7.33abcAB	N2×M3	1.00bcAB	N2×M3	5.85a	N3×M4	54.89a
N1×M3	171.55abA	N2×M3	75.67abA	N2×M3	7.11abcAB	N1×M3	0.89bcAB	N1×M3	5.83a	N2×M3	53.33a
N3×M3	171.44abA	N1×M1	74.78abA	N2×M4	6.11abcdAB	N1×M4	0.89bcAB	N2×M5	5.78a	N3×M1	53.11a
N2×M4	170.22abA	N3×M5	74.11abA	N1×M3	6.11abcdAB	N2×M2	0.78bcAB	N1×M4	5.77a	N2×M2	52.00a
N3×M5	169.11abA	N3×M4	72.44abA	N1×M5	5.67 bcdAB	N2×M4	0.56cAB	N2×M2	5.74a	N3×M5	51.78a
N3×M4	167.78abA	N3×M3	71.00bA	N1×M2	5.44 bcdAB	N1×M5	0.44cAB	N2×M4	5.74a	N1×M5	51.55a
N2×M2	166.33abA	N3×M2	69.89bA	N1×M4	5.33cdAB	N1×M1	0.33cAB	N3×M5	5.67a	N3×M2	51.22a
N1×M5	161.78bA	N3×M1	68.83bA	N2×M5	4.33dB	N1×M2	0.11cB	N1×M5	5.52a	N1×M2	50.78a

N1:施氮(N)量 240 kg/hm²;N2:施氮(N)量 300 kg/hm²;N3:施氮(N)量 360 kg/hm²;M1:种植密度 1 hm² 3.00×10⁵株;M2:种植密度 1 hm² 3.75×10⁵株;M3:种植密度 1 hm² 4.50×10⁵株;M4:种植密度 1 hm² 5.25×10⁵株;M5:种植密度 1 hm² 6.00×10⁵株。同列数值后不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

氮量间也达到极显著差异水平,最大值为 N3 处理,表明增施氮肥对提高单株角果数的作用很大。主花序角果数受施氮量影响不大,每角粒数在高肥和低肥处理下显著高于中肥处理。除一次分枝角果数外,分枝角果数、二次分枝角果数及单株角果数受密度影响不显著;千粒质量表现为密度 M1 处理<M2 处理<M3 处理<M4 处理<M5 处理,但只在 M1 和 M5 间达显著差异。主轴角果数和每角粒数分别在密度 M2 和 M3 时最低,其余密度处理间差异不显著。从施肥与密度的交互效应看,仅主轴角果数差异没达到极显著水平,说明主轴角果数这一性状很稳

定,受肥料和密度双因素影响较小。相比之下,不同施氮量之间的单株角果数、主轴角果数、分枝角果数、一次分枝角果数、二次分枝角果数、千粒质量、每角粒数的最大差值分别达到 111.34 个、1.94 个、111.32 个、82.71 个、29.31 个、0.10 g、2.44 粒,不同密度之间的单株角果数、主轴角果数、分枝角果数、一次分枝角果数、二次分枝角果数、千粒质量、每角粒数的最大差值分别为 71.54 个、5.82 个、65.72 个、59.04 个、17.67 个、0.09 g、2.88 粒。即在本试验处理范围内,除主轴角果数和每角粒数的状外,施氮量差异对产量构成因素的影响大大超过了密度差异。

表 2 油菜不同施氮量与密度处理的产量构成因素

Table 2 Yield components of rapeseed in different nitrogen fertilization and planting density treatments

处理	单株 角果数	处理	分枝 角果数	处理	一次分枝 角果数	处理	二次分枝 角果数	处理	主花序 角果数	处理	每角 粒数	处理	千粒质量 (g)
N3	314.65aA	N3	258.50aA	N3	225.26aA	N3	33.24aA	N2	58.07aA	N1	27.27aA	N3	3.32aA
N2	211.24bB	N2	153.18bB	N1	143.24bB	N2	10.62bB	N3	56.16aA	N3	26.07abAB	N2	3.31aA
N1	203.31bB	N1	147.18bB	N2	142.55bB	N1	3.93bB	N1	56.13aA	N2	24.83bB	N1	3.22bB
M1	283.74aA	M1	223.81aA	M1	208.22aA	M3	25.78aA	M1	59.93aA	M1	27.63aA	M5	3.34aA
M3	262.48aA	M3	205.00aA	M3	179.22abA	M5	17.96aA	M3	57.48abA	M4	26.11abAB	M4	3.3abA
M5	238.70aA	M5	183.11aA	M5	165.15abA	M1	15.59aA	M4	56.81abA	M5	25.90abAB	M3	3.27abA
M4	218.22aA	M4	161.41aA	M2	149.98bA	M4	12.22aA	M5	55.59abA	M2	25.88abAB	M2	3.26abA
M2	212.20aA	M2	158.09aA	M4	149.18bA	M2	8.11aA	M2	54.11bA	M3	24.75bB	M1	3.25bA
N3×M3	349.44aA	N3×M3	292.45aA	N3×M1	248.89aA	N3×M3	65.00aA	N2×M1	64.00aA	N1×M1	28.96aA	N3×M5	3.40aA
N3×M1	338.00abA	N3×M1	281.00abA	N3×M5	227.78abA	N3×M5	33.89abAB	N3×M5	58.78abA	N3×M1	27.45abAB	N2×M5	3.36abAB
N3×M5	320.44abAB	N3×M5	261.67abAB	N3×M3	227.44abA	N3×M1	32.11abAB	N1×M1	58.78abA	N1×M2	27.44 abAB	N2×M4	3.33abcAB
N3×M4	306.00abcdAB	N3×M4	250.45abcdAB	N3×M4	226.56abA	N3×M4	23.89bAB	N2×M4	58.56abA	N1×M4	27.11 abAB	N3×M4	3.33abcAB
N2×M1	271.33abcdeAB	N2×M1	207.33abcdeAB	N3×M2	195.61abcAB	N2×M5	16.00bAB	N1×M3	58.00abA	N3×M4	26.67 abAB	N3×M2	3.32abcAB
N3×M2	259.39abcdeAB	N3×M2	206.94abcdeAB	N2×M1	195.44abcAB	N2×M1	11.89bAB	N2×M3	57.44abA	N2×M1	26.48 abAB	N2×M3	3.31abcAB
N1×M1	241.89abcdeAB	N1×M1	183.11abcdeAB	N1×M1	180.33abcdAB	N2×M2	11.56bAB	N3×M1	57.00abA	N1×M3	26.41 abAB	N2×M1	3.29abcAB
N2×M5	222.67abcdeAB	N2×M5	166.78abcdeAB	N2×M3	155.44 abcdAB	N3×M2	11.33bAB	N3×M3	57.00abA	N1×M5	26.41 abAB	N3×M3	3.28abcAB
N2×M3	221.44abcdeAB	N2×M3	164.00abcdeAB	N1×M3	154.78 abcdAB	N2×M3	8.56bB	N1×M4	56.33abA	N2×M5	26.00 abcAB	N3×M1	3.27abcAB
N1×M3	216.55abcdeAB	N1×M3	158.56bcdeAB	N2×M5	150.78 abcdAB	N1×M4	7.67bB	N2×M5	55.89abA	N3×M3	25.48abcAB	N1×M5	3.24bcAB
N1×M4	204.78bcdeAB	N1×M4	148.44bcdeAB	N1×M4	140.78bcdAB	N2×M4	5.11bB	N3×M4	55.55abA	N3×M2	25.46abcAB	N1×M4	3.24bcAB
N2×M2	196.89cdeAB	N2×M2	142.45cdeAB	N2×M2	130.89bcdAB	N1×M5	4.00bB	N1×M2	55.44abA	N3×M5	25.30 abcAB	N2×M2	3.24bcAB
N1×M2	180.33deAB	N1×M2	124.89deAB	N1×M2	123.44bcdAB	N1×M3	3.78bB	N2×M2	54.44abA	N2×M2	24.74bcAB	N1×M2	3.23bcAB
N1×M5	173.00deAB	N1×M5	120.89deAB	N1×M5	116.89cdAB	N1×M1	2.78bB	N3×M2	52.45bA	N2×M4	24.55bcAB	N1×M3	3.21cAB
N2×M4	143.89eB	N2×M4	85.33eB	N2×M4	80.22dAB	N1×M2	1.44bB	N1×M5	52.11bA	N2×M3	22.37cB	N1×M1	3.19cB

各处理见表 1 注。同列数值后不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

2.3 不同施氮量与种植密度对油菜产量及产油量的影响

在不同施氮量与种植密度条件下,油菜籽粒产量及产油量存在一定差异,表 3 表明,产量最高值为高肥 N3 处理。N3 处理与 N1 处理相比较,田间平均产量增加 162.00 kg/hm²,增产率 5.94%,达到显著水平;产油量最高值也为高肥 N3 处理,N3 处理与 N1 处理相比较,田间平均产油量增加 29.13 kg/hm²,但增产率只有 2.51%,没有达到显著水平。密度 M1 至 M5 各处理间的产量及产油量差异都未达到显著水平。从施氮量与密度的互作效应可以看

出,产量及产油量在施氮量与密度互作间都达到极显著差异,产量及产油量最高值都为 N3M3 处理。

2.4 不同施氮量与种植密度对油菜籽品质的影响

不同施氮量与种植密度处理对油菜籽粒品质的影响不同(表 4、表 5)。整株籽粒含油量表现为随施氮量增大而逐步减小,N1 处理>N2 处理>N3 处理,且在肥料 N1 处理与 N2 处理之间达到极显著差异;但含油量受密度的影响不显著,不同密度处理之间含油量的最大差值仅 0.24 个百分点,明显小于施氮量处理之间的 1.46 个百分点。即在本试验处理范围内,施氮量差异对含油量的影响远超密度差异。

施肥与密度的互作效应相比较,含油量最大值为 N1M5 处理,最低值为 N2M5 处理,两处理间含油量差值达 2.15 个百分点,差异极显著。整株籽粒硫苷含量表现为随施氮量增大而逐步减小,N1 处理>N2 处理>N3 处理,在 N3 处理与 N1 处理间差异达到显著水平。硫苷含量在不同密度间也出现显著差异,但受密度影响无规律。

表 3 不同施氮量与种植密度处理的油菜籽粒产量和产油量比较
Table 3 Comparison of grain yield and oil yield of rapeseed in different nitrogen fertilization and planting density treatments

处理	产量 (kg/hm ²)	处理	产油量 (kg/hm ²)
N3	2 887.50aA	N3	1 190.12aA
N1	2 725.00bA	N1	1 161.00abA
N2	2 675.00bA	N2	1 102.25bA
M1	2 862.50aA	M1	1 196.25aA
M3	2 850.00aA	M3	1 188.75aA
M2	2 750.00aA	M2	1 143.00aA
M4	2 687.50aA	M4	1 122.75aA
M5	2 662.50aA	M5	1 104.88aA
N3×M3	3 125.00aA	N3×M3	1 287.50aA
N3×M2	3 025.00abAB	N3×M2	1 243.00abAB
N3×M1	2 900.00 abcAB	N3×M1	1 200.75abcAB
N2×M1	2 875.00 abcAB	N1×M1	1 198.00abcAB
N3×M4	2 850.00 abcAB	N2×M1	1 189.88abcAB
N1×M1	2 812.50 abcAB	N1×M5	1 183.88abcAB
N1×M5	2 762.50 abcAB	N3×M4	1 174.62abcAB
N1×M3	2 737.50 abcAB	N1×M3	1 170.38abcAB
N1×M2	2 712.50 abcAB	N1×M2	1 150.75abcAB
N2×M3	2 687.50 bcAB	N2×M3	1 108.12abcAB
N2×M5	2 662.50 bcAB	N1×M4	1 102.12bcAB
N2×M4	2 625.00 bcAB	N2×M4	1 091.75bcAB
N1×M4	2 600.00 bcAB	N2×M5	1 086.12bcAB
N3×M5	2 550.00cAB	N3×M5	1 044.75cAB
N2×M2	2 512.50cB	N2×M2	1 035.12cB

各处理见表 1 注。同列数值后不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

表 4 不同施氮量与密度处理对油菜籽含油量和硫苷含量的影响
Table 4 Effects of N application rates and planting densities on oil content and glucosinolates content of rapeseed

处理	含油量 (%)	处理	硫苷含量 (μmol/g)
N1	42.59aA	N1	18.79aA
N2	41.23bB	N2	18.40abA
N3	41.13bB	N3	17.82bA
M3	41.75aA	M5	19.06aA
M1	41.73aA	M1	18.77abA
M4	41.71aA	M3	18.27abA
M5	41.53aA	M4	17.79bA
M2	41.51aA	M2	17.79bA
N1×M5	42.94aA	N1×M5	19.88aA
N1×M3	42.85abAB	N1×M1	19.16abA
N1×M1	42.53abcAB	N1×M5	18.92abA
N1×M2	42.33abcdAB	N1×M4	18.9abA
N1×M4	42.29abcdAB	N2×M1	18.89abA
N2×M4	41.66abcdAB	N2×M3	18.49abA
N3×M1	41.35bcdAB	N3×M5	18.38abA
N2×M1	41.32cdAB	N3×M1	18.26abA
N2×M3	41.24cdAB	N3×M3	18.22abA
N3×M4	41.18cdAB	N2×M2	18.19abA
N3×M3	41.16cdAB	N1×M3	18.09abA
N2×M2	41.15cdAB	N1×M2	17.94abA
N3×M2	41.07cdAB	N2×M4	17.50bA
N3×M5	40.87dAB	N3×M2	17.25bA
N2×M5	40.79dB	N3×M4	16.98bA

各处理见表 1 注。同列数值后不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

表 5 表明,籽粒脂肪酸组成比较稳定,整株籽粒芥酸含量表现为随施氮量增大而逐步增加,N3 处理>N2 处理>N1 处理,N3 处理与 N2 处理间差异达到显著水平。但芥酸含量在不同密度间差异不显著,且施肥与密度的交互作用对芥酸含量的影响也不显著。油酸含量表现为随施氮量增大而逐步减小,N1 处理>N2 处理>N3 处理,施肥处理间差异均达到显著水平;亚麻酸含量在施肥处理间差异也达到显著水平,棕榈酸、硬脂酸、亚油酸和廿碳烯酸含量在施肥和密度处理间差异都不显著。

表 5 不同施氮量与密度处理对油菜籽粒脂肪酸组成的影响

Table 5 Effects of different N application rates and planting densities on fatty acid contents of rapeseed

处理	芥酸 含量 (%)	处理	棕榈酸 含量 (%)	处理	硬脂酸 含量 (%)	处理	油酸含量 (%)	处理	亚油酸 含量 (%)	处理	亚麻酸 含量 (%)	处理	廿碳烯 酸含量 (%)
N3	0.46aA	N3	5.12a	N1	1.94aA	N1	64.00aA	N3	20.35aA	N2	6.80aA	N2	0.63a
N2	0.27bA	N2	5.07a	N3	1.87aA	N2	63.54bAB	N2	20.31aA	N3	6.76abA	N3	0.58a
N1	0.2bA	N1	5.04a	N2	1.85aA	N3	63.05cB	N1	20.12aA	N1	6.70bA	N1	0.54a
M4	0.38aA	M2	5.13a	M2	1.95aA	M1	63.61aA	M3	20.37aA	M3	6.82aA	M1	0.71a
M1	0.34aA	M3	5.07a	M4	1.88aA	M3	63.60aA	M2	20.30aA	M4	6.80abA	M4	0.66a
M2	0.30aA	M1	5.07a	M5	1.88aA	M5	63.55aA	M5	20.30aA	M2	6.74abA	M3	0.55a
M5	0.30aA	M4	5.06a	M1	1.87aA	M2	63.45aA	M1	20.19aA	M5	6.72abA	M5	0.52a
M3	0.23aA	M5	5.05a	M3	1.86aA	M4	63.44aA	M4	20.16aA	M1	6.68bA	M2	0.49a
N3×M1	0.57aA	N2×M2	5.17a	N1×M2	2.15aA	N1×M5	64.35aA	N3×M5	20.64aA	N2×M4	6.91aA	N2×M4	0.90a
N3×M5	0.55aA	N3×M4	5.16a	N1×M5	1.93bA	N1×M3	64.27aA	N3×M3	20.57abA	N2×M3	6.90aA	N3×M1	0.84a
N3×M2	0.52aA	N3×M2	5.15a	N3×M1	1.89bA	N1×M1	64.03abAB	N2×M3	20.52abA	N3×M3	6.80abA	N2×M1	0.81a
N2×M4	0.47aA	N2×M3	5.13a	N1×M4	1.89bA	N1×M4	63.89abAB	N2×M5	20.43abA	N3×M5	6.80abA	N3×M3	0.60a
N3×M4	0.42aA	N3×M5	5.10a	N2×M4	1.88bA	N2×M2	63.83abcAB	N2×M2	20.36abA	N3×M4	6.80abA	N1×M4	0.59a
N2×M1	0.28aA	N1×M1	5.10a	N1×M3	1.88bA	N2×M1	63.76abcAB	N1×M2	20.35abA	N1×M3	6.77abA	N1×M3	0.58a
N2×M3	0.26aA	N3×M3	5.09a	N3×M3	1.88bA	N2×M5	63.57abcAB	N2×M1	20.31abA	N2×M2	6.76abA	N1×M5	0.58a
N1×M2	0.25aA	N2×M5	5.08a	N3×M4	1.88bA	N1×M2	63.47abcAB	N3×M4	20.30abA	N2×M1	6.75abA	N3×M2	0.51a
N1×M4	0.25aA	N3×M1	5.07a	N1×M1	1.87bA	N2×M4	63.31abcAB	N1×M4	20.21abA	N3×M2	6.75abA	N1×M2	0.50a
N3×M3	0.24aA	N1×M4	5.07a	N2×M5	1.86bA	N3×M3	63.3abcAB	N1×M1	20.19abA	N1×M2	6.73abA	N3×M4	0.50a
N2×M5	0.19aA	N1×M2	5.07a	N2×M2	1.85bA	N2×M3	63.23abcAB	N3×M2	20.18abA	N1×M5	6.70abA	N2×M5	0.49a
N1×M3	0.18aA	N2×M1	5.04a	N2×M1	1.84bA	N3×M4	63.14bcAB	N3×M1	20.08abA	N1×M4	6.68abA	N3×M5	0.48a
N1×M1	0.17aA	N1×M3	4.99a	N3×M5	1.84bA	N3×M2	63.05bcAB	N1×M3	20.02abA	N2×M5	6.66bA	N2×M2	0.48a
N1×M5	0.16aA	N1×M5	4.97a	N3×M2	1.84bA	N3×M1	63.03bcAB	N2×M4	19.97abA	N3×M1	6.65bA	N1×M1	0.47a
N2×M2	0.14aA	N2×M4	4.94a	N2×M3	1.83bA	N3×M5	62.72cB	N1×M5	19.82bA	N1×M1	6.62bA	N2×M3	0.47a

各处理见表 1 注。同列数值后不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

3 讨 论

适当增加密度,减少施肥量尤其施氮量是节本增效、持续发展作物生产的必要选择。增加施氮量能促进个体发育及增加单株分枝与角果数,进而增加产量;而增加密度则可以增加群体主茎数与分枝数,从而提高产量与品质^[21]。本试验结果表明在施氮(N)量 240~360 kg/hm²,增加施氮量提高产量的幅度大于在种植密度 1 hm² 3.0×10⁵~6.0×10⁵株增加种植密度提高产量的幅度。当然本研究只是单点单年份的试验,而产量易受环境的影响,不同年份的天气尤其是极端天气可能会对不同油菜品种的产量产生不同程度的影响,而且土壤自身的肥力水平也

会对油菜产量产生影响,本次试验油菜种植田块土壤肥力中等,气候比较正常,在油菜全生育期没有极寒、多雨等极端天气出现,因此本试验的结果只在一定范围内应用。中国目前的施氮量已经偏高,作物生产投入大,肥料使用不当造成环境污染、农产品安全问题已经十分严峻。且油菜籽单位面积产油量决定于油菜籽产量与油菜籽含油量,前人研究结果已表明含油量表现为随施氮量的增大而下降^[22],因此在一定肥力范围内,保证一定高产前提下通过减少施氮量来提高含油量而保证产油量是行之有效的措施。本试验结果表明油菜籽粒产量及产油量最高值都为高施肥量(360 kg/hm²)处理,但与施肥量 240 kg/hm²相比较,田间平均产油量增加 29.13 kg/hm²,

增产率只有 2.51%,没有达到显著水平。在种植密度 $1\text{ hm}^2\ 3.0\times 10^5\sim 6.0\times 10^5$ 株,各密度处理间的产量及产油量差异也未达到显著水平。造成这一结果的原因笔者认为主要有 2 个方面,一是油菜含油量随施氮量的增大而下降从而部分地抵消了籽粒产量增加带来的产油量增加;另一更重要的原因是本次试验的施氮量和种植密度限定在特定水平,无论是施氮量还是密度都在中高水平范围,双因素的设置范围比较窄。当然这是受试验目的限制,本次试验着眼于在获得中高产的前提下设置施氮量范围,同时设置了一定高种植密度的起点,但考虑到油菜的实际成株率(最终收获时油菜田的密度)没有将本次试验的密度设置到 $1\text{ hm}^2\ 7.5\times 10^5$ 株及以上,导致在本试验范围内不同施氮量和种植密度间产油量差异都没有达到显著水平。

由于中国油菜生产机械化程度低,劳动力成本高,严重制约了油菜生产效益和农民种植积极性的提高,成为制约油菜产业国际竞争力、影响油菜种植面积稳定与持续发展的瓶颈^[23-24]。但机械收获要求油菜成熟期株高矮、茎秆较细、分枝少^[25],还需要分枝点高度较高。本试验中株高随施氮量增大而升高但差异不显著,但在种植密度 $1\text{ hm}^2\ 3.0\times 10^5\sim 6.0\times 10^5$ 株,株高随密度增加而逐步减小的规律很明显,且在密度 $1\text{ hm}^2\ 3.00\times 10^5$ 株与 $1\text{ hm}^2\ 5.25\times 10^5$ 株处理之间差异达到显著水平,这一结果与曾宇等^[21]研究结果相似,其原因可能是养分供给对高密度个体生长发育显然有所限制,因而株高随密度增加而降低。分枝点高度随施氮量增大而逐步降低,且在施氮(N)量 240 kg/hm^2 与 360 kg/hm^2 处理之间达到极显著差异,分枝点高度最大值为施氮(N)量 240 kg/hm^2 、种植密度 $1\text{ hm}^2\ 5.25\times 10^5$ 株处理,即在低肥水平下高密度种植能获得较高分枝点高度。此外本试验中一次分枝数随施氮量减少而减少,且分枝数随密度增大而减小。一次分枝数在密度 $1\text{ hm}^2\ 3.00\times 10^5$ 株与 $1\text{ hm}^2\ 5.25\times 10^5$ 株处理之间差异达到显著水平,与 $1\text{ hm}^2\ 6.00\times 10^5$ 株处理之间达到极显著水平。一次分枝数、二次分枝数在施氮(N)量 240 kg/hm^2 与 360 kg/hm^2 处理间差异达到极显著水平。

脂肪酸组成主要取决于遗传因素,受施氮水平的影响较小^[26]。陈历儒等^[22]研究结果也表明供氮水平对油菜脂肪酸组成的影响一般小于对蛋白质和

油分含量的影响,在其试验所测定的 7 种脂肪酸中只有芥酸和油酸含量与供氮水平相关,其他脂肪酸对供氮水平的反应很小或没有一致规律。本试验中仅芥酸含量表现为随施氮量增大而逐步增加,但芥酸含量在不同密度处理间差异不显著;油酸含量表现为随施氮量增大而逐步减小,在各施肥量处理间差异均达到显著水平;棕榈酸、硬脂酸、亚油酸和廿碳烯酸含量在施肥和密度处理间差异都不显著。本试验结果也证实了增施氮肥总体上对油菜籽的油脂营养价值、饼粕饲用价值在一定程度上有负面影响^[27]。

本试验中株高随施氮量增大而升高但差异不显著,株高随密度增加而降低的规律很明显;分枝点高度随施氮量增大而降低,低肥水平下高密度种植能获得较高分枝点高度;分枝数随施氮量减少而逐步减少,且分枝数随密度增大而减小。因此在本试验种植密度 $1\text{ hm}^2\ 3.0\times 10^5\sim 6.0\times 10^5$ 株,适当提高密度有利于油菜机收农艺性状的形成,综合考虑,在密度 $1\text{ hm}^2\ 4.5\times 10^5$ 株时能同时获得较高的产量和产油量。虽然提高供氮水平能增加籽粒产量,但籽粒油分含量也会随之下降,加之增施氮肥总体上对油菜籽的油脂营养价值有负面影响,因此在施氮(N)量以 240 kg/hm^2 最宜。

参考文献:

- [1] 王汉中. 中国油料产业发展的现状、问题和对策[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(4): 100-105.
- [2] 杨红旗,徐艳华. 我国油菜优势区域布局规划实施进展及相关问题探讨[J]. 江西农业学报, 2010, 22(7): 199-202, 205.
- [3] 李爱民,张永泰,惠飞虎,等. 适合全程机械化作业的油菜育种新概念[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 151-153, 303.
- [4] 邓建华. 油菜机械收获存在的问题及解决措施[J]. 农业机械, 2003(8): 42.
- [5] 毛凌华,李 瑶,卢 明,等. 中国农业机械化的现状与发展[J]. 江西农业学报, 2009, 21(7): 204-206.
- [6] 刘恒新. 我国油菜生产机械化发展的现状与推进措施[J]. 中国农机化, 2010, 228(2): 8-9, 43.
- [7] 赵继献,程国平,任廷波,等. 不同氮水平对优质甘蓝型黄籽杂交油菜产量和品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 882-889.
- [8] 李志玉,郭庆元,廖 星,等. 不同氮水平对双低油菜中双 9 号产量和品质的影响[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(2): 184-188.
- [9] 高志宏,赵继献,任廷波. 氮、磷、钾对油研 10 号油菜产量和品质的影响[J]. 山地农业生物学报, 2006, 25(5): 382-389.

- [10] 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(4): 22-24.
- [11] 黄秀芳,孙敬东,孙旭明,等. 不同密度、施氮量对史力丰油菜产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(1): 19-21.
- [12] 孙华,沈明星,蒋鹤云,等. 栽培措施对双低油菜苏油4号产量和品质的影响[J]. 上海农业学报, 2008, 24(4): 55-59.
- [13] 邹娟,鲁剑巍,陈防,等. 冬油菜施氮的增产和养分吸收效应及氮肥利用率研究[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 745-752.
- [14] RATHKE G W, CHRISTEN O, DIEPENBROCK W. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations[J]. Field Crops Research, 2005, 94(2-3): 101-113.
- [15] 王继玥,宋海星,官春云,等. 不同种植密度和氮肥量对湘杂油763产量及营养吸收的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(4): 62-65, 76.
- [16] 陈新军,戚存扣,高建芹,等. 不同栽培密度对杂交油菜产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2001(1): 29-30.
- [17] LEACH J E, STEVENSON H J, RAINBOW A J, et al. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. Journal of Agricultural Science, 1999, 132(2): 173-180.
- [18] 冯娟,黄华,杨文钰. 不同密度、施氮量对机械撒播油菜产量及其构成的影响[J]. 作物杂志, 2006(2): 26-28.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000; 263-271.
- [20] 高建芹,浦惠明,戚存扣,等. 应用气相色谱仪分析油菜脂肪酸含量[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(5): 581-585.
- [21] 曾宇,雷雅丽,李京,等. 氮、磷、钾用量与种植密度对油菜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 146-153.
- [22] 陈历儒,宋海星,谌亚忠,等. 不同氮效率油菜品种产量和品质对供氮水平的反应[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1424-1429.
- [23] 张文学,李殿荣,田建华. 甘蓝型油菜紧凑型 and 松散型杂种一代分枝性状的遗传[J]. 中国农学通报, 2000, 16(5): 17-19.
- [24] 王俊生,田建华,张继澍,等. 紧凑型油菜株型性状的遗传及其与主要产量性状的相关性研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(6): 7-12.
- [25] 张永泰,李爱民,惠飞虎,等. 扬油6号油菜适合机械化作业的性状研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(12): 167-171.
- [26] AHMAD A, ABDIN M Z. Interactive effect of sulphur and nitrogen on the oil and protein contents and on the fatty acid profiles of oil in the seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.) and mustard (*Brassica juncea* L. Czern. and Coss.) [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2000, 185(1): 49-54.
- [27] 孙华,张建栋,陈培峰,等. 不同施氮水平对双低油菜苏油4号产量与品质的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(1): 27-29.

(责任编辑:张震林)