

高建芹, 浦惠明, 龙卫华, 等. 甘蓝型油菜籽粒产量和品质性状对氮肥用量的响应[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(3): 602-611.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.03.014

甘蓝型油菜籽粒产量和品质性状对氮肥用量的响应

高建芹, 浦惠明, 龙卫华, 胡茂龙, 张洁夫, 陈松, 戚存扣

(1. 江苏省农业科学院经济作物研究所/国家油菜改良中心南京分中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 为探索甘蓝型油菜籽粒产量和品质性状对氮肥用量的响应, 以宁杂 1818 和秦优 10 号为试验材料, 设 0 kg/hm² (N0)、120 kg/hm² (N120)、240 kg/hm² (N240) 和 360 kg/hm² (N360) 4 个氮肥水平处理, 于 2014-2016 年度在南京市、扬州市和泰州市进行大田试验。结果表明, 油菜籽粒产量、产油量、含油率和蛋白质含量对氮肥用量的响应均达到极显著水平, 油酸和芥酸含量的响应较小, 多不饱和脂肪酸和硫苷含量的响应因品种、试点和年度的不同均有明显差异, 部分试点达到显著水平。籽粒产量和产油量对施氮量的响应符合一元二次方程。研究结果还表明籽粒产量、产油量和蛋白质含量与施氮量呈极显著正相关, 多不饱和脂肪酸含量与施氮量呈显著正相关, 含油率与施氮量呈极显著负相关, 硫苷含量与施氮量呈显著负相关。试验中发现每增施 120 kg/hm² 氮肥, 3 个施氮处理的籽粒增产效率依次为 81.11%、34.12% 和 -2.24%, 籽粒增产效率随施氮量增加逐渐下降, 品种间表现一致。在南京、扬州和泰州试点, 每 1 kg 氮肥供给平均可增收菜籽 11.94 kg、11.35 kg 和 12.36 kg, 最适施氮量宁杂 1818 分别为 300~310 kg/hm²、300~320 kg/hm² 和 270~300 kg/hm², 秦优 10 号分别为 315~335 kg/hm²、295~315 kg/hm², 300~310 kg/hm², 最适施氮量下不仅产量高而且品质优。

关键词: 甘蓝型油菜; 产量; 品质; 氮肥用量

中图分类号: S565.405

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)03-0602-10

Effects of nitrogen application rate on seed yield and its quality parameters of *Brassica napus* L.

GAO Jian-qin, PU Hui-ming, LONG Wei-hua, HU Mao-long, ZHANG Jie-fu, CHEN Song, QI Cun-kou
(Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Nanjing Branch of National Rapeseed Improvement Center, Nanjing 210014, China)

Abstract: To explore the effect of different nitrogen (N) application (0 kg/hm², 120 kg/hm², 240 kg/hm², and 360 kg/hm²) on yield and quality parameters of *Brassica napus* L. NZ1818 and QY10, field experiments were conducted in Nanjing, Yangzhou and Taizhou from 2014 to 2016. The results showed that nitrogen fertilizer had significant influence on oil content, protein content, seed yield and oil yield of hybrid rape, and had no significant influence on oleic acid, erucic acid contents. For poly-unsaturated fatty acid and glucosinolate contents, the significance differed among various varieties and plant sites. The response of seed yield and oil yield to nitrogen application was in accordance with one-dimensional two-time equation. The seed yield, oil yield and protein content were very significantly positively correlated with nitrogen application rate, and poly-unsaturated fatty acid content was significantly positively correlated with nitrogen application rate. There was a very

significant negative correlation between oil content and nitrogen application rate, and there was a significant negative correlation between glucosinolate content and nitrogen application rate. From 0 kg/hm² to 360 kg/hm² of nitrogen application rate, the increasing yield efficiency was 81.11%, 34.12% and -2.24% for each additional nitrogen application of 120 kg/hm² in three nitrogen treatments. This

收稿日期: 2018-09-30

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2016YFD0101300); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-12); 江苏省现代作物生产协同创新中心(JCIC-MCP)

作者简介: 高建芹(1974-), 女, 江苏淮安人, 学士, 研究员, 从事油菜品质育种和栽培推广研究。(Tel) 025-84390364; (Email) chinagjq@163.com

showed the yield-increasing efficiency decreased with the increase of nitrogen application, and the performance was consistent among varieties. The seed yield of *Brassica napus* rapeseed increased by 11.94 kg, 11.35 kg and 12.36 kg, respectively, for per kilogram nitrogen application in Nanjing, Yangzhou and Taizhou. The optimum nitrogen application rate for NZ1818 was 300–310 kg/hm² in Nanjing, 300–320 kg/hm² in Yangzhou, 270–300 kg/hm² in Taizhou, and for QY10 was 315–335 kg/hm², 295–315 kg/hm², 300–310 kg/hm², while the maximum yield and high quality were obtained.

Key words: *Brassica napus* L.; yield; quality; nitrogen application

油菜是中国具有传统优势的重要油料作物,种植面积超过 7.00×10^6 hm²。长江流域冬油菜区年均总产量约占全国的85%,是中国最大的油菜主产区,其种植面积和总产量占世界1/4以上,也是世界上规模最大的油菜生产区^[1-3]。油菜是需氮量较大的作物,有研究结果表明化肥施用量的增加与油菜产量的增长呈正相关^[4-5]。充足的氮素供应可有效促进油菜光合作用^[6],增加植株干物质累积和氮素吸收,增加分枝和角果数从而提高籽粒产量,是油菜高产稳产的重要保证^[7-10]。芥酸含量、油酸含量、含油率、硫苷及蛋白质含量是油菜最重要的品质性状。油菜单产和品质的提高首先依赖于优质新品种的选育与推广,其次是栽培技术的改进以及施肥量的调节^[11-12]。在栽培因子中,养分供应是最直接且易控制的环境因子,氮肥的施用对油菜的生长发育及其产量品质具有重要影响^[4,7,13-14]。施氮可明显提高蛋白质含量,降低优质油菜含油率^[15-18],但对芥酸、油酸等脂肪酸组分及硫苷含量的影响结论不一。另外油菜施氮效应因作物品种、土壤肥力、环境条件等的不同也有很大差异^[12]。因此在油菜新品种推广过程中,开展新品种在不同地区的适宜施氮量及其对产量品质的影响研究非常重要。宁杂1818是江苏省农业科学院选育的品种间杂交油菜新品种,2015年列为国家主推品种,高油高产、优质、抗逆性强,其饼粕是动物饲料的优质蛋白质来源。本试验以宁杂1818和秦优10号为材料,探讨其在油菜主产区产量及品质对氮肥用量的响应,了解籽粒产量、含油率、蛋白质含量、硫苷含量及油脂构成的变化情况,明确油菜施氮量与籽粒产量品质的关系,为油菜生产中合理施用氮肥、改善籽粒品质以及为优质杂交油菜的高产优质栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 油菜品种

试验油菜品种为宁杂1818(NZ1818)和秦优10

号(QY10)。宁杂1818系江苏省农业科学院选育的甘蓝型半冬性化学诱导雄性不育系杂交品种,籽粒含油量45.54%,芥酸含量0.50%,饼粕硫苷含量23.44 μmol/g。秦优10号系陕西省咸阳市农业科学研究所育成的甘蓝型油菜细胞质雄性不育三系杂交种,籽粒含油量42.76%,芥酸含量0.24%,硫苷含量28.56 μmol/g。

1.2 试验设计

试验于2014–2016年度分别在江苏省油菜主产区南京、扬州和泰州进行。试点土壤质地分别为壤砂土(南京溧水)、白粉土(扬州江都)和潮壤土(泰州姜堰)。南京点旱地前茬为绿豆,扬州和泰州试点前茬为水稻。3个试点试验地0~20 cm耕层土壤理化性状检测结果见表1。采用育苗移栽方式,于当年9月下旬播种,10月下旬至11月上旬移栽,移栽密度为1 hm²120 000株。

依照江苏省油菜主产区施肥习惯,按高、中、低施肥水平设置4个处理,重复3次,随机区组排列。4个处理为不施氮肥对照(N0),施纯氮120 kg/hm²(N120)、240 kg/hm²(N240)、360 kg/hm²(N360)。各处理小区长20 m,宽3.35 m,面积为67 m²。肥料品种包括尿素(含氮46%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 12%)、氯化钾(含K₂O 60%)、硼砂(含硼10.8%)。肥料施用量为硼砂15 kg/hm²,过磷酸钙1 080 kg/hm²,氯化钾250 kg/hm²。氮肥的基肥与追肥比为5.5:4.5,钾肥的基肥与追肥比为7:3,追肥为氮、钾肥混合,分别于油菜苗期、越冬期和薹期进行追肥。磷肥和硼肥全部用作基肥,施肥采用沟条施方式。田间管理与当地生产保持一致。

1.3 测定项目与方法

按多点采样法采集各试点试验地0~20 cm耕作层基础土壤样品,自然风干,磨细后过80目筛,测定pH值以及有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量^[19]。油菜收获测产时,每个小区取50 g种子样品用于品质性状检测。

表 1 试验地耕作层土壤理化性质

Table 1 The physical-chemical properties of the soil collected from experimental field

年度	地点	土壤类型	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
2014-2015	南京 (31°61'N, 119°20'E)	壤砂土	7.06	18.47	1.26	60.93	25.34	118.90
	扬州 (32°63'N, 119°73'E)	白粉土	7.12	23.52	1.65	101.50	24.95	95.94
	泰州 (32°3'N, 120°00'E)	潮壤土	6.29	28.20	2.17	140.15	37.94	127.49
2015-2016	南京 (31°0'N, 119°19'E)	壤砂土	6.91	20.79	1.29	63.39	38.14	107.20
	扬州 (32°4'N, 119°78'E)	白粉土	7.26	29.11	1.50	96.43	40.30	100.30
	泰州 (32°8'N, 120°01'E)	潮壤土	6.15	27.80	2.65	157.53	44.25	135.00

脂肪酸组成分析参照 GB/T17377-2008 气相色谱法^[20]。含油量测定参照 GB/T 14488.1-2008 残余法^[21]。硫代葡萄糖苷含量测定参照 NY/T 1582-2007 高效液相色谱法^[22]。蛋白质含量测定参照 GB/T 14489.2-2008 凯氏定氮法^[23]。

1.4 数据处理

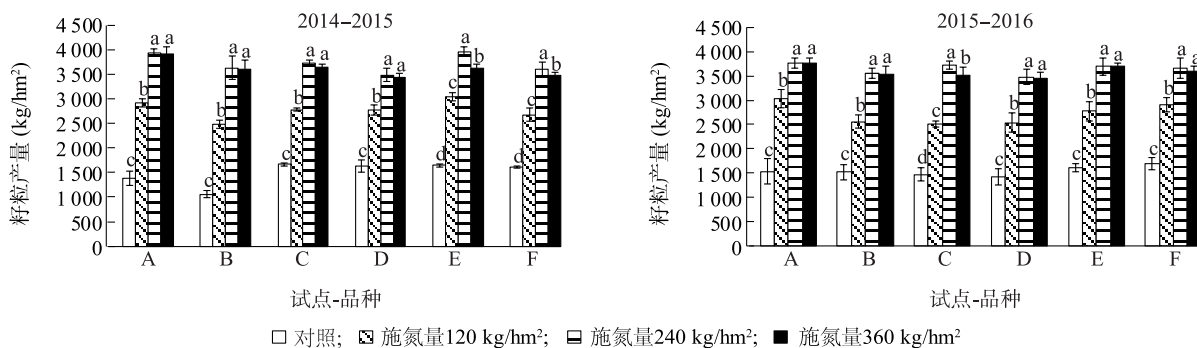
用 SAS 软件进行方差分析和 Duncan's 多重比较,采用 Excel 2010 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 油菜籽粒产量和产油量对氮肥用量的响应

2.1.1 籽粒产量对施氮量的响应 由图 1 可知,籽粒产量随着施氮量的增加呈先增后减趋势,试点间和品种间产量均有差异,但趋势表现一致。方差分析结果(表 2)表明,施氮量、试点、品种、年度及施氮量×年度、品种×年度和施氮量×试点×年度互作的籽粒产量方差达到极显著水平,施氮量×地点和试点×年度互作籽粒产量的方差达到显著水平。2 年

3 点 N0、N120、N240 和 N360 处理的籽粒平均产量分别为 1 519.34 kg/hm²、2 751.69 kg/hm²、3 668.44 kg/hm²和 3 579.86 kg/hm²,N120、N240 和 N360 处理比不施氮(N0)对照分别增产 81.11%、141.15%和 135.62%。宁杂 1818 平均籽粒产量 N0 处理为 1 552.39 kg/hm²,N120 为 2 844.79 kg/hm²,N120 比 N0 增产 83.25%;N240 处理平均产量为 3 807.74 kg/hm²,比 N120 处理增加 33.85%;N360 处理平均产量为 3 695.61 kg/hm²,比 N240 处理减产 2.94%。秦优 10 号与宁杂 1818 表现一致,增产效率略有差异。表明在 0~240 kg/hm²施氮水平,籽粒产量对氮肥施用量有较强的正相关响应。当施氮量大于 240 kg/hm²时,籽粒产量对施氮量的响应能力下降,氮肥增产效应明显下降;与 N240 处理相比,2014-2015 年泰州点 N360 处理降幅达到显著水平。施氮处理间产量变异系数为 34.88%,试点间为 2.20%,品种间为 4.04%。氮肥用量对产量的影响远大于品种和试点。



A:南京-宁杂 1818;B:南京-秦优 10 号;C:扬州-宁杂 1818;D:扬州-秦优 10 号;E:泰州-宁杂 1818;F:泰州-秦优 10 号。

图 1 不同试点氮肥施用量对油菜籽粒产量的影响

Fig.1 Effect of nitrogen application rate on rapeseed yield in different test sites

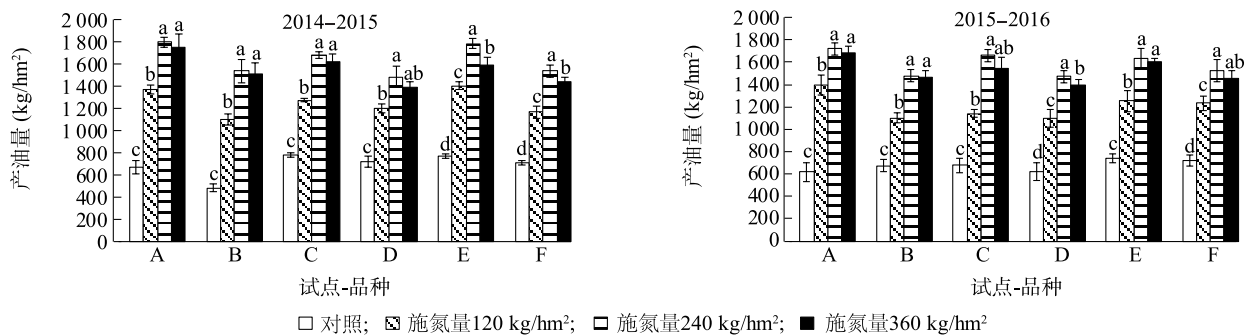
进一步分析发现,籽粒产量对施氮量的响应符合一元二次曲线方程,种植地点间拟合的一元二次

方程的决定系数(R^2)宁杂 1818 为 0.990 9~0.999 1**,秦优 10 号为 0.991 8~0.993 8**,经检验

均达到极显著水平(表3)。对方程求极值,南京点宁杂1818获得最高籽粒产量($3\,931.04\text{ kg/hm}^2$)的施氮量为 305.28 kg/hm^2 ,秦优10号获得最高籽粒产量($3\,638.71\text{ kg/hm}^2$)的施氮量为 331.05 kg/hm^2 。扬州点宁杂1818和秦优10号在施氮量分别为 318.32 kg/hm^2 和 315.44 kg/hm^2 时,获得最高籽粒产量,分别为 $3\,676.88\text{ kg/hm}^2$ 和 $3\,514.94\text{ kg/hm}^2$ 。泰州点宁杂1818和秦优10号分别在施氮量为 296.61 kg/hm^2 和 305.63 kg/hm^2 时,获得最高籽粒产量 $3\,802.39\text{ kg/hm}^2$ 和 $3\,636.38\text{ kg/hm}^2$ 。由此可知,不同试点和品种间的适宜施氮量是不同的。以获得最高籽粒产量时施氮量为临界值,每增施 1 kg 氮肥,南京点、扬州点和泰州点宁杂1818平均增产分别为 12.88 kg 、 11.55 kg 和 12.82 kg ,秦优10号分别为 10.99 kg 、 11.14 kg 和 11.90 kg 。进一步说明,不同品种对氮肥用量的响应是不同的,同一品种在不同试点的氮肥响应也是不同的,生产上应依据试点环境和品种需肥特性确定氮肥用量。

2.1.2 产油量对施氮量的响应 产油量兼顾了品种的含油率和籽粒产量,已作为优良品种的重要性状指标。试验结果表明,在 N_0 、 N_{120} 、 N_{240} 和 N_{360} 处理下,产油量随施氮量的增加呈先增后降趋势,地

点、品种和年度间表现一致(图2)。施氮量、试点、品种、年度及施氮量 \times 年度、施氮量 \times 地点、品种 \times 年度和施氮量 \times 试点 \times 年度互作的产油量方差达到极显著水平,施氮量 \times 品种互作的产油量的方差达到显著水平。 N_0 、 N_{120} 、 N_{240} 和 N_{360} 处理2年3个试点平均产油量分别为 680.55 kg/hm^2 、 $1\,227.15\text{ kg/hm}^2$ 、 $1\,609.26\text{ kg/hm}^2$ 和 $1\,538.32\text{ kg/hm}^2$ 。 N_{120} 、 N_{240} 和 N_{360} 处理比不施氮对照分别增产 80.32% 、 136.46% 和 126.00% 。与不施氮对照相比,每增施 120 kg/hm^2 氮,南京点产油量增产效率依次为 103.54% 、 31.67% 和 -1.94% ,扬州点增产效率依次为 68.64% 、 33.72% 和 -5.37% ,泰州点增产效率依次为 72.13% 、 28.22% 和 -6.00% 。即在本试验条件下,各试点氮肥增油效益随施氮量增加明显下降,尤其当施氮量为 360 kg/hm^2 时,氮肥增油效益为负,处理间差异达到显著水平。年度间、试点间表现一致。不施氮对照试点间产油量变异系数为 9.43% ; N_{120} 、 N_{240} 和 N_{360} 处理试点间产油量变异系数分别为 3.67% 、 1.95% 和 3.75% ,明显低于不施氮对照。施氮处理间产油量变异系数为 33.45% ,试点间为 2.09% ,品种间为 8.54% 。氮肥用量对产油量的影响远大于品种和试点。



A:南京-宁杂1818;B:南京-秦优10号;C:扬州-宁杂1818;D:扬州-秦优10号;E:泰州-宁杂1818;F:泰州-秦优10号。

图2 不同试点氮肥施用量对产油量的影响

Fig.2 Effect of nitrogen application rate on rapeseed oil yield in different test sites

2年3个试点产油量对施氮量的响应符合一元二次方程(表3),宁杂1818和秦优10号各试点拟合方程的决定系数(R^2)分别为 $0.986\,2\sim 0.996\,8^{**}$ 和 $0.983\,0\sim 0.998\,4^{**}$,均达到极显著水平。南京点宁杂1818和秦优10号分别在施氮量为 303.54 kg/hm^2 和 318.74 kg/hm^2 时获得最高产油量 $1\,610.55\text{ kg/hm}^2$ 和 $1\,516.08\text{ kg/hm}^2$,扬州点宁杂1818和秦优10号分别在施氮量为 302.34 kg/hm^2 和 295.57 kg/hm^2 时获得

最高产油量 $1\,558.3\text{ kg/hm}^2$ 和 $1\,201.89\text{ kg/hm}^2$,泰州点宁杂1818和秦优10号分别在施氮量为 271.18 kg/hm^2 和 300.84 kg/hm^2 时获得最高产油量 $1\,630.95\text{ kg/hm}^2$ 和 $1\,232.69\text{ kg/hm}^2$ 。

2.2 油菜籽品质对氮肥用量的响应

2.2.1 脂肪酸组分对氮肥用量的响应 籽粒油酸、多不饱和脂肪酸(亚油酸与亚麻酸之和)和芥酸含量因施氮量、种植地点和年度的不同有明显差异,各

试点施氮量对油菜籽粒脂肪酸组成的影响见表 4。方差分析结果(表 2)表明,品种、施氮量×试点及施氮量×品种互作对油酸和芥酸含量的影响达到显著水平,品种对多不饱和脂肪酸含量的影响达到极显著水平,年度、施氮量×试点和施氮量×品种互作对多不饱和脂肪酸含量的影响达到显著水平。N0、N120、N240 和 N360 处理宁杂 1818 油酸含量依次为 66.62%、66.09%、65.79%和 65.69%,秦优 10 号依次为 63.67%、63.20%、62.89%和 62.78%,处理间差异不显著。每增施 1 kg 氮肥,油酸含量降低 0.01%~0.07%。2 年度南京、扬州和泰州点宁杂 1818 油酸含量分别下降 1.14%、1.09%和 1.15%,秦优 10 号油酸含量分别下降 0.97%、1.15%和 0.70%,试点间下降幅度有差异。N0~N360 处理 2

年 3 点宁杂 1818 芥酸含量为 0.43%~0.56%(平均值为 0.50%),秦优 10 号为 0.43%~0.52%(平均值为 0.47%),氮处理间差异未达到显著水平,品种间表现一致。多不饱和脂肪酸含量随施氮量的增加呈增加趋势。2 年泰州点、2014 年扬州点和 2015 年南京点氮处理间宁杂 1818 多不饱和脂肪酸含量差异达到显著水平,2014 年 3 个试点和 2015 年扬州点秦优 10 号的多不饱和脂肪酸含量差异达到显著水平。施氮处理间芥酸、油酸和多不饱和脂肪酸含量的变异系数依次为 2.07%、0.63%和 1.60%,试点间依次为 4.03%、0.90%和 2.36%,品种间依次为 4.40%、3.19%和 7.27%。脂肪酸组分受品种特性的影响较大,其次是试点,施氮量影响较小。

表 2 油菜籽粒产量性状和品质性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of yield characters and quality characters in rapeseed

试验因素	籽粒产量	产油量	油酸含量	芥酸含量	多不饱和脂肪酸含量	硫苷含量	含油率	蛋白质含量
施氮量(N)	**	**	ns	ns	ns	ns	**	**
试点(L)	**	**	ns	ns	ns	ns	*	*
品种(V)	**	**	**	*	**	*	**	**
年度(Y)	**	**	ns	ns	*	ns	**	**
N×L	*	**	*	*	*	*	*	*
N×V	ns	*	*	*	*	ns	ns	ns
N×Y	**	**	ns	ns	ns	*	ns	ns
L×V	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
L×Y	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
V×Y	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×L×V	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×L×Y	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×V×Y	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
L×V×Y	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×L×V×Y	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

ns:不显著;*:0.05 水平显著;** :0.01 水平显著。产油量为各处理平均单产乘以相应的含油率,多不饱和脂肪酸含量为亚油酸与亚麻酸之和。

2.2.2 硫苷含量、含油率和蛋白质含量对施氮量的响应 菜籽饼粕硫苷含量因施氮量、种植地点、品种和年度的不同均有明显差异(表 5)。方差分析结果表明,品种、施氮量×试点、施氮量×年度、试点×年度及施氮量×试点×品种×年度互作对硫苷含量的影响达到显著水平(表 2)。随着施氮量的增加,硫苷含量呈下降趋势。N0、N120、N240 和 N360 处理 2 年 3 点宁杂 1818 2 年平均硫苷含量依次为 22.58 $\mu\text{mol/g}$ 、22.10 $\mu\text{mol/g}$ 、21.68 $\mu\text{mol/g}$ 和 21.38 $\mu\text{mol/g}$,秦优 10 号平均硫苷含量依次为 26.04 $\mu\text{mol/g}$ 、25.35 $\mu\text{mol/g}$ 、24.52 $\mu\text{mol/g}$ 和 23.86

$\mu\text{mol/g}$ 。每增施 1 kg 氮,硫苷含量平均降低 0.04~0.09 $\mu\text{mol/g}$ 。南京、扬州和泰州点宁杂 1818 2 年平均硫苷含量依次为 21.32 $\mu\text{mol/g}$ 、22.56 $\mu\text{mol/g}$ 和 21.80 $\mu\text{mol/g}$,秦优 10 号 2 年平均硫苷含量依次为 25.09 $\mu\text{mol/g}$ 、25.35 $\mu\text{mol/g}$ 和 24.27 $\mu\text{mol/g}$,试点间硫苷含量差异均未达到显著水平。施氮处理间硫苷含量变异系数为 2.72%,试点间为 1.89%,品种间为 8.84%。品种间硫苷含量差异较大,施氮处理间和试点间含量差异均较小。说明油菜的硫苷含量主要由品种特性决定,受施氮处理和试点的影响较小。

表 3 氮肥施用量与油菜籽粒产量及产油量拟合的一元二次方程

Table 3 Logistic equation among nitrogen application rate, seed yield and oil yield

项目	地点	品种	一元二次方程	决定系数 (R^2)	最适施氮量 (kg/hm ²)	最大产量 (kg/hm ²)
籽粒产量	南京	宁杂 1818	$Y = -0.026 7x^2 + 16.302 0x + 1 442.700 0$	0.999 1 **	305.28	3 931.04
		秦优 10 号	$Y = -0.021 9x^2 + 14.500 0x + 1 238.600 0$	0.993 7 **	331.05	3 638.71
	扬州	宁杂 1818	$Y = -0.021 4x^2 + 13.624 0x + 1 508.500 0$	0.994 7 **	318.32	3 676.88
		秦优 10 号	$Y = -0.020 3x^2 + 12.807 0x + 1 495.000 0$	0.993 8 **	315.44	3 514.94
	泰州	宁杂 1818	$Y = -0.025 1x^2 + 14.890 0x + 1 594.100 0$	0.990 9 **	296.61	3 802.39
		秦优 10 号	$Y = -0.021 6x^2 + 13.203 0x + 1 618.800 0$	0.991 8 **	305.63	3 636.38
	南京	宁杂 1818	$Y = -0.010 3x^2 + 6.252 9x + 661.550 0$	0.996 8 **	303.54	1 610.55
		秦优 10 号	$Y = -0.009 4x^2 + 5.992 3x + 561.090 0$	0.998 1 **	318.74	1 516.08
产油量	扬州	宁杂 1818	$Y = -0.009 6x^2 + 5.804 9x + 680.810 0$	0.986 2 **	302.34	1 558.33
		秦优 10 号	$Y = -0.007 7x^2 + 4.551 8x + 529.200 0$	0.983 0 **	295.57	1 201.89
	泰州	宁杂 1818	$Y = -0.012 2x^2 + 6.616 8x + 733.780 0$	0.994 6 **	271.18	1 630.95
		秦优 10 号	$Y = -0.007 7x^2 + 4.633 0x + 535.380 0$	0.986 0 **	300.84	1 232.69

* 表示达到 0.05 显著水平; ** 表示达到 0.01 显著水平。Y 代表产量性状, x 代表施氮量。

表 4 氮肥施用量对油菜籽脂肪酸含量的影响

Table 4 Effect of nitrogen application rate on the content of fatty acid of rapeseed

脂肪酸	品种	处理	2014-2015 年度				2015-2016 年度			
			南京	扬州	泰州	平均值	南京	扬州	泰州	平均值
芥酸(%)	宁杂 1818	N0	0.50±0.03a	0.43±0.02a	0.54±0.02a	0.49a	0.56±0.02a	0.52±0.03a	0.55±0.06a	0.54a
		N120	0.55±0.05a	0.45±0.03a	0.48±0.04a	0.49a	0.51±0.04a	0.48±0.04a	0.47±0.04a	0.49a
		N240	0.49±0.03a	0.48±0.03a	0.47±0.03a	0.48a	0.50±0.03a	0.48±0.03a	0.50±0.05a	0.49a
		N360	0.49±0.02a	0.46±0.02a	0.48±0.03a	0.48a	0.51±0.05a	0.50±0.05a	0.49±0.04a	0.50a
	秦优 10 号	N0	0.50±0.06a	0.44±0.03a	0.45±0.04a	0.46a	0.44±0.03a	0.48±0.03a	0.47±0.02a	0.46a
		N120	0.49±0.04a	0.40±0.04a	0.43±0.05a	0.44a	0.52±0.05a	0.53±0.03a	0.45±0.03a	0.50a
		N240	0.45±0.05a	0.42±0.03a	0.43±0.05a	0.43a	0.53±0.05a	0.51±0.04a	0.46±0.03a	0.50a
		N360	0.43±0.04a	0.46±0.05a	0.44±0.02a	0.44a	0.47±0.04a	0.56±0.05a	0.45±0.03a	0.49a
油酸(%)	宁杂 1818	N0	67.36±0.56a	66.65±0.46a	66.79±0.85a	66.93a	66.94±1.02a	65.72±0.74a	66.27±0.78a	66.31a
		N120	67.17±0.37a	66.43±0.90a	66.14±0.60a	66.58a	66.38±0.89a	65.09±0.65a	65.34±0.51a	65.60a
		N240	67.03±0.45a	66.15±0.64a	65.70±0.48a	66.29a	65.74±0.73a	64.92±1.15a	65.20±0.34a	65.29a
		N360	67.06±0.39a	65.42±0.91a	65.80±0.59a	66.09a	65.76±0.54a	65.00±0.98a	65.11±0.35a	65.29a
	秦优 10 号	N0	65.93±1.01a	64.67±0.65a	63.57±0.53a	64.72a	62.76±0.47a	62.78±0.90a	62.28±0.66a	62.61a
		N120	65.02±0.89a	64.45±0.62a	63.15±0.45a	64.21a	62.46±0.32a	62.02±0.67a	62.07±0.40a	62.18a
		N240	64.66±0.42a	63.71±0.52a	62.94±0.62a	63.77a	62.30±0.29a	62.10±0.42a	61.60±0.51a	62.00a
		N360	64.59±0.50a	63.88±0.54a	62.72±0.66a	63.73a	62.17±0.35a	61.58±0.81a	61.73±0.43a	61.83a
多不饱和脂肪酸(%)	宁杂 1818	N0	24.66±0.61a	25.67±0.43b	25.26±0.35b	25.20a	25.27±0.38b	26.65±0.58a	25.97±0.43b	25.96a
		N120	24.80±0.71a	25.82±0.20b	26.00±0.49a	25.54a	25.89±0.71ab	27.32±0.61a	26.98±0.22a	26.73a
		N240	25.06±0.65a	26.04±0.49b	26.54±0.71a	25.88a	26.41±1.22a	27.53±0.48a	27.06±0.45a	27.00a
		N360	25.11±0.48a	26.82±0.90a	26.36±0.56a	26.10a	26.54±1.09a	27.42±0.30a	27.22±0.51a	27.06a
	秦优 10 号	N0	25.87±0.78b	27.52±0.47b	28.47±0.45b	27.29a	29.33±0.23a	29.64±0.44b	29.82±0.35a	29.06a
		N120	26.90±0.48a	27.90±0.50b	28.88±0.40ab	27.89a	29.63±0.30a	30.30±0.25a	30.05±0.28a	29.99a
		N240	27.52±0.55a	28.58±0.51a	29.15±0.39a	28.42a	29.59±0.34a	30.32±0.36a	30.61±0.49a	30.17a
		N360	27.57±0.62a	28.33±0.42ab	29.33±0.42a	28.41a	29.89±0.42a	30.89±0.45a	30.46±0.42a	30.41a

N0、N120、N240、N360:施氮量分别为 0 kg/hm²、120 kg/hm²、240 kg/hm²、360 kg/hm²。相同字母代表差异不显著。

表 5 氮肥施用量对油菜籽含油量、硫苷和蛋白质含量的影响

Table 5 Effects of nitrogen application rate on oil content, glucosinolate content and protein content of rapeseed

项目	品种	处理	2014-2015 年度				2015-2016 年度			
			南京	扬州	泰州	平均值	南京	扬州	泰州	平均值
硫苷含量 ($\mu\text{mol/g}$)	宁杂 1818	N0	22.02 \pm 1.21a	22.84 \pm 1.50a	21.39 \pm 0.89a	22.08a	22.45 \pm 1.32a	23.48 \pm 0.86a	23.28 \pm 0.32a	23.07a
		N120	21.46 \pm 0.83ab	21.97 \pm 1.34a	20.60 \pm 0.66a	21.34a	22.23 \pm 1.13a	23.46 \pm 0.81a	23.07 \pm 0.56a	22.92a
		N240	20.51 \pm 0.85b	21.67 \pm 0.65a	20.40 \pm 0.72a	20.87a	21.27 \pm 0.71a	23.04 \pm 0.75a	23.00 \pm 0.69a	22.44a
		N360	20.45 \pm 0.46b	21.29 \pm 0.77a	20.29 \pm 0.80a	20.70a	21.15 \pm 0.80a	22.72 \pm 0.72a	22.31 \pm 0.35a	22.06a
	秦优 10 号	N0	25.69 \pm 1.23a	24.35 \pm 0.81a	24.30 \pm 1.14a	24.78a	26.67 \pm 1.30a	28.32 \pm 1.55a	27.69 \pm 1.27a	27.56a
		N120	25.36 \pm 1.18a	24.16 \pm 0.85a	24.25 \pm 1.25a	24.59a	25.41 \pm 1.45ab	27.69 \pm 1.30ab	27.02 \pm 1.20ab	26.71ab
		N240	25.02 \pm 0.95a	23.84 \pm 0.76a	22.94 \pm 0.87ab	23.94a	23.80 \pm 0.99b	26.50 \pm 1.34b	26.04 \pm 0.86b	25.45b
		N360	24.36 \pm 0.65a	22.62 \pm 1.05b	22.09 \pm 0.95b	23.02a	23.97 \pm 1.05b	26.32 \pm 1.42b	24.82 \pm 0.96b	25.04b
含油率(%)	宁杂 1818	N0	48.20 \pm 0.50a	46.52 \pm 0.44a	46.71 \pm 0.59a	47.14a	47.44 \pm 1.00a	46.14 \pm 0.59a	45.76 \pm 0.81a	46.45a
		N120	46.96 \pm 0.63b	45.68 \pm 0.54b	46.07 \pm 0.23b	46.24b	46.12 \pm 0.25b	45.30 \pm 0.50b	45.25 \pm 0.27b	45.56b
		N240	45.53 \pm 0.34c	44.93 \pm 0.24c	44.94 \pm 0.70c	45.14c	44.49 \pm 0.34c	44.64 \pm 0.47c	44.24 \pm 0.19c	44.46c
		N360	44.68 \pm 0.53c	44.49 \pm 0.36c	43.85 \pm 0.92d	44.34d	43.53 \pm 0.62c	43.93 \pm 0.67c	43.40 \pm 0.55d	43.62d
	秦优 10 号	N0	45.39 \pm 0.65a	43.99 \pm 0.49a	43.83 \pm 0.38a	44.41a	44.59 \pm 0.29a	43.75 \pm 0.47a	42.72 \pm 0.51a	43.69a
		N120	43.97 \pm 0.58b	43.16 \pm 0.22b	43.44 \pm 0.14ab	43.52b	42.95 \pm 0.61b	43.26 \pm 0.43ab	42.41 \pm 0.23a	42.87b
		N240	42.22 \pm 0.13c	42.48 \pm 0.65c	42.48 \pm 0.40b	42.39c	41.64 \pm 0.30c	42.25 \pm 0.48b	41.68 \pm 0.42b	41.86c
		N360	41.91 \pm 0.60d	41.45 \pm 1.09d	41.28 \pm 0.67c	41.55d	40.39 \pm 0.29c	40.41 \pm 1.05c	40.55 \pm 0.89c	40.45cd
蛋白质含 量(%)	宁杂 1818	N0	22.21 \pm 1.32c	24.16 \pm 0.46b	23.54 \pm 0.32c	23.30c	23.48 \pm 0.20b	25.31 \pm 0.49b	24.35 \pm 1.08b	24.42b
		N120	22.94 \pm 0.31c	24.28 \pm 0.30b	24.01 \pm 0.70b	23.74b	24.23 \pm 0.63b	25.43 \pm 0.40b	25.63 \pm 0.42ab	25.06ab
		N240	24.02 \pm 0.77b	24.87 \pm 0.43ab	25.58 \pm 0.24a	24.82a	25.05 \pm 0.32a	25.98 \pm 0.42a	26.07 \pm 0.24a	25.70a
		N360	24.75 \pm 0.80a	25.40 \pm 0.84a	25.31 \pm 0.51a	25.16a	25.53 \pm 0.13a	26.00 \pm 0.39a	25.88 \pm 0.30a	25.80a
	秦优 10 号	N0	22.06 \pm 0.94bc	24.69 \pm 1.01b	24.22 \pm 0.32c	23.66c	23.50 \pm 0.23d	25.49 \pm 0.54b	24.44 \pm 0.18c	24.48bc
		N120	23.53 \pm 0.79b	24.87 \pm 0.82b	24.89 \pm 0.34c	24.43b	24.68 \pm 0.72c	25.66 \pm 0.56b	25.35 \pm 0.36b	25.23b
		N240	25.08 \pm 0.59a	25.95 \pm 0.59a	25.61 \pm 0.23b	25.55ab	25.64 \pm 0.18b	26.63 \pm 0.68a	26.11 \pm 0.23ab	26.13a
		N360	25.68 \pm 0.62a	25.71 \pm 0.61a	26.30 \pm 0.39a	25.90a	26.31 \pm 0.31a	26.09 \pm 0.40ab	26.95 \pm 0.26a	26.45a

2 年 3 个试点的试验结果表明,随施氮量增加,籽粒含油率下降,处理间达到极显著水平。品种、试点和年度间表现一致(表 5)。方差分析结果显示,施氮量、品种和年度因素对籽粒含油率的影响均达到极显著水平,试点、施氮量 \times 试点互作对含油率的影响达到显著水平(表 2)。N0、N120、N240 和 N360 处理 2 年 3 个试点宁杂 1818 籽粒含油率分别为 46.97%、45.90%、44.80%和 43.98%,施氮处理比不施氮对照分别下降 2.28%、4.62%和 6.37%;秦优 10 号籽粒含油率分别为 44.05%、43.20%、42.12%和 41.00%,施氮处理比不施氮对照分别下降 1.93%、4.38%和 6.92%。施氮量越大,含油率下降幅度越大。每增施

1 kg 氮,含油率平均下降 0.11%~0.14%。南京、扬州和泰州试点 2 年试验结果表明,与不施氮对照相比,N360 处理的宁杂 1818 含油率分别下降 3.91、2.21、2.36 个百分点,秦优 10 号分别下降 4.20、3.34、2.17 个百分点。含油率对施氮量的响应,在不同试点间、品种间和年度间表现一致,均为极显著负相关。南京、扬州和泰州点宁杂 1818 2 年度平均含油率分别为 45.74%、45.20%和 45.03%,秦优 10 号分别为 43.01%、42.47%和 42.30%,南京点略高于扬州和泰州点。施氮处理间籽粒含油率变异系数为 2.98%,试点间为 0.84%,品种间为 4.53%。说明油菜的含油率主要由品种特性决定,施氮处理次之,试点的影响

最小。

随施氮量增加,油菜籽粒蛋白质含量呈增加趋势,处理间差异达到极显著水平(表5)。方差分析结果显示,施氮量、品种和年度因素对蛋白质含量的影响均达到极显著水平,试点和施氮量×试点互作对蛋白质含量的影响达到显著水平(表2)。N0、N120、N240和N360处理2年3点宁杂1818蛋白质含量分别为23.84%、24.40%、25.26%和25.48%,施氮处理比不施氮对照分别增加2.35%、5.96%和6.88%;秦优10号分别为24.07%、24.83%、25.84%和26.17%,施氮处理比不施氮对照分别增加3.06%、7.35%和8.72%。随施氮量增加,南京、扬州和泰州试点宁杂1818的蛋白质含量依次平均增加1.57%、0.57%和1.49%,秦优10号平均依次增加2.37%、0.73%和1.54%。每增施1 kg氮,蛋白质含量平均增加0.03%~0.12%。蛋白质含量对施氮量的响应为极显著正相关,试点、品种和年度间表现一致。施氮处理间籽粒蛋白质含量变异系数为3.43%,试点间为2.42%,不同品种间为1.35%,说明籽粒蛋白质含量受氮肥供给的影响较大,其次是试点,品种自身的影响较小。

2.3 氮肥用量与油菜品质性状的相关性

综合分析2年3试点各产量品质性状对施氮量

的响应,结果表明,施氮量与油酸含量负相关,与多不饱和脂肪酸、芥酸含量正相关,均未达到显著水平。施氮量与含油率极显著负相关,与硫苷含量显著负相关,与蛋白质含量极显著正相关,宁杂1818和秦优10号表现一致,显著性程度略有不同(表6)。各品质性状间的相关性分析结果表明,试验品种油酸含量与多不饱和脂肪酸、蛋白质含量显著或极显著负相关,与芥酸含量负相关(其中宁杂1818的相关性达到显著水平),与含油率正相关(其中秦优10号的相关性达到显著水平),与硫苷含量显著正相关。宁杂1818多不饱和脂肪酸含量与芥酸、蛋白质含量显著正相关;秦优10号多不饱和脂肪酸含量与蛋白质含量显著正相关,与芥酸含量的相关性未达到显著水平。多不饱和脂肪酸含量与含油率负相关(其中秦优10号的相关性达到显著水平),与硫苷含量显著负相关。芥酸含量与含油率显著正相关,与蛋白质含量负相关(其中与秦优10的相关性达到显著水平)。含油率与硫苷含量正相关,与蛋白质含量显著负相关。硫苷含量与蛋白质含量极显著负相关。各品质性状间相关性宁杂1818和秦优10表现一致,显著性程度略有差异。

表6 氮肥用量与油菜品质性状的相关系数

Table 6 Correlation coefficient between nitrogen application rate and quality parameters of rapeseed

性状	施氮量	油酸含量	多不饱和脂肪酸含量	芥酸含量	含油率	硫苷含量	蛋白质含量
施氮量		-0.058 2	0.113 4	0.163 2	-0.787 2 ***	-0.238 1 *	0.673 3 ***
油酸含量	-0.088 6		-0.970 6 ***	-0.215 4	0.273 3 *	0.233 6 *	-0.450 8 ***
多不饱和脂肪酸含量	0.147 3	-0.914 4 ***		0.169 1	-0.270 8 *	-0.264 1 *	0.458 8 ***
芥酸含量	0.114 1	-0.329 8 **	0.301 6 **		0.476 2 ***	0.192 6	-0.308 2 **
含油率	-0.781 4 ***	0.205 5	-0.190 1	0.242 0 *		0.174 4	-0.648 4 ***
硫苷含量	-0.319 6 **	0.308 3 **	-0.346 2 **	-0.155 3	0.305 5 **		-0.364 6 **
蛋白质含量	0.556 2 ***	-0.285 0 *	0.271 2 *	-0.085 8	-0.739 9 ***	-0.575 6 ***	

左下角为宁杂1818,右上角为秦优10。*表示达到0.05显著水平,**表示达到0.01显著水平,***表示达到0.001显著水平。

2.4 种植地点对油菜施氮响应能力的影响

不施氮时,南京、扬州和泰州试点的油菜平均籽粒产量分别为1 370.41 kg/hm²、1 546.50 kg/hm²和1 641.11 kg/hm²,南京试点明显低于其他点,这与土壤养分差异趋势是一致的,说明试点的基础地力直接影响基础产量。当施氮量为240 kg/hm²时,南京、扬州和泰州试点产量依次为3 726.75 kg/hm²、

3 608.08 kg/hm²和3 736.49 kg/hm²,南京试点产量增加明显,土壤基础地力对籽粒产量的影响减小,说明增施氮肥可以弥补地点间肥力差异。与不施氮对照相比,每增施120 kg/hm²氮,南京、扬州和泰州试点宁杂1818平均增产效率分别为44.49%、35.20%和35.26%,秦优10号分别为46.11%、34.85%和32.23%,增产效率南京点最高,扬州和泰州试点相

当。试点间不施氮肥对照的油菜产量平均变异系数为9.12%;施氮处理平均为3.40%,明显低于不施氮对照。

3 讨论

3.1 施氮量对油菜品质性状的影响

与油菜籽粒品质相关的指标主要有脂肪酸组成、含油率、硫苷和蛋白质含量。在本研究中,籽粒的这些品质指标主要由品种特性决定,但施氮处理对其也有明显的影响,其中对含油率和蛋白质含量的影响达到极显著水平,对硫苷和多不饱和脂肪酸含量的影响因年度和地点的不同存在差异,有些年份和地点也达到显著水平,对油酸和芥酸含量的影响施氮处理间差异不显著。增施氮肥,产量增加,油酸和硫苷含量下降,蛋白质含量增加,含油率降低,但产油量增加,籽粒品质仍在优质范围内。Ahmad等认为油菜脂肪酸组成主要由品种特性决定,但在一定程度上受施氮量的影响^[24],这与本研究结果一致。但赵继献等^[25]和李志玉等^[26]以油研8号、油研9号和中双9号为材料研究发现,与不施氮对照相比施氮处理的油酸含量增加,与本研究结果不同。李志玉等^[27]和谭太龙等^[28]以中油杂8号和湘油杂8号为材料的研究结果与本研究一致。这可能是由于试验品种的性状不一,试验的生态环境也不同,因而得出的结论有差异。施氮量增加后,籽粒蛋白质含量增加,硫苷含量下降,籽粒品质更优,这可能是由于较多的氮肥供应增加了含氮蛋白质前体的合成,同时因籽粒硫含量的相对减少以及库源的削弱而阻碍了硫苷的合成。

3.2 施氮量与油菜高产保优栽培效果的关系

南京试点土壤为壤砂土,有机质和氮含量较低,pH值为中性。扬州试点土壤为白粉土,有机质和氮含量适中,pH值为弱碱性。泰州试点土壤为潮壤土,有机质和氮含量较高,pH值为弱酸性,土壤肥力较高。南京试点,不施氮时,肥力水平较低,产量较低;施氮量增加后,增产效率明显高于其他试点。说明土壤基础肥力水平越低,氮肥的增产效率越显著,尤其是低水平氮素供给的增产效率更为突出。在试验中还发现,南京试点前茬为旱地,土温较高,秧苗生长发育快,根系比较发达,吸肥能力较强,每角粒数和粒质量均较大,产量较高。扬州试点为“稻-油”轮作,有机质和氮含量较高且质地较轻,冬前发

苗快,花芽分化早,单株角果数较多,油菜开花后,由于雨水偏多,光照不足,对开花授粉不利,造成籽粒数偏少,且由于土壤质地轻,保肥能力弱,养分流失较多,引起早衰导致粒数和粒质量下降,高氮供给时,产量明显低于其他试点。泰州试点也为“稻-油”轮作,但肥力水平较高,土壤质地偏黏,冬前土温较低,发苗较慢,对花芽分化有一定的影响,故单株角果数比扬州试点略少,开春升温后,生长旺盛,每角粒数和粒质量较高。因此南京和泰州地区宜早施苗肥,促进菜苗生长,确保壮苗越冬;扬州地区可适当追施花角肥,以防早衰。

3.3 油菜不同种植地点的适宜施氮量

油菜增施氮肥,增产效果明显。由于不同油菜品种基因型不同,氮肥利用效率和籽粒品质性状也不同,且试点环境因子也存在差异,致使不同品种在各试点获得高产的氮肥施用量也不尽相同。产油量是油菜生产的最终收益指标,各试点获得最高产油量的施氮量低于获得最高籽粒产量的施氮量。为保证农民收益,适宜施氮量应以该地区最大产油量时氮肥供给量为参照。在本试验条件下,宁杂1818在南京、扬州和泰州的适宜施氮量分别为300~310 kg/hm²、300~320 kg/hm²和270~300 kg/hm²,秦优10号分别为315~335 kg/hm²、295~315 kg/hm²,300~310 kg/hm²。宁杂1818和秦优10号同为江苏地区主推品种,生产中应根据目标产量因地、因种施肥,可获得高产且确保品质优良。另外,由于江苏省油菜主产区增施氮肥后增产明显,生产过程中人们为了追求高产而盲目增施氮肥,部分地区氮肥施用量已超过360 kg/hm²,明显超出获得最高产量时的需氮量,不仅导致种植效益下降,而且浪费资源,易造成环境问题,生产中需及时加以引导。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 2014中国统计年鉴[M].北京: 中国统计出版社, 2014.
- [2] 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.
- [3] 鲁剑巍. 中国油菜生产的高产高效氮素管理[J]. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3504-3505.
- [4] 殷艳,王汉中. 我国油菜产业发展成就、问题与科技对策[J]. 中国农业科技导报, 2012, 14(4): 1-7.
- [5] 邹小云,陈伦林,李书宇,等. 氮、磷、钾、硼肥施用对甘蓝型杂交油菜产量及经济效益的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(5): 917-924.

- [6] 李银水,鲁剑巍,廖 星,等.氮肥用量对油菜产量及氮素利用效率的影响[J].中国油料作物学报,2011,33(4):379-383.
- [7] 邹 娟,鲁剑巍,陈 防,等.氮磷钾硼肥施用对长江流域油菜产量及经济效益的影响[J].作物学报,2009,35(1):87-92.
- [8] 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.
- [9] OZER H. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars[J]. European Journal of Agronomy, 2003, 19: 453-463.
- [10] RATHKE G W, BEHRENS T, DIEPENBRO Q Y W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2006, 117(2): 80-108.
- [11] 任 涛,鲁剑巍.中国冬油菜氮素养分管理策略[J].中国农业科学, 2016,49(18):3506-3521.
- [12] WANG Y, LIU T, LI X K, et al. Nutrient deficiency limits population development, yield formation, and nutrient uptake of direct sown winter oilseed rape [J]. J Integr Agr, 2015, 14(4): 670-680.
- [13] NARITS L. Effect of nitrogen rate and application time to yield and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera* subvar. *biennis*) [J]. Agron Res, 2010, 8 (Special Issue III): 671-686.
- [14] SCHJOERRING J K, BOCKJ G H, GAMMELVIND L H, et al. Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation[J]. Plant Soil, 1995, 177: 255-264.
- [15] WIESLER F, BEHRENS T, HORST W J. The role of nitrogen-efficient cultivars in sustainable agriculture[J]. The Sci World J, 2001, 1(S2): 60-61.
- [16] 邹 娟,鲁剑巍,李银水,等.直播油菜施肥效应及适宜肥料用量研究[J].中国油料作物学报, 2008, 30(1): 90-94.
- [17] 徐华丽.长江流域油菜施肥状况调查及配方施肥效果研究[D].武汉:华中农业大学, 2012.
- [18] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [19] 鲍士旦,史瑞和.土壤农化分析[M].北京:中国农业科技出版社,2005:69-74.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.动植物油脂脂肪甲酯的气相色谱分析:GB/T17377-2008[S]. 2008.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.植物油料含油量测定:GB/T14488.1-2008[S]. 2008.
- [22] 中华人民共和国农业部.油菜籽中硫代葡萄糖苷的测定高效液相色谱法:NY/T1582-2007[S]. 2007.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.粮油检验植物油料粗蛋白质的测定:GB/T14489.2-2008[S]. 2008.
- [24] 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.
- [25] 赵继献,程国平,任廷波,等.不同氮水平对优质甘蓝型黄子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.
- [26] 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): 78-82.
- [27] 李志玉,胡 琼,廖 星,等.优质油菜中油杂8号施用氮磷硼肥的产量和品质效应[J].中国油料作物学报,2005,27(4): 59-63.
- [28] 谭太龙,徐一兰,张宏军,等.栽培因子对油菜油酸含量的影响[J].湖南农业科学,2009(6):41-43.

(责任编辑:张震林)