

不同施肥处理对油菜产量及品质的影响^①

张 辉^{1,2}, 朱德进³, 黄 卉³, 宁运旺^{1,2}, 张永春^{1,2*}

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2 农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 南京 210014;

3 姜堰市农业局, 江苏姜堰 225500)

摘要: 通过在姜堰地区的大田试验, 研究了不同施肥处理条件下油菜产量及籽粒品质的变化。试验设 10 个肥料处理: 对照 (不施肥, CK), 缺氮 (PKB)、缺磷 (NKB)、缺钾 (NPB) 处理, 大量营养元素平衡施肥处理 (NPK)、增施微量元素处理 (NPKB、NPKBZn), 不同氮肥施用量处理 (1/2N+PKB、3/2N+PKB、2N+PKB)。结果表明: ① 缺失氮、磷、钾中任何一种养分时均能降低油菜产量, 且当氮肥施用量为 N 18 kg/667m² 时, 产量最高, 而硼和锌肥对油菜增产没有显著效果。② 在氮、磷、钾缺乏处理中, 油菜硫甙含量大小顺序为 NKB>PKB>NPB, 芥酸含量大小顺序为 PKB>NKB>NPB, 油菜含油量没有显著变化, 油酸含量为 NPB>NKB>PKB, 蛋白质含量在 PKB 处理下最低。③ 在 NPK 处理平衡施肥条件下, 施加硼肥能显著降低硫甙和芥酸含量, 显著增加油菜含油量、油酸、蛋白质含量; 继续增施锌肥对油菜含油量没有显著影响, 但能进一步显著降低硫甙和芥酸含量, 并显著提高油菜油酸和蛋白质含量; ④ 油菜硫甙对氮肥施用量具有拐点效应。油菜芥酸含量随着氮肥施用量的增加而显著降低。氮肥施用过高 (2N+PKB) 显著降低含油量。氮肥施用量对蛋白质的影响趋势和油酸一致, 即先随施氮量 (<12 kg/667m²) 的增加而显著增加, 而进一步增施氮肥则没显著变化。

关键词: 油菜; 施肥; 产量; 品质

中图分类号: S531.01

油菜 (*Brassica napus* L.) 是重要的油料作物, 是植物油脂的第三大来源^[1]。实现油菜产量和品质的共同提升是油菜生产实践中的重要目的, 而营养施肥是影响油菜产量和品质的重要因素。目前, 关于各种肥料对油菜产量、品质的影响研究很多, 但是这些研究多集中在某种营养元素肥料或者只针对油菜某一种品质指标进行, 对于综合多种施肥措施和多种指标的研究尚为不足。

因此, 本研究通过野外大田试验, 探讨了多种不同施肥措施对油菜产量及品质 (硫甙、芥酸、含油量、油酸、蛋白质) 的影响, 以期为我国的油菜生产提供理论依据和数据参考。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

姜堰市地处江淮平原, 属于北亚热带季风气候, 四季分明, 冬夏较长, 春秋较短。常年平均气温 14.5℃; 年平均积温 5365.6℃; 年平均降水量 991.7 mm, 年平均雨日 117 天; 年平均日照时数 22059 h; 无霜期 215

天。作物生长季较长, 日平均气温高于 10℃ 的作物生长期平均为 223 天, 高于 15℃ 喜温作物生长期 172 天。全年气候温暖, 光照充足, 雨水充沛, 农业气候条件优越。土壤质地为潮土。根据以往多年平均产量差异, 本研究选择姜堰市典型油菜种植区田块进行试验, 其理化性质如表 1 所示。

1.2 试验设计

田间试验于 2008 年 9 月—2009 年 5 月进行。田间试验共设 10 个肥料处理, 各处理的施肥量如表 2 所示。其中, 60% 氮肥 (尿素, N 460 g/kg), 62.5% 钾肥 (氯化钾, K₂O 600 g/kg), 全部磷肥 (过磷酸钙, P₂O₅ 120 g/kg)、硼肥 (硼砂, B 110 g/kg) 和锌肥 (硫酸锌, Zn 220 g/kg) 均作为基肥施入, 剩余部分氮肥分别于越冬期和抽苔前期追施, 追施比例为 20% 和 20%, 而剩余钾肥也分别于越冬期和抽苔前期追施, 追施比例则为 20% 和 17.5%。每处理设 3 个重复, 共有 30 个小区, 每个小区均设为 4 m × 5 m, 试验品种为华双 4 号, 种植密度为 7 000 株/667m²。

① 基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目 (cx(10)226) 和 IPNI 国际合作项目 (JIANGSU-10) 资助。

* 通讯作者 (yczhang66@sina.com)

作者简介: 张辉 (1983—), 女, 江苏淮阴人, 博士, 主要研究方向为作物的营养与施肥。E-mail: hzhang@issas.ac.cn

表1 试验小区土壤基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil tested

pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)
7.45	14.64	119.95	0.95	6.44	60.16	0.36	0.68

表2 试验各处理施肥情况

Table 2 Fertilizer treatments designed

肥料处理	肥料用量 (kg/667m ²)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硼砂	硫酸锌	
CK	-	-	-	-	-	-
NPKB	12	6	8	1	-	-
PKB	-	6	8	1	-	-
NKB	12	-	8	1	-	-
NPB	12	6	-	1	-	-
NPK	12	6	8	-	-	-
NPKBZn	12	6	8	1	2	-
1/2N+PKB	6	6	8	1	-	-
3/2N+PKB	18	6	8	1	-	-
2N+PKB	24	6	8	1	-	-

注：“-”表示未施用该肥料。

1.3 采样与分析

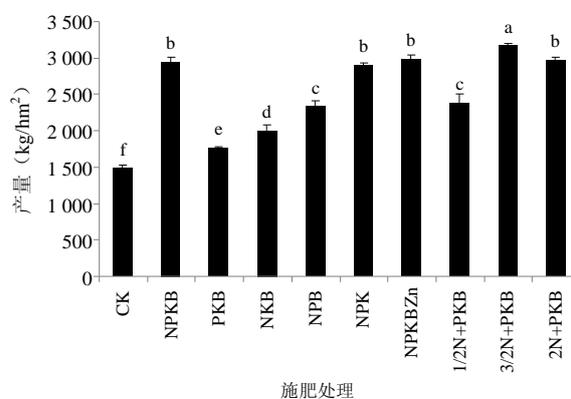
在油菜成熟时,于每小区选取6株有代表性植株,进行地上部分采集,用于油菜品质的测定。同时对每个小区油菜进行单收单打,并测定产量。

各品质指标测定方法:籽粒经充分混匀后晒干使其含水率在7%~8%之间,然后从中取出4~5g用Foss-NIR systems 5000近红外光谱仪及win[S]软件系统进行测定分析^[2-3]。分析项目有含油量、蛋白质、硫甙、油酸、硬脂酸和芥酸。

2 结果与讨论

2.1 不同施肥处理对油菜产量的影响

各施肥处理下油菜产量如图1所示。不施肥处理的油菜产量显著低于其他施肥处理。三大主要营养元素(氮、磷、钾)对油菜产量具有重要影响,氮肥施用18 kg/667m²、同时施用磷、钾、硼肥(3/2N+PKB处理)条件下,油菜产量最高;氮磷钾肥料均施用的条件下(NPKB、NPK、NPKBZn、1/2N+PKB、3/2N+PKB处理)均能收获到较高油菜产量(图1);缺失氮、磷、钾中任何一种养分时均能引起油菜产量的降低,在缺素条件下,缺钾处理(NPB)、缺磷处理(NKB)、缺氮处理(PKB)产量依次递减,表明在该地区,氮对油菜产量影响最大,其次为磷,而钾肥的影响最小。



(图中误差线表示标准误差;不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著(LSR法检验),下同)

图1 各施肥处理对油菜产量的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on rape yield

从试验处理CK、1/2N+PKB、NPKB、3/2N+PKB来看,油菜产量随着氮肥施用量的增加而显著增加,而当氮肥施用量提高到一定程度时,继续提高施肥量,油菜产量反而呈现一定的降低趋势(2N+PKB),可见从产量因素来看,该地区氮肥施用量不应高于18 kg/667m²。这个趋势和杨小刚^[4]的研究结果一致。但已有研究中关于氮肥施用量对油菜产量的影响,存在着

不一致的报道,如杨丽娟等^[5]发现油菜产量在低氮肥施用条件下,油菜产量和不施肥处理没有显著差异,只有氮肥施用量达到一定程度时,氮肥才能显著提升油菜的产量;但是在氮肥施用量提高到一定程度后,进一步提升的氮肥施用量和油菜产量之间并不存在显著相关关系,而不是本研究中的高氮肥施用对油菜具有减产效应。这可能与土壤基础性质和油菜生长的外界环境因素有关。由此可见,不同地区的氮肥施用量应根据实际情况而定。

NPK、NPKB 两个处理之间的油菜产量分别为 2 909、2 948 kg/hm²,表明在三大营养元素平衡施用下,硼肥的施用能够增加姜堰地区的油菜产量,但是在统计学上该产量的增加并不显著(图 1),这和已有研究结果并不一致,邹娟等^[6]认为在氮磷钾平衡施用基础上,硼肥的施用在低硼地区(土壤硼含量低于 B 0.6 mg/kg)能使油菜产量增加 17.8%,在高硼地区(土壤硼含量高于 B 0.6 mg/kg)能使油菜产量增加 6.0%;朱飞翔等^[7]在湖南省浏阳地区的试验表明施用硼肥能够满足油菜植株生长发育的正常需要,促进植株生长,且能够增加油菜的分枝数、每株角果数、千粒重,从而提高产量。本研究地区的土壤有效硼含量为 0.36 mg/kg,属于低硼土壤,但是硼肥的施用并没有显著增加姜堰地区的油菜产量,其原因目前并不清楚,还需进一步研究。

本研究中,NPK、NPKB、NPKBZn 处理下油菜的平均产量分别为 2 909、2 948、2 987 kg/hm²,可见在氮磷钾平衡施用条件下,硼、锌肥料的施入能略微增加油菜产量,但是在统计上并没有显著差异(图 1),即本研究中锌肥施用的试验结果和硼肥一样,和 NPK 处理相比,锌肥的施入对油菜产量并没有产生显著效果(图 1 中的 NPK、NPKB、NPKBZn)。一

般认为,锌在作物体内参与生长素(吲哚乙酸)的合成;锌不仅是多种酶(乙醇脱氢酶、碳酸酐酶、RNA 聚合酶)的组成成分,也是许多酶的活化剂。马娟娟等^[8]认为在一定氮肥施用基础上,锌肥的施入能够增加油菜叶绿素含量,从而提高油菜的光合速率,但如果氮肥施用过高,也会抑制油菜对锌的吸收。本研究中锌肥的施入并没有显著增加油菜产量,由于锌肥对植株的作用在于影响植株的生长代谢,因此,下一步可进行姜堰地区锌肥施入对油菜生理生化影响的研究,进而揭示锌肥施用和油菜产量之间关系的内在机制。

2.2 不同施肥处理对油菜品质的影响

各施肥处理对油菜有害物质(硫甙、芥酸)的影响见图 2 所示,对油菜有益物质(油酸、亚油酸、蛋白质、硬脂酸)的影响如表 3 所示。

2.2.1 不同施肥处理对油菜有害物质(硫甙、芥酸)的影响

硫甙(即硫代葡萄糖甙)是十字花科植物中特有的含硫化合物,由一个糖甙部分和不同的侧链所组成。从营养角度来看,硫甙本身并无毒,但被动物摄入后,经芥子酶(即硫甙的水解酶)水解生成异硫氰酸盐、噻唑烷硫酮及腈等则毒性很高,而当硫氰酸盐含量超过正常值,则会抑制甲状腺素从血液中摄取碘离子,直接影响饲料中的碘的吸收,导致甲状腺素生长不足,引起甲状腺肿大,机体代谢紊乱,生长受阻^[9],从而直接影响了油菜籽饼的综合利用,因此硫甙含量的高低是衡量油菜品质性状的重要标准,而低硫甙含量已成为油菜生产的目标之一^[1]。目前对于油菜硫甙的生物合成机理所知尚少,且已有关于营养施肥对油菜硫甙的影响研究主要集中于微量元素硫^[10-11]、硒^[12]等方面。关于各种常规施肥措施对硫甙的影响研究还鲜有报道。

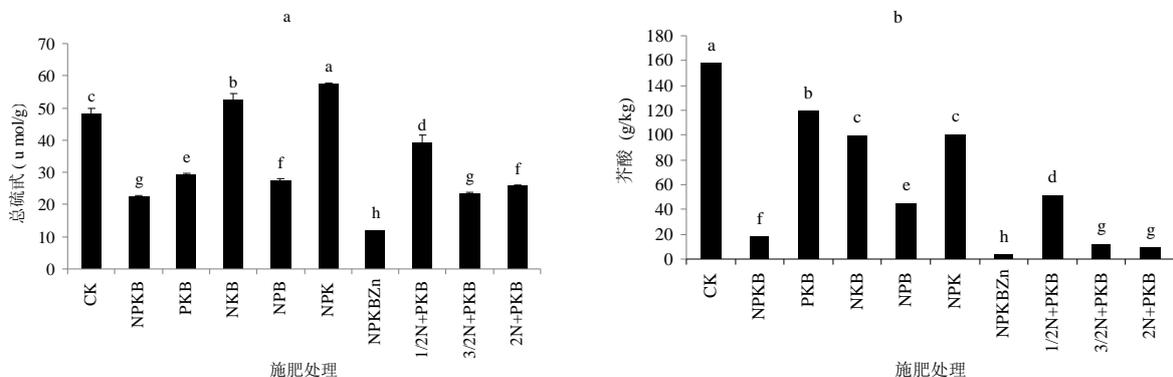


图 2 不同施肥处理对油菜硫甙和芥酸含量的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on glucosinolate and erucic acid contents of rape

表3 不同施肥处理对油菜品质(含油量、油酸、蛋白质)的影响
Table 3 Effects of different fertilizer treatments on rape quality (oil content, oleic acid content, protein content)

处理	含油量 (g/kg)	油酸 (g/kg)	蛋白质 (g/kg)
CK	378 c	480 d	207 c
NPKB	408 a	639 b	227 b
PKB	401 a	507 d	184 d
NKB	398 a	545 c	212 c
NPB	396 a	643 b	213 c
NPK	384 b	568 c	209 c
NPKBZn	407 a	676 a	232 a
1/2N+PKB	402 a	547 c	207 c
3/2N+PKB	404 a	617 b	227 b
2N+PKB	385 b	635 b	225 b

注:表中数据均为3个重复的平均含量。同一列不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著(LSR法检验)。

本研究中,不施用硼肥的处理(CK、NPK)中,硫甙含量显著高于其余各施硼处理(图2a),可见硼肥能显著降低油菜硫甙含量。在NPK、NPKB、NPKBZn处理中,油菜硫甙含量依次显著降低,表明锌肥的施入能在硼肥降低硫甙的基础上,进一步降低油菜硫甙含量。三大营养元素对油菜硫甙含量也具有重要影响,与平衡施肥(NPKB)相比,各缺素试验处理(PKB、NKB、NPB)中的油菜硫甙含量具有显著差异,其大小顺序为 $NKB>PKB>NPB>NPKB$,可见,磷对油菜硫甙影响最大,其次为氮,钾影响最小。在不同施氮量处理(PKB、1/2N+PKB、NPKB、3/2N+PKB、2N+PKB)中,油菜硫甙先是显著降低(从PKB到NPKB),然后保持稳定趋势(NPKB和3/2N+PKB处理的硫甙含量没有显著差异),当施氮量进一步增加(2N+PKB),硫甙含量反而出现了增加趋势,这可能是由于氮的过多施入能够使得油菜中更多的氨基酸与硫衍生成含硫化合物,进而形成硫甙^[13]。因此,适宜的氮肥不仅能节约肥料,降低浪费,还能降低油菜有害物质硫甙的形成。

油菜中的芥酸是指其籽粒中积累的特异长链脂肪酸^[14],一般认为其不利于人体健康。本研究中,不施用任何肥料的处理其芥酸含量显著高于各施肥处理(图2b)。三大营养元素对油菜芥酸含量具有重要影响,氮、磷、钾对芥酸的影响程度与硫甙不同,和平衡施肥(NPKB)相比,各缺素试验处理(PKB、NKB、NPB)中的油菜芥酸含量大小顺序为 $PKB>NKB>>NPB>NPKB$,可见,氮对油菜硫甙影响最大,其次为磷和钾。微量元素硼和锌显著影响油菜芥酸含量,

在平衡施肥(NPK)的前提下,增施硼肥(NPKB)能显著降低油菜芥酸含量,继续施加锌肥(NPKBZn)还使芥酸含量能进一步显著降低。另外,在各氮肥施用量处理(PKB、1/2N+PKB、NPKB、3/2N+PKB、2N+PKB)中,油菜芥酸含量随着氮肥施用量的增加而显著降低(图2b),可见油菜芥酸与土壤的供氮能力显著相关。

2.2.2 不同施肥处理对油菜品质(含油量、油酸、蛋白质)的影响 菜油是菜籽的主要加工产品,油菜80%的价值是通过榨取菜油体现的^[1]。含油量每提高1%,对产油量的贡献相当于油菜产量增加2.3%~2.5%^[15]。已有研究油菜含油量的报道主要集中于遗传育种方面^[16-19]。本研究中,空白处理(CK)油菜含油量最低;与平衡施肥处理(NPKB)相比,缺素处理(PKB、NKB、NPB)表明三大营养元素对油菜含油量没有显著影响。与NPK处理相比,硼肥的施用能显著提高含油量,这和李宝珍等^[20]以及王利红等^[21]的研究结果一致。在NPKB处理的基础上,继续增施锌处理(NPKBZn)并没有显著增加油菜含油量^[21]。另外,PKB、1/2N+PKB、NPKB、3/2N+PKB各处理中,油菜含油量没有显著差异,而2N+PKB处理则显著降低了含油量,表明在姜堰地区只有在高施氮量条件下,氮肥的施入才能降低含油量。这和武杰等^[22]的研究结果有所出入,他们认为施氮会降低油菜含油量,原因可能在于姜堰地区土壤含氮量较低。

油酸是一种单不饱和脂肪酸,由于其具有高营养和保健价值,从而使得油酸含量成为衡量油菜品质的重要指标^[23-24]。从表3数据可看出,不施肥处理油酸含量最低。与NPKB处理相比,处理NPB、NKB、PKB中油酸含量依次显著降低,表明三大营养元素对油酸含量的影响为氮最大,其次为磷,钾影响最小。NPK处理的油酸含量显著高于PKB处理,说明在单一营养元素上,氮的施入比硼更能提高油酸含量,但是NPKB处理的油酸含量显著高于NPK处理,表明在氮、磷、钾平衡施肥的基础上,硼能显著影响油酸含量。而试验NPKBZn处理的油酸含量显著高于其余各处理,微量元素锌对于提高油酸含量具有重要影响。在PKB、1/2N+PKB、NPKB处理中,油酸含量随施氮量的增加而显著增加,而NPKB、3/2N+PKB、2N+PKB处理的油酸含量没有显著差异,表明进一步增施氮肥对油酸含量没显著影响。

油菜籽粒的蛋白质具有较高的营养价值及合理的氨基酸组成^[25],提高油菜籽蛋白质含量对改善油菜品

质, 兼顾对油料和动物饲料的需要均具有重要影响^[1, 26]。本研究中, 从 PKB、NKB、NPB、NPK 处理的结果来看, PKB 处理下的蛋白质含量最低, 其次为 NKB 和 NPB 处理 (NKB 和 NPB 处理下的油菜蛋白质含量没有显著差异), 表明氮肥的施用能显著增加油菜蛋白质含量, 且其增加效果优于磷和钾肥。NPK 处理的蛋白质含量高于 PKB 处理, 而低于 NKB 和 NPB 处理, 说明缺失硼肥对油菜蛋白质含量的影响低于缺失氮肥的影响, 却高于缺失磷和钾肥的影响; 在平衡施肥 (NPK 处理) 的基础上, 硼肥的施入 (NPKB 处理) 能显著增加油菜籽粒蛋白质的含量。与锌肥不能显著增加油菜含油量不同的是, 继续增施锌处理 (NPKBZn) 还能进一步显著增加油菜的蛋白质含量, 其原因可能是施锌能增加 RNA 聚合酶活性, 导致 RNA 聚合加快, 加快蛋白质合成, 进而增加蛋白质含量^[20]。氮肥施用量对油菜蛋白质的影响趋势和油酸一致, 即在 PKB、1/2N+PKB、NPKB 处理中, 蛋白质含量随施氮量的增加而显著增加, 而 NPKB、3/2N+PKB、2N+PKB 处理的蛋白质含量没有显著差异, 表明进一步增施氮肥对蛋白质含量没显著影响。

3 结论

不同施肥处理对产量的影响: 氮、磷、钾中任何一种养分的缺失均能降低油菜产量。油菜产量在施氮量为 18 kg/667m² 时达到最高, 继续提高施氮量反而降低油菜产量, 而硼和锌对姜堰地区的油菜产量没有显著的增产效果。

不同施肥处理对油菜品质的影响: 氮、磷、钾任一养分的缺乏显著影响油菜硫甙、芥酸及油酸含量, 但对油菜含油量没有显著影响, 蛋白质含量在缺磷和缺钾时没有显著差异, 且高于缺氮处理; 在氮磷钾平衡施肥条件下, 施加硼肥能显著降低油菜硫甙和芥酸含量, 显著增加油菜含油量、油酸、蛋白质含量; 继续增施锌肥对油菜含油量没有显著影响, 但能进一步显著降低硫甙和芥酸含量, 并显著提高油菜油酸和蛋白质含量; 油菜硫甙对氮肥施用量具有拐点效应。油菜芥酸含量随着氮肥施用量的增加而显著降低。氮肥施用过高 (2N+PKB) 显著降低含油量。氮肥施用量对油菜蛋白质的影响趋势和油酸一致, 油酸和蛋白质含量在施氮量为 12 kg/667m² 时达到峰值的增加而显著增加, 而进一步增施氮肥则没显著变化。

参考文献:

- [1] 梅德圣, 张垚, 李云昌, 胡琼, 李英德, 徐育松. 油菜油分、蛋白质和硫甙含量相关性分析及 QTL 定位. 植物学报, 2009, 44(5): 536-545
- [2] 郑治洪, 何惠平, 陈雪妮, 侯艳. 油菜品质参数的近红外光谱测试技术. 种子, 2003, 129(3): 57-58
- [3] 甘莉, 孙秀丽, 金良, 王全高, 徐久伟, 魏泽兰, 傅廷栋. NIRS 定量分析油菜种子含油量、蛋白质含量数学模型的创建. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1 609-1 613
- [4] 杨小刚. 氮磷钾肥不同配施量对油菜产量的影响. 贵州农业科学, 2001, 29(2): 27-29
- [5] 杨丽娟, 梁成华, 须辉. 不同用量氮、钾肥对油菜产量及品质的影响. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(2): 109-111
- [6] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 李银水. 氮磷钾硼肥施用对长江流域油菜产量及经济效益的影响. 作物学报, 2009, 35(1): 87-92
- [7] 朱飞翔, 傅志强, 沈建凯, 龙攀, 高云娟, 黄璜, 周安兴. 施用硼肥对油菜产量的影响. 作物研究, 2009, 23(4): 252-253
- [8] 马娟娟, 胡全才, 王景华, 王申贵. 钾锌肥与氮肥配施对油菜产量的影响. 山西农业大学学报, 2000, 18(4): 148-151
- [9] 黄界颖, 马友华. 油菜硫甙特征功能及其测定方法. 植物生理学通讯, 2003, 39(5): 496-500
- [10] Schnug E. Physiological functions and environmental relevance of sulfur-containing secondary metabolites // De Kok LJ, Stulen I, Rennenberg H, Brunold C, Rauser WE. Sulfur Nutrition and Assimilation in Higher Plants: Regulatory, Agricultural and Environmental Aspects. Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing, 1993: 179-190
- [11] Nuttal WF, Ukrainetz H, Stewart JWB, Spurr DT. The effect of nitrogen, sulphur and boron on yield and quality of rapeseed (*Brossica napus* L. and *Brassica campestris* L.). Can. J. Soil Sci., 1987, 67: 545-559
- [12] 王庆仁, 林葆, 李继云. 含硫、硒化合物在油菜中的积累及其对硫甙水平的影响. 生态学报, 1999, 19(4): 546-550
- [13] Mithen R. Leaf glucosinolates profiles and their relationship to pest and disease resistance in oilseed rape. Euphytica, 1992, 63: 71-83
- [14] 徐爱遐, 黄镇, 马朝芝, 肖恩时, 张修森, 涂金星, 傅廷栋. 芥菜型油菜 FAE1 基因序列特征及其与芥酸含量关系的初步分析. 作物学报, 2010, 36(5): 794-800
- [15] 王汉中. 中国油菜品种改良的中长期发展战略. 中国油料作物学报, 2004, 26: 98-101
- [16] 韩继祥. 甘蓝型油菜含油量的遗传研究. 中国油料, 1990(2): 1-6
- [17] Pal R, Kumar P. Estimates of gene effects of oil content under normal and late sowing in mustard (*Brassica juncea*) Indian. J. Agron. Sci., 1991, 61: 918-921

[1] 梅德圣, 张垚, 李云昌, 胡琼, 李英德, 徐育松. 油菜油分、蛋

- [18] Shen JX, Fu TD, Yang GS, Tu JX, Ma CZ. Genetic analysis of rapeseed self-incompatibility lines reveals significant heterosis of different patterns for yield and oil content trait. *Plant Breed*, 2005, 124: 111–116
- [19] Wu JG, Shi CH, Zhang HZ. Partitioning genetic effects due to embryo, cytoplasm and maternal parent for oil content in oilseed rape (*Brassica napus* L). *Genet. Mol. Biol.*, 2006, 29: 533–538
- [20] 李宝珍, 王正银, 李加纳, 武杰, 谌利. 氮磷钾硼对甘蓝型黄子油菜产量和品质的影响. *土壤学报*, 2005, 42(3): 479–487
- [21] 王利红, 徐芳森, 王运华. 硼钼锌配合对甘蓝型油菜产量和品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(2): 318–323
- [22] 武杰, 李宝珍, 谌利, 唐章林, 王正银, 李加纳. 不同施肥水平对甘蓝型黄子油菜含油量的效应研究. *中国油料作物学报*, 2004, 26(4): 59–62
- [23] 肖钢, 张宏军, 彭琪, 官春云. 甘蓝型油菜油酸脱氢酶基因 (fad2) 多个拷贝的发现及分析. *作物学报*, 2008, 34(9): 1 563–1 568
- [24] 官梅, 李梅, 官春云. 利用基因芯片技术研究甘蓝型油菜油酸合成中差异表达基因. *作物学报*, 2010, 36(6): 968–978
- [25] 王丰, 邱厥. 甘蓝型油菜蛋白质含量的遗传及与其他几个性状相关的研究. *中国农业科学*, 1990, 23 (6): 42–47
- [26] 朱明, 谢奇珍, 吴谋成, 师建芳, 刘清, 刘进. 油菜饼粕浓缩饲用蛋白的产业化实现及其经济效益分析. *农业工程学报*, 2008, 24(2): 309–312

Effects of Different Fertilizer Treatments on Yield and Quality of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

ZHANG Hui^{1,2}, ZHU De-jin³, HUANG Hui³, NING Yun-wang^{1,2}, ZHANG Yong-chun^{1,2}

(1 Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2 Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Jiangsu), Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China;

3 Jiangyan Agriculture Bureau, Jiangyan, Jiangsu 225500, China)

Abstract: In this study, a field experiment was conducted in Jiangyan of Jiangsu Province to study the effects of different fertilizer treatments on yield and seed quality of rape (*Brassica napus* L.). Ten fertilizer treatments were designed, i.e: Control (no fertilizer, CK), Nitrogen Deficiency Treatment (PKB), Phosphorus Deficiency Treatment (NKB), Potassium Deficiency Treatment (NPB), Macro-nutrients Balanced Fertilizer Treatment (NPK), Micro-nutrients Adding Treatments (NPKB and NPKBZn), Different Nitrogen Fertilizer Application Treatments (1/2N+PKB, 3/2N+PKB, 2N+PKB). The results were showed as follows: 1) Deletion of any kind of nutrient for N, P and K could decrease yield, and grain yield reached the maximum when N fertilizer application rate was 18 kg/667m². B and Zn had no significant effect on rapeseed yield. 2) In the three nutrient deficiency treatments (PKB, NKB, NPB), glucosinolate content was in the order of NKB>PKB>NPB, erucic acid content in order of PKB>NKB> NPB, oil content presented no significant difference within the three treatments, protein content had no significant difference between NKB and NPB, but higher than PKB. 3) B fertilizer application, under NPK balanced fertilization conditions, could significantly reduce the contents of glucosinolate and erucic acid, and significantly increase the contents of oil, oleic acid and protein. Based on the application of NPKB, adding Zn fertilizer could significantly further reduce the contents of glucosinolate and erucic acid, and significantly increase the contents of oleic acid and protein, although it had no significant effect on oil content. 4) There was an inflection point of glucosinolate content under different N application rate treatments. Erucic acid content significantly decreased with the increasing N fertilizer application rate. Oil content significantly decreased when N fertilizer application was high (2N+PKB). The responses of the contents of oleic acid and protein to different N fertilizer application rates were same, which increased significantly with the increasing of N fertilizer application rates less than 12 kg/667 m², and then kept stable when N fertilizer application rate continued to increase.

Key words: Rapeseed, Fertilizer, Yield, Quality