

不同氮效率油菜品种产量和品质 对供氮水平的反应

陈历儒^{1,2}, 宋海星^{1*}, 谌亚忠², 张振华¹, 刘强¹, 荣湘民¹, 官春云³, 李安乡²

(1 湖南农业大学资源环境学院, 农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室, 植物营养湖南省普通高等学校重点实验室, 湖南长沙 410128; 2 岳阳市农产品质量检验检测中心, 湖南岳阳 414000; 3 国家油料改良中心湖南分中心, 湖南长沙 410128)

摘要: 为探明不同氮效率油菜产量和品质对供氮水平的反应动态, 揭示油菜氮效率与品质的关系, 本文采用砂培试验, 研究了两种氮效率油菜品种在 0.6、3、6、12、15 mmol/L 5 种不同氮水平下 (用 $N_1 \sim N_5$ 表示) 的氮效率、子粒产量和品质的变化。结果表明, 随着供氮水平的提高, 油菜子粒产量、油分产量和蛋白质含量增加, 氮效率和油分含量下降; 而子粒脂肪酸组成变化较小, 所测定的 7 种脂肪酸中, 芥酸和花生烯酸含量随着氮水平的增加略有下降, 棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸含量则没有明显的变化; 与氮低效品种相比, 氮高效品种的子粒产量、芥酸和花生烯酸含量随供氮水平的变化幅度更大, 油分含量下降幅度更小。所有氮水平下, 氮高效品种的子粒产量、油分含量和油分产量均高于氮低效品种, 亚油酸含量略高于而亚麻酸含量略低于氮低效品种, 子粒蛋白质、棕榈酸、硬脂酸、油酸含量两品种没有差异。总之, 提高氮水平有利于增加油分产量, 氮高效品种的增加幅度大于氮低效品种, 但对脂肪酸组成的影响较小。因此, 氮高效品种不会因高效吸收利用氮素而降低油分含量或使油菜品质变劣。

关键词: 油菜; 氮效率; 产量; 品质; 供氮水平

中图分类号: S565.4.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)06-1424-06

Responses of yield and quality to nitrogen fertilization for oilseed rape cultivars with different nitrogen efficiencies

CHEN Li-ru^{1,2}, SONG Hai-xing^{1*}, SHEN Ya-zhong², ZHANG Zhen-hua¹, LIU Qiang¹, RONG Xiang-min¹,
GUAN Chun-yun³, LI An-xiang²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Agricultural University/Hunan Provincial Key Laboratory of Farmland Pollution Control and Agricultural Resources Use/Hunan Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition in Common University, Changsha 410128, China;

2 Yueyang Quality Inspection of Agricultural Products Monitoring Center, Hunan, Yueyang 414000, China;

3 National Center of Oilseed Crops Improvement, Hunan Branch, Changsha 410128, China)

Abstract: To investigate responses of seed yield and quality of oilseed rape to nitrogen (N) application levels, and inspect relationship between N use efficiency and seed quality, the sand culture was conducted to study on changes of N efficiencies, seed yields and qualities of two oilseed rape cultivars with different N efficiencies under five N application levels, 0.6, 3, 6, 12 and 15 mmol/L (expressed with $N_1 \sim N_5$ respectively). The results show that the seed yields, oil yields and protein contents are increased with the increasing of N application levels, while the N efficiencies and oil contents are decreased. The changes of fatty acids in seeds are small, the contents of erucic acid and arachidonic acid are slightly decreased with the increasing of the N application levels, and the contents of

收稿日期: 2010-11-04 接受日期: 2011-07-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071851, 30971860, 31101596); 湖南省高校创新平台开放基金项目(09K049); 国家油菜产业技术体系建设项目(nyctx-00509); 湖南省重大专项(2009FJ1006-1, 3)资助。

作者简介: 陈历儒(1984—), 男, 湖南娄底人, 硕士, 农艺师, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: chenliru1984@yahoo.com.cn

* 通讯作者 E-mail: haixingsong@yahoo.com.cn

palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid and linolenic acid are not obviously changed. Compared with the low N efficiency cultivar, the changes of seed yield, contents of erucic acid and arachidonic acid of the high N efficiency cultivar are bigger with the increasing of the N application levels, while the changes of oil content are smaller. The seed yield, oil content and oil yield of the high N efficiency cultivar are higher than those of the low N efficiency cultivar under the 5 N application levels. The linoleic acid content of the high N efficiency cultivar is higher than that of the low N efficiency cultivar, while the linolenic acid content of the high N efficiency cultivar is lower than that of the low N efficiency cultivar. There are no significant differences of seed protein, palmitic acid, stearic acid and oleic acid contents between the two cultivars. It can be concluded that increasing N application level is advantage for increasing oil yield, especially for the high N efficiency cultivar, but composition of fatty acids is less influenced. Therefore, the oil content and seed quality of the high N efficiency cultivar are not be decreased by high N absorption and use efficiency.

Key words: oilseed rape; nitrogen efficiency; yield; quality; N application level

按单位重量子粒产品来计算,油菜是需氮量较大的作物^[1],氮肥的施用对油菜的生长发育及其产量品质产生重大影响^[1-3]。基于节约资源、改善环境及提高农作物抗性的需求,筛选和培育氮高效油菜品种,在减少氮肥用量的前提下保持或提高油菜产量已成为国内外重要研究领域^[4-6]。但是,因为作物氮效率是以产量为依据进行评价的^[7],所以在油菜氮效率研究过程中很少问津品质的变化情况。油分、蛋白质和脂肪酸组成是油菜最重要的品质因素。供氮水平对油菜品质的影响研究表明,较好的氮素营养条件有利于提高蛋白质含量,但同时会降低油分含量^[8-10],那么氮高效品种是否因高效吸收利用氮素而降低其油分含量,不同供氮水平下氮效率的变化是否会导致其品质的变化目前还未见报道。本试验以不同氮效率冬油菜品种为研究材料,探讨不同供氮水平下油菜氮效率、子粒产量、蛋白质和油分含量及脂肪酸组成的变化情况,揭示油菜氮效率与子粒品质的关系,为油菜生产中合理施用氮肥、缓解蛋白质与油分含量之间的矛盾和改善子粒品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设置

试验在湖南农业大学农业资源与环境试验基地玻璃顶网室内进行,油菜全生育期均采用自然光照、温度和湿度等条件。供试油菜品种为经过大田试验筛选的氮效率差异较大的2个冬油菜品种X-13和X-29,前者为相对氮高效品种,后者为相对氮低效品种。供试品种不同氮效率的依据是按照Moll^[7]的定义,氮效率指单位介质供氮量(包括土壤有效氮和肥料氮量)所能获得的子粒产量,由于大田试

验中土壤供氮量较难计算,统一供氮水平时(相同生育期)的作物产量表征为氮效率^[6],即在大田试验中X-13的子粒产量显著高于X-29。

选用30 cm×30 cm棕色塑料钵进行砂培试验,设5个供氮水平,采用完全方案,共10个处理,重复5次。5个供氮水平的氮素浓度分别为0.6、3、6、12、15 mmol/L,依次用N₁、N₂、N₃、N₄、N₅表示。生长基质为无营养成分(用水和稀盐酸清洗干净)的珍珠岩砂粒。N₅处理用Hoagland^[11]完全营养液,营养液成分为:KNO₃ 5 mmol/L; KH₂PO₄ 1 mmol/L; MgSO₄ 7 mmol/L; Ca(NO₃)₂·4H₂O 5 mmol/L; Fe-EDTA 3 mmol/L; B 0.5 mg/L; Mn 0.5 mg/L; Zn 0.05 mg/L; Cu 0.02 mg/L; Mo 0.01 mg/L。N₁、N₂、N₃、N₄处理,在上述营养液基础上只对氮素浓度进行调整,即N₁、N₂、N₃、N₄处理的KNO₃和Ca(NO₃)₂·4H₂O用量分别为0.2 mmol/L、1 mmol/L、2 mmol/L和4 mmol/L。采用育苗移栽方法,2007年9月30日大田育苗,一个月以后移栽,每钵1株,随机区组排列,按苗期50 mL/d、抽薹期120 mL/d、开花期140 mL/d、角果发育期100 mL/d的剂量浇营养液,每隔3~5天浇一次,不更换营养液。2008年5月2日收获。

1.2 测定项目与方法

收获后,取油菜子粒烘干称重,用于测定蛋白质含量、油分含量及脂肪酸组成。

蛋白质含量用凯氏定氮法测全氮,乘以系数6.25而得^[12];油分含量用SZF-06A脂肪测定仪抽提油分,差减法计算^[13];脂肪酸组成用1:1乙醚石油醚混合液浸提后,用气相色谱仪测定脂肪酸相对含量^[13]。

1.3 数据处理与计算

氮效率计算参照 Moll^[7] 的方法: 氮效率 = 子粒产量/氮素供应量。氮素供应量根据全生育期供应的营养液体积与氮素浓度进行计算。

油分产量 = 子粒产量 × 油分含量

所有数据用 Excel 2003 进行计算, 用 SPSS 统计软件进行显著性检验, 2 个品种之间的差异用 T-检验, 不同氮水平之间的差异在方差分析差异显著的基础上, 用 SSR 法进行多重比较。

2 试验结果

2.1 油菜子粒产量对氮水平的反应

由图 1 可以看出, 2 个油菜品种的子粒产量均随供氮水平的增加而增加, 其中, 氮高效品种 X-13 的子粒产量增加幅度大于氮低效品种 X-29, 前者在 5 个不同氮水平之间的差异均达到了显著水平, 且除 N₃ 和 N₄、N₄ 和 N₅ 水平之间差异之外, 其他氮水平之间差异均达到了极显著水平, 而后者在 N₄ 和 N₅ 水平之间差异未达到显著水平。显然, 品种 X-13 对供氮水平的增加有更好的响应。在所有供氮水平下氮高效品种 X-13 的子粒产量均高于 X-29, 且均达到了显著水平, 从低到高 5 个供氮水平下, 品种 X-13 的子粒产量分别比 X-29 高出 17.5%、31.1%、25.7%、20.1% 和 38.1%。

2.2 油菜氮效率对氮水平的反应

表 1 显示, 提高供氮水平 2 个油菜品种的氮效率均有所下降, 其中, 氮水平由 N₁ 增加到 N₂ 时, 下降幅度最大, X-13 和 X-29 分别为 65.8% 和 69.3%, 氮水平由 N₄ 增加到 N₅ 时下降幅度最小, X-13 和 X-29 分别为 3.9% 和 16.4%。试验还表明, 在所有供氮水平下, X-13 的氮效率均高于 X-29, 即 2 个品种氮效率排序并未因供氮水平而发生变化。供氮水平提高时氮效率下降是作物生产中的普遍现象, 主要是因为随着供氮水平的提高

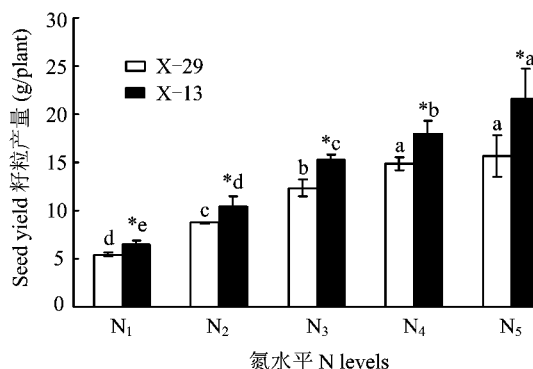


图 1 不同氮水平下不同油菜品种的子粒产量

Fig. 1 Seed yields of different oilseed rape cultivars under different N application levels

[注 (Note): 柱上不同字母表示氮水平间差异达 5% 显著水平 Different letters mean differences in the five N treatments are significant at the 5% level; * 表示两个品种间差异 (T-检验) 达 5% 显著水平 Stars denote differences between the two cultivars are significant according to the T-test ($P < 0.05$).]

边际产量下降。

2.3 油菜品质对氮水平的反应

2.3.1 蛋白质 子粒蛋白质含量的测定结果 (图 2) 表明, 在 N₂ 到 N₅ 水平范围内, 随着氮水平的增加而增加, 但 N₁ 水平的子粒蛋白质含量反而高于 N₂ 水平, 这可能是在严重缺氮条件下干物质累积减少所造成的浓缩效应。方差分析表明, 2 个品种均为 N₄ 与 N₅ 水平显著高于 N₁、N₂ 与 N₃ 水平, X-29 的 N₂ 水平还显著低于其余 4 个氮水平。从品种间的蛋白质含量差异来看, N₁ 水平下 X-29 显著高于 X-13, 其余氮水平下 2 个品种均没有显著差异, 可见, 氮高效品种在蛋白质含量方面并不具有优势。氮素是构成蛋白质的主要成分, 其供应水平的提高有利于促进蛋白质合成, 但供氮水平提高, 还可促进植株生长、提高干物质累积, 子粒蛋白质含量变化是上述两种效果的综合反应。氮高效品种虽然具有更强的氮素吸收累积能力, 但其干物质累积能力强, 因此, 氮

表 1 不同氮水平下不同油菜品种的氮效率 (g/g)

Table 1 N efficiencies of different oilseed rape cultivars under different N application levels

品种 Cultivar	氮水平 N level				
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅
X-13	68.51 a *	23.43 b *	16.31 c *	9.5 d	9.13 d *
X-29	58.26 a	17.87 b	12.98 c	7.91 d	6.61 d

注 (Note): 同行数字后不同字母表示不同氮水平间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same line are significant at the 5% level; * 表示两个品种间差异 (T-检验) 达 5% 显著水平 Stars within a column denote differences between the two cultivars are significant according to the T-test ($P < 0.05$).

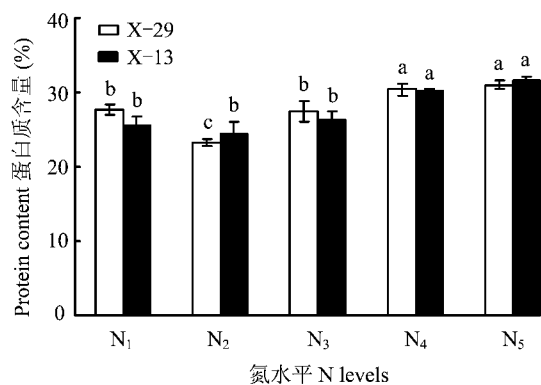


图2 不同氮水平下不同油菜品种的子粒蛋白质含量
Fig.2 Seed protein contents of different oilseed rape cultivars under different N application levels

[注(Note): 柱上不同字母表示氮水平间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean differences in the five N treatments are significant at the 5% level.]

高效品种的子粒蛋白质含量并没有高于氮低效品种。

2.3.2 脂肪酸组成 脂肪酸组成的测定结果(表2)表明,氮素水平的高低对油菜脂肪酸组成的影响较小。所测定的7种脂肪酸中,芥酸和花生烯酸含量随着氮水平的增加呈降低趋势,不同氮水平间的差异达到了显著水平,其余脂肪酸的变化很小,均未达到显著水平。从2个品种之间各脂肪酸组成及其对供氮水平的反应差异来看X-13的芥酸与花生烯酸含量随氮水平的变化较X-29明显,前者芥酸含量N₅水平比N₁水平降低了60.7%,后者则降低了32.4%,相应花生烯酸含量X-13降低了31.8%,X-29降低了27.4%,说明X-13的芥酸和花生烯酸含量受氮素供应水平的影响较之X-29大,这可能是提高供氮水平时,氮高效品种的子粒重量增幅

表2 不同氮水平下不同油菜品种的子粒脂肪酸组成(%)

Table 2 Fatty acid contents in seeds of different oilseed rape cultivars under different N application levels

品种	氮水平	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	花生烯酸	芥酸
Cultivar	N level	Hexadecanoic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid	Arachidonic acid	Erucic acid
X-13	N ₁	4.24 a	1.42 a	61.30 a	19.33 a	8.92 a	2.11 a	1.12 a
	N ₂	4.32 a	1.53 a	59.84 a	20.26 a	8.50 a	2.16 a	1.03 a
	N ₃	4.22 a	1.49 a	60.93 a	19.80 a	8.52 a	1.65 ab	0.84 ab
	N ₄	4.31 a	1.40 a	62.31 a	20.54 a	8.02 a	1.43 b	0.39 b
	N ₅	4.06 a	1.37 a	62.57 a	19.79 a	8.50 a	1.44 b	0.44 b
X-29	N ₁	4.20 a	1.40 a	63.12 a	17.65 a	9.09 a	1.86 a	1.08 a
	N ₂	4.05 a	1.46 a	61.56 a	17.10 a	8.91 a	1.91 a	1.60 a
	N ₃	4.12 a	1.36 a	63.52 a	17.94 a	8.77 a	1.40 b	0.79 b
	N ₄	4.22 a	1.38 a	62.37 a	18.29 a	8.83 a	1.49 ab	0.90 ab
	N ₅	4.17 a	1.37 a	61.14 a	18.39 a	8.97 a	1.35 b	0.73 b

注(Note): 同列数字后不同字母表示氮水平间差异达到了 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column are significant at the 5% level.

大于氮低效品种所致。另外,在所有供氮水平下,X-13的亚油酸含量略高于X-29、亚麻酸含量略低于X-29。

2.3.3 油分含量与油分产量 由图3可以看出,随着供氮水平的提高子粒油分含量呈降低趋势,与N₅水平相比,N₁水平的油分含量X-13和X-29分别高出了16.1%和19.4%。这是供氮水平增加时蛋白质累积量增多而消耗更多碳水化合物的结果,是油分与蛋白质含量之间矛盾的体现。

以上现象在氮水平较高时更加明显,如,X-13

在N₁~N₃水平下油分含量变化较小,高于N₃水平后下降较快,X-29在N₁~N₂水平时变化较小,高于N₂水平后下降较快。试验结果还表明,在所有氮水平下氮高效品种X-13的油分含量均高于氮低效品种X-29,且在N₃、N₄、N₅水平下差异达到了显著水平(T-检验)。这是因为氮高效品种的干物质累积能力强于氮低效品种,有助于缓解油分与蛋白质合成对碳水化合物的竞争,而这种缓解能力在氮胁迫较严重时(N₁和N₂)得不到充分发挥。

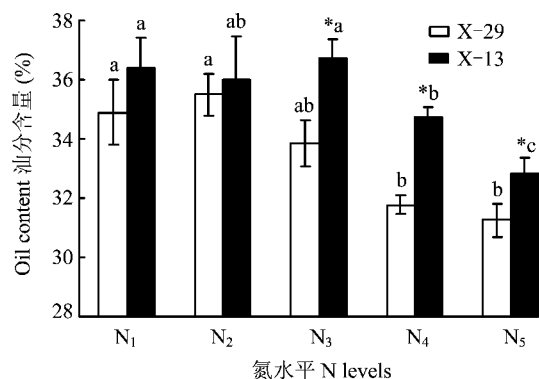


图3 不同氮素水平下不同油菜品种的子粒油分含量

Fig. 3 Seed oil contents of different oilseed rape cultivars under different N application levels

[注 (Note): 不同字母表示氮水平间差异达 5% 显著水平 Different letters mean differences in the five N treatments are significant at the 5% level; * 表示两个品种间差异 (T-检验) 达 5% 显著水平 Stars denote differences between the two cultivars are significant according to the T-test ($P < 0.05$).]

表3 不同氮水平下不同油菜品种的油分产量 (g/plant)

Table 3 Oil yields of different oilseed rape cultivars under different N application levels

品种 Cultivar	氮水平 N level				
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅
X-13	2.31 d	4.01 c	5.69 b*	6.26 ab*	7.12 a*
X-29	1.79 c	3.01 b	4.17 a	4.77 a	4.90 a

注 (Note): 同行数字后不同字母表示不同氮水平间差异达到了 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same row are significant at the 5% level; * 表示两个品种间差异 (T-检验) 达 5% 显著水平 Stars within a column denote differences between the two cultivars are significant according to the T-test ($P < 0.05$).

品种 X-13 的子粒油分含量高于氮低效品种 X-29, 而子粒蛋白质含量的品种间差异相对较小, 以上情况在供试 5 个供氮水平下表现一致。从不同氮效率品种的脂肪酸组成来看, 只有部分种类脂肪酸略有差异, 如氮高效品种的亚油酸含量和花生烯酸含量略高于氮低效品种, 亚麻酸含量略低于氮低效品种。显然, 氮高效油菜品种的选育不会降低子粒油分含量或对脂肪酸组成有大的改变。

蛋白质含量、油分含量及脂肪酸组成均为油菜子粒的重要品质指标。迄今为止, 供氮水平对油菜蛋白质和油分含量方面的研究结果基本没有分歧, 即随着供氮水平的提高蛋白质含量增加、油分含量下降^[12-13]。本试验也得出类似的结果, 无论氮高效品种还是氮低效品种均表现出随着氮水平的提高, 蛋白质含量增加、油分含量下降。即供氮水平的提高有利于蛋白质累积而不利油分累积。氮高效品种的高效吸收利用氮素可改善植株体内的氮素营养

油菜作为油料作物油分是其主要的目标产品, 因此我们在测定油分含量和子粒产量的基础上计算了油分产量。结果表明 (表 3), 随着供氮水平的提高, 虽然油分含量减少, 但油分产量却增加, 这是高供氮水平下获得更高子粒产量的结果。比较 2 个品种间油分产量的差异, 在所有供氮水平下氮高效品种 X-13 均高于氮低效品种 X-29, 由低到高的 5 个不同氮水平下, 分别高出 29.1%、33.2%、36.5%、31.2% 和 45.3%。可见, 适宜的供氮水平有利于氮高效品种发挥更明显的优势。

3 讨论

氮效率指生长介质中单位有效氮所能生产的子粒产量或生物学产量, 即氮效率计算是基于产量而不是基于品质。因此, 作物氮效率研究过程中很少问津其品质情况。本试验以不同氮效率油菜品种为研究材料, 对此进行了初步探讨。结果表明, 氮高效

状况, 这会不会产生与供氮水平增加相应的蛋白质含量提高、油分含量降低的效果呢? 这一问题迄今还没有直接的试验证据。本试验表明, 提高供氮水平虽然两种氮效率油菜品种的子粒油分含量均有降低, 但氮高效品种的油分含量降低幅度并不比氮低效品种大, 且氮高效品种的子粒油分含量从 N₄ 水平才开始显著下降, 而氮低效品种则从 N₃ 水平就开始显著下降。说明氮高效品种没有因高效吸收利用氮素而降低其油分含量, 这主要是因为氮素的高效吸收利用, 促进了油菜生长和干物质的合成和累积, 从而缓解了油分与蛋白质合成对碳水化合物化合物的竞争。虽然供氮水平对脂肪酸组成的影响研究结果不尽相同, 但供氮水平对脂肪酸组成的影响一般小于对蛋白质和油分含量的影响^[2, 12-13]。本试验所测定的 7 种脂肪酸中只有芥酸和花生烯酸含量与供氮水平呈负相关, 其他脂肪酸对供氮水平的反应很小或没有一致规律。以上结果再次证明了油菜脂肪酸组成主

要取决于遗传因素受氮水平的影响较小^[14-15],也提示我们氮高效育种或栽培措施不会对油菜脂肪酸组成产生大的影响。

总之,提高供氮水平和氮高效品种的推广应用均可获得提高油菜子粒产量的效果,但是二者对产量和品质关系的影响方面存在根本上的区别,即因供氮水平提高引起的子粒产量增加伴随着子粒油分含量下降,而氮高效品种因高效吸收利用氮素引起的子粒产量增加则伴随着子粒油分含量提高。因此,在所有氮水平下氮高效品种的油分产量优势均比较明显。当然,以上结果仅限于本试验的供试品种,氮效率与子粒品质之间是否存在内在联系还有待于用更多品种进行广泛研究,但能肯定氮高效育种可以做到不降低油菜品质。

5 结论

1) 供试两个油菜品种的子粒产量、氮效率、子粒油分含量及油分产量差异较大,在供试 5 个氮水平下均表现为氮高效品种高于氮低效品种,而子粒蛋白质含量和脂肪酸组成差异较小。

2) 随着供氮水平的提高,子粒产量、油分产量及子粒蛋白质含量也增加,子粒油分含量下降,而子粒脂肪酸组成受氮水平的影响较小,只有芥酸和花生烯酸含量随供氮水平增加而略有下降。

3) 因供氮水平提高引起的子粒产量增加伴随着子粒油分含量下降,但是氮高效品种因高效吸收利用氮素引起的子粒产量增加则伴随着子粒油分含量提高,说明氮高效品种不会因为高效吸收利用氮素而降低子粒品质。

参考文献:

- [1] 刘后利. 食用油菜栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987. 235-251.
- Liu H L. Practical cultivation of rape seed [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technology Press, 1987. 235-251.
- [2] 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.
- Sun H, Zhang J D, Chen P F *et al.* Effect of different nitrogen levels on seed yield and quality of double-low rape Suyou No. 4 [J]. Acta Agric. Jiangxi, 2010, 22(1): 27-29.
- [3] 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.
- Zou J, Lu J W, Chen F *et al.* Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, and boron fertilizers on yield and profit of rape seed (*Brassica napus* L.) in the Yangtze River Basin [J]. Acta Agron. Sin., 2009, 35(1): 87-92.
- [4] 刘强, 宋海星, 荣湘民, 等. 不同品种油菜子粒产量及氮效率差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 898-903.
- Liu Q, Song H X, Rong X M *et al.* Studies on oilseed yield and nitrogen efficiency in different cultivars of oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(4): 898-903.
- [5] 曹兰芹, 伍晓明, 李亚军, 等. 油菜氮素吸收效率的基因型差异及其与农艺性状的关系[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 270-278.
- Cao L Q, Wu X M, Li Y J *et al.* Relationship between genotypic differences of rapeseed (*Brassica napus* L.) nitrogen uptake efficiency and economic characteristics [J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2010, 32(2): 270-278.
- [6] Zhang Z H, Song H X, Liu Q *et al.* Studies on differences of nitrogen efficiency and root characteristics of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars in relation to nitrogen fertilization [J]. J. Plant Nutr., 2010, 33: 1448-1459.
- [7] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribution efficiency of nitrogen utilization [J]. Agron. J., 1982, 74: 562-568.
- [8] 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. 8(Special Issue III), 2010, 671-686.
- [9] 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.
- Zhao J X, Cheng G P, Ren T B *et al.* Effect of different nitrogen rates on yield and quality parameters of high grade yellow seed hybrid rape [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(5): 882-889.
- [10] 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.
- Li Z Y, Guo Q Y, Liao X *et al.* Effects of different amount of nitrogen on yield, quality and economics of Zhongshuang No. 9 [J]. Chin. J. oil crop sci., 2007, 29(2): 78-82.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000. 86-88.
- Gao J F. Experimental technique of plant physiology [M]. Xi'an: World Publishing Company, 2000. 86-88.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005. 285-287.
- Bao S D. Soil and agricultural chemical analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005. 285-287.
- [13] 官春云. 油菜品质改良和分析方法[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985. 197-216.
- Guan C Y. Rapeseed quality improvement and analysis methods [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1985. 197-198.
- [14] Osborne G J, Batten G D. Yield, oil and protein content of oilseed rape as affected by soil and fertilizer nitrogen and phosphorus [J]. Austr. J. Exp. Agri. Animal Hush., 1978, 18(90): 107-111.
- [15] Ahmad A, Abidin 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]. J. Agron. Crop Sci., 2000, 185(1): 49-54.