

不同氮肥用量对春油菜产量及养分吸收分配的影响

尚花¹,李月梅^{2,3}

(1.青海大学农牧学院,青海 西宁 810016;2.青海大学农林科学院,青海 西宁 810016;
3.农业部西宁农业环境科学观测实验站,青海 西宁 810016)

摘 要:在青海省春油菜主产区开展田间小区试验,采用随机区组设计,每公顷分别施用纯氮 0、75、150、225 kg,研究氮肥水平对甘蓝型春油菜新品种青杂 12 号的产量、养分吸收量、不同部位分配比例和氮素利用效率的影响。结果表明,在施用磷肥、钾肥和硼肥的基础上,增施氮肥 75~225 kg·hm⁻²可显著增加春油菜地上各部位产量,其中籽粒平均增产量为 1 274 kg·hm⁻²,平均增产率为 77%,地上部分生物量平均增加 3 116 kg·hm⁻²,平均增产率为 79%。增施氮肥可显著提高地上部氮素累积量($P<0.05$),平均增加 69%;在施氮水平为 150~225 kg·hm⁻²时,施氮可以显著促进春油菜磷、钾素的累积,累积量平均增加 69%和 239%。青杂 12 号成熟期氮素、磷素和钾素吸收分配均表现为:籽粒>茎秆>角壳,分配比例平均为 74.7%、19.5%和 5.8%。随着施氮量的增加青杂 12 号的氮肥偏生产力显著降低,从 28.2 kg·kg⁻¹下降到 15.3 kg·kg⁻¹,增施氮肥后氮肥农学效率、表观利用率、生理利用率、地力贡献率平均值分别为 8.2 kg·kg⁻¹ N、32.8%、25.6 kg·kg⁻¹ N 和 59.1%。根据产投比结果分析,本试验条件下青海省春油菜推荐氮肥用量为 150 kg·hm⁻²。

关键词:春油菜;氮肥;产量;养分累积;氮肥利用效率

中图分类号:S565.4;S147.22 **文献标志码:**A

Effects of different nitrogen application rates on yield and nutrient uptake and distribution of spring rapeseed

SHANG Hua¹, LI Yue mei^{2,3}

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;
2. Academy of Agricultural and Forestry Science, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;
3. Xining Agricultural Environmental Science Observation Experiment Stations, Ministry of Agriculture, Xining, Qinghai 810016, China)

Abstract: A field plot experiment was carried out in the main production area of spring rapeseed in Qinghai Province. By using a randomized block experiment design and applying 0, 75, 150, and 225 kg of pure nitrogen per hectare, respectively, the effect of the yield, nutrient uptake, distribution in different parts and nitrogen use efficiency of Qingza No.12, a new spring rapeseed variety, was observed. The results showed that on the basis of applying phosphorus, potassium and boron fertilizers, the application of nitrogen fertilizer 75~225 kg·hm⁻² significantly increased the yield of all parts of spring rapeseed, the average grain yield increased 1 274 kg·hm⁻² and the average yield increased by 77%. The aboveground biomass increased by an average of 3 116 kg·hm⁻², and the average yield increased by 79%. Nitrogen application significantly increased the aboveground nitrogen accumulation ($P<0.05$), with an average increase of 69%. When the nitrogen application rate was between 150~225 kg·hm⁻², nitrogen application significantly promoted the accumulation of phosphorus and potassium in spring rapeseed, an average increase of 69% and 239%, respectively. At the maturity stage of Qingza No.12, the absorption and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium were as follows: seed > straw > pod, and the distribution ratio was

74.7%, 19.5%, and 5.8%, respectively. With the increase of nitrogen application rate, the nitrogen partial productivity of Qingza No.12 decreased significantly from 28.2 kg · kg⁻¹ to 15.3 kg · kg⁻¹. The agronomic efficiency, apparent utilization rate, physiological utilization rate, and soil contribution rate of nitrogen fertilizer increased after nitrogen application with average values of 8.2 kg · kg⁻¹ N, 32.8%, 25.6 kg · kg⁻¹ N, and 59.1%, respectively. According to the analysis of the ratio of production and investment, the spring rapeseed in Qinghai Province recommended the amount of nitrogen fertilizer to be at 150 kg · hm⁻².

Keywords: spring rapeseed; nitrogen fertilizer; yield; nutrient accumulation; nitrogen utilization efficiency

青海省是我国春油菜的主产区之一,具有海拔较高,气温较低,太阳辐射强,日照时数长,空气湿度小,昼夜温差大等特点^[1]。青海省春油菜种植面积已达 16.98 万 hm²,居全省作物种植面积的第一位^[2]。康建奎等^[3]研究表明甘蓝型春油菜含油量比白菜型油菜主栽品种高 3% 以上,籽粒产量比白菜型油菜主栽品种增产 25%~40%,说明青海省杂交油菜品种比白菜型品种具有优势。近年来由青海省农林科学院春油菜研究所新育成的甘蓝型晚熟品种青杂 12 号,其适宜生长的区域在青海省海拔 1 800~2 500 m,热量条件较好、具有灌溉条件的川水农业生态类型区。青杂 12 号目前在田间种植较为广泛,但对其养分吸收特性和施肥效应的研究报道较少,在施肥上存在一定的盲目性。宋佳等^[4]的调查表明,青海省川水农业生态类型区氮肥使用量偏高,加之“大水大肥”的生产方式,因而具有较大的化肥减施空间。

氮肥是影响油菜产量的主要因子,适当增施氮肥,可以明显提高油菜植株高度、分枝数、角果数和生物学产量^[5-6];氮肥用量过高会对氮素产生过度吸收,过低会制约油菜高产潜力;过量氮素会产生呼吸消耗、加剧油菜病虫害危害和倒伏的现象^[7],从而降低氮肥利用率,并且对环境产生不利的影响^[8-9]。邹娟等^[10]利用大田试验研究得出施氮提高油菜地上部生物量及氮、磷、钾养分吸收量。秦亚平等^[11]研究表明干物质积累随施氮量的增加而增加。曾军等^[12]研究发现入冬前施用氮肥可明显改善油菜的生理生化指标,利于其安全越冬。大量研究^[11,13-16]表明施氮可以显著提高油菜产量,主要是由于氮肥有效促进了油菜成熟期分枝数和单株有效角果数的增加,并对地上部生物量有一定的改善^[17-19]。甘蓝型春油菜氮肥利用规律与冬油菜是否一致,需要进一步研究。为此,本试验在青海省河湟温暖灌区的春油菜产区通过开展春油菜新品种氮肥用量田间小区试验,探讨不同氮肥用量对晚熟春油菜新品种青杂 12 号产量及养分利用效率的影响,掌握其养分吸收和累积规律,以期同类地

区油菜生产、化肥减施增效和养分管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在青海省农林科学院土壤肥料研究所试验地,位于西宁市北郊二十里铺镇,101°49'2"E, 36°34'03"N,海拔 2 300 m。该地为典型的大陆性高原半干旱气候类型,年平均降雨量 413.6 mm,蒸发量 1 180.9 mm,年平均气温 6.1℃,日照时数 2 660.6 h,无霜期 129 d。土壤类型为栗钙土,耕层(0~20 cm)土壤基本理化性状为:全氮 1.07 g · kg⁻¹,全磷 0.65 g · kg⁻¹,速效磷 20.18 mg · kg⁻¹,有机质 20 g · kg⁻¹,速效钾 154 mg · kg⁻¹,pH 8.11。

1.2 试验设计

试验设置 4 个处理,分别是 N₀、N₇₅、N₁₅₀和 N₂₂₅,氮肥用量(纯氮)分别为每公顷 0、75、150、225 kg。各处理磷、钾、硼肥用量分别是 P₂O₅ 75 kg · hm⁻², K₂O 75 kg · hm⁻²,硼砂 15 kg · hm⁻²。氮肥的 70% 作基肥,在定苗后浇第一次水时将剩下的 30% 追施,磷肥、钾肥及硼肥一次性基施。本试验所用肥料种类分别为尿素(含 N46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、硫酸钾(含 K₂O50%)和硼砂(含 B11%)。小区面积为 27 m²,重复 4 次,随机区组排列,田间密度约为 1.8×10⁵株 · hm⁻²。供试春油菜品种为甘蓝型晚熟品种青杂 12 号,田间试验于 2018 年 4 月 7 日播种,2018 年 9 月 15 日收获,各小区单打单收,测定产量。

1.3 样品采集与测定

成熟期对春油菜按各小区实收计产,并且在每处理小区选择 4 株植株,重复 3 次,各处理共 12 株植株,分别按不同器官(茎秆、角壳、籽粒)分开称鲜(干)重,并测定各部分 N、P、K 含量。土壤养分含量采用常规农化分析方法测定^[20],植株全氮、全磷、全钾采用常规方法测定^[20]。

1.4 指标计算及数据分析

参照近年来国内外氮肥利用率的评价方法与指标,相关参数与指标计算方法如下^[21-26]:

氮肥偏生产力($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)= 施氮区籽粒产量/氮肥施用量;

氮肥农学效率($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)= (施氮区籽粒产量 - 不施氮区籽粒产量)/氮肥施用量;

收获指数($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)= 籽粒产量/地上部总生物量;

氮肥表观利用率(%)= (收获期施氮区地上部氮磷钾总吸收量-收获期不施氮区地上部氮磷钾总吸收量)/氮肥施用量 $\times 100\%$;

氮肥生理利用率($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)= (施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/(收获期施氮区地上部总吸收量-收获期不施氮区地上部总吸收量);

地力贡献率($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)= 不施肥区籽粒产量/施肥区籽粒产量;

产投比(%)= 产量纯收入/化肥投入 $\times 100\%$ 。

以上各式中,产量、施肥量、肥料吸收量单位均为 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

试验数据采用 Excel 2007 进行整理,用 DPS 9.0 软件 LSD 法进行多重比较,检验 $P<0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对春油菜产量的影响

在施用磷肥、钾肥及硼肥的基础上增施氮肥,可增加春油菜成熟期籽粒、茎秆、角壳产量,并且随氮肥用量的增加春油菜各部分产量及地上生物量呈逐渐增加趋势(表 1)。与 N_0 处理相比,施氮后籽粒产量可增加 $28\% \sim 108\%$,增产量为 $463 \sim 1\,785 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均增产率达 77% ,平均增产 $1\,274 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;在施氮量为 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时籽粒产量最高,达 $3\,440 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,除 N_{75} 处理外,其余处理与 N_0 处理均有显著差异($P<0.05$)。施氮后茎秆平均增产率达 79% ,平均增产 $1\,150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 且各个施氮处理与 N_0 处理间显著差异($P<0.05$)。施氮后角壳产量呈增加趋势,但各处理间无显著差异。由于施氮后地上各部位产量都有增加,所以地上部分生

物量也随之发生变化;生物量平均增加 $3\,116 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均增产 79% ;且与不施氮对照相比,各个施氮处理与对照间达到显著差异($P<0.05$)。收获指数未受到氮肥用量的影响,其中 N_{150} 处理收获指数最高。说明施氮可以促进春油菜生长发育,施氮量在 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上对促进籽粒产量增加效果明显。

2.2 氮肥用量对春油菜养分累积的影响

增施氮肥可以促进春油菜新品种青杂 12 号各部位氮素累积量的增加(表 2)。施氮后籽粒中氮素累积量平均增加 $37.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均增加 62% ;各个施氮处理间茎秆和角壳的氮素累积量无显著差异。与 N_0 处理相比,施用氮肥 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上对春油菜籽粒和茎秆的氮素累积量均有显著促进作用($P<0.05$),但对角壳的氮素累积量影响不明显。施用氮肥可提升春油菜地上部氮素总累积量,平均增加 $52 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均增产率达 68% 。氮素总累积量以 N_{225} 处理最高,与 N_{150} 处理间无显著差异, N_{150} 处理氮素总累积量比 N_{225} 处理降低了 6% , N_{75} 处理、不施氮处理则较 N_{225} 分别降低 $38\%、49\%$ 。 N_{225} 处理、 N_{150} 处理与 N_{75} 处理、 N_0 处理间均达显著差异($P<0.05$)。各处理氮收获指数无显著差异。

施氮促进春油菜各部分磷素累积量的增加(表 3)。地上部分磷素累积量以 N_{225} 处理最高,且与 $N_0、N_{75}$ 有显著差异($P<0.05$)。春油菜成熟时,施氮处理籽粒、茎秆、角壳各部分磷素累积量分别占地上部分总累积量的 $83.4\%、10.3\%、6.3\%$ 。从以上数据可以看出,成熟期籽粒中磷素累积量对地上部分磷素累积量影响较大。因此,对比籽粒中磷素累积量得出, N_{150} 与 N_{225} 磷素累积量较高,但两者之间无显著差异,而两者与 $N_0、N_{75}$ 有显著差异($P<0.05$)。说明施氮量的高低影响地上部分磷素累积量,但对磷收获指数无显著影响。

不同氮肥用量对钾素累积量的影响研究结果表明(表 4),施氮使地上各部位钾素累积量均明显增加($P<0.05$),地上部钾素累积量以 N_{225} 处理为最

表 1 氮肥用量对春油菜产量的影响

Table 1 Effect of nitrogen fertilizer on spring rape yield

处理 Treatment	籽粒产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Seed yield	茎秆产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Straw yield	角壳产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Pod yield	地上生物量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Shoot biomass	收获指数/($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Harvest index
N_0	1655b	1450b	850a	3955c	0.42a
N_{75}	2118b	2100ab	1475a	5693b	0.37a
N_{150}	3230a	2550a	1475a	7255a	0.45a
N_{225}	3440a	3150a	1675a	8265a	0.42a

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercase letters of the same column indicate the significance difference among different treatments ($P<0.05$), the same below.

高,与 N₀、N₇₅处理有显著差异 ($P<0.05$),两个处理较 N₂₂₅处理钾素累积量分别下降 75.1%、36.4%。可以看出,钾肥与氮肥同施可以增加钾素累积量。成熟期春油菜施用氮肥后籽粒、茎秆、角壳中钾素累积量所占比分别是 59.4%、39.0%、1.4%。但施氮对钾收获指数无显著影响。

2.3 氮肥用量对春油菜氮肥利用的影响

根据表 5 结果可知,氮肥偏生产力随施氮量的增加呈逐渐降低趋势,由 N₇₅处理的 28.2 kg · kg⁻¹降

到 N₂₂₅处理的 15.3 kg · kg⁻¹,说明增施适量氮肥会促进氮肥偏生产力的增加,但施用量过多时,这种促进作用会逐渐减弱,降低氮肥的偏生产力。比较各施氮处理的农学效率、表观利用率、生理利用率及地力贡献率,随着氮肥施用量的增加会有一些变化,但均无显著差异,其平均值分别为 8.2 kg · kg⁻¹ N、32.8%、25.6 kg · kg⁻¹ N、59.1%。产投比结果表明,施氮量为 150 kg · hm⁻²即 N₁₅₀处理的春油菜经济效益最好。

表 2 氮肥用量对氮素累积量的影响

Table 2 Effect of nitrogen fertilizer on N accumulation

处理 Treatment	氮素累积量 N accumulation/(kg · hm ⁻²)				氮素分配比例 N distribution/%			氮收获指数 Nitrogen harvest index <i>NHI</i>
	籽粒 Seed	茎秆 Straw	角壳 Pod	合计 Total	籽粒 Seed	茎秆 Straw	角壳 Pod	
N ₀	59.7b	10.1b	7.0a	76.8b	77.7	13.2	9.1	0.78a
N ₇₅	64.6b	17.1ab	11.1a	92.8b	70.0	18.4	11.9	0.70a
N ₁₅₀	110.4a	20.2a	11.9a	142.5a	77.5	14.2	8.4	0.77a
N ₂₂₅	115.8a	23.1a	12.7a	151.6a	76.4	15.2	8.4	0.76a

表 3 氮肥用量对磷素累积量的影响

Table 3 Effect of nitrogen fertilizer on P accumulation

处理 Treatment	磷素累积量 P accumulation/(kg · hm ⁻²)				磷素分配比例 P distribution/%			磷收获指数 Phosphorus harvest index <i>PHI</i>
	籽粒 Seed	茎秆 Straw	角壳 Pod	合计 Total	籽粒 Seed	茎秆 Straw	角壳 Pod	
N ₀	9.9b	0.9a	0.6a	11.3b	87.7	7.0	5.3	0.88a
N ₇₅	9.6b	1.2a	1.3a	12.2b	78.7	9.8	11.5	0.79a
N ₁₅₀	20.1a	1.0a	0.8a	21.9a	91.8	4.6	3.6	0.92a
N ₂₂₅	18.4a	3.8a	1.0a	23.1a	79.7	16.5	3.8	0.80a

表 4 氮肥用量对钾素累积量的影响

Table 4 Effect of nitrogen fertilizer on K accumulation

处理 Treatment	钾素累积量 K accumulation/(kg · hm ⁻²)				钾素分配比例 K distribution/%			钾收获指数 Potassium harvest index <i>KHI</i>
	籽粒 Seed	茎秆 Straw	角壳 Pod	合计 Total	籽粒 Seed	茎秆 Straw	角壳 Pod	
N ₀	6.7b	1.5b	0.3a	8.5c	78.8	17.6	3.6	0.79a
N ₇₅	12.6b	8.4ab	0.7a	21.7b	58.1	38.7	3.2	0.58a
N ₁₅₀	19.2a	11.3a	0.2a	30.8ab	62.3	36.7	0.6	0.62a
N ₂₂₅	19.7a	14.2a	0.2a	34.1a	57.8	41.6	0.5	0.58a

表 5 氮肥用量对春油菜氮肥利用效率的影响

Table 5 Effect of nitrogen fertilizer amount on nitrogen utilization efficiency of spring rapeseed

处理 Treatment	偏生产力 Partial productivity /(kg · kg ⁻¹)	农学效率 Agronomic efficiency /(kg · kg ⁻¹)	表观利用率 Apparent utilization /%	生理利用率 Physiological utilization /(kg · kg ⁻¹)	地力贡献率 Ground contribution rate/%	产投比 Ratio of production to investment
N ₇₅	28.2 a	6.2a	21.3a	28.9a	78.1a	5.8
N ₁₅₀	21.5b	10.5a	43.8a	24.0a	51.2a	10.5
N ₂₂₅	15.3 b	7.9a	33.2a	23.9a	48.1a	7.7

3 讨论与结论

油菜是一种肥料依赖型作物,在我国油菜生产中施用化肥的增产效果极为显著,氮、磷、钾养分的平均增产量分别为 1 030、668、446 kg · hm⁻²,增产率分别为 89.8%、43.3%和 24.9%,其中氮肥的增产作用更加优于磷肥和钾肥^[27]。春油菜区油菜种植方式普遍为直播,因而其对氮素养分的缺乏和过量

更加敏感,在青海省河湟温暖灌区“大水大肥”的生产方式下开展氮素合理施用研究更加具有针对性和实用性。

本研究结果得出,通过增施氮肥可以促进春油菜生长发育,增加籽粒产量及养分累积量。前人在不同品种油菜田间试验中也得到了相似的结论^[28-30],但不同地区不同品种油菜的最佳氮肥用量因地区差异而有所不同;冬油菜在宁夏引种种植时

氮肥施用量达到 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2[31]}$;两优 586 杂交油菜在江西省宜春市农科所试验地氮肥用量为 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2[16]}$;宋佳等^[4]在研究青海春油菜养分管理现状调查与分析结果表明,春油菜在高产前提下,氮肥用量可达 $200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上;本试验中晚熟品种青杂 12 号氮肥推荐用量与以上地区氮肥用量相比平均下降了 25%;在施氮量为 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,籽粒产量可达 $3\ 230\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。所以,川水农业生态类型区春油菜生产推广中应该注意氮肥的合理施用,从而实现化肥减施增效的目的。

在本研究中,氮肥农学效率平均为 $8.2\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ N}$,高于冬油菜主产区长江流域的氮肥农学效率 $6.2\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ N}^{[26]}$;早熟油菜氮肥农学效率平均为 $8.4\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ N}^{[29]}$;迟直播油菜在四川省的氮肥农学效率平均为 $8.6\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ N}^{[32]}$ 。肥料偏生产力是表征肥料利用效率的重要指标^[33],本试验中氮肥偏生产力随施氮量的增加而降低,氮肥贡献率呈上升趋势,这些结果均与已有研究结论相近^[28-29,32,34]。氮肥表观利用率能很好地反映作物对化肥养分的吸收状况^[33]。长江流域冬油菜区的氮肥表观利用率 $34.6\%\text{^{[15]}}$,略高于本研究中氮肥表观利用率(平均为 32.8%);Hocking 等研究得出^[35-36],当氮肥用量在 $25\sim150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,氮肥表观利用率平均为 48.5% 。地力水平也是影响油菜产量的一个重要因素,我国油菜主产区中以春油菜区地力水平最高,地力贡献率达 77.8% ,但三熟制区域和长江下游区域只有 50% 左右^[27],本研究中地力贡献率最高可达 78.1% 。综上所述,氮肥利用效率由于油菜品种、生态环境及地力条件的差异而有所不同;但本试验可能由于青杂 12 号属于晚熟品种,生育期长,且试验地土壤肥力较好,水资源丰富,所以造成氮肥利用率间的显著差异。

氮肥是影响春油菜产量及养分累积量的重要因素,因此在春油菜生产过程中应合理控制氮肥施用量,通过各项农艺措施综合应用达到提高氮肥利用率的目的,降低生产成本的同时可以避免造成环境问题。其次,春油菜生产实现化肥减量增效目标,需要多种营养元素和农艺措施共同发挥作用,下一步需要继续开展此方面的试验研究工作。

参 考 文 献:

[1] 张荣.高寒旱区春油菜氮磷钾元素的需肥规律[J].江苏农业科学, 2011,39(3):72-74.
[2] 青海省统计局,国家统计局青海调查总队.青海统计年鉴[J].北京:中国统计出版社,2009.
[3] 康建奎.青海特早熟双低甘蓝型杂交油菜高产栽培技术[J].青海农

技推广,2019,(1):10-11.
[4] 宋佳,徐倩,田汇,等.青海春油菜养分管理现状调查与分析[J].土壤,2018,50(5):888-893.
[5] 李志玉,廖星,涂学文,等.氮、磷、钾、硼配合对油菜品种产量、品质的影响[J].湖北农业科学,2003,(6):33-37.
[6] 袁卫红,刘尊文,黄世杰,等.氮素营养对赣油 14 号产量及经济性状的影响[J].安徽农业科学,2001,29(5):573-574,580.
[7] 任廷波,赵继献.氮肥对黄籽双低杂交油菜菌核病的影响[J].贵州农业科学,2005,(6):43-45.
[8] 张炎,史军辉,李磐,等.农田土壤氮素损失与环境污染[J].新疆农业科学,2004,41(1):57-60.
[9] 易时来,石孝均.油菜生长季氮素在紫色土中的淋失[J].水土保持学报,2006,20(1):83-86.
[10] 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.
[11] 李志玉,郭庆元,秦亚平,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.
[12] 曾军,孙万仓,张亚宏,等.不同施氮方式对冬油菜生理生化指标及生长发育和产量的影响[J].西北农业学报,2008,17(3):176-181.
[13] 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.
[14] 李银水,鲁剑巍,邹娟,等.湖北省油菜氮肥效应及推荐用量研究[J].中国油料作物学报,2008,30(2):218-223.
[15] 邹娟,鲁剑巍,陈防,等.氮磷钾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.
[16] 袁卫红.不同施氮水平对两系杂交油菜两优 586 产量及经济性状的影响[J].中国油料作物学报,2002,24(2):51-53.
[17] 胡立勇,王维金,吴江生.氮素对油菜角果生长及结角层结构的影响[J].中国油料作物学报,2002,24(3):29-32.
[18] 李志玉,胡琼,廖星,等.优质油菜中油杂 8 号施用氮磷钾肥的产量和品质效应[J].中国油料作物学报,2005,27(4):59-63.
[19] 胡腾文,赵继献.不同施氮量对甘蓝型黄籽杂交油菜品质性状与植株性状相关性的影响[J].安徽农业科学,2008,36(15):6399-6401.
[20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-110.
[21] Rathke G W, Behrens T, Diepenbrock W.Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review[J]. Agric Ecosyst Environ, 2006, 117(2):80-108.
[22] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008, 45(5): 915-924.
[23] 巨晓棠,张福锁.关于氮肥利用率的思考[J].生态环境,2003, 12(2): 192-197.
[24] 闫湘,金继运,何萍,等.提高肥料利用率技术研究进展[J].中国农业科学, 2008,41(2):450-459.
[25] 邹娟,鲁剑巍,陈防,等.长江流域氮磷钾肥料利用率现状研究[J].作物学报. 2011, 37(4): 729-734.
[26] 李剑,朱青,陈正刚.氮肥不同施用量对油研 599 养分吸收量及产量的影响[J].贵州农业科学, 2011, 39(7): 62-64.
[27] 鲁剑巍,任涛,丛日环,等.我国油菜施肥状况及施肥技术研究展望[J].中国油料作物学报,2018,40(5):712-720.