

施磷对胡麻生长率和磷吸收利用率 及其产量的影响

吴 兵^{1,3}, 谢亚萍^{2,3}, 牛俊义^{2,3}, 方子森², 郭丽琢², 剡 斌^{2,3}

(1. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;

3. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 以胡麻“陇亚杂 1 号”为供试品种, 研究了不同施磷水平 (P_2O_5 : 0, 75, 150 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 225 $kg \cdot hm^{-2}$) 对胡麻籽粒产量性状、灌浆时间、生物生长率、磷的吸收率、籽粒产量、产油量和磷肥利用率的影响及其与籽粒产量间的关系。结果表明, 施磷使千粒重增加 10.09%, 单株籽粒重提高 23.01%; 灌浆时间延长 7.62%; 生物量生长率、经济生长率和籽粒生长率分别提高 10.15%, 15.60% 和 8.69%, 但对胡麻每株蒴果数和每果籽粒数没有影响; 磷的吸收率、磷的经济吸收率和籽粒磷的吸收率分别提高 31.40%, 37.84% 和 29.57%; 籽粒产量和油产量分别提高 16.97% 和 17.93%; 磷肥利用率随施磷量增加而减小; 籽粒产量与经济生长率呈极显著正相关, 与单株籽粒重、千粒重、灌浆时间、生物量生长率和籽粒生长率呈显著正相关。试验区施磷量 (P_2O_5) 75 ~ 150 $kg \cdot hm^{-2}$, 可以实现胡麻高产和磷肥高效利用目的。

关键词: 胡麻; 施磷量; 磷肥利用率; 产量

中图分类号: S565.906 **文献标志码:** A

Effect of phosphorus fertilization on physiological parameters and yield of oilseed flax

WU Bing^{1,3}, XIE Ya-ping^{2,3}, NIU Jun-yi^{2,3}, FANG Zi-sen², GUO Li-zhuo², YAN Bin^{2,3}

(1. College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A field experiment was conducted to determine the effect of different phosphorus rates (P_2O_5 : 0, 75, 150 $kg \cdot hm^{-2}$ and 225 $kg \cdot hm^{-2}$) on grain yield components, grain filling, growth rate, phosphorus uptake rate, oil yield and phosphorus use efficiency. The results indicated no significant effect with respect to number of capsules per plant and number of seeds per capsule, while 1000-seed weight, seed weight per plant and seed filling period were obviously increased by 10.09%, 23.01% and 7.62%, respectively. And biomass growth rate, economic growth rate and seed growth rate, P uptake rate, economic P uptake rate, and seed P uptake rate were also increased by 31.40%, 37.84% and 29.57%, respectively. Phosphorus use efficiency was reduced by increased phosphorus fertilization, in spite of increase in seed yield (16.97%) and oil yield (17.93%). Seed yield has significantly positive correlation with economic growth rate, seed phosphorus fertilizer weight per plant, 1000-seed weight, seed filling period, biomass growth rate, seed growth rate. For obtaining high production and efficient phosphorus fertilizer utilization in oilseed flax, optimal phosphorus application should be 75 ~ 150 $kg \cdot hm^{-2}$ (P_2O_5) in Lanzhou experimental area.

Keywords: oilseed flax; phosphorus application; phosphorus fertilizer use efficiency; yield

胡麻 (*Linum usitatissimum* L.) 是最重要的油料作物之一, 在全世界温带地区有广泛种植^[1], 在我国, 主要种植在西北和河北地区^[2]。胡麻油为人类

健康生活提供必需脂肪酸和其他营养元素^[3]。随着人们对胡麻籽和胡麻油营养保健功能了解和研究的深入, 对胡麻的需求日益增长。

合理施用磷肥是经济有效提高胡麻籽粒产量的重要农艺措施之一。有研究表明,磷肥能够提高胡麻籽粒产量^[4];但磷肥对产量性状影响的研究结果不尽相同,Pande 等^[5]研究表明,随施磷量增加,胡麻籽粒单株蒴果数增加;Hamdi 等^[6]研究表明,磷肥对胡麻籽粒单株蒴果数没有影响;而 Sinha 和 Saxena^[7]研究得出,随磷肥施用量增加,单株蒴果数减小。磷肥不仅影响胡麻生长发育,还可调节磷的吸收和利用率。然而,目前关于磷肥对胡麻生长关键时期生物量生长率、经济生长率、籽粒生长率、磷的吸收速率、磷的经济吸收率以及籽粒磷的吸收率报道甚少。关于磷对灌溉地胡麻产量因子相关生理特性影响的研究更是鲜见。本文研究了磷肥对胡麻籽粒产量、产量性状、油产量、生物生长率、磷的吸收率以及磷肥利用率的影响,为实现胡麻籽粒高产和磷肥高效利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试胡麻品种为“陇亚杂 1 号”,为当地主栽品种,由甘肃省农业科学院提供。

1.2 试验设计

试验于 2012 年 3—8 月在甘肃省兰州市榆中县良种场试验田进行。供试区土壤为砂壤土,播种前试验田 0~30 cm 土层土壤有机质 12.90 g·kg⁻¹、全氮 1.01 g·kg⁻¹、碱解氮 56.37 mg·kg⁻¹、速效磷 9.27 mg·kg⁻¹和速效钾 104.74 mg·kg⁻¹。

试验采取施磷量单因素随机区组设计,选用普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)作为磷肥,施磷量(P₂O₅)设为不施磷、低磷、中磷、高磷 4 水平,分别为 P0:0 kg·hm⁻²;P75:75 kg·hm⁻²;P150:150 kg·hm⁻²;P225:225 kg·hm⁻²。试验区以 P0 为对照,3 次重复,12 个小区。小区面积为 20 m²(4 m×5 m),小区间、重复间分别设置 30 cm、50 cm 宽的过道,四周设宽为 1 m 的保护行。种植密度设定为 7.50×10⁶株·hm⁻²,人工条播,播深 3 cm,行距 20 cm。选用硫酸钾(50%)作钾肥,基施,施入量 52.5 kg·hm⁻²(K₂O)。3 月 24 日播种,8 月 4 日收获,胡麻生长期灌溉定额为 2 700 m³·hm⁻²(分茎期 1 200 m³·hm⁻²、现蕾期 1 500 m³·hm⁻²),其它管理方式同一般大田。

1.3 测定项目与方法

记录胡麻出苗、盛花期和成熟期的时间。当每个小区 50%植株开花时定义为盛花期,当每个小区 75%的蒴果颜色成棕色时定义为成熟期^[8]。成熟期

每小区选取长势均匀的植株 30 株,按器官分成叶、蒴果营养部分(蒴果除籽粒以外的部分)、茎和籽粒。于恒温箱中 105℃杀青 30 min,而后在 70℃烘至恒重。

测定植株地上部分各器官的干物质重量。称干重后,将样品粉碎,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮和钒钼黄比色法^[9]测定样品含磷量(浓度)。籽粒含油率测定委托甘肃省农业科学院测定。油产量由出油率乘籽粒产量所得。

成熟期各小区随机取 25 株为一个样本,室内考种,测定每株蒴果数、每果籽粒数、千粒重、单株生产力等性状。

生物量生长率和磷吸收率的计算^[1]:

生物量生长率(Biomass growth rate,BGR)=收获时地上部分干重/生育期天数;

经济生长率(Economic growth rate,EGR)=籽粒产量/生育期天数;

籽粒生长率(Seed growth rate,SGR)=籽粒产量/籽粒灌浆天数;

磷的吸收率(Phosphorus uptake rate,PUR)=收获时地上部分磷吸收量/生育期天数;

磷的经济吸收率(Economic P uptake rate,EPUR)=籽粒中磷吸收量/生育期天数;

籽粒磷的吸收率(Seed P uptake rate,SPUR)=籽粒中磷吸收量/籽粒灌浆天数。

磷肥利用率的计算,按 Fageria 和 Baligar^[10]的公式计算:

磷肥农学利用效率(Agronomic efficiency,AE)

$$AE = \frac{S_f - S_c}{P} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) \tag{1}$$

磷肥生理利用效率(Physiological efficiency,PE)

$$PE = \frac{Y_f - Y_u}{P_f - P_u} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) \tag{2}$$

磷肥表观利用率(Apparent recovery efficiency,ARE)

$$ARE = \frac{P_f - P_u}{P} \times 100\% \tag{3}$$

公式(1)中 S_f 是施磷区的产量, S_c 是未施磷区的产量, P 是磷肥施用量;(2)中 Y_f 是施磷区作物收获时地上部分干重, Y_u 是未施磷区作物收获时地上部分干重, P_f 是施磷区作物收获时地上部的吸磷总量, P_u 是未施磷区作物收获时地上部的吸磷总量;(3)中 P_f 、 P_u 和 P 相同于公式(1)和(2)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003、SPSS 16.0 统计软件进行数据整理和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 磷肥对产量和产量性状的影响

磷肥影响着胡麻籽粒的产量和产量性状(表 1 和图 1A)。与对照相比,低磷、中磷和高磷水平下,胡麻籽粒产量分别提高了 15. 11%, 20. 53% 和 15.28%,低磷、中磷和高磷水平籽粒产量差异不显

著($P>0.05$);不施肥与施磷处理间差异显著($P<0.05$)。产量性状中单株蒴果数和每果籽粒数不受施磷量的影响,千粒重和单株产量随施磷量增加先增加后减小(表 1)。与不施磷相比,千粒重低磷、中磷和高磷水平分别提高了 8. 50%, 11. 67% 和 10.11%;单株籽粒重分别提高了 18.43%, 25.88% 和 24.71%。

表 1 不同磷肥水平下胡麻籽粒产量性状
Table 1 Yield components of oilseed flax under different P levels

处理 Treatments	单株蒴果数 Number of capsules per plant	每果籽粒数 Number of seeds per capsule	千粒重/g 1000-seed weight	单株籽粒重/g Seed weight per plant
P0	18.30 b	9.28 a	5.99 a	0.85 b
P75	21.30 a	7.68 b	6.50 a	1.01 a
P150	20.10 ab	7.39 b	6.69 a	1.07 a
P225	22.20 a	7.53 b	6.60 a	1.06 a

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

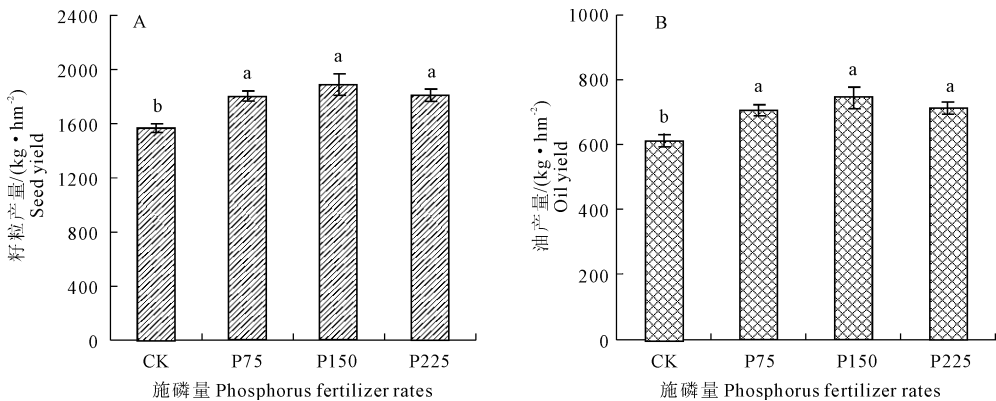


图 1 不同磷肥水平下胡麻籽粒产量和油产量

Fig.1 Seed yield and oil yield under different P levels

2.2 磷肥对胡麻生育期的影响

磷肥影响着胡麻生育期(表 2)。从出苗至盛花期、出苗至成熟期天数和灌浆天数随磷肥施用,变化不同。从出苗至盛花的天数,随施磷量增加先减小后增加,在中磷水平下,盛花期最早;籽粒的成熟,不施磷成熟早,高磷水平成熟最晚;灌浆时间,随施磷量增加而延长,中磷和高磷水平灌浆时间相同。随磷肥施用,出苗至开花时间平均提前了 1.73%;出苗至成熟时间平均延长了 1.73%;灌浆时间平均延长了 7.62%。

2.3 磷肥对胡麻生长率及磷吸收率的影响

随施磷量增加,生物量生长率、经济生长率和籽粒生长率呈先增加后减小,最高值出现在中磷水平(表 3)。与不施肥相比,低磷、中磷和高磷处理生物量生长率分别提高了 10.01%, 11.23% 和 9.21%;经济生长率分别提高了 14.09%, 19.47% 和 13.25%;

籽粒生长率分别提高了 8.88%, 11.02% 和 6.18%。

磷的吸收率、磷的经济吸收率和籽粒磷的吸收率随施量增加而增加,最高值出现在高磷水平(表 3)。与不施肥相比,低磷、中磷和高磷处理磷的吸收率分别提高了 20.36%, 36.30% 和 37.81%;磷的经济吸收率分别提高了 29.59%, 39.61% 和 44.32%;籽粒磷的吸收率分别提高了 23.68%, 29.73% 和 35.30%。

表 2 不同磷肥水平下胡麻生育期

Table 2 Growth period of oil seed under different P levels

处理 Treatments	出苗~开花/d Emergence to anthesis	出苗~成熟/d Emergence to mature	籽粒灌浆/d Seed filling period
P0	77 a	112 b	35 b
P75	76 ab	113 ab	37 ab
P150	75 b	113 ab	38 a
P225	76 ab	114 a	38 a

表 3 不同磷肥水平下胡麻生长率及磷的吸收率

Table 3 Biomass growth rate, economic growth rate, seed growth rate, P uptake rate, economic P uptake rate, and seed P uptake rate of oilseed flax under different P levels.

处理 Treatments	生物量生长率 Biomass growth rate /(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	经济生长率 Economic growth rate /(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	籽粒生长率 Seed growth rate /(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	磷的吸收率 P uptake rate /(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	磷的经济吸收率 Economic P uptake rate /(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	籽粒磷的吸收率 Seed P uptake rate /(mg·m ⁻² ·d ⁻¹)
P0	5.18 b	1.40 b	4.48 b	34.53 c	14.77 b	47.28 b
P75	5.70 a	1.60 a	4.87 a	41.56 b	19.15 a	58.47 a
P150	5.76 a	1.67 a	4.97 a	47.06 a	20.63 a	61.33 a
P225	5.66 a	1.58 a	4.75 ab	47.58 a	21.32 a	63.97 a

2.4 磷肥对胡麻籽粒出油率和油产量的影响

灌溉地胡麻籽粒出油率不受施磷量的影响(表 4),但籽粒油产量随施磷量增加先增加后减小,最高油产量出现在中磷水平下(图 1B)。与不施肥相比,低磷、中磷和高磷水平下,胡麻籽粒产量分别提高了 15.75%,21.82%和 16.21%。不施肥与施磷处理间产量差异显著($P < 0.05$),施磷处理间差异不显著。油产量的变化趋势与产量一致。

表 4 不同磷肥水平下籽粒出油率、磷肥表观利用率、生理利用率和农学利用率

Table 4 Oil content, apparent P recovery, physiological efficiency, and agronomic efficiency of oilseed flax under different P levels

处理 Treatments	出油率 Oil content /%	磷肥表观利用率 Apparent P recovery efficiency /%	生理利用率 Physiological use efficiency /(kg·kg ⁻¹)	农学利用率 Agronomic use efficiency /(kg·kg ⁻¹)
P0	39.20 a	—	—	—
P75	39.10 a	11.05 a	76.97 a	3.16 a
P150	39.39 a	9.67 ab	48.88 b	2.14 b
P225	39.28 a	6.16 b	46.75 b	1.06 c

2.6 产量性状及生理指标间的相关性

产量性状及生理指标间的相关性分析结果见表 5。胡麻产量与单株籽粒重、千粒重、灌浆时间、生物量生长率和籽粒生长率呈显著正相关,与经济生长率呈极显著正相关,与每果籽粒数呈显著负相关。在产量性状中,单株籽粒重与每果籽粒数呈显著负相关,与千粒重和灌浆时间呈极显著正相关,与生物量生长率、磷的吸收率、磷的经济吸收率和籽粒磷的吸收率呈显著正相关;每果籽粒数与千粒重和生物量生长率呈极显著负相关;千粒重与灌浆时间、生物量生长率、经济生长率、磷的吸收率、磷的经济吸收率和籽粒磷的吸收率呈显著正相关。此外,灌浆时间与磷的经济吸收率、籽粒磷的吸收率呈显著正相关。生物量生长率与经济生长率和籽粒生长率呈显著正相关。籽粒生长率与经济生长率呈显著正相关;磷的吸收率与磷的经济吸收率和籽粒磷的吸收率呈显著正相关。

3 结论与讨论

Spratt 和 Smid^[11]研究得出,磷肥提高了胡麻籽

2.5 磷肥对磷肥利用效率指标的影响

磷肥的表观利用率、生理利用率和农学利用率随施磷量增加而减小(表 4)。磷肥表观利用率随施磷量增加从 11.05%降低到 6.16%,减小了 4.89 个百分点;生理利用率从 76.97 kg·kg⁻¹降低到 46.75 kg·kg⁻¹,降低了 39.25%;农学利用率从 3.16 kg·kg⁻¹降低到 1.06 kg·kg⁻¹,降低了 66.29%。

粒的产量。在本试验中,随磷肥的施用,籽粒产量先升高后降低,在中磷水平下(P₂O₅ 150 kg·hm⁻²),产量最高,达 1 888.33 kg·hm⁻²,比不施磷肥提高了 20.53%;磷肥的施用,使籽粒产量平均提高了 16.97%,这一点与 Rogério^[4]和 Spratt 和 Smid^[11]的研究结果相一致。磷肥对胡麻籽粒产量的影响,可能与施磷促进了叶绿素合成有关^[12-13],叶绿素含量升高,增强了光合能力,进而促进产量提高^[14]。磷肥对胡麻产量性状的影响,Pande 等^[5]研究得出,随施磷量增加,胡麻单株蒴果数增加;Sinha 和 Saxena^[7]研究得出,随磷肥施用量增加,单株蒴果数减小。在本试验中,磷肥对单株蒴果数没有影响,这与 Hamdi 等^[6]的研究结果相一致。Lafond 等^[15]研究表明,随氮肥增加,籽粒千粒重减小,在本试验中,千粒重随施磷量增加先增加后减小,与不施肥相比,磷肥的施用,使千粒重平均提高了 10.09%,这与 Lafond 等的研究不一致;每果籽粒数不受施磷影响,这与 Hocking 和 Pinkerton^[3]研究结果相一致;单株籽粒重

表 5 产量性状及生理指标间的相关分析

Table 5 Pearson correlations among yield and physiological characteristics.

项目 Items	单株籽粒重 SWP	单株蒴果数 NCP	每果籽粒数 NSC	千粒重 1000SW	灌浆时间 SFP	生物量生长率 BGR	经济生长率 EGR	籽粒生长率 SGR	磷的吸收率 PUR	磷的经济吸收率 EPR	籽粒磷的吸收率 SPR	产量 Seed yield
单株籽粒重 SWP	—	0.800	-0.990 *	0.996 * *	0.996 * *	0.965 *	0.949	0.886	0.976 *	0.990 *	0.982 *	0.974 *
单株蒴果数 NCP		—	-0.814	0.764	0.797	0.771	0.643	0.564	0.768	0.855	0.882	0.695
每果籽粒数 NSC			—	-0.993 * *	-0.973 *	-0.991 * *	-0.966 *	-0.922	-0.936	-0.971 *	-0.966 *	-0.983 *
千粒重 1000SW				—	0.986 *	0.979 *	0.973 *	0.922	0.960 *	0.974 *	0.964 *	0.990 *
灌浆时间 SFP					—	0.937	0.922	0.846	0.992 * *	0.995 * *	0.987 *	0.954 *
生物量生长率 BGR						—	0.982 *	0.959 *	0.886	0.931	0.923	0.987 *
经济生长率 EGR							—	0.986 *	0.877	0.896	0.878	0.996 * *
籽粒生长率 SGR								—	0.785	0.814	0.796	0.967 *
磷的吸收率 PUR									—	0.985 *	0.976 *	0.915
磷的经济吸收率 EPR										—	0.998 * *	0.933
籽粒磷的吸收率 SPR											—	0.917
产量 Seed yield												—

注 Note:SWP—Seed weight per plant; NCP—Number of capsules per plant; NSC—Number of seeds per capsule; 1000SW—1000 – seed weight; SFP—Seed filling period; BGR—Biomass growth rate; EGR—Economic growth rate; SGR—Seed growth rate; PUR—P uptake rate; EPR—Economic P uptake rate; SPR—Seed P uptake rate。 * 表示在 0.05 水平下的显著性 Significant at the 0.05 level of probability; * * 表示在 0.01 水平下的显著性 Significant at the 0.01 level of probability.

随施磷量增加先增加后减小,平均增加了 23.01%,与蔡柏岩等^[16]在大豆上的研究相一致。

Dodas^[1]研究得出,氮肥缩短了油用亚麻从出苗至开花时间,延长了胡麻籽粒灌浆时间。在本试验中,磷肥的施用,缩短了从出苗至开花时间,延长了胡麻籽粒灌浆时间,灌浆时间平均延长了 7.62%。不施肥处理,籽粒灌浆时间短于施磷处理,进而出苗至成熟时间缩短,这一点,与前人在氮肥上的结果相一致^[17]。籽粒灌浆时间对作物产量形成非常重要,一般而言,籽粒灌浆时间越长,产量越高^[18]。

磷是作物生长中最重要的营养元素之一,显著影响着胡麻生长中干物质的积累和分配^[19]。但有关磷对胡麻生物生长率及磷吸收率的影响,鲜见报道。已有研究指出,氮肥提高了旱地油用亚麻生物量生长率、经济生长率及籽粒生长率^[1],本试验中灌溉地胡麻生物量生长率、经济生长率及籽粒生长率随磷肥施用量增加先增加后减小,在中磷水平达最高值,与不施肥相比,平均提高了 10.15%,15.60%和8.69%。籽粒生长率小于生物量生长率,因为,籽

粒是强大的库,而非光合同化物的源^[20],而生物量是光合同化物的强大源。籽粒生长率与生物量生长率比值代表着储藏在营养器官中干物质最终运到籽粒产量的分配能力^[20],比值越大,表明运输能力和籽粒灌浆期间从营养器官给籽粒转运物质的能力越强^[20-21]。在本试验中,籽粒生长率与生物量生长率比值在 0.84~0.86。磷的吸收率、磷的经济吸收率和籽粒磷的吸收率随施磷量的增加而增加,与不施肥相比,分别平均提高了 31.40%,37.84%和 29.57%。籽粒磷的吸收率大于磷的吸收率,这一点与籽粒氮的吸收率大于氮的吸收率相一致^[1]。因为,籽粒是一个光合同化物的强大的库^[20]。本试验中,籽粒磷的吸收率与磷的吸收率的比值大于 1.0,表明在籽粒灌浆期间,营养器官中磷大量重新移动到籽粒中^[1]。

油产量与籽粒产量和出油率紧密相关^[1]。武杰等^[22]研究表明,增施磷肥,在一定范围内可以提高油菜的出油率,这与本试验中胡麻籽粒出油率不受施磷量影响的结果不一致。在本试验中,施磷处理

油产量平均提高了 17.93%,最高油产量在中磷水平(P_2O_5 150 $kg \cdot hm^{-2}$)下取得,与不施磷相比,提高 21.82%。由于出油率不受施磷影响,可见,油产量的增加是由于籽粒产量增加所致,这一点,与前人^[1]研究结果相一致。

肥料利用率是衡量肥料施用是否合理的一项重要指标^[23]。磷肥表观利用率是描述作物对施入土壤中磷的吸收效率^[24],磷肥的农学效率描述施入土壤中磷肥的增产效率^[10,24]。在本试验中,磷肥的表观利用率和农学效率随施磷量增加而减小,这一点,与李银水等^[25]在油菜上的研究结果相一致。磷肥的表观利用率和农学效率最高值分别为 11.05%、3.16 $kg \cdot kg^{-1}$ 。磷肥的生理利用率是胡麻地上部分吸收单位肥料磷所增加的地上部干物质量,本试验磷肥生理利用率随施磷量增加而减小,最高值 76.97 $kg \cdot kg^{-1}$ 。灌溉地胡麻磷肥表观利用率、农学效率和生理利用率的变化,反应了植株对磷的吸收有饱和性,当施用磷肥超过其吸收能力后,超额部分不能被吸收利用。这可能也是籽粒产量没有随施磷量增加而持续增加的原因。此外,残留于土壤中的磷会通过地表径流、淋湿和下渗等污染水体和环境。

灌溉地胡麻籽粒产量与经济生长率呈极显著相关;与单株籽粒重、千粒重、灌浆时间、生物量生长率和籽粒生长率呈显著正相关;与单株蒴果数、磷的吸收率、磷的经济吸收率和籽粒磷的吸收率呈正相关;仅与每果籽粒数呈显著负相关。可见,经济生长率可以作为胡麻高产的指标,这与 Dodas^[1]的研究不相一致,产量构成因子中千粒重和单株籽粒重、灌浆时间、生物量生长率和籽粒生长率也可以作为胡麻高产指标。

参 考 文 献:

- [1] Dordas C A. Variation of physiological determinants of yield in linseed in response to nitrogen fertilization[J]. Industrial Crops and Products, 2010, 31:455-465.
- [2] 党占海,赵 利,胡冠芳.胡麻技术 100 问[M].北京:中国农业出版社,2009.
- [3] Hocking P J, Pinkerton A. Phosphorus nutrition of linseed (*Linum usitatissimum* L.) as affected by nitrogen supply: effects on vegetative development and yield components[J]. Field Crops Research, 1993, 32:101-114.
- [4] Rogério F, Silva T R B, Santos J I, et al. Phosphorus fertilization influences grain yield and oil content in crambe[J]. Ind Crops Prod, 2013, 41:266-268.
- [5] Pande R C, Singh M, Agrawal S K, et al. Effect of different levels of irrigation, nitrogen and phosphorus on growth, yield and quality of linseed (*Linum usitatissimum* Linn.)[J]. Indian J Agron, 1970, 15:125-130.
- [6] Hamdi H, Ibrahim M E, Foda S A. Fertilization of flax for oil and fibre production[J]. U A R J Soil Sci, 1971, 11:285-296.
- [7] Sinha S K, Saxena S S. Reproductive characters of linseed as affected by different levels of nitrogen, phosphorus and pH[J]. Can J Plant Sci, 1965, 45:251-257.
- [8] Gubbels G H, Bonner D M, Kenaschuk E O. Indicators for optimum stage for swathing oilseed flax[J]. Can J Plant Sci, 1994, 74:323-325.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [10] Fageria N K, Baligar V C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants[J]. Adv Agron, 2005, 88:97, 185.
- [11] Spratt E D, Smid A E. Yield and elemental composition of flax as affected by P and micronutrients[J]. Agronomy Journal, 1978, 70:633-638.
- [12] Alam S M, Shereen A. Effect of different levels of zinc and phosphorus on growth and chlorophyll content of wheat[J]. Asian J Plant Sci, 2002, (1):364-366.
- [13] Soltangheisi A, Ishak C F, Musa H M, et al. Phosphorus and zinc uptake and their interaction effect on dry matter and chlorophyll content of sweet corn (*Zea mays* var. Saccharata)[J]. Journal of Agronomy, 2013, 12(4):187-192.
- [14] 周丽娟,牟金明,郑永照,等.磷肥对蓖麻不同生育期光合特性的影响[J].中国油料作物学报,2010,32(3):408-412.
- [15] Lafond G P, Irvine B, Johnston A M, et al. Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax[J]. Can J Plant Sci, 2008, 88:485-500.
- [16] 蔡柏岩,葛菁萍,祖 伟.磷素水平对不同品种大豆产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(1):65-70.
- [17] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants[M]. London, UK: Academic Press, 1995.
- [18] Yau S K. Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment[J]. Eur J Agron, 2007, 26:249-256.
- [19] Xie Y P, Junyi Niu, Yantai Gan, et al. Optimizing phosphorus fertilization promotes dry matter accumulation and P remobilization in oilseed flax[J]. Crop Science, 2014, 54:1-8.
- [20] Scully B T, Wallace D H. Variation in and relationship of biomass, growth rate, harvest index, and phenology to yield of common bean [J]. J. Am. Soc. Hortic. Sci, 1990, 115:218-225.
- [21] Ramirez - Vallejo P, Kelly J D. Traits related to drought resistance in common bean[J]. Euphytica, 1998, 99:127-136.
- [22] 武 杰,李宝珍,湛 利,等.不同施肥水平对甘蓝型黄籽油菜含油量的效应研究[J].中国油料作物学报,2004,26(4):59-62.
- [23] 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.
- [24] Hocking P J, Kirkegaard J A, Angus J F, et al. Comparison of Canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. III. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen uptake by plants and on soil nitrogen extraction[J]. Field Crops Res, 2002, 79:153-172.
- [25] 李银水,鲁剑巍,廖 星,等.磷肥用量对油菜产量及磷素利用效率的影响[J].中国油料作物学报,2011,33(1):52-56.