

钾肥和密度对胡麻干物质及钾积累 转运和产量的影响

谢亚萍¹,牛小霞²,牛俊义³,杨天庆³,吕忠诚⁴,
张建平¹,赵 玮¹,剡 斌³

(1. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃 武威 733000;
3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 鄂尔多斯市农业科学研究所, 内蒙古 东胜 017000)

摘 要: 采用田间试验,以陇亚杂 1 号胡麻品种为材料,研究了 3 个钾肥用量(K_2O):0,45 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 90 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 3 个密度水平: 4.5×10^6 , 7.5×10^6 株 $\cdot hm^{-2}$ 和 10.5×10^6 株 $\cdot hm^{-2}$ 对胡麻干物质和钾养分积累、转运、子粒产量以及子粒中钾积累量的影响。试验结果表明,钾肥和密度促进了胡麻干物质及钾养分的积累和转运,随施钾量和密度的增加,胡麻干物质和钾积累量增加,转运量升高,来自叶和蒴果皮及茎中干物质和钾对子粒的贡献率降低,子粒产量来自花后干物质积累量增加,子粒中钾来自花后钾积累的量增加。在施钾 45 $kg \cdot hm^{-2}$,密度 7.5×10^6 株 $\cdot hm^{-2}$ 处理下,花前营养器官干物质和钾转运量最高,分别为 1 183.56 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 30.28 $kg \cdot hm^{-2}$,对子粒贡献率最低,分别为 40.28%和 58.72%,子粒产量和子粒钾最高,分别为 2 938.33 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 51.57 $kg \cdot hm^{-2}$,与不施钾,密度 4.5×10^6 株 $\cdot hm^{-2}$ 处理相比较,分别提高了 44.32%和 49.43%。在本试验区同等环境条件下种植胡麻,以施钾 45 $kg \cdot hm^{-2}$,密度 7.5×10^6 株 $\cdot hm^{-2}$ 为宜。

关键词: 钾肥;密度;胡麻;干物质;钾积累量;钾转运量;产量
中图分类号: S565.9 **文献标志码:** A

Effect of potassium and density on dry matter and potassium accumulation translocation and seed yield of oilseed flax

XIE Ya-ping¹, NIU Xiao-xia², NIU Jun-yi³, YANG Tian-qing³, LV Zhong-cheng⁴,
ZHANG Jian-ping¹, ZHAO Wei¹, YAN Bin³

(1. Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;
2. Gansu Academy of Agriculture and Engineering Technology, Wuwei 733006, China;
3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
4. Ordos Institute of Agricultural Sciences, Dongsheng Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: In the present study, the cultivar “Longyaza 1” was used as material, with three potassium fertilization treatments (K_2O): 0, 45 $kg \cdot hm^{-2}$ and 90 $kg \cdot hm^{-2}$ and three plant density treatments: 4.5×10^6 , 7.5×10^6 and 10.5×10^6 plant $\cdot hm^{-2}$ to investigate the effect of potassium and density on dry matter and potassium accumulation, translocation, seed yield and potassium in seed of oilseed flax(*Linum usitatissimum* L.). The result showed that dry matter and potassium accumulation increased, translocation amount increased, translocation rate decreased, dry matter and potassium translocation from leaf and pericarps and stem to seed contribution decreased, dry matter accumulation of seed yield after anthesis and potassium accumulation in seed after anthesis increased with increasing potassium and density. Under potassium rate (K_2O) of 45 $kg \cdot hm^{-2}$ and density of 7.5×10^6 plant $\cdot hm^{-2}$ treatment, the translocation amount of dry matter and potassium from stem, leaf and pericarps of oilseed flax was as high as 1 183.56 $kg \cdot hm^{-2}$ and 30.28 $kg \cdot hm^{-2}$, respectively, compared with zero potassium and 4.5×10^6 plant $\cdot hm^{-2}$ treatment, and the lowest contribution to seed with 40.28% and 58.72%, respectively. Moreover, the highest seed yield and potassium in seed of oilseed flax

were 2 938.33 kg·hm⁻² and 51.57 kg·hm⁻², respectively, increased by 44.32% and 49.43% compared to zero potassium and 4.5 × 10⁶ plant·hm⁻² treatment. In summary, the optimum fertilization was 45 kg·hm⁻²(K₂O) and 7.5 × 10⁶ plant·hm⁻² for oilseed flax cultivation in the target area.

Keywords: potassium fertilizer; density; oilseed flax; dry matter; potassium accumulation; potassium translocation; seed yield

胡麻(*Linum usitatissimum*)是我国第五大油料作物,广泛种植于我国华北和西北干旱和半干旱地区,是当地主要的油料作物和经济作物。胡麻籽是α-亚麻酸和木酚素含量最高的植物资源^[1],胡麻油含有大量人体必需的不饱和脂肪酸——亚油酸和亚麻酸^[2]。近年来,胡麻籽对心血管疾病、糖尿病、关节炎、免疫系统和神经系统疾病及各种癌症的防治^[3],引起了人们极大关注。中国作为世界第二大胡麻生产国和最大的进口国,对胡麻需求旺盛。

肥料运筹和种植密度是胡麻高产栽培研究的核心内容,合理的肥料运筹和种植密度可以改善作物对水、肥、光的利用,协调胡麻源库关系,促进干物质向子粒运转和分配。长期以来,尽管前人对钾肥或密度影响胡麻干物质积累转运与钾积累转运和子粒产量的问题进行了一些研究,但多集中在肥料、密度等单因素对干物质、钾的吸收、子粒产量和品质的影响方面,关于钾肥和密度条件下胡麻干物质积累转运与钾积累转运及子粒产量的研究鲜见报道。孙小花等^[4]研究指出,施钾促进了胡麻干物质及钾养分向子粒的转运,且随施钾量增加,胡麻子粒产量先增加后减少;Pageau 等^[5]研究指出,在没有发生倒伏的情况下,胡麻子粒产量随密度增加而增加。Lafond 等^[6]研究表明随种植密度增大胡麻子粒产量增加;吴兵等^[7]研究得出,300 万粒·hm⁻²种植密度是旱地一膜两年用胡麻实现节本增效、保水高产的最适种植密度;高翔等^[8]研究表明,胡麻子粒产量和密度呈抛物线型关系。在前人工作的基础上,本研究以节肥增密增效为出发点,探讨施钾量和密度对胡麻干物质和钾积累转运及子粒产量的影响,以期为胡麻生产中合理施肥和科学调控群体结构提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2014 年在内蒙古自治区鄂尔多斯市农牧科学院试验站进行。试验区地处东经 110°24′、北纬 40°32′,海拔 1 015 m,年均降水量为 321 mm,蒸发量为 2 600 mm;2014 年 1 至 8 月,降雨量为 271 mm。前茬作物为玉米。播种前用拖拉机碾耙 2 次。试验

田土壤为粘壤土,播前耕层土壤养分分别为:有机质含量 15.84 g·kg⁻¹,全氮 0.97 g·kg⁻¹,碱解氮 54.4 g·kg⁻¹,速效磷 14.98 mg·kg⁻¹,速效钾 107.13 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

供试品种为“陇亚杂 1 号”,由甘肃省农业科学院作物研究所提供。

试验采用随机区组设计,设 2 个因素。其中 3 个施钾(K₂O)水平:0 kg·hm⁻²(K₁),45 kg·hm⁻²(K₂)和 90 kg·hm⁻²(K₃);3 个密度水平:4.5 × 10⁶株·hm⁻²(D₁),7.5 × 10⁶株·hm⁻²(D₂)和 10.5 × 10⁶株·hm⁻²(D₃),钾肥选用硫酸钾(K₂O,50%)作基肥;氮肥选用尿素(含纯 N 46%),施入量为(纯 N)75 kg·hm⁻²;磷肥选用重过磷酸钙(P₂O₅,46%),施入量为(P₂O₅)90 kg·hm⁻²,全部基施;条播,播深 3 cm,行距 20 cm。试验共 9 个处理,3 次重复。

各处理随机排列,小区面积设置为 20 m²(4 m × 5 m),小区间、重复间分别设置 25 cm、50 cm 宽的走(过)道,四周设置 1 m 宽的保护行。4 月 24 日播种,8 月 6 日收获。胡麻生长期间,分别于 5 月 30 日、6 月 15 日人工锄草两遍,6 月 20 日用机井水灌溉一次。

1.3 测定项目与方法

分别在盛花期(盛花期后第 14 d)和成熟期,每小区采样 20 株,将胡麻植株地上部分的茎、叶、蒴果皮和子粒分别置于干燥箱中,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,用火焰分光光度法测定各器官的钾含量^[9]。收获时按小区单收单打,晒干后称量测得小区实际产量。试验取样对胡麻小区产量所造成的影响未计。

胡麻干物质转运相关公式:

盛花前干物质(钾)积累率(%) = 盛花期干物质(钾)积累量/收获时干物质(钾)积累量 × 100

盛花期后干物质(钾)积累量 = 收获时干物质(钾)积累量 - 盛花期干物质(钾)积累量

盛花后干物质(钾)积累率(%) = 盛花后干物质(钾)积累量/收获时干物质(钾)积累量 × 100

干物质(钾)转运量 = 盛花期地上各器官(茎、叶 + 蒴果皮)干物质(钾)积累量 - 收获期相应器官干物质(钾)积累量

干物质(钾)转运率(%) = 器官干物质(钾)转运量/盛花期相应器官干物质(钾)积累量 × 100

干物质转运对产量的贡献率(%) = 干物质转运量/子粒产量 × 100

钾转运对子粒中钾的贡献率(%) = 钾转运量/子粒钾积累量 × 100

盛花期后物质(钾)积累对产量(子粒钾积累量)的贡献率(%) = 100 - 干物质(钾)积累对产量(子粒钾积累量)的贡献率

1.4 数据处理

采用 Excel 2003、SPSS 17.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同钾肥和密度胡麻植株地上部干物质积累

表 1 表明,胡麻干物质积累量显著受钾肥和密度的影响。盛花期前后,胡麻干物质积累的最高值在 K2D2 处理下获得,分别为 4 152.20 kg·hm⁻²和 3 862.08 kg·hm⁻²;最低干物质积累在 K1D1 处理下获得,分别为 2 609.23 kg·hm⁻²和 1 882.47 kg·hm⁻²。在不同施钾条件下,与 D1 相比,D2 和 D3 处理下,盛花期前干物质积累分别平均提高了25.35%和 15.38%;盛花期后干物质积累分别平均提高了28.28%和 7.39%。不同密度下,K2 和 K3 处理与 K1 相比,盛花期前干物质积累分别平均提高了36.42%和 18.21%;盛花期后干物质积累分别平均提高了 52.39%和 53.69%。可见,在本试验中,与密度相比,钾肥对干物质积累的影响较大。K2D2 组合显著提高了花后干物质积累,为子粒产量提高进一步奠定基础。

胡麻盛花期前干物质积累率高于盛花期后积累率(见表 1)。盛花期前,干物质积累率最高值在 K1D1 处理获得,为 58.09%,最低在 K2D2 处理获得,为 51.81%,相差 6.21%;盛花期后最高积累率在 K2D2 处理获得,为 48.19%,最低在 K1D1 处理获得,为 41.91%。可见,K2D2 处理促进了胡麻干物质积累,提高了盛花期后干物质积累率。

2.2 不同钾肥和密度下胡麻地上部干物质转运

由表 2 看出,钾肥和密度不同程度促进胡麻地上部干物质转移。胡麻叶和蒴果皮中干物质转运量大于茎中转运量,平均高出 2.21 倍。叶和蒴果皮中干物质转运量在 K2D2 处理时最高,为 909.41 kg·hm⁻²,茎中在 K3D2 处理时最高,为 286.54 kg·hm⁻²。在不同施钾下,D2 和 D3 处理与 D1 相比,叶和蒴果皮及茎中转运量分别提高 5.81%和2.49%及

7.12%和 4.18%。不同密度下,与 K1 相比,K2 和 K3 处理下,叶和蒴果皮及茎中转运量分别提高 14.41%和 12.58%及 13.34%和 18.30%。

表 1 不同钾肥和密度下胡麻干物质积累
Table 1 Accumulation of dry matter under different potassium levels and densities of oilseed flax

处理 Treatment	干物质积累量/(kg·hm ⁻²) Accumulation of dry matter		积累率/% Accumulation rate	
	盛花期前 Before anthesis	盛花期后 After anthesis	盛花期前 Before anthesis	盛花期后 After anthesis
K1D1	2609.23 e	1882.47 e	58.09 a	41.91 c
K1D2	2981.54 d	2494.20 d	54.45 b	45.55 b
K1D3	2611.31 e	2040.12 e	56.14 ab	43.86 c
K2D1	3081.87 c	2545.06 d	54.77 b	45.23 bc
K2D2	4152.20 a	3862.08 a	51.81 c	48.19 a
K2D3	3954.86 b	3371.67 c	53.98 b	46.02 b
K3D1	3865.36 b	3335.39 c	53.68 b	46.32 b
K3D2	3971.44 b	3601.86 b	52.44 c	47.56 a
K3D3	4032.57 ab	2924.94 d	57.96 a	42.04 c

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 P≤0.05 level. The same as below.

胡麻叶和蒴果皮中干物质转运率大于茎中转运率,平均高出 16.06%。叶和蒴果皮中转运率在 K1D1 处理时最高,为 42.33%,在 K2D2 处理时最低,为 33.24%;茎中转运率在 K2D2 处理最低,为 17.78%,在 K3D3 处理最高,为 24.65%。不难看出,在 K2D2 处理时叶和蒴果皮及茎中转运量最高而转运率最低。表明 K2D2 处理促进了花前干物质向子粒转运,同时增强了花后子粒——库的活力。

2.3 不同钾肥和密度下胡麻子粒产量和干物质转运对子粒产量的贡献率

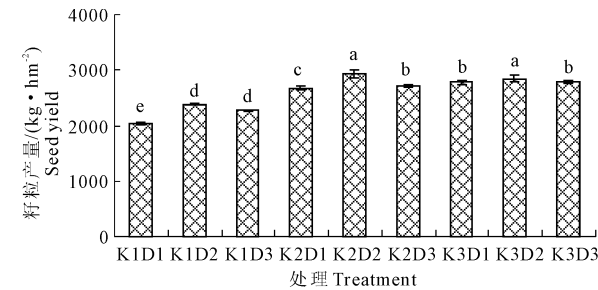
图 1 可以看出,胡麻子粒产量受钾肥和密度影响。在同一施钾水平下,随密度增加先升高后降低;在 D1 和 D3 密度下,随钾水平升高而增加,在 D2 密度下,随钾水平升高胡麻子粒产量先升高后降低。子粒产量在 K2D2 处理时最高,为 2 938.33 kg·hm⁻²,在 K1D1 时产量最低,为 2 036.00 kg·hm⁻²。与 K1D1 相比,K2D2 产量提高了 44.32%。

叶和蒴果皮中干物质转运对子粒的贡献率大于茎对子粒的贡献率(图 2)。叶和蒴果皮和茎中干物质转运对子粒的贡献率在 K1D1 处理时最高,为 46.18%;在 K2D2 处理时最低,为 40.28%。可见,K2D2 处理下,子粒产量的 59.72%来自盛花期后同化产物的积累和转运。表明 K2D2 处理源库关系协调,子粒产量最高。

表 2 不同钾肥和密度下胡麻干物质转运

Table 2 Translocation of dry matter of oilseed flax under different potassium levels and densities

处理 Treatment	转运量/(kg·hm ⁻²) Translocation amount			转运率/% Translocation rate		
	叶 + 蒴果皮 Leaf + pericarps	茎 Stem	叶 + 蒴果皮 + 茎 Leaf + pericarps + stem	叶 + 蒴果皮 Leaf + pericarps	茎 Stem	叶 + 蒴果皮 + 茎 Leaf + pericarps + stem
K1D1	728.28 e	211.95 d	940.22 e	42.33 a	22.38 ab	64.71 a
K1D2	815.88 c	258.99 b	1074.87 c	41.56 a	20.19 b	61.75 ab
K1D3	775.31d	247.33 c	1022.64 d	41.23 a	22.04 ab	63.27 a
K2D1	856.80 b	271.98 a	1128.78 b	38.70 ab	21.05 b	59.75 b
K2D2	909.41 a	274.15 a	1183.56 a	33.24 c	17.78 c	51.02 c
K2D3	887.53 a	267.97 ab	1155.50 ab	37.12 b	20.97 b	58.09 b
K3D1	887.42 a	281.28 a	1168.70 a	36.14 b	23.45 a	59.59 b
K3D2	890.96 a	286.54 a	1177.50 a	34.59 c	22.51 a	57.10 b
K3D3	874.87 ab	281.89 a	1156.76 ab	34.62 c	24.65 a	59.27 b



注:不同字母表示各处理间的差异达到 5%显著水平,下同。

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

图 1 钾肥和密度对胡麻子粒产量的影响

Fig.1 Effect of potassium and density on seed yield of oilseed flax

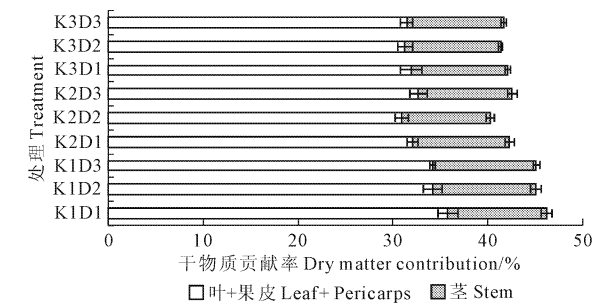


图 2 钾肥和密度对干物质转运及子粒贡献的影响

Fig.2 Effect of potassium and density on dry matter translocation to seed contribution of oilseed flax

2.4 不同钾肥和密度下胡麻植株地上部钾积累

胡麻植株地上部分钾积累随钾肥和密度的增加而增加(见表 3)。盛花期前钾的积累量在 K3D3 处理时最高,为 159.94 kg·hm⁻²,在 K1D1 处理时最低,为 107.20 kg·hm⁻²;盛花期后钾的积累量在 K2D2 处理时最高,为 77.91 kg·hm⁻²,在 K1D1 处理时最低,为 41.46 kg·hm⁻²。在不同施钾下,D2 和 D3 处理与

D1 相比,盛花期前后钾积累分别平均提高了 10.24%和 13.58%及 16.70%和 12.60%。不同密度下,K2 和 K3 处理与 K1 相比,盛花期前后钾积累分别平均提高了 17.44%和 34.96%及 58.90%和 64.22%。

盛花期前,钾的积累率在 K1D1 处理时最高,为 72.11%,在 K2D2 处理时最低,为 63.21%;盛花期后,钾的积累率在 K1D1 处理时最低,为 27.89%,在 K2D2 处理时最高,为 36.79%。表明钾的积累主要在盛花期前。

2.5 不同钾肥和密度下胡麻地上部钾转运

胡麻植株地上部钾转运量随施钾量增加而增加,随密度增加先升高后降低(表 4)。胡麻叶和蒴果皮中钾转运量大于茎中转运量,平均高出 1.11 倍。叶和蒴果皮及茎中钾转运量在 K2D2 处理时最

表 3 不同钾肥和密度下胡麻钾积累

Table 3 Accumulation of potassium of oilseed flax under different potassium levels and densities

处理 Treatment	钾积累量/(kg·hm ⁻²) Accumulation of potassium		钾积累率/% Accumulation rate	
	盛花期前 Before anthesis	盛花期后 After anthesis	盛花期前 Before anthesis	盛花期后 After anthesis
K1D1	107.20 e	41.46 d	72.11 a	27.89 c
K1D2	111.32 d	45.96 d	70.78 a	29.22 c
K1D3	115.15 cd	46.19 d	71.37 a	28.63 c
K2D1	120.65 c	64.77 c	65.07 b	34.93 a
K2D2	133.86 b	77.91 a	63.21 c	36.79 a
K2D3	137.35 b	70.85 b	65.97 b	34.03 ab
K3D1	135.27 b	65.82 c	67.27 b	32.73 b
K3D2	155.11 a	76.92 a	66.85 b	33.15 b
K3D3	159.94 a	76.69 a	67.59 b	32.41 b

高,为 30.28 kg·hm⁻²;在 K1D3 时最低,为 22.38 kg·hm⁻²。在不同施钾下,D2 和 D3 处理与 D1 相比,叶和蒴果皮及茎中转运量分别提高 8.05%和2.41%。不同密度下,K2 和 K3 处理与 K1 相比,叶和蒴果皮及茎中转运量分别提高 19.21%和21.94%。

叶和蒴果皮中钾转运率高于茎中转运率,平均

高出 22.02 个百分点。叶和蒴果皮中转运率最高在 K1D1 处理下获得,为 39.25%,最低在 K2D2 处理下获得,为 34.56%;茎中转运率在 K1D3 最高,为 16.77%,在 K3D2 最低,为 12.65%。表明在 K3D2 处理时,子粒中钾主要来自盛花期后的积累,而非营养器官的转运。

表 4 不同钾肥和密度下胡麻钾转运

Table 4 Translocation of potassium of oilseed flax under different potassium levels and densities

处理 Treatment	转运量/(kg·hm ⁻²) Translocation amount			转运率/% Translocation rate		
	叶 + 蒴果皮 Leaf + pericarps	茎 Stem	叶 + 蒴果皮 + 茎 Leaf + pericarps + stem	叶 + 蒴果皮 Leaf + pericarps	茎 Stem	叶 + 蒴果皮 + 茎 Leaf + pericarps + stem
K1D1	16.43 b	7.74 b	24.17 c	39.25 a	16.54 a	55.79 a
K1D2	16.91 b	7.92 b	24.83 c	38.17 a	15.91 a	54.08 a
K1D3	15.25 c	7.13 c	22.38 d	39.03 a	16.77 a	55.80 a
K2D1	17.76 b	8.59 ab	26.35 b	36.22 b	14.82 b	51.04 b
K2D2	20.75 a	9.53 a	30.28 a	34.56 c	13.77 b	48.33 c
K2D3	18.99 ab	9.46 a	28.45 ab	35.92 b	14.26 b	50.18 b
K3D1	18.52 b	9.39 a	27.91 b	36.91 b	13.78 b	50.69 b
K3D2	20.39 a	9.24 a	29.63 a	35.12 bc	12.65 c	47.77 c
K3D3	20.22 a	9.27 a	29.49 a	35.83 b	14.34 b	50.17 b

2.6 不同钾肥和密度下胡麻子粒钾积累量及钾转运对子粒钾的贡献率

子粒中钾积累量随钾肥和密度而变化(图 3)。在同一施钾水平下,子粒钾的积累量随密度增加而升高;在 D1 和 D3 处理下,随施钾量增加先升高后降低,在 D2 处理下,随施钾量增加而升高。子粒中钾积累量在 K2D2 最高,为 51.57 kg·hm⁻²,在 K1D1 时最低,为 34.51 kg·hm⁻²。与 K1D1 相比,K2D2 提高了 49.44%。

钾肥和密度影响着钾的转运。叶和蒴果皮中钾转运对子粒的贡献率大于茎对子粒的贡献率(图 4)。叶和蒴果皮及茎中干物质转运对子粒的贡献率在 K1D1 处理时最高,为 70.03%;在 K2D2 处理时最低,为58.72%。可见,K2D2处理子粒钾来自盛花

期后积累的钾占 47.22%,要大于其它处理,来自盛花期前营养器官中钾的转移所占比率较小。

3 讨 论

作物群体干物质积累是作物产量的基础。在本试验中,胡麻植株地上部干物质随钾肥和密度的增加而不同程度增加。在施钾量一定的条件下,随密度增加,干物质积累先升高后降低。在 K2D2 处理条件下,胡麻源库关系协调,生长后期干物质生产能力强。

钾参与碳水化合物的代谢和转移^[10]。大量研究表明,施钾可以促进麻疯树干物质转移,提高产量^[11-13]。李文娟^[14]等研究表明,施钾有助于提高

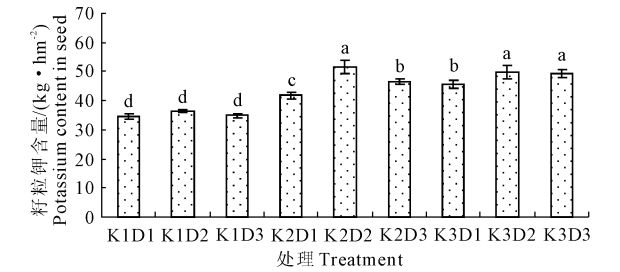


图 3 钾肥和密度对胡麻子粒钾含量的影响

Fig.3 Effect of potassium and density on potassium in seed of oilseed flax

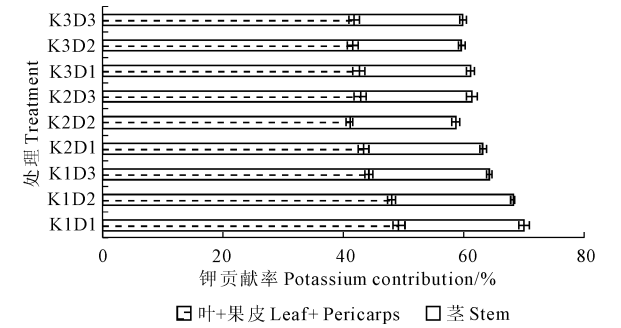


图 4 钾肥和密度对钾转运对子粒贡献的影响

Fig.4 Effect of potassium and density on potassium translocation to seed of oilseed flax

干物质向玉米子粒的转运率,与本试验结果不一致。孙小花等^[4]研究得出,叶片与茎是向胡麻子粒提供同化物的主要源,与本试验结果相一致。本试验中,茎转运率范围 17.18% ~ 24.65%,小于 11.23% ~ 33.27%^[4]。可能与基因型、生长环境条件及土壤中速效钾含量等有关。

子粒灌浆物质的来源分为两部分:一部分是开花后的同化产物,包括直接输送到子粒中的光合产物和开花后形成的暂贮藏性干物质的再转移;一部分是开花前生产的暂贮藏于营养器官中并于灌浆期间再转移到子粒中去的同化产物^[15-16]。有研究表明,春玉米子粒产量在很大程度上取决于后期的光合生产能力,生育后期光合生产的干物质对子粒的贡献率为 78% ~ 84%^[17]。本试验中,胡麻生育后期光合生产的干物质对子粒的贡献率为 53.82% ~ 59.72%。本研究中,K2D2 处理营养器官干物质转运率低,物质转运对子粒产量的贡献较小,贡献率低。贡献率低不利于子粒充实,贡献率过高,子粒“库”对有机物质的竞争能力增强,从而影响到“源”与“库”协调关系,最终表现为“源”过度地向子粒“库”转移光合产物,影响后期光合生产,进而明显影响产量的提高^[26]。

本试验中,胡麻最高子粒产量在 K2D2 处理下为 2 938.33 kg·hm⁻²。在同一施钾条件下,随密度增加,子粒产量先升高后降低,其变化趋势与高翔等^[8]研究结果相一致。Dong 等^[18]研究得出,在钾肥相同条件下随密度的增加,棉花皮棉的产量增加,与本试验结果不一致。在 D3 密度条件下,子粒产量降低,与高密度下胡麻植株个体对水、肥、光能的竞争加剧,中下部叶片光合速率降低,群体内气体交换受阻有关,一方面,胡麻植株供应能力减小;另一方面,影响到花的发育,子粒败育数量增加^[19-21],故子粒产量降低。D2 密度下,子粒产量随钾肥增加先升高后降低,相似于油菜^[22]上的研究;D1 和 D3 密度下,胡麻子粒产量随钾肥增加而增加,可见,子粒产量随钾肥增加而提高,与水稻^[23]、小麦^[24]和花生^[25]上研究相一致。

钾的吸收转运直接影响着作物的生长发育状况,从而影响作物的产量。研究认为,玉米钾转运对子粒养分的贡献率要大于吐丝后钾积累对子粒养分的贡献率^[26],与本研究中胡麻钾转运对子粒的贡献率大于盛花后钾积累对子粒养分的贡献率相一致。已有研究表明,施钾有助于提高钾养分向玉米子粒

的转运率^[14]。本试验中,钾肥促进了胡麻地上部钾的积累量和转运量,与孙小花等^[4]、侯云鹏等^[27]的研究结果相一致;但转运率基本不受钾肥影响。K2D2 处理钾转运对子粒的贡献较小,贡献率低;但盛花期后钾对子粒贡献率高,表明胡麻植株生育后期能维持较高的钾吸收能力。

植物体内的钾以离子形态存在,有高度移动性。本试验中,子粒中钾 58.72% ~ 70.03% 来自花前营养器官的转移,29.97% ~ 41.28% 来自花后。子粒钾随施钾增加而增加,不同于油菜^[22]上研究结果,可能与作物基因型和生长环境条件有关。密度相同条件下,施钾处理,营养器官中钾的转运量占子粒积累量的比例小于不施钾处理,与玉米^[14]上研究结果不一致。李文娟等^[14]研究指出,玉米子粒养分中 52.4% ~ 100.0% 的钾依赖于营养体的转运。曾祥亮等^[28]研究得出,大豆荚果中钾素的 63.49% 来自营养器官的转入。在本研究中,K2D2 处理的钾转运量高、转运率低,对子粒贡献率低,花后钾对子粒钾贡献率高,表明该处理下胡麻植株生育后期能维持较高的钾吸收能力,为生育后期较好的光合生产和较高的胡麻产量奠定基础。综合考虑,在鄂尔多斯地区,相同气候及同等肥力环境条件下,种植胡麻的钾肥密度组合,以施钾量(K₂O)45 kg·hm⁻²,种植密度 7.5 × 10⁶株·hm⁻²为宜。

4 结 论

钾肥和密度影响着胡麻植株地上部分干物质积累和钾积累。在施钾相同条件下,盛花前后胡麻植株地上部干物质积累量,随密度增加分别升高了 13.56% 和 17.83%;在密度相同情况下,随钾肥增加分别升高了 40.56% 和 53.04%。在施钾相同条件下,盛花前后胡麻植株地上部钾积累量,随密度增加分别升高了 11.91% 和 14.65%,在密度相同情况下,随钾肥增加分别升高了 26.20% 和 62.01%。随施钾量和密度的增加,胡麻干物质和钾转运量升高,在 K2D2 处理时取得最高值,分别为 1 183.56 kg·hm⁻² 和 30.28 kg·hm⁻²;子粒产量来自花后干物质积累量增加,子粒钾来自花后钾积累的量增加。胡麻子粒产量随钾肥和密度增加而升高,在 K2D2 处理时最高,达 2 938.33 kg·hm⁻²。胡麻栽培中适宜的施钾量和密度是实现节肥增效和高产的关键措施。胡麻生产中,在同等环境条件下,以施钾(K₂O)45 kg·hm⁻²,密度 7.5 × 10⁶株·hm⁻²适宜。

参 考 文 献:

- [1] Singh K K, Mridula D, Rehal J, et al. Flaxseed-a potential source of food, feed and fiber[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51: 210-222.
- [2] Pali V, Mehta N. Evaluation of oil content and fatty acid compositions of flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties of india[J]. Journal of Agricultural Science, 2014, 6: 1916-9760.
- [3] Goyal A, Sharma V, Upadhyay N, et al. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food[J]. Journal of Food Science & Technology, 2014, 51(9): 1633-1653.
- [4] 孙小花, 谢亚萍, 牛俊义, 等. 不同施钾水平对胡麻钾素营养转运分配及产量的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(4): 30-38.
- [5] Pageau D, Lajeunesse J, Lafond J. Effect of seeding rate and nitrogen fertilization on oilseed flax production[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2006, 86(2): 363-370.
- [6] Lafond G P, Irvine B, Johnston A M, et al. Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2008, 88: 485-500.
- [7] 吴 兵, 高玉红, 谢亚萍, 等. 种植密度对一膜两年用胡麻灌浆速率、水分利用效率及产量的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(12): 1912-1919.
- [8] 高 翔, 胡 俊, 王 莹. 种植密度对胡麻产量和含油量的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2003, 5: 10-11.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 81-83.
- [10] Pettigrew W T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton[J]. Physiologia Plantarum, 2008, 133: 670-681.
- [11] Kalannvar Veena N. Response of *Jatropha curcas* to nitrogen phosphorus and potassium levels in Northern transition zone of Karnataka [M]. Dharwad: Thesis submitted to the University of Agricultural Sciences, 2008: 6-8.
- [12] Mohapatra S, Panda P K. Effects of fertilizer application on growth and yield of *Jatropha curcas* L. in an Aeric Tropaequet of Eastern India[J]. Notulae Scientia Biologicae, 2011, 3: 95-100.
- [13] Tikoo A, Yadav S S, Kaushik N. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India[J]. Soil & Tillage Research, 2013, 134: 142-146.
- [14] 李文娟, 何 萍, 金继运. 钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 799-807.
- [15] Ehdaie B, Alloush G A, and Waines J G. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat[J]. Field Crops Research, 2008, 106: 34-43.
- [16] Maydup M L, Antonietta M, Guamet J J, et al. The contribution of ear photosynthesis to grain filling in bread wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Field Crops Research, 2010, 119: 48-58.
- [17] 黄智鸿, 王思远, 包 岩, 等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 95-98.
- [18] Dong H Z, Li W J, Eneji A E, et al. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field[J]. Field Crops Research, 2012, 126: 137-144.
- [19] Subedi K D, Ma B L. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids [J]. Crop Science, 2005, 45(6): 2246-2257.
- [20] Yang H M, Zhang X Y, Wang G X. Cytosolic calcium oscillation signaling in guard cell[J]. Plant Science, 2004, 166: 549-556.
- [21] 李春奇, 郑慧敏, 李 芸, 等. 种植密度对夏玉米雌穗发育和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2435-2442.
- [22] 李银水, 鲁剑巍, 廖 星, 等. 钾肥用量对油菜产量及钾素利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 152-156.
- [23] Maschmann E T, Slaton N A, Cartwright R D, et al. Rate and timing of potassium fertilization and fungicide influence rice yield and stem rot[J]. Agronomy Journal, 2010, 102: 163-170.
- [24] Niu J F, Zhang W F, Ru S H, et al. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain[J]. Agronomy Journal, 2013, 140: 69-76.
- [25] Helmy A M, Ramadan M F. Yield quality parameters and chemical composition of peanut as affected by potassium and gypsum applications under foliar spraying with boron[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2014, 45(18): 2397-2412.
- [26] 杨恒山, 张玉芹, 徐寿军, 等. 超高产春玉米干物质及养分积累与转运特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 315-323.
- [27] 侯云鹏, 杨 建, 孔丽丽, 等. 施钾对春玉米产量、养分吸收及分配的影响[J]. 玉米科学, 2015, 23(4): 124-131.
- [28] 曾祥亮, 宋秋来, 张 磊, 等. 春大豆植株钾素积累与转运的研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(5): 1169-1174.