

网络出版日期:2017-08-18
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170818.0939.026.html

磷对胡麻叶和蒴果皮中叶绿素质量分数、 籽粒产量和品质的影响

牛小霞¹, 谢亚萍², 王 斌², 牛俊义³

(1. 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃武威 733007; 2. 甘肃省农业科学院 作物研究所, 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学 农学院, 兰州 730070)

摘 要 以‘陇亚杂 1 号’为试验材料, 在大田条件下设置 4 个施磷(P₂O₅)水平(0、75、150、225 kg/hm²), 研究磷素营养对胡麻叶和蒴果皮中叶绿素、籽粒产量和品质的影响。结果表明, 叶片和蒴果皮中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 质量分数均随施磷量增加而增加, 与不施磷相比, 叶片中平均分别增加 19.05%、32.51% 和 22.72%, 蒴果皮中平均分别增加 43.21%、37.50% 和 41.65%; 与不施磷相比, 籽粒产量、含油率、油产量和籽粒粗蛋白均随施磷水平而提高, 平均分别提高 19.91%、1.20%、23.55% 和 10.17%; 籽粒中亚麻酸质量分数随施磷水平升高先升高后降低, 平均升高 3.70%。施磷量与籽粒产量、亚麻酸质量分数正相关; 与含油率、油产量和籽粒粗蛋白质量分数显著正相关; 与成熟期叶片和盛花期蒴果皮叶绿素质量分数极显著正相关; 子实期叶片中叶绿素质量分数与籽粒产量、含油率和油产量间存在极显著正相关; 子实期蒴果皮中叶绿素质量分数与籽粒产量和油产量间存在极显著正相关。试验表明, 施磷提高叶片和蒴果皮中叶绿素质量分数和籽粒产量, 同时也改善胡麻品质。

关键词 磷; 胡麻; 叶绿素; 籽粒产量; 品质

中图分类号 S147.2 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2017)08-1189-08

胡麻(*Linum usitatissimum* L.)为油用亚麻的俗称, 是世界重要的油料作物之一^[1]。2012 年, 中国胡麻种植面积为 31.8 万 hm², 总产量 39.1 万 t, 分别占全世界种植面积和产量的 13.71% 和 18.80%^[2]。由于胡麻具有较强的抗旱、耐寒、耐瘠薄能力和生长期短、适应性强等特性, 在农业生产中具有其他作物不可替代的地位^[3]。胡麻籽粒富含木酚素、α-亚麻酸、纤维素和维生素 E 等多种有益营养成分, 常用来生产各种类型功能性食品、药品、保健品^[4]。特别是籽粒中 α-亚麻酸, 在人体内经几种酶转化为 DHA 和 EPA^[5]。亚麻酸具有降低各种疾病的风险^[6]。尤其是冠心病、结肠癌、乳腺癌和动脉硬化^[5,7-9]。随着经济的发展和人们对高品质生活的追求, 对胡麻籽粒的需求不断增加。因此, 近几年, 在中国西北和华北干旱和半干旱地区, 胡麻种植面积不断扩大。然而, 胡麻籽粒产量较低, 成为制约胡麻种植和产业发展的瓶颈。相对于其他作物而言, 有

关胡麻施肥的研究仍处于较落后状态。

合理的磷肥运筹是改善作物光合特性^[10], 提高作物产量和品质的一项重要调控措施^[11-12]。谢亚萍等^[13]研究表明, 旱地胡麻籽粒产量随施磷量增加而增加。杨晴等^[14]研究表明, 在施用 P₂O₅ 75 ~ 375 kg/hm² 时, 随施磷量增加, 小麦(*Triticum aestivum*)叶片叶绿素质量分数提高, 同时产量增加。Grant 等^[15]研究表明, 通过施用磷肥, 增加胡麻籽粒中锌的质量分数, 进而提高品质。谢亚萍等^[16]研究得出, 灌溉地施用磷肥, 胡麻茎、叶中叶绿素质量分数提高, 籽粒产量提高。Rogério 等^[17]研究表明, 随磷肥用量增加, 海甘蓝(*Crambe abssynica* Hoechst)产量增加, 但对油质量分数没有影响; Morshedi^[18]研究油菜(*Brassica napus*)结果表明, 磷肥提高了油菜产量, 却对油质量分数没有影响。Prystupa 等^[19]研究大麦(*Hordeumvulgare* spp. *distichum* L.)得出, 磷肥提高大麦产量。有关不同施磷水平下灌溉地胡

麻叶片和蒴果皮中叶绿素质量分数动态变化规律以及不同磷水平对胡麻籽粒产量和品质的影响的研究鲜见报道。本研究旨在明确不同磷素用量对灌溉地胡麻整个生育期叶片和蒴果皮中叶绿素质量分数、籽粒产量和品质的影响;全面揭示胡麻叶片和蒴果皮中叶绿素的动态变化特征,从而阐明磷素对胡麻生产力的调控效应。为生产中磷肥的合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2012 年在甘肃省兰州市榆中县良种场进行,试验区年平均气温 $6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,无霜期 120 d 左右,年降雨量 350 mm,年蒸发量 1 450 mm。试验地为砂壤土。播前土层(0~30 cm)有机质 16.56 g/kg,全氮 1.10 g/kg,碱解氮 59.01 mg/kg,速效磷 13.83 mg/kg,速效钾 127.67 mg/kg,pH 7.75。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组法。磷肥(P_2O_5)施用量设置为 0 kg/hm²(P0)、75 kg/hm²(P1)、150 kg/hm²(P2)、225 kg/hm²(P3)4 个水平,小区面积 20 m²,重复 3 次。小区、重复间分别设置 30 cm、50 cm 宽的走(过)道,四周设宽 1 m 的保护行。供试品种为‘陇亚杂 1 号’。3 月 28 日播种,人工条播,种植密度为 833 株/m²,播深 3 cm,行距 20 cm。磷肥为过磷酸钙,全部基施;氮肥和钾肥分别为尿素和硫酸钾。氮肥 2/3 基施,1/3 于现蕾前追施;钾肥 175 kg/hm² K₂O 基施。8 月 1 日收获,并进行实际产量测定和室内考种。胡麻生育期灌溉 2 次,现蕾期 100 m³/667 m²,分茎期 80 m³/667 m²。

1.3 测定指标及方法

叶绿素质量分数的测定:在胡麻苗期、现蕾期、盛花期、青果期和成熟期,每小区选取长势基本一致的植株 20 株,选定具有代表性的植株叶片,在盛花期、青果期和成熟期,选择长势一致的蒴果,去皮;采用丙酮提取法^[20]测定叶片和蒴果皮中叶绿素质量分数。

按试验小区收获,测定其实际产量。

籽粒粗蛋白测定采用凯氏定氮法^[21],粗蛋白质量分数=籽粒氮质量分数 $\times 6.25$;高效气相法测定籽粒脂肪酸组分^[22];索氏提取法测定籽粒含油量^[23]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003、SPSS 17.0 进行数据整理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同施磷量对叶片叶绿素质量分数的影响

由表 1 可见,胡麻叶片中叶绿素 a 质量分数整个生育期先升后降呈倒 V 型,最高质量分数出现在盛花期,最低质量分数在成熟期。随施磷量增加,叶绿素 a 质量分数增加,且现蕾期和盛花期差异不显著。

从苗期至现蕾期叶绿素 a 质量分数增加最快,增幅 10.86%~34.07%;现蕾期至盛花期,叶绿素 a 质量分数变化平缓,增幅 3.36%~7.30%。盛花期开始,叶绿素 a 质量分数开始降低,子实期至成熟期降幅最大,达 63.53%~68.86%。盛花期至成熟期,叶绿素 a 质量分数降低 70.94%~76.86%。与不施磷相比,施磷处理叶绿素 a 质量分数平均增加 19.05%。

随施磷量增加,胡麻叶片中叶绿素 b 质量分数增加。与叶绿素 a 变化趋势一致。在整个生育期,胡麻叶片叶绿素 b 质量分数先升后降,呈单峰状,最高峰在盛花期,最低值在成熟期。从苗期至现蕾期叶绿素 b 质量分数增加最快,增幅 46.82%~97.56%;现蕾期至盛花期,叶绿素 b 质量分数变化平缓,增幅 9.35%~46.68%。盛花期开始,叶绿素 b 质量分数开始降低,子实期至成熟期降幅最大,达 73.16%~76.28%。盛花期至成熟期,叶绿素 b 质量分数降低 83.42%~86.62%。与不施磷相比,施磷处理叶绿素 b 质量分数增加 14.39%~46.86%,平均增加 32.51%。

胡麻叶片叶绿素 a+b 质量分数随施磷量的变化,和叶绿素 b 质量分数一致,随施磷量增加而增加。整个生育期动态趋势同于叶绿素 a 和叶绿素 b,先升后降,呈倒 V 型;最高值在盛花期,最低值在成熟期。与不施磷相比,施磷处理叶绿素 a+b 质量分数增加 15.58%~27.27%,平均增加 22.72%。苗期至现蕾期叶绿素 a+b 质量分数升高最快,增幅 26.01%~41.96%;子实期至成熟期降低最快,降幅 66.26%~70.82%。盛花期至成熟期,叶绿素质量分数降低 75.19%~80.06%。可见,从盛花期开始,叶绿素开始降解,子实期至成熟期降低最快。

2.2 不同施磷量对蒴果皮中叶绿素质量分数的影响

蒴果皮中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 质量分数随施磷量的增加而增加(表 2)。与不施磷相比,施磷处理叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 质量分数增幅分别为 27.50%~57.69%、26.39%~52.78%和 33.33%~50.93%,分别平均增加 43.21%,37.50%和41.65%。

蒴果皮中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 质量分数从盛花期开始持续下降,从子实期至成熟期降幅最大,分别为 36.51%~45.16%、37.50%~50.00%和 39.53%~44.35%;从盛花期至成熟期,分别降低 48.72%~63.89%、52.78%~60.00%和 51.85%~61.90%,分别平均降低 55.64%,55.54%和 55.73%。

表 1 不同磷水平下胡麻叶片叶绿素质量分数($\bar{x}\pm s$)
Table 1 Chlorophyll mass fraction in leaves of oilseed flax under different phosphorus conditions mg/g

处 理 Treatment	指标 Index	苗 期 Seedling	现蕾期 Budding	盛花期 Anthesis	子实期 Kernel	成熟期 Maturity
P0	叶绿素 a Chlorophyll a	0.745±0.018 c	0.893±0.015 b	0.927±0.019 b	0.714±0.015 b	0.235±0.009 c
P1		0.766±0.019 c	1.027±0.024 a	1.102±0.006 a	0.819±0.010 a	0.255±0.009 bc
P2		0.858±0.022 b	1.053±0.026 a	1.105±0.009 a	0.870±0.017 a	0.286±0.009 ab
P3		0.967±0.022 a	1.072±0.030 a	1.108±0.003 a	0.883±0.017 a	0.322±0.012 a
P0	叶绿素 b Chlorophyll b	0.220±0.012 b	0.323±0.015 b	0.382±0.015 b	0.263±0.009 c	0.063±0.003 c
P1		0.223±0.015 b	0.377±0.017 b	0.553±0.012 a	0.312±0.009 b	0.074±0.003 bc
P2		0.246±0.013 ab	0.486±0.017 a	0.557±0.010 a	0.323±0.010 ab	0.082±0.003 ab
P3		0.286±0.012 a	0.524±0.018 a	0.573±0.015 a	0.354±0.009 a	0.095±0.003 a
P0	叶绿素 a+b Chlorophyll a+b	0.965±0.009 c	1.216±0.029 c	1.309±0.035 b	0.976±0.013 c	0.298±0.010 c
P1		0.989±0.030 c	1.404±0.009 b	1.655±0.007 a	1.131±0.018 b	0.330±0.012 bc
P2		1.104±0.022 b	1.539±0.015 a	1.662±0.003 a	1.193±0.015 ab	0.368±0.009 b
P3		1.253±0.017 a	1.596±0.023 a	1.681±0.012 a	1.236±0.020 a	0.417±0.012 a

注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。下同。
Note:Different lowercase letters indicate significant difference among treatment at 0.05 level. The same below.

表 2 不同磷水平下胡麻蒴果皮叶绿素质量分数($\bar{x}\pm s$)
Table 2 Chlorophyll mass fraction in capsule pericarps of oilseed flax under different phosphorus conditions mg/g

处 理 Treatment	指 标 Index	盛花期 Anthesis	子实期 Kernel	成熟期 Maturity
P0	叶绿素 a Chlorophyll a	0.078±0.003 c	0.063±0.001 c	0.040±0.001 b
P1		0.106±0.009 b	0.086±0.002 b	0.050±0.001 a
P2		0.119±0.006 b	0.093±0.001 a	0.051±0.001 a
P3		0.144±0.003 a	0.094±0.002 a	0.052±0.001 a
P0	叶绿素 b Chlorophyll b	0.030±0.002 c	0.024±0.001 b	0.012±0.001 b
P1		0.036±0.002 bc	0.028±0.001 ab	0.017±0.001 a
P2		0.039±0.001 ab	0.031±0.002 a	0.018±0.001 a
P3		0.045±0.002 a	0.032±0.002 a	0.020±0.001 a
P0	叶绿素 a+b Chlorophyll a+b	0.108±0.008 c	0.086±0.001 c	0.052±0.001 b
P1		0.142±0.006 bc	0.114±0.002 b	0.067±0.002 a
P2		0.158±0.003 ab	0.124±0.001 a	0.069±0.001 a
P3		0.189±0.010 a	0.125±0.001 a	0.072±0.002 a

2.3 不同施磷量对胡麻籽粒产量和品质的影响
随着施磷量增加,胡麻籽粒产量和粗蛋白质量分数持续增加(图 1 和图 2)。与不施磷相比,施磷处理 P1、P2 和 P3 处理胡麻籽粒产量分别提高 15.11%、20.53%和 24.10%,施磷处理平均增

产 19.91%; 胡麻籽粒中粗蛋白质量分数分别提高 7.63%、8.16%和 14.72%,平均提高10.17%。胡麻籽粒脂肪酸组成中,棕榈酸与对照差异不显著,油酸与对照差异显著,亚油酸中 P3 与对照差异显著,P1、P2 和对照差异不显著,说明棕榈酸不

受施磷影响(表 3)。与不施磷相比,施磷处理 P1、P2 和 P3 胡麻籽粒亚麻酸质量分数分别提高 2.05%、6.49%和 2.55%,平均提高 3.70%。胡麻籽粒中含油率随着磷水平升高而升高(图 3),但 P0 与 P1 处理间,P1 处理与 P2 和 P3 处理间差异不显著。与不施磷相比,处理 P1、P2 和 P3

含油率分别增加 0.77、1.35 和 1.49 个百分点,平均提高 1.20 个百分点。

油产量随着磷水平升高而增加(图 4),与不施磷相比,处理 P1、P2 和 P3 油产量分别提高 17.32%、24.61%和 28.72%,平均提高 23.55%。由图 3 和图 4 不难得出,油产量大幅度增加主要是籽粒产量大幅度增加引起。

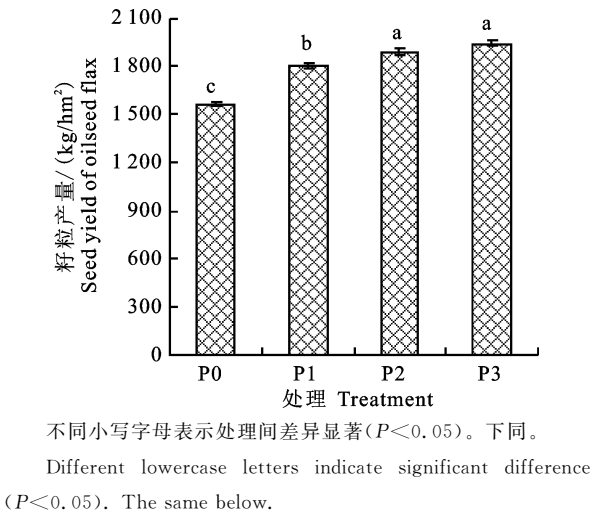


图 1 磷对胡麻籽粒产量的影响

Fig.1 Effects of different phosphorus rate on seed yield of oilseed flax

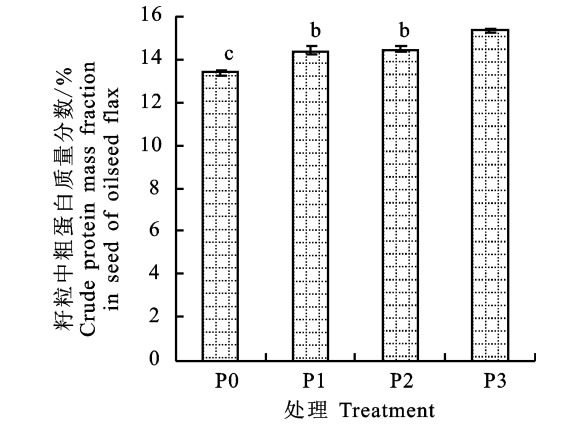


图 2 磷对胡麻籽粒粗蛋白质量分数的影响

Fig.2 Effects of different phosphorus rate on crude protein mass fraction in seed of oilseed flax

表 3 磷对胡麻籽粒中脂肪酸组成的影响($\bar{x}\pm s$)					%
Table 3 Effects of phosphorus on fatty acid components in seed of oilseed flax					
处理 Treatment	棕榈酸 Palmitic acid	硬脂酸 Stearic acid	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	亚麻酸 Linolenic acid
P0	6.61±0.17 a	5.13±0.08 a	29.92±0.11 b	13.55±0.11 b	44.79±0.19 c
P1	6.30±0.27 a	4.99±0.09 a	29.61±0.26 a	13.39±0.20 ab	45.71±0.19 b
P2	6.58±0.21 a	4.95±0.23 a	28.04±0.03 a	12.73±0.21 ab	47.70±0.19 b
P3	6.41±0.30 a	4.69±0.19 a	30.00±0.17 a	12.96±0.10 a	45.94±0.15 a

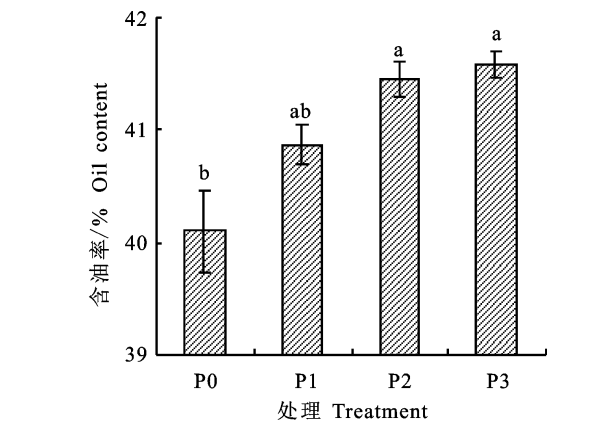


图 3 磷对胡麻籽粒含油率的影响

Fig.3 Effects of different phosphorus on oil content of oilseed flax

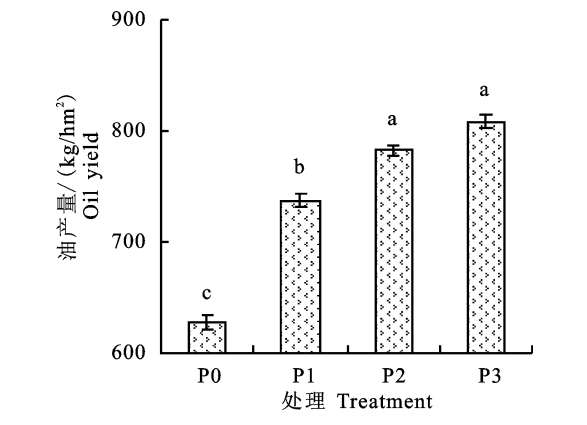


图 4 磷对胡麻油产量的影响

Fig.4 Effects of different phosphorus on oil yield of oilseed flax

2.4 磷水平、胡麻叶片和蒴果皮中叶绿素 a+b 与胡麻籽粒产量和品质的相关性

由表 4 可见,施磷量与胡麻籽粒产量和籽粒中亚麻酸质量分数正相关;与含油率、油产量和籽粒中粗蛋白质量分数显著正相关($R=0.96$ 、 $R=0.95$, $R=0.96$);与苗期、现蕾期和子实期叶片中叶绿素 a+b 质量分数显著正相关($R=0.96$ 、 $R=0.97$ 、 $R=0.96$),与成熟期叶片中叶绿素 a+b 质量分数极显著正相关($R=1.00$);与盛花期蒴果皮中叶绿素 a+b 质量分数极显著正相关($R=0.99$),与子实期和成熟期蒴果皮叶绿素 a+b 质量分数正相关。

现蕾期和盛花期叶片中叶绿素与籽粒产量显著正相关($R=0.99$, $P=0.011$; $R=0.96$),子实期叶片和蒴果皮中叶绿素 a+b 质量分数与籽粒

产量极显著正相关($R=1.00$; $R=0.99$, $P=0.008$),盛花期和成熟期蒴果皮中叶绿素 a+b 质量分数与含油率显著正相关($R=0.96$, $R=0.98$)。现蕾期和子实期叶片中叶绿素 a+b 质量分数与油质量分数和油产量间存在极显著正相关($R=1.00$; $R=0.99$, $P=0.007$; $R=0.99$, $P=0.008$; $R=1.00$);盛花期和子实期蒴果皮中叶绿素与油质量分数显著正相关($R=0.96$, $R=0.98$),盛花期、成熟期和子实期蒴果皮中叶绿素分别与油产量存在显著相关($R=0.96$, $R=0.98$)和极显著相关($R=0.99$, $P=0.009$)。叶片中子实期和成熟期、蒴果皮中盛花期叶绿素 a+b 质量分数与籽粒中粗蛋白质量分数显著正相关($R=0.95$, $R=0.95$, $R=0.99$)。叶片和蒴果皮中叶绿素 a+b 与籽粒中亚麻酸质量分数正相关。

表 4 不同生长阶段胡麻叶片和蒴果皮中叶绿素(a+b)质量分数与施磷量、籽粒产量、籽粒中粗蛋白质量分数和亚麻酸质量分数的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between applied phosphorus and the chlorophyll (a+b) of oilseed flax leaves and capsule pericarps at different growth stages with the applied phosphorus does, seed yield, crude protein mass fraction, and linolenic acid mass fraction								
项目 Item	器官 Organ	生育阶段 Growth stage	施磷量 Applied phosphorus	籽粒产量 Seed yield	含油率 Oil content	油产量 Oil yield	粗蛋白 质量分数 Crude protein mass fraction	亚麻酸 质量分数 Linolenic acid mass fraction
叶绿素 a+b 质量分数 Chlorophyll a+b	叶片 Leaves	苗期 Seedling	0.96 *	0.82	0.85	0.83	0.89	0.41
		现蕾期 Budding	0.97 *	0.99 *	1.00 * *	0.99 * *	0.94	0.71
		盛花期 Anthesis	0.81	0.96 *	0.91	0.95	0.87	0.67
		子实期 Kernel	0.96 *	1.00 * *	0.99 * *	1.00 * *	0.95 *	0.69
		成熟期 Maturity	1.00 * *	0.91	0.93	0.92	0.95 *	0.51
	蒴果皮 Capsule pericarps	盛花期 Anthesis	0.99 * *	0.96 *	0.96 *	0.96 *	0.99 *	0.52
		子实期 Kernel	0.90	0.99 * *	0.98 *	0.99 * *	0.90	0.76
		成熟期 Maturity	0.88	0.98 *	0.94	0.98 *	0.93	0.65
供磷处理 Applied phosphorus treatment			—	0.94	0.96 *	0.95 *	0.96 *	0.58

注: * 显著水平($P<0.05$) * * 极显著水平($P<0.01$)。
Note: * significant at $P<0.05$ level; * * significant at $P<0.01$ level.

3 讨论与结论

叶片是胡麻营养生长阶段和营养生长与生殖生长并进阶段光合作用的重要器官,叶片中叶绿素质量分数影响着胡麻生长器官构建以及籽粒产量。蒴果皮是胡麻生育后期生殖生长阶段光合作用的重要器官,蒴果皮中叶绿素质量分数直接影响着籽粒产量。本研究结果表明,不同生育时期胡麻叶片和蒴果皮中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 质量分数随施磷量增加而增加,与杨晴等^[14]在小麦叶片上研究结果相一致。王菲等^[24]研究得出小麦叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿

素 a+b 质量分数随供磷量增加而下降,这与本研究结果不同,可能与作物基因型、土壤类型以及环境因素有关。在整个生育期,胡麻叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 动态变化,先升后降,呈倒 V 型,盛花期达最大值,这与 Karele^[25]在研究冬小麦上所得结果相一致。崔世友等^[26]研究得出,大豆整个生育期叶片叶绿素质量分数先升后降,这与本试验结果相同。蒴果皮中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 动态变化,持续下降,这与油菜角果皮中叶绿素动态变化不相一致^[27],可能与作物基因型有关外,还与采样时间段有关。可见,施磷改变胡麻叶片和蒴果皮中叶绿素 a、叶

绿素 b 和叶绿素 a+b 质量分数,但对其动态变化没有影响。

胡麻籽粒产量和叶绿素质量分数变化一致,随施磷量增加而增加,这与施磷对旱地胡麻^[28, 13]、海甘蓝^[17]、小麦^[14]、油菜^[18]和大麦^[19]产量影响相一致。胡麻籽粒含油率随施磷量增加,与海甘蓝^[17]和油菜^[18]上研究结果不同,可能与植物基因型、土壤类型和环境有关。胡麻油产量随施磷增加而升高,类似于 Rogério 等^[17]研究。胡麻油产量增加和籽粒产量升高密切相关,与海甘蓝^[17]上研究相一致。籽粒中粗蛋白质量分数也随供磷量增加而增加,与油菜^[18]上研究结果不同。粗蛋白质量分数随供磷量增加,一方面,可能与施磷促进了氮的吸收有关^[26],另一方面可能与磷的吸收有关,有待进一步研究。相比不施磷处理,供磷处理籽粒中粗蛋白质量分数平均升高 10.17%。籽粒脂肪酸组成中,棕榈酸、油酸和亚油酸不受施磷影响,硬脂酸随施磷量增加而减小,亚麻酸质量分数随供磷水平提高先升高后降低。

本研究中,施磷量与胡麻籽粒产量正相关,这与 Prystupa 等^[19]在大麦上研究结果相一致。不同氮水平与叶绿素质量分数显著正相关^[29-31],类似于本研究中不同磷水平与叶绿素质量分数的相关性。周可金等^[27]研究得出,油菜角果皮中叶绿素质量分数与产量无显著相关,与本试验结果不一致。玉米^[31-32]和大麦^[33]研究表明,叶绿素质量分数与籽粒产量显著正相关,与本试验结果相一致。崔世友等^[26]研究得出,大豆生育后期叶绿素质量分数与籽粒产量间存在极显著正相关,这与胡麻生育后期子实期叶绿素质量分数与籽粒产量间存在极显著正相关相一致。可见,子实期叶片和蒴果皮中叶绿素质量分数可以作为衡量籽粒产量的一个特征指标。Araus 等^[34]研究表明,叶片叶绿素的质量分数与作物光合作用能力正相关,与本试验研究结果相一致。玉米长期施用磷肥能显著提高叶绿素质量分数、改善光合性能、增强光合利用率,进而起到增产的作用,说明光合作用强弱会直接影响到作物的产量高低^[35]。磷作为底物或调节物直接参与光合作用的各个环节^[36],施磷还可以提高作物根系对磷素的吸收量,从而提高作物叶片的光合作用。对植物进行缺磷或低磷处理研究光合碳代谢与磷营养的关系,得出缺磷导致叶绿素质量分数降低^[37],并使叶绿素 b 质量分数下降^[38],最终导致光合速率降低。本试验施

磷提高叶片和蒴果皮素叶绿素质量分数,促进光合作用和产量的提高,同时也改善胡麻品质,但是施磷对影响胡麻光合作用的哪个环节以及是怎么影响的还待进一步研究。子实期叶片和蒴果皮中叶绿素 a+b 质量分数与籽粒产量间存在极显著正相关,表明灌浆期间叶片和蒴果皮把捕获和吸收的光能充分用于光合作用,促进籽粒灌浆,增加光合产物,为籽粒高产奠定基础。同时,叶绿素也为籽粒含油率、籽粒中粗蛋白和亚麻酸质量分数的转化生成,提供了一定物质基础,其中原理有待进一步深入研究。

参考文献 Reference:

- [1] 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 (9): 198-207.
- [2] FAOSTAT. 2015. Food and Agricultural Organization of the United Nations [EB/OL]. 2015. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
- [3] 党占海, 张建平. 我国亚麻产业现状及发展对策[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
DANG ZH H, ZHANG J P. Flax industry in our country present situation and development countermeasures[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004 (in Chinese).
- [4] GOYAL A, SHARMA V, UPADHYAY N, et al. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51(9): 1633-1653.
- [5] CHEN J, WANG L, THOMPSON L U. Flaxseed and its components reduce metastasis after surgical excision of solid human breast tumor in nude mice[J]. *Cancer Letters*, 2006, 234(2): 168-175.
- [6] VISENTAINER J V, DE SOUZA N E, MAKOTO M, et al. Influence of diets enriched with flaxseed oil on the α -linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Food Chemistry*, 2005, 90(4): 557-560.
- [7] FLOWER G., FRITZ H, BALNEAVES L G, et al. Flax and breast cancer: a systematic review [J]. *Integrative Cancer Therapies*, 2014, 13(3): 181-192.
- [8] TRUAN J S, CHEN J M, THOMPSON L U. Flaxseed oil reduces the growth of human breast tumors (MCF-7) at high levels of circulating estrogen[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2010, 54(10): 1414-1421.
- [9] LINDAHL G, SAARINEN N, ABRAHAMSSON A, et al. Tamoxifen, flaxseed, and the lignan enterolactone increase estrogen and cancer cell-derived IL-1Ra and decrease tumorigenesis in estrogen-dependent breast cancer [J]. *Cancer Research*, 2011, 71(1): 51-60.
- [10] CHO M H, JANG A, BHOO S H, et al. Manipulation of triose phosphate/phosphate translocator and cytosolic fructose-1, 6-bisphosphatase, the key components in photosynthetic sucrose synthesis, enhances the source capacity

- of transgenic Arabidopsis plants[J]. *Photosynthesis Research*, 2012, 111(3): 261-268.
- [11] 张 磊, 曾胜和, 高志建, 等. 不同氮磷配比对滴灌小麦产量及养分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(5): 79-83.
ZHANG L, ZENG SH H, GAO ZH J, *et al.* Effects of fertilizer N, P on drip irrigation wheat yield and fertilizer use efficiency[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentis Sinic*, 2012, 21(5): 79-83.
- [12] ARDUINI I, MASONI A, ERCOLI L, *et al.* Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate[J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 25(4): 309-318.
- [13] 谢亚萍, 李爱荣, 闫志利, 等. 不同供磷水平对胡麻磷素养分转运分配及其磷肥效率的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(1): 158-166.
XIE Y P, LI A R, YAN ZH L, *et al.* Effect of different phosphorus levels on phosphorus nutrient uptake, transformation and phosphorus utilization efficiency of oil flax[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(1): 158-166 (in Chinese with English abstract).
- [14] 杨 晴, 韩金玲, 李雁鸣, 等. 不同施磷量对小麦旗叶光合性能和产量性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 816-821.
YANG Q, HAN J L, LI Y M, *et al.* Effects of phosphorus fertilization on flag leaves photosynthesis and yield components in wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(6): 816-821 (in Chinese with English abstract).
- [15] GRANT C A, MONREAL M A, IRVINE R B, *et al.* Preceding crop and phosphorus fertilization affect cadmium and zinc concentration of flaxseed under conventional and reduced tillage[J]. *Plant and Soil*, 2010, 333(1/2): 337-350.
- [16] 谢亚萍, 安惠惠, 牛俊义, 等. 氮磷对油用亚麻茎叶中生理指标及产量构成因子的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(4): 476-482.
XIE Y P, AN H H, NIU J Y, *et al.* Effects of nitrogen and phosphorus on physiological characteristics and yield components of oil flax[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2014, 36(4): 476-482 (in Chinese with English abstract).
- [17] ROGÉRIO F, SILVA T R B, SANTOS J I, *et al.* Phosphorus fertilization influences grain yield and oil content in crambe[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 41(1): 266-268.
- [18] MORSHEDI A. An investigation into the effects of sowing time, N and P fertilizers on seed yield, oil and protein production in canola[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2011, 57(5): 533-547.
- [19] PRYSTUPA P, SAVIN R, SLAFER G A. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N×P fertilization in barley[J]. *Field Crops Research*, 2004, 90(2/3): 245-254.
- [20] 张志良, 崔伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
ZHANG ZH L, ZHAI W J. Experimental Instruction of Plant Physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004 (in Chinese).
- [21] LITHOURGIDIS A S, MATSI T, BARBAYIANNIS N, *et al.* Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition, and soil properties[J]. *Agronomy Journal*, 2007, 99(4): 1041-1047.
- [22] ACKMAN R G. The gas chromatograph in practical analyses of common and uncommon fatty acids for the 21st century[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2002, 465(1): 175-192.
- [23] WEHIENBACHER V C E D, WALKER R O, WEHLEN BACHER, *et al.* Official and tentative methods of the american oil Chemists' society[J]. *Analyst*, 1946, 72(853): 157.
- [24] 王 菲, 曹翠玲. 磷水平对不同磷效率小麦叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 758-762.
WANG F, CAO C L. Effects of phosphorus levels on chlorophyll fluorescence parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) with different phosphorus efficiencies[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 758-762 (in Chinese with English abstract).
- [25] KARELE I. Chlorophyll Content Distribution in Leaves' Stems, and Ears in Winter Wheat[M]. *Developments in Plant and Soil Sciences*, 2001: 720-721.
- [26] 崔世友, 喻德跃. 大豆不同生育时期叶绿素质量分数 QTL 的定位及其与产量的关联分析[J]. 作物学报, 2007, 33(5): 744-750.
CUI Sh Y, YU D Y. QTL Mapping of chlorophyll c mass fraction at various growing stages and its relationship with yield in soybean [*Glycine max* (L.) Merr] [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(5): 744 -750 (in Chinese with English abstract).
- [27] 周可金, 肖文娜, 官春云. 不同油菜品种角果光合特性及叶绿素荧光参数的差异[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(3): 316-321.
ZHOU K J, XIAO W N, GUAN CH Y. Analysis on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of siliques for different winter rapeseed varieties (*Brassica napus* L.) [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2009, 31(3): 316-321 (in Chinese with English abstract).
- [28] XIE Y P, NIU J Y, GAN Y T, *et al.* Optimizing phosphorus fertilization promotes dry matter accumulation and P remobilization in oilseed flax[J]. *Crop Science*, 2014, 54(4): 1729-1736.
- [29] RUI Y K, PENG Y F, WANG Z R, *et al.* Stem perimeter, height and biomass of maize (*Zea mays* L.) grown under different N fertilization regimes in Beijing, China[J]. *International Journal of Plant Production*, 2009, 3(2): 85-90.
- [30] RAMBO L, MA B L, XIONG Y, *et al.* Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2010, 173(3): 434-443.
- [31] SZLES A V, MEGYES A, NAGY J. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll mass fraction and grain yield of maize in different crop years[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 107(10): 133-144.
- [32] VETSCH J A, RANDALL G W. Corn production as affected by nitrogen application timing and tillage[J].

- Agronomy Journal*, 2004, 96(2): 502-509.
- [33] MONTEMURRO F, MAIORANA M, FERRI D, *et al.* Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and sources of N fertilization[J]. *Field Crops Research*, 2006, 99(2/3): 114-124.
- [34] ARAUS J I, BORT J, CECCARELLI S, *et al.* Relationship between leaf structure and carbon isotope discrimination in field grown barley[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 1997, 35(7): 533-541.
- [35] 王 帅. 长期不同施肥对玉米叶片光合作用及光系统功能的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
- WANG SH. Effects of long-term different fertilization on photosynthesis and photosystem function in maize leaves [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [36] 曾洪学, 王 俊. 盐害生理与植物抗盐性[J]. 生物学通报, 2005, 40(9): 1-3.
- ZENG H X, WANG J. Salt damage physiology and salt tolerance of plants[J]. *Bulletin of Biology*, 2005, 40(9): 1-3 (in Chinese).
- [37] JACOB J, LAWLORD W. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1991, 42(241): 1003-1011.
- [38] RODRIGUEZ D, ANDRADE F H, GOUDRIAAN J. Effects of phosphorus nutrition on tiller emergence in wheat [J]. *Plant and Soil*, 1999, 209(2): 283-295.

Effect of Phosphorus on Chlorophyll mass fraction in Leaves and Capsule Pericarps, Seed Yield and Quality of Oilseed Flax

NIU Xiaoxia¹, XIE Yaping², WANG Bin² and NIU Junyi³

(1. Institute of Agricultural Engineering Technology of Gansu Province, Wuwei Gansu 733007, China;

2. Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

3. Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract Using ‘Longyaza No. 1’ as the material, four phosphorus (P_2O_5) levels (0, 75, 150, and 225 kg/hm²) were designed to investigate the effect of on chlorophyll mass fraction in leaves and capsule pericarps, seed yield and quality of oilseed flax under irrigation conditions. The result indicated that the mass fraction of chlorophyll a, chlorophyll b, and chlorophyll a+b increased with phosphorus level, with the average increase of 19.05%, 32.51% and 22.72% in leaves, respectively, and 43.21%, 37.50% and 41.65% in capsule pericarps, respectively; seed yield, oil content, oil yield and crude protein mass fraction in seed of oilseed flax increased with phosphorus, with an average rate of 19.91%, 1.20%, 23.55% and 10.17%, respectively; linolenic acid mass fraction first increased then decreased with phosphorus level with an average of 3.70%. Phosphorus fertilization had a positive correlation with seed yield and linolenic acid mass fraction ($P < 0.05$), and significant positive correlation with oil content, oil yield, and crude protein mass fraction in seed and chlorophyll mass fraction in leaves at maturity and in capsule pericarps at anthesis stage ($P < 0.01$). The chlorophyll mass fraction in leaves at kernel stage showed significant positive correlation with seed yield, oil content, and oil yield; the chlorophyll mass fraction in capsule pericarps at kernel stage had significant positive correlation with seed yield and oil yield. In conclusion, the present study indicates that phosphorus fertilization can increase chlorophyll mass fraction in leaves and capsule pericarps, and seed yield, improving quality in oilseed flax.

Key words Phosphorus; Oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.); Chlorophyll; Seed yield; Quality

Received 2016-07-19

Returned 2016-10-18

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31660368, No. 31360315); National Modern Agriculture Industry Technology System (No. CARS-17-GW-9).

First author NIU Xiaoxia, female, research assistant. Research area: crop cultivation technology. E-mail: 519077253@qq.com