

磷素营养变化对大豆磷素积累及产量和品质的影响

曹立为¹,郭晓双²,龚振平¹,马春梅¹

(1. 东北农业大学 农学院,黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 哈尔滨华穗粮食投资有限公司,黑龙江 哈尔滨 150046)

摘要:以黑农48大豆品种为供试材料,采用砂培法,通过大豆生育期间淋浇不同的磷素水平营养液,研究了磷素营养水平变化对大豆植株磷素积累量及产量和品质的影响。结果表明:全生育期低磷处理(P₁)的大豆植株中磷素积累总量(391.5 mg·盆⁻¹)明显低于高磷处理(P₃₁)(988.2 mg·盆⁻¹),其它处理无论是先高磷后低磷还是先低磷后高磷全株磷积累量都与高磷处理的时间成正比。R1~R5期是植株磷积累最敏感的时期;籽粒磷素积累量占全株磷素总量的比例,比其它器官所占比例都要高。高磷时间越长磷素分配到籽粒中的比例就越低,磷营养不足时植株会优先满足籽粒对磷的需求。R1期以前磷营养水平决定株高和节数。大豆粒数、百粒重、产量以及大豆籽粒中蛋白质和脂肪的含量会随着高磷时间的增加而增加。V3~R1期高磷对产量的提升作用最大,R1~R5期是低磷胁迫最为敏感的时期。大豆前期磷素营养充足对后期产量形成有后效,前期磷素营养不足,后期施充足的磷素对产量形成有一定的补偿作用。

关键词:磷素营养变化;大豆;磷积累量;产量

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.03.0458

Changes of Phosphorus Nutrition on P Accumulation, Yield and Quality of Soybean

CAO Li-wei¹, GUO Xiao-shuang², GONG Zhen-ping¹, MA Chun-mei¹

(1. Agronomy College of Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Harbin Huasui Grain Investment Co. Ltd, Harbin150046, China)

Abstract: Taking soybean cultivar Heinong 48 as material, the sand culture with different levels of phosphorus nutrient were used to study the effect of changes in phosphorus nutrition on P accumulation, yield and quality of soybean. The results showed that the total amount of phosphorus accumulation in soybean plants of P₁ (391.26 mg per pot) was significantly lower than the high phosphorus treatment (P₃₁) (988.20 mg per pot) in the whole growth period, phosphorus accumulation of other treatment was proportional to the time of the high phosphorus treatment. R1-R5 was the most sensitive period of plant phosphorus accumulation; The phosphorus accumulation of grain accounts for more percentage than other organs, and the longer time of high phosphorus the lower proportion to the distribution of phosphorus in seeds, when phosphorus undernourished, the plant would give priority to satisfy the demand for phosphorus in seeds. The phosphorus levels before period of R1 in the decision of the height and the number of sections. The seeds per plant, 100-seed weight, yield and soybean protein and fat content were increased continually with the increase of high phosphorus time. The high phosphorus treatment in V3-R1 played the most important role in enhancing the yield, R1-R5 was the most sensitive period to phosphorus stress. The sufficient P nutrition in early stage influenced yield formation. The sufficient phosphorus in late stage could compensate to yield formation when early P nutrient deficiencies.

Keywords: Changes in phosphorus nutrition; Soybean; Phosphorus accumulation; Yield

磷是作物生长所必需的营养元素,在其发育过程中起重要的作用,缺磷严重限制大豆生长发育和产量形成^[1-2]。低磷胁迫时,不仅会严重影响根系的吸收作用以及磷代谢产物的形成,而且会抑制氮素的积累及根瘤固氮^[3],进而导致大豆的产量及品质的降低。另外,大豆不同时期对于磷素的敏感程度和吸收量不同。幼苗到开花期是对磷素需求最为敏感的阶段,此时缺磷将严重影响大豆的正常生长发育;植株结荚期是磷素吸收高峰期,若此时磷素不足将严重影响籽粒品质^[4]。现阶段关于磷素胁迫对于大豆磷素积累及产量品质的影响有很多报道,但大多数局限于大豆全生育时期低磷胁迫^[3,5-6],而缺乏几个时期持续低磷对大豆磷积累及产量品质的系统研究。根据吴冬婷等^[7]、姚玉波等^[8]研究结果,砂培条件下磷浓度在31 mg·L⁻¹时大豆无论是在氮素积累、根瘤固氮量以及产量上均

收稿日期:2014-12-09
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2014BAD11B01);黑龙江省科技重大项目(GA14B101)。
第一作者简介:曹立为(1989-),男,硕士,主要从事大豆生理研究。E-mail: caoliwei211@163.com。
通讯作者:龚振平(1963-),男,教授,博导,主要从事作物栽培与耕作研究。E-mail: gzpyx2004@163.com。

达到最高值,因此本文采用砂培方法,通过大豆生育期间淋浇 1 和 31 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 两种磷素水平营养液,研究磷素营养变化对大豆植株磷素积累以及产量和品质的影响,旨在了解大豆植株对磷素的积累与分配的特点,为丰富大豆磷素营养研究内容和合理施用磷肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2013 年在东北农业大学香坊实验站进行,采用砂培方法,所用盆钵内径为 0.30 m、深度为 0.28 m,在盆底钻直径为 1 cm 的孔,装盆前将江砂清洗干净,每盆装江砂 20 kg。大豆品种为黑农 48 (HN48)。5 月 20 日播种,每盆苗 4 株。

从播种开始到对生真叶完全展开前,每日淋浇一次 500 mL 清水;在对生真叶展开以后,开始淋浇对应的营养液,每日一次每次 500 mL;在大豆生长旺盛期,每天淋浇 2 次 500 mL 营养液;为了防止过多的盐分在砂子中积累,每隔 3 d 用 1 L 清水淋洗 1 次。在大豆第三片复叶完全展开时,进行根瘤菌接种。其方法是取上年冷冻保存的田间大豆根瘤,清洗研碎后加入到营养液中,每升营养液中约含 5 g 根瘤,连续淋浇 5 d。

1.2 试验设计

在大豆生育期间分别淋浇磷含量为 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (P_1) 和 31 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (P_{31}) 的低磷和高磷的两种营养液。以 KH_2PO_4 含量调整 P_1 和 P_{31} 两种营养液的磷水平差异,为维持两种营养液钾水平一致,在 P_1 营养液中加入 K_2SO_4 和 KCl 。 P_1 营养液 KH_2PO_4 , K_2SO_4 , KCl 含量分别为: 4.39, 42.00 和 36.00 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。 P_{31} 营养液 KH_2PO_4 含量为 136.00 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。另外两种营养液中 (NH_4)₂ SO_4 、 MgSO_4 、 CaCl_2 、 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 H_3BO_3 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 含量为 235.80, 240.00, 220.00, 0.03, 0.08, 0.22, 4.90, 2.86, 1.12 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试验共设 8 个处理,每个处理 5 次重复,共计 40 盆。全生育期淋浇磷含量 1 和 31 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 水平营养液作为对照,记为 P_1 和 P_{31} 。大豆生育期间磷营养变化包括 6 个处理,其中先低磷后高磷组为:出苗至 V3 期浇 P_1 营养液, V3 ~ R8 期浇 P_{31} 营养液记为 V_3P_{1-31} ;出苗至 R1 期浇 P_1 水平营养液, R1 ~ R8 期浇 P_{31} 水平营养液记为 R_1P_{1-31} ;出苗至 R5 期浇 P_1 水平营养液, R5 ~ R8 期浇 P_{31} 水平营养液记为 R_5P_{1-31} 。先高磷后低磷组为:出苗至 V3 期浇 P_{31} 营养液, V3 ~ R8 期浇 P_1 营养液记为 V_3P_{31-1} ;出苗至

R1 期浇 P_{31} 营养液, R1 ~ R8 期浇 P_1 营养液记为 R_1P_{31-1} ;出苗至 R5 期浇 P_{31} 营养液, R5 ~ R8 期浇 P_1 营养液记为 R_5P_{31-1} 。

1.3 测定项目与方法

于 R8 期取样,当大豆叶片枯黄时将掉落的叶片收集装入网袋,将植株分解为营养体(叶片、叶柄、茎、根)、荚皮和籽粒几部分, 105℃ 杀青 0.5 h 后, 65℃ 烘干,称重后粉碎待测,同时测定株高、节数、荚数、粒数、粒重。

以 CuSO_4 和 K_2SO_4 为催化剂,用浓 H_2SO_4 消化后,采用钼锑抗比色法测定植株磷素含量^[9]。以 CuSO_4 和 K_2SO_4 为催化剂,用浓 H_2SO_4 消化后,采用凯氏定氮法测氮含量^[9],乘 5.75 换算蛋白质含量。采用索氏提取法^[9],样品用石油醚反复萃取,测定脂肪含量。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 17.0 进行分析。

2 结果与分析

2.1 磷素营养水平变化对大豆植株磷素积累和分配的影响

由表 1 可见,大豆生育期间磷素营养水平变化对磷素积累和分配产生明显的影响。各处理中以全生育期高磷处理(P_{31})植株磷积累量最高,全生育期低磷处理(P_1)磷积累量最低。从全株磷积累量来看,各处理间均达到了显著性差异,说明各时期缺磷都会对全株磷素积累产生很大影响。先低磷后高磷处理组合磷素积累量大小顺序为: $V_3P_{1-31} > R_1P_{1-31} > R_5P_{1-31}$,先高磷后低磷处理组合磷素积累量大小顺序为: $R_5P_{31-1} > R_1P_{31-1} > V_3P_{31-1}$,说明高磷营养的时间越长全株积累的磷素就越多。先高磷后低磷处理 R_5P_{31-1} 与 R_1P_{31-1} 之间相差最大,在 R1 ~ R5 期间高磷营养会使全株的磷积累量大约提升 25% 左右,说明 R1 ~ R5 期间高磷处理对磷素积累量的促进作用是最大的;先低磷后高磷处理 R_5P_{1-31} 与 R_1P_{1-31} 之间相差最大,说明 R1 ~ R5 期间低磷对于全株磷素积累的抑制作用也是最大的。因此, R1 ~ R5 期间是全株磷素积累对磷素营养最敏感的时期。磷素水平变化对籽粒磷素积累的影响趋势与全株磷素的变化基本相同,也是高磷处理(P_{31})籽粒磷积累量最高,低磷处理(P_1)最低。先低磷后高磷处理组合大小顺序为: $V_3P_{1-31} > R_1P_{1-31} > R_5P_{1-31}$,先高磷后低磷处理组合大小顺序为: $R_5P_{31-1} > R_1P_{31-1} > V_3P_{31-1}$ 。其中, P_1 和 V_3P_{31-1} 差异很小,表明 V_3 期之前高磷对籽粒磷积累的促进作用最小。 R_5 期之前高磷而后低磷处理与全生育期

高磷处理(P_{31})相比较籽粒中磷积累量有明显下降,表明 R_5 期以后低磷胁迫会影响籽粒的磷素积累。 R_1P_{1-31} 、 V_3P_{1-31} 和 P_{31} 差异不明显,说明花期之前如果低磷可以通过之后追加磷肥来弥补籽粒中磷积累量的缺失。但如果低磷时间持续至 R_5 期时,籽粒中磷积累量会明显下降,这种磷积累量的缺失即使鼓粒初期之后追施磷肥也会使籽粒磷积累量大幅度下降。磷素营养变化对荚皮磷积累的影响与籽粒基本相同,但 V_3P_{1-31} 与 R_5P_{31-1} 差异显著而与 P_{31} 差异不显著,说明 R_5 期之后低磷对荚皮磷积累影响相对较大。磷素营养变化对于营养体磷素积累的影响表现为:全生育期高磷处理显著高于其它各个低磷处理, V_3P_{1-31} 、 R_1P_{1-31} 、 R_5P_{1-31} 以及 P_1 处理间差异显著。说明无论是苗期之前低磷还是花荚期之前低磷都会对残留在营养体中磷素产生较大的影响,并且这几个时间段对于低磷是十分敏感

的; R_1P_{1-31} 和 R_5P_{31-1} 营养体中磷积累差异不显著,说明 R_5 期以后低磷与 R_1 期以前低磷对于营养体磷素量的影响效果是等同的。

磷素营养变化对磷素分配的影响,也呈现一定的规律性(表 1)。从各器官的分配率可以看出,磷素分配率最高的器官是籽粒,占整个植株磷积累量的 49.62% ~ 79.25%,无论是磷素营养由高到低,还是由低到高都是高磷时间与籽粒的分配率呈反比,也就是说高磷处理时间长籽粒中磷积累量虽上升,但分配率却降低,而营养体的分配率却升高。说明磷素营养变化会改变大豆植株中磷素的分配,磷营养越充足,残留在营养体中的磷就越多,分配到籽粒中的比例降低,低磷胁迫时植株中磷素向籽粒中分配率高。表明在磷素营养不足时,优先满足籽粒对磷素的需要。

表 1 磷素营养变化对大豆植株磷素积累与分配的影响

Table 1 Effect of changes in phosphorus nutrition on P accumulation and distribution

器官 Organ		P_1	V_3P_{31-1}	R_1P_{31-1}	R_5P_{31-1}	R_5P_{1-31}	R_1P_{1-31}	V_3P_{1-31}	P_{31}
营养体 Vegetative	积累量 Accumulation/mg	67.1 ± 3.20 f	98.2 ± 3.11 e	121.6 ± 3.04 de	269.8 ± 13.14 c	138.4 ± 4.42 d	260.4 ± 8.59 c	369.6 ± 10.45 b	431.2 ± 4.13 a
	百分比 Percentage/%	17.19	22.99	24.91	35.86	26.71	34.21	41.27	43.64
荚皮 Pod skin	积累量 Accumulation/mg	13.9 ± 0.05 c	15.5 ± 0.29 c	22.7 ± 0.15 c	52.6 ± 0.58 b	12.5 ± 0.02 c	56.4 ± 0.08 ab	67.3 ± 0.42 a	66.6 ± 0.19 a
	百分比 Percentage/%	3.56	3.63	4.65	6.99	2.40	7.40	7.52	6.75
籽粒 Seed	积累量 Accumulation/mg	310.5 ± 1.73 d	313.4 ± 2.31 d	343.8 ± 2.31 cd	429.9 ± 2.31 b	367.3 ± 0.58 c	444.4 ± 1.16 ab	458.8 ± 1.16 ab	490.4 ± 2.31 a
	百分比 Percentage/%	79.25	73.38	70.43	57.15	70.89	58.39	51.21	49.62
全株 Whole plant	积累量 Accumulation/mg	391.5 ± 2.96 g	427.1 ± 3.74 f	488.1 ± 12.75 e	752.4 ± 16.62 c	518.3 ± 4.11 d	761.2 ± 4.01 c	895.6 ± 4.37 b	988.2 ± 4.14 a

数据为每盆大豆磷积累量及其占全株磷积累量的百分比。数字后不同小写字母差异显著。下同。
The data in the table are soybean phosphorus accumulation per pot, and percentage to the whole plant phosphorus accumulation. Different lowercase letters are significant different at 0.05 level. The same below.

2.2 磷素营养变化对大豆产量和品质的影响

2.2.1 对大豆农艺性状及产量构成的影响 大豆生育期间磷素营养变化对大豆产量产生一定的影响。由表 2 可见,各处理间株高与节数变化相似, P_{31} 、 V_3P_{1-31} 、 R_5P_{31-1} 、 R_1P_{31-1} 、 V_3P_{31-1} 处理株高和节数差异不显著, R_5P_{1-31} 、 R_1P_{1-31} 、 P_1 处理间差异不显著,前者明显高于后者,说明低磷处理持续到初花期会降低大豆的株高和节数,但持续低磷到 R_5 期或 R_8 期,株高和节数没有进一步降低。苗期以前磷素营养充足而后低磷处理则不会对大豆株高和节数产生较大影响,表明 R_1 期以前磷营养水平决

定株高和节数。大豆粒数、百粒重以及产量会随着高磷时间的增加而增加。试验处理中 P_{31} 产量最高, P_1 产量最低,而先低磷后高磷处理组合的产量大小顺序为: $V_3P_{1-31} > R_1P_{1-31} > R_5P_{1-31}$, 先高磷后低磷处理组合的产量大小顺序为: $R_5P_{31-1} > R_1P_{31-1} > V_3P_{31-1}$, 说明低磷处理会明显影响大豆产量,而低磷持续时间越长影响就越大。 V_3P_{1-31} 、 R_5P_{31-1} 之间差异不显著,但较 P_{31} 的产量明显降低,说明出苗至 V_3 期, R_5 至 R_8 期低磷胁迫都会影响产量而两个时期对磷的敏感程度接近。 R_5P_{1-31} 与 P_1 差异不显著,说明 R_5 期之前持续低磷,即使之后供给高磷对产

量作用也不大。由此看出,磷素供给时期的不同将直接影响到大豆产量的高低。

表 2 磷素营养变化对大豆农艺性状及产量构成的影响

Table 2 Effect of changes in phosphorus nutrition on soybean agronomic traits and yield components

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	节数 Nodes number	粒数 Seeds number	百粒重 100-seed weight /g	产量 Yield per pot /g
P ₁	64. 25 ±0. 79 b	14. 45 ±0. 18 b	78. 50 ±5. 17 de	19. 77 ±0. 56 d	73. 78 ±1. 03 d
V ₃ P ₃₁₋₁	78. 91 ±1. 44 a	16. 21 ±0. 29 a	87. 95 ±4. 26 cd	20. 70 ±0. 87 cd	76. 11 ±1. 64 d
R ₁ P ₃₁₋₁	78. 15 ±1. 25 a	15. 55 ±0. 26 a	80. 75 ±4. 47 de	24. 05 ±1. 09 b	81. 57 ±0. 83 c
R ₅ P ₃₁₋₁	76. 82 ±0. 99 a	15. 66 ±0. 18 a	102. 95 ±3. 71 ab	24. 84 ±0. 64 ab	83. 92 ±1. 31 bc
R ₅ P ₁₋₃₁	59. 25 ±1. 25 b	14. 17 ±0. 26 b	72. 75 ±2. 91 e	24. 98 ±0. 71 ab	74. 77 ±1. 05 d
R ₁ P ₁₋₃₁	59. 20 ±1. 08 b	14. 25 ±0. 25 b	78. 31 ±4. 07 e	21. 04 ±0. 56 cd	81. 58 ±0. 89 c
V ₃ P ₁₋₃₁	82. 25 ±4. 08 a	16. 30 ±0. 57 a	97. 65 ±12. 99 bc	22. 70 ±0. 97 bc	84. 63 ±3. 04 b
P ₃₁	77. 03 ±1. 53 a	16. 05 ±0. 27 a	110. 80 ±6. 73 a	24. 43 ±1. 50 a	89. 00 ±1. 31 a

2. 2. 2 对大豆品质的影响 表 3 数据表明大豆蛋白质、脂肪含量受磷素营养变化的影响表现为一致的规律性。P₃₁处理蛋白质和脂肪含量最高,P₁处理蛋白质和脂肪含量最低。先低磷后高磷处理组合的蛋白质、脂肪含量大小顺序为:V₃P₁₋₃₁ > R₁P₁₋₃₁ > R₅P₁₋₃₁,先高磷后低磷处理组合的蛋白质、脂肪含量大小顺序为:R₅P₃₁₋₁ > R₁P₃₁₋₁ > V₃P₃₁₋₁。可以清楚的看出,高磷时间越长,其籽粒的蛋白质、脂肪含量就越高。V₃P₁₋₃₁蛋白质含量与 P₃₁差异不大,说明苗期低磷对于蛋白质含量影响不大;V₃P₁₋₃₁与 R₁P₁₋₃₁差值很大且达到了显著性差异,说明 V3 ~ R1 期低磷对于蛋白质含量抑制作用是最大的,V₃期之前缺磷对蛋白质的影响可以通过之后高磷来弥补。先高磷后低磷处理中 R₁P₃₁₋₁与 V₃P₃₁₋₁差异不显著,明显高于 P₁,而 R₅P₃₁₋₁显著低于 P₃₁,说明如

果花期之前高磷处理对于大豆蛋白质含量促进作用是很明显,R5 ~ R8 期的低磷仍然会使蛋白质含量明显下降。

先高磷后低磷处理中,R₁P₃₁₋₁、R₅P₃₁₋₁、P₃₁处理的脂肪含量几乎没有差异,说明花荚期之前正常施磷,之后磷营养水平不足对于大豆脂肪的含量影响不大;V₃P₃₁₋₁、R₁P₃₁₋₁、R₅P₃₁₋₁之间没有达到显著,说明 V3 ~ R5 期高磷对于脂肪的促进作用不明显。先低磷后高磷则表现为:V₃P₁₋₃₁、R₁P₁₋₃₁、R₅P₁₋₃₁之间差异不显著,但显著低于 P₃₁,说明苗期低磷,后期高磷对于脂肪含量的影响是无法弥补的。全生育期低磷与 R₅P₁₋₃₁相差不大,说明大豆低磷胁迫至 R₅期以后,恢复高磷营养对脂肪含量的影响也无法缓解。

表 3 磷素营养变化对大豆蛋白质和脂肪含量的影响

Table 3 Effect of changes in phosphorus nutrition on protein and fat content (%)

	P ₁	V ₃ P ₃₁₋₁	R ₁ P ₃₁₋₁	R ₅ P ₃₁₋₁	V ₃ P ₁₋₃₁	R ₁ P ₁₋₃₁	R ₅ P ₁₋₃₁	P ₃₁
蛋白质 Protein	36. 1 ±0. 38 d	38. 4 ±0. 26 c	39. 7 ±0. 38 bc	40. 9 ±0. 29 b	41. 7 ±0. 23 a	37. 9 ±0. 45 c	35. 6 ±0. 27 d	43. 9 ±0. 49 a
脂肪 Fat	16. 9 ±0. 32 d	18. 8 ±0. 37 bc	19. 8 ±0. 39 ab	19. 9 ±0. 71 ab	19. 2 ±0. 14 b	18. 3 ±0. 05 bcd	17. 1 ±0. 15 cd	21. 5 ±0. 34 a

3 结论与讨论

3. 1 磷素营养水平与大豆植株磷素积累和分配的关系

丁玉川等^[5]研究表明,大豆在幼苗阶段对缺磷反应不敏感,但随着植株的生长和发育,对介质中磷素营养的要求越来越高时,特别在开花期前,缺磷处理就表现出一定程度的缺磷性状。吴冬婷等^[7]指出,较高的供磷水平对大豆中前期的磷素吸收积累促进作用明显,其结论与本试验结果相似。

本试验结果表明,全生育期高磷处理(P₃₁)大豆植株、籽粒中磷积累量最高(988. 2 mg·盆⁻¹),全生育期低磷处理(P₁)磷积累量最低(391. 5 mg·盆⁻¹)。先低磷后高磷处理组合植株和籽粒磷积累量均表现为:V₃P₁₋₃₁ > R₁P₁₋₃₁ > R₅P₁₋₃₁,先高磷后低磷处理组合植株和籽粒积累量均表现为:R₅P₃₁₋₁ > R₁P₃₁₋₁ > V₃P₃₁₋₁,表明高磷营养时间越长,植株和籽粒的磷积累量越高,而 R1 ~ R5 期是大豆植株与籽粒磷积累对磷营养的敏感时期,这一时期无论是缺磷还是高磷将对于全株和籽粒中磷积累影响最大。R1 期之前低磷可以通过之后高磷处理来弥补籽粒

中磷积累量的损失;R1 期之前高磷则对植株籽粒磷积累的促进作用不明显;R5 期之前持续高磷处理,而后低磷胁迫会明显影响籽粒中磷素的积累,而低磷持续到 R5 期,之后高磷营养对于磷积累的提升不明显。

吴明才等^[10]通过研究证实,磷素在大豆植株体内是可以移动并且能够再利用的。磷素在营养器官中的含量随生育时期的推移基本呈现下降趋势,不同营养器官间存在差异^[11]。当大豆缺磷时会促进光合产物和磷在植物体内的运输,并向生长旺盛的新生器官转移^[12-13]。也就是说随着植株由营养生长向生殖生长转变,缺磷会促进植株磷素向荚果转移,这与本试验结果相类似。本试验结果表明,籽粒磷积累量占全株的比例比其它器官所占比例都要高,低磷处理(P_1)为 79.25%,明显高于全生育期高磷处理(P_{31})的 49.3%。大豆植株生育期磷营养无论是由高变低,还是由低变高,都是低磷时间越长,荚果中磷素的分配率也就越高,表明当磷素营养不足时植株会优先满足籽粒对磷的需求。

3.2 磷素营养水平变化与大豆产量和品质的关系

蔡伯岩等^[14]、张大勇等^[15]和郭庆元等^[16]研究表明,施磷对于大豆籽粒蛋白质和脂肪含量影响较大,施磷有利于提高脂肪含量,适宜的施磷量才有利于蛋白质的含量的提高,不施磷或高施磷不利于蛋白质的形成。而王建国等^[17]研究表明,大豆对于磷素有特殊的需求,施磷可以促进大豆籽粒中蛋白质的积累而不利脂肪的形成,这与丁洪等^[18]研究结果相一致。本试验结果表明,无论是先低磷后高磷处理还是先高磷后低磷处理,大豆蛋白质和脂肪的含量都是高磷时间越长含量越高。R1 期之前给予大豆充足的磷营养,即使之后缺磷也不会对籽粒脂肪含量产生较大影响。R1 ~ R5 期高磷对脂肪含量的促进作用不大。V3 期之前低磷处理可以通过之后的充足供磷来对籽粒蛋白质起到补偿作用,但如果低磷持续到 R1 期,即使之后高磷处理对于籽粒蛋白质含量作用不明显。

就产量而言,适宜的磷素营养有利于提高大豆的产量^[6,19]。王维军等^[20]认为,从苗期到开花期,植株对磷素最敏感,此期缺磷的不良影响,即使在生育后期供给充足的磷也很难恢复,结荚期以后磷营养对植株的产量影响减弱。本试验研究表明,全生育期高磷处理(P_{31})的产量显著高于其它处理,产量最低的是全生育期低磷处理(P_1),高磷处理的时间越长产量也就越高。V3 ~ R1 期高磷对产量的提升作用最大,而 V3 期之前与 R1 ~ R5 期相比之下高磷对产量的提升作用较小。R1 ~ R5 期是低磷胁迫

最为敏感的时期,这一时期低磷会使产量下降较大。R5 期之前充足的磷营养可以保证产量,即使之后低磷也对产量影响不大;前期供磷不足而后充足施磷对产量起到一定的补偿作用。

参考文献

[1] Wissuwa M. How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency? Small causes with big effects[J]. Plant Physiology, 2003, 133: 1947-1958.

[2] 董薇, 练云, 余永亮, 等. 大豆磷胁迫响应研究进展[J]. 大豆科学, 2012, 31(1): 135-138. (Dong W, Lian Y, Yu Y L, et al. Advances in low phosphorus stress on soybean [J]. Soybean Science, 2012, 31(1): 135-138.)

[3] 王树起, 韩晓增, 严君, 等. 缺磷胁迫对大豆根系形态和氮磷吸收积累的影响[J]. 土壤通报, 2010 (3): 644-650. (Wang S Q, Han X Z, Yan J, et al. Impact of phosphorus deficiency stress on root morphology, nitrogen concentration and phosphorus accumulation of soybean (*Glycine max* L.) [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(3): 645-650.)

[4] 李喜焕, 常文锁, 张彩英. 中国大豆磷素营养及磷高效品种筛选最新进展[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 322-327. (Li X H, Chang W S, Zhang C Y. Advances of soybean phosphorus nutrition and high p-efficient germplasm screening in China [J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 322-327.)

[5] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 磷营养对不同大豆品种生长和磷吸收利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2006, 21(1): 121-124. (Ding Y C, Chen M C, Cheng B et al. Effect of phosphorus on plant growth and phosphorus uptake and use efficiency in different soybean cultivars [J]. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2006, 21(1): 121-124.)

[6] 蔡柏岩, 葛菁萍, 祖伟. 不同磷肥水平对大豆磷营养状况和产量品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 404. (Cai B Y, Ge J P, Zu W. Effect of phosphorus levels on soybean phosphorus nutrition, yield and quality [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(3): 404.)

[7] 吴冬婷, 张晓雪, 龚振平, 等. 磷素营养对大豆磷素吸收及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 670-677. (Wu D T, Zhang X X, Gong Z P, et al. Effects of phosphorus nutrition on P absorption and yields of soybean [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(3): 670-677.)

[8] 姚玉波, 吴冬婷, 龚振平, 等. 磷素水平对大豆氮素积累及产量的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(6): 947-951. (Yao Y B, Wu D T, Gong Z P, et al. Effect of phosphorus level on nitrogen accumulation and yield in soybean [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(6): 947-951.)

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 244-285 (Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 244-285.)

[10] 吴明才, 肖昌珍, 郑普英. 大豆磷素营养研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(3): 59-65. (Wu M C, Xiao C Z, Zheng P Y. Study on the physiological function of phosphorus to soybean [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(3): 59-65.)