

## 不同熟期大豆磷素吸收积累规律的研究

郭璇, 龚振平, 马春梅, 颜双双, 李先伟, 高扬

(东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**为合理施用磷肥,以不同熟期大豆品种黑河43、绥农28和黑农51为试验材料,在低磷( $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )和高磷( $33\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )两种磷水平土壤下,对大豆不同生育时期不同器官的磷素含量动态变化、磷素吸收积累与分配以及产量因素进行研究。结果表明:(1)3个供试大豆品种在低磷水平下,各营养器官中的磷素含量均呈单峰曲线变化(黑河43叶柄磷素含量除外),荚果的磷素含量自R5期呈上升趋势;在高磷水平下,绥农28叶片中磷素含量随生育时期推进呈下降趋势,但黑河43、黑农51叶片中的磷素含量呈单峰曲线变化,黑河43、绥农28荚果中磷素含量自R5期呈上升趋势,而黑农51荚果磷素含量呈下降趋势;(2)高磷处理下植株干物质与磷素积累量均较低磷处理增多;(3)从V3至R5期,植株各器官磷素分配顺序为叶片>荚果>根>茎>叶柄,在R8期营养器官磷素的分配率明显低于荚果;(4)在高磷处理下,黑河43、绥农28和黑农51的产量分别较低磷处理增加2.1%、9.5%和7.2%。因此,较高的土壤磷素水平对中晚熟大豆品种的增产效果明显优于早熟品种。

**关键词:**大豆;磷素;积累

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)03-0376-05

## Phosphorus Uptake and Accumulation in Soybeans with Different Maturity

GUO Xuan, GONG Zhen-ping, MA Chun-mei, YAN Shuang-shuang, LI Xian-wei, GAO Yang

(Agronomy College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Three soybean cultivars with different maturity, Heihe 43 (early mature), Suinong 28 (middle mature) and Heinnong 51 (late mature), were pot planted under phosphorus levels of  $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $P_{10}$ ) and  $33\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $P_{33}$ ). The dynamics, absorption and allocation of phosphorus in different organs as well as soybean yield components were determined to apply P fertilizer reasonably. Under  $P_{10}$  level, except that in petioles of Heihe 43, P content in each organ of three cultivars all presented a single-peak curve. Under  $P_{33}$  level, with the process of growth period, P content in leaves of Suinong 28 decreased, while that in Heihe 43 and Heinnong 51 showed a single-peak curve; P content in pods of Heihe 43 and Suinong 28 increased since R5, while that in Heinnong 51 decreased. Plant dry matter and P accumulation in  $P_{33}$  both higher than  $P_{10}$ . From V3 to R5, the P allocation in descending order were leaf, pod, root, stem and petiole. More P partitioned into pods at R8. Seed yield of Heihe 43, Suinong 28 and Heinnong 51 under  $P_{33}$  increased by 2.1%, 9.5% and 7.2%, respectively, compared to  $P_{10}$ . Results suggest the yield-increasing effect of higher soil P content to mid-late mature soybeans is superior to that of early mature ones.

**Key words:** Soybean; Phosphorus; Accumulation

磷是植物生长发育必需的大量营养元素之一,它以多种方式参与植物体内各种生物化学过程,对促进植物的生长发育和新陈代谢起着非常重要的作用<sup>[1-2]</sup>。国内外关于大豆植株产量、磷素吸收积累以及磷素含量的研究已有报道,在适宜供磷条件下,大豆叶面积显著增加,产量明显提高;而磷过多的条件下,植株生长速度变慢,结瘤数量减少<sup>[3-5]</sup>。吴冬婷等<sup>[6]</sup>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,而缺磷会导致磷素积累不足,影响大豆籽粒产量。宋秋来等<sup>[7]</sup>认为,磷素在营养器官中的含量随生育期的推移呈下降趋势,不同营养器官间存在差异。史占忠等<sup>[8]</sup>研究表明,大豆植株营养器官所积累的磷素可以进行再分配,茎、叶中有很大大一部分的磷向籽粒中转移。

有资料<sup>[9]</sup>显示,黑土有效磷含量平均值为  $26.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (2006年),黑龙江省土壤有效磷含量75%集中在  $10.0\sim 30.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  范围内。合理施用磷肥可以为大豆提供养分,满足其生长发育的需要,增加大豆的产量,同时还能补给土壤养分的缺损,维持农田土壤的养分平衡。本试验采用盆栽方法,以不同熟期大豆为试验材料,在  $10$  和  $33\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  土壤磷素水平条件下研究大豆植株对磷素的吸收积累以及不同器官中磷素的分配规律,以期合理施用磷肥提供理论参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

试验于2012年在东北农业大学植物学实验实习

收稿日期:2012-12-12

基金项目:黑龙江省科技攻关计划(GA09B104-1);东北农业大学开放性试验。

第一作者简介:郭璇(1988-),女,在读硕士,主要从事大豆生理及保护性耕作研究。E-mail:gx6502833@126.com。

通讯作者:龚振平(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事作物栽培学与耕作学研究。E-mail:gzyx2004@163.com。

基地进行,采用盆栽方法。盆钵选择塑料桶,桶内径 0.30 m,深 0.28 m,装土量 20 kg。土壤为黑土,设低磷(速效磷为  $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $P_{10}$ )和高磷(速效磷为  $33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $P_{33}$ )两种土壤。 $P_{10}$  土壤速效钾为  $95.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效氮为  $13.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $P_{33}$  土壤速效钾为  $171.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效氮为  $36.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验选用 3 个不同熟期的品种,分别为黑河 43(早熟品种,适宜种植于黑龙江省第四积温带)、绥农 28(中熟品种,适宜种植于黑龙江省第二、三积温带)、黑农 51(晚熟品种,适宜种植于黑龙江省第一积温带)。为减少土壤氮、钾水平对试验结果的影响,施用了较高的氮肥和钾肥,硫酸铵( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )  $2.12 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ ,硫酸钾( $30\% \text{ K}_2\text{O}$ )  $2.12 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ ,在播种前一天将肥料施于种下 5~7 cm 处。于 2012 年 5 月 10 日播种,采用扎浅穴方法,每穴 3 粒种子,每盆播 3 穴,播后覆土 3~4 cm;出苗后定苗,每盆保苗 3 株。

## 1.2 测定项目与方法

分别于苗期(V3)、始花期(R1)、始粒期(R5)、成熟期(R8),选择晴天上午 9:00~10:00 取样。V3、R1、R5 期每个处理取样 4 盆;R8 期取样与测产同时进行,每个处理取样 6 盆。取样时,将植株地上部分自子叶痕处取下,根系挖出后用水冲净。样品在  $105^\circ\text{C}$  杀青 30 min 后,  $65^\circ\text{C}$  烘干,称量干重后,粉

碎待分析用。在大豆叶片出现枯萎时,用 1.5 m 高的透明纱网将桶围起来,收集掉落的全部叶片与叶柄,烘干称重待分析用。

大豆植株中磷素含量的测定:采用钼锑抗比色法<sup>[10]</sup>。

磷素积累量( $\text{mg} \cdot \text{盆}^{-1}$ ) = 干物质质量( $\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$ ) × 磷素含量(%) / 1000;

磷素分配率(%) = 不同时期各部位磷素积累量( $\text{mg} \cdot \text{盆}^{-1}$ ) / 同期植株磷素总积累量( $\text{mg} \cdot \text{盆}^{-1}$ )。

籽粒产量( $\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$ ) = 籽粒干物质质量( $\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$ ) × 1.4(水分系数)

百粒重(g) = 产量( $\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$ ) / 每盆粒数 × 100

## 1.3 数据分析

采用 SPSS 16.0 和 Excel 2003 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大豆植株中磷素含量动态变化

由表 1 可见,两种土壤磷素水平下,大豆植株磷素含量变化动态有一定差异。在低磷水平下,除黑河 43 叶柄磷素含量外,3 个大豆品种植株各营养器官的磷含量均随生育时期的推移呈单峰曲线变化;荚果的磷素含量自 R5 期呈上升趋势。在高磷

表 1 大豆植株中磷素含量变化  
Table 1 Changes of phosphorus content in soybean plants(%)

器官 Organ	品种 Cultivar	V3		R1		R5		R8	
		$P_{10}$	$P_{33}$	$P_{10}$	$P_{33}$	$P_{10}$	$P_{33}$	$P_{10}$	$P_{33}$
叶片 Leaf	黑河 43Heihe 43	0.203 ± 0.003	0.250 ± 0.004	0.255 ± 0.012	0.285 ± 0.013	0.268 ± 0.014	0.278 ± 0.019	0.123 ± 0.014	0.125 ± 0.013
	绥农 28Suinong 28	0.175 ± 0.010	0.280 ± 0.004	0.285 ± 0.018	0.238 ± 0.039	0.158 ± 0.008	0.233 ± 0.010	0.110 ± 0.007	0.128 ± 0.007
	黑农 51Heinong 51	0.185 ± 0.010	0.260 ± 0.011	0.255 ± 0.009	0.278 ± 0.011	0.193 ± 0.005	0.253 ± 0.019	0.112 ± 0.006	0.148 ± 0.009
	平均 Average	0.188 ± 0.008	0.263 ± 0.009	0.265 ± 0.010	0.267 ± 0.015	0.206 ± 0.032	0.255 ± 0.013	0.115 ± 0.004	0.134 ± 0.007
叶柄 Petiole	黑河 43Heihe 43	0.155 ± 0.005	0.183 ± 0.009	0.143 ± 0.006	0.178 ± 0.011	0.100 ± 0.007	0.108 ± 0.005	0.072 ± 0.008	0.072 ± 0.005
	绥农 28Suinong 28	0.120 ± 0.007	0.198 ± 0.009	0.153 ± 0.013	0.188 ± 0.008	0.075 ± 0.003	0.103 ± 0.008	0.057 ± 0.007	0.068 ± 0.004
	黑农 51Heinong 51	0.143 ± 0.009	0.203 ± 0.015	0.163 ± 0.023	0.213 ± 0.009	0.083 ± 0.005	0.135 ± 0.014	0.043 ± 0.003	0.068 ± 0.004
	平均 Average	0.139 ± 0.010	0.195 ± 0.006	0.153 ± 0.006	0.193 ± 0.010	0.086 ± 0.007	0.115 ± 0.010	0.057 ± 0.008	0.069 ± 0.001
茎 Stem	黑河 43Heihe 43	0.158 ± 0.005	0.210 ± 0.006	0.165 ± 0.009	0.235 ± 0.021	0.143 ± 0.019	0.160 ± 0.004	0.038 ± 0.004	0.048 ± 0.006
	绥农 28Suinong 28	0.133 ± 0.008	0.225 ± 0.010	0.160 ± 0.017	0.195 ± 0.006	0.088 ± 0.005	0.055 ± 0.006	0.020 ± 0.004	0.023 ± 0.002
	黑农 51Heinong 51	0.143 ± 0.003	0.228 ± 0.005	0.163 ± 0.010	0.165 ± 0.006	0.078 ± 0.005	0.100 ± 0.011	0.023 ± 0.002	0.028 ± 0.004
	平均 Average	0.145 ± 0.007	0.221 ± 0.006	0.163 ± 0.001	0.198 ± 0.020	0.103 ± 0.020	0.105 ± 0.030	0.027 ± 0.006	0.033 ± 0.008
根 Root	黑河 43Heihe 43	0.190 ± 0.016	0.258 ± 0.027	0.230 ± 0.013	0.203 ± 0.023	0.188 ± 0.020	0.260 ± 0.016	0.140 ± 0.010	0.150 ± 0.008
	绥农 28Suinong 28	0.168 ± 0.020	0.245 ± 0.018	0.223 ± 0.017	0.218 ± 0.029	0.170 ± 0.009	0.185 ± 0.009	0.097 ± 0.009	0.077 ± 0.002
	黑农 51Heinong 51	0.205 ± 0.010	0.258 ± 0.010	0.185 ± 0.015	0.293 ± 0.033	0.135 ± 0.016	0.160 ± 0.004	0.073 ± 0.011	0.078 ± 0.002
	平均 Average	0.188 ± 0.011	0.254 ± 0.004	0.213 ± 0.014	0.238 ± 0.028	0.164 ± 0.016	0.202 ± 0.030	0.103 ± 0.020	0.102 ± 0.024
荚果 Pod	黑河 43Heihe 43	—	—	—	0.283 ± 0.015	0.315 ± 0.006	0.313 ± 0.018	0.330 ± 0.018	—
	绥农 28Suinong 28	—	—	—	0.125 ± 0.019	0.188 ± 0.011	0.343 ± 0.012	0.415 ± 0.011	—
	黑农 51Heinong 51	—	—	—	0.255 ± 0.010	0.345 ± 0.010	0.257 ± 0.007	0.328 ± 0.011	—
	平均 Average	—	—	—	0.221 ± 0.049	0.283 ± 0.048	0.304 ± 0.025	0.358 ± 0.029	—

水平下,黑河43的茎、根、叶片以及黑农51的根、叶柄、叶片中磷素含量呈单峰曲线变化并在R1期达最高值;绥农28叶片磷含量呈下降趋势。黑河43、绥农28的荚果磷素含量自R5期呈上升趋势,黑农51荚果的磷素含量呈下降趋势。

两种土壤磷水平下,V3~R1期各营养器官中磷素含量表现为叶片>根>茎>叶柄。高磷水平下,R5~R8期各营养器官磷素含量表现为叶片>根>叶柄>茎;低磷水平下,R5期叶片的磷素含量大于根,茎次之,叶柄最小。R8期荚果的磷素含量明显高于其它营养器官。3个大豆品种植株各营养器官磷素含量差异较大。土壤高磷水平下植株各器

官磷含量明显高于低磷处理,而且这种作用在大豆生育前期更为明显。

## 2.2 大豆植株对磷素吸收积累与分配

2.2.1 大豆植株对磷素的吸收积累 由表2可见,高磷促进了大豆的干物质和磷素积累,在R8期,与低磷处理相比,高磷处理3个大豆品种平均干物质积累量增加5.7%,磷素积累量增加23.2%。品种间植株干物质和磷积累量差异很大,在高磷处理下,R8期黑河43、绥农28、黑河51的植株干物质积累量分别较低磷处理增加3.9%、3.1%和9.17%,磷素积累量分别增加8.9%、23.5%和36.4%。

表2 大豆植株中干物质质量和磷素积累量

Table 2 The amount of dry matter and phosphorus accumulation in soybean plants

品种		V3		R1		R5		R8	
Cultivar		P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>
干物质量	黑河 43Heihe 43	3.75 ±0.44	6.46 ±0.19	10.42 ±0.31	17.28 ±1.06	60.92 ±1.07	73.41 ±6.48	110.23 ±4.71	114.48 ±3.05
Dry matter weight	绥农 28Suinong 28	5.64 ±0.18	8.78 ±0.55	12.33 ±0.80	17.72 ±1.46	76.62 ±0.67	97.83 ±8.4	129.70 ±7.51	133.73 ±5.17
/g·pot <sup>-1</sup>	黑农 51Heinong 51	3.71 ±0.13	6.48 ±0.33	10.9 ±1.17	21.45 ±0.83	102.07 ±9.38	122.36 ±1.17	163.07 ±12.41	177.96 ±17.92
	平均 Average	4.37 ±0.31	7.24 ±0.39	11.22 ±0.50	18.82 ±0.82	79.87 ±5.86	97.87 ±6.83	134.33 ±7.13	142.05 ±8.75
磷积累量	黑河 43Heihe 43	7.07 ±0.73	15.56 ±0.68	22.80 ±1.67	43.91 ±1.20	131.41 ±3.84	178.52 ±16.77	244.72 ±17.39	266.51 ±15.15
Phosphorus	绥农 28Suinong 28	9.22 ±0.79	22.60 ±1.83	28.40 ±2.79	38.50 ±5.22	97.69 ±5.03	155.00 ±14.81	285.33 ±27.94	352.50 ±11.17
accumulation	黑农 51Heinong 51	6.71 ±0.30	16.15 ±0.91	22.93 ±3.18	55.29 ±4.17	162.71 ±15.51	250.95 ±14.36	256.24 ±27.41	349.56 ±45.31
/mg·pot <sup>-1</sup>	平均 Average	7.66 ±0.47	18.10 ±1.16	24.71 ±1.58	45.90 ±2.94	130.60 ±9.47	194.83 ±14.69	262.09 ±14.04	322.86 ±18.15

由表3可以看出,3个大豆品种在两种土壤磷水平下,营养生长期磷吸收积累量占磷素总积累量的比例相对较小。R1~R5和R5~R8是磷素的重

要吸收积累期,品种间有一定差异。高磷处理促进大豆前期和中期对磷的吸收积累。

表3 大豆不同生育阶段植株磷素积累占总积累量的比例

Table 3 Soybean plants of different growth stages phosphorus accumulation ratio to total accumulation (%)

品种 Cultivar	V3~R1		R1~R5		R5~R8	
	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>
黑河43Heihe 43	9.32	16.48	44.38	50.51	46.30	33.02
绥农28Suinong 28	9.95	10.92	24.28	33.05	65.76	56.03
黑农51Heinong 51	8.95	15.82	54.55	49.31	36.50	34.87
平均 Average	9.41 ± 0.29	14.41 ± 1.75	41.07 ± 8.89	44.29 ± 5.63	49.52 ± 8.60	41.31 ± 7.38

2.2.2 大豆植株中磷素的分配 由表4可见,供试的3个品种在两种磷素水平土壤条件下,分配到叶片、根中的磷素在R1~R8期呈明显下降的趋势;叶柄、茎作为磷素的运输器官,在V3、R1和R5期积累的磷占同期磷素总量的比例变化不大,至R8期明显下降;荚果的磷素积累量占全株的比例自R5期起开始快速上升。V3、R1期植株磷素分配规律相同,均为叶片的磷素分配率最大,根、茎次之,叶柄最小。至R5期叶片的磷素分配率依然最高,但是

荚果的磷素分配率开始高于根、茎、叶柄。至R8期荚果的磷素分配率达到最大,营养器官的磷素分配率明显低于荚果。

综上所述,在大豆生育前期叶片为磷素积累中心,根次之,而到生育后期磷素积累中心转移至荚果。植株各部位的磷素分配率在两种土壤磷水平下的差异不明显,说明土壤磷素水平对大豆植株磷素分配的影响不大。

表 4 大豆植株中磷素分配率  
Table 4 Distribution rate of phosphorus in soybean plants( % )

时期 Period	器官 Organ	黑河 43Heihe 43		绥农 28Suinong 28		黑农 51Heinong 51		平均 Average
		P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>33</sub>	
V3	叶片 Leaf	53.18	51.99	52.17	56.59	49.78	53.13	52.81 ± 0.91
	叶柄 Petiole	4.67	5.33	5.10	6.50	4.62	6.38	5.43 ± 0.34
	茎 Stem	12.73	15.04	14.64	14.25	11.33	13.87	13.64 ± 0.56
	根 Root	29.42	27.70	27.98	22.70	34.28	26.63	28.12 ± 1.54
R1	叶片 Leaf	48.55	48.74	46.94	44.34	48.19	47.22	47.33 ± 0.67
	叶柄 Petiole	5.96	7.67	5.35	8.96	6.50	9.60	7.34 ± 0.69
	茎 Stem	13.16	19.04	12.71	16.73	14.04	9.59	14.21 ± 1.35
	根 Root	32.37	24.57	35.00	30.00	31.23	33.62	31.13 ± 1.49
R5	叶片 Leaf	29.41	27.13	31.90	38.46	31.84	33.35	32.02 ± 1.57
	叶柄 Petiole	4.71	4.48	7.09	7.68	6.40	8.04	6.40 ± 0.61
	茎 Stem	13.85	13.84	14.44	8.05	10.26	11.59	12.01 ± 1.03
	根 Root	15.15	19.59	27.82	19.47	15.09	13.07	18.37 ± 2.17
R8	荚果 Pod	36.88	34.95	18.73	26.34	36.40	33.95	31.21 ± 2.94
	叶片 Leaf	5.75	5.61	6.73	5.47	10.56	12.36	7.75 ± 1.21
	叶柄 Petiole	1.82	1.49	1.59	1.65	2.43	3.27	2.04 ± 0.28
	茎 Stem	2.72	3.43	1.43	1.39	2.29	2.57	2.31 ± 0.32
	根 Root	6.69	6.71	4.81	2.90	5.87	4.34	5.22 ± 0.61
	荚果 Pod	83.03	82.76	85.44	88.58	78.84	77.45	82.68 ± 1.68

2.3 磷素对大豆产量的影响

由表 5 可知,大豆产量构成因素受土壤磷水平的影响较为显著,各项指标均随土壤磷水平的增加而升高(绥农 28 单株有效荚数及黑农 51 百粒重除外),株高和单株粒数表现尤为明显。

在两种土壤磷水平下,3 个品种间株高、有效荚

数、粒数、节数以及产量表现为黑农 51 > 绥农 28 > 黑河 43,说明生育期长的品种有利于产量形成。但 3 个品种产量对土壤磷素反应不同,高磷水平下,黑河 43、绥农 28、黑农 51 分别较低磷处理增产2.1%、9.5% 和 7.2%。

表 5 大豆产量构成因素  
Table 5 Soybean yield components

品种 Cultivar	土壤磷水平 Soil phosphorus levels	株高 Plant height /cm	单株有效荚数 Effective pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	单株节数 Nodes per plant	百粒重 100-seed weight /g	产量 Yield/g·pot <sup>-1</sup>
黑河 43	P <sub>10</sub>	45.38 ± 0.78	24.61 ± 0.81	64.39 ± 1.21	11.83 ± 0.14	26.07 ± 0.68	50.42 ± 1.99
Heihe 43	P <sub>33</sub>	51.60 ± 2.53	26.11 ± 0.64	64.72 ± 2.06	12.83 ± 0.54	26.59 ± 0.58	51.48 ± 0.90
绥农 28	P <sub>10</sub>	58.83 ± 2.17	35.55 ± 1.81	81.61 ± 5.31	16.28 ± 0.68	21.67 ± 0.65	53.25 ± 4.31
Suinong 28	P <sub>33</sub>	63.72 ± 2.23	34.28 ± 1.40	81.95 ± 2.73	17.22 ± 0.53	23.75 ± 0.60	58.29 ± 1.89
黑农 51	P <sub>10</sub>	63.25 ± 2.23	38.22 ± 2.05	87.89 ± 11.47	17.45 ± 0.48	22.63 ± 2.24	57.23 ± 6.02
Heinong 51	P <sub>33</sub>	82.53 ± 1.52	43.83 ± 7.47	102.72 ± 16.06	19.67 ± 0.41	20.13 ± 0.75	61.37 ± 8.83
平均	P <sub>10</sub>	55.82 ± 5.37	32.79 ± 4.16	77.96 ± 7.02	15.19 ± 1.71	23.46 ± 1.34	53.63 ± 1.98
Average	P <sub>33</sub>	65.95 ± 9.00	34.74 ± 5.12	83.13 ± 10.99	16.57 ± 2.00	23.49 ± 1.87	57.05 ± 2.92

3 结论与讨论

磷素在营养器官中的含量随生育时期的推移整体呈下降趋势,不同营养器官间存在差异,这与蔡柏岩等<sup>[11]</sup>的研究结果略有不同。宋秋来等<sup>[7]</sup>在土壤速效磷为 59.2 mg·kg<sup>-1</sup> 条件下,研究大豆不同生育时期不同器官的磷素含量动态变化,结果表明

大豆叶片、叶柄、茎、根中的磷素含量随生育进程而下降,荚果中磷素含量呈先降低后升高的变化动态。本试验中,在低磷土壤水平下,3 个大豆品种各营养器官中的磷素含量均呈单峰曲线变化,而荚果的磷素含量自 R5 期均呈上升趋势。在高磷土壤水平下,绥农 28 叶片磷素含量随生育时期推进呈下降趋势,但黑河 43、黑农 51 叶片磷素含量呈单峰曲线

变化;黑河 43、绥农 28 的荚果磷素含量自 R5 期呈上升趋势,黑农 51 荚果的磷素含量呈下降趋势。这种差异可能是由于品种不同造成的。

在磷素水平与大豆干物质积累量和磷积累量的相关性方面,有研究表明,随着磷素水平的增加,大豆植株体内磷积累量随之增加,而由低磷到高磷水平,植株体内的总磷含量增加幅度较大,高磷处理下大豆植株磷积累量在成熟期有增大的趋势。此外,适宜的磷水平可以显著地提高大豆植株各器官的干物质积累<sup>[4,7,12-13]</sup>。

本研究中,V3 至 R5 期,植株各器官磷素分配顺序为叶片>荚果>根>茎>叶柄;在 R8 期营养器官磷素的分配率明显低于荚果。在两种磷水平土壤下,供试的 3 个品种分配到叶片、根中的磷素在 R1~R8 期呈明显下降的趋势,而叶柄、茎在 V3、R1 和 R5 期积累的磷占同期磷素总量的比例变化不明显,至成熟期明显下降;荚果的磷素积累量占全株的比例自 R5 期起快速上升。

关于施磷能否提高大豆产量这一问题,王建国等<sup>[14]</sup>提出,在速效磷很低的土壤中,施磷能显著增加大豆产量,并且产量随着施磷量的增加而增加,但达到最大产量时,施磷量再增加产量反而下降。丁洪等<sup>[15]</sup>也指出,施磷处理增产效果极显著,并且品种间产量差异也很大。本研究结果表明,大豆产量构成因素中的各项指标均随土壤磷水平的增加而升高,株高和粒数表现尤为明显。两种土壤磷水平下,3 个供试品种的产量表现为黑农 51>绥农 28>黑河 43,说明生育期长的品种有利于产量形成。但 3 个品种产量对土壤磷素反应不同,在高磷处理下,黑河 43、绥农 28 和黑农 51 分别较低磷处理增产 2.1%、9.5% 和 7.2%,说明较高土壤磷素含量对中、晚熟大豆的增产效果较早熟品种明显。

## 参考文献

- [1] 丁玉川,陈明昌,程滨,等.不同大豆品种磷吸收利用特性比较研究[J].西北植物学报,2005,25(9):1791-1797. (Ding Y C, Chen M C, Cheng B, et al. Phosphorous uptakes and uses of different soybean varieties[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(9): 1791-1797. )
- [2] Vance C P, Graham P H, Allan D L. Biological nitrogen fixation; Phosphorus-a critical future need[M]//Pederosa F O, Hungria M, Yates M G, et al Nitrogen fixation; from molecules to crop productivity. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000: 509-514.
- [3] Myo W, Sutkhet N, Ed S. Effects of phosphorus on seed oil and protein contents and phosphorus use efficiency in some soybean varieties[J]. Kasetsart Journal (Nat. Sci. ), 2010, 44(1): 1-9.
- [4] 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. )
- [5] Tsvetkova G E, Georgiev G I. Effect of phosphorus nutrition on the nodulation, nitrogen fixation and nutrient use efficiency of Bradyrhizobium japonicum-soybean (*Glycine max* L. Merr.) symbiosis[J]. Bulgaria Journal of Plant Physioilogy, 2003 (Special Issue): 331-335.
- [6] 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. )
- [7] 宋秋来,曾祥亮,张磊,等.春大豆植株磷素积累与转运动态的研究[J].土壤通报,2011,42(2):382-387. (Song Q L, Zeng X L, Zhang L, et al. Research of phosphorus accumulation and dynamics of transport in soybean[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(2): 382-387. )
- [8] 史占忠.大豆植株全氮磷钾含量变化分析[J].大豆科学,1989,8(4):369-374. (Shi Z Z. The variation of content of total nitrogen, phosphorus and potassium in soybean plants[J]. Soybean Science, 1989, 8(4): 369-374. )
- [9] 全国农业技术推广服务中心,中国农科院农业资源与区划所.耕地质量演变趋势研究[M].北京:中国农业科学技术出版社,2008:150-151. (National Agricultural Technology Extension and Service Center, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS. Research on the evolution trend of the quality of cultivated land[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 2008: 150-151. )
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:270-271. (Bao S D. Agricultural analysis of soil[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 270-271. )
- [11] 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):404-410. (Cai B Y, Ge Q P, Zu W. Effect of phosphorus levels on soybean phosphorus nutrition, yield and quality[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(3): 404-410. )
- [12] 王树起,韩晓增,严君.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,2010,41(3):644-650. (Wang S Q, Han X Z, Yan J. Impact of phosphorus deficiency stress on root morphology, nitrogen concentration and phosphorus accumulation of soybean[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(3): 644-650. )
- [13] 王应祥,廖红,严小龙.大豆适应低磷胁迫的机理初探[J].大豆科学,2003,22(3):208-212. (Wang Y X, Liao H, Yan X L. Preliminary studies on the mechanisms of soybean in adaptation to low P stress[J]. Soybean Science, 2003, 22(3): 208-212. )
- [14] 王建国,李兆林,李文斌,等.磷肥与大豆产量及品质的关系[J].农业系统科学与综合研究,2006,22(1):55-57. (Wang J G, Li Z L, Li W B, et al. Application of phosphorus in relation to soybean yield and quality[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2006, 22(1): 55-57. )
- [15] 丁洪,郭庆元,李志玉,等.磷对大豆不同品种产量和质量的影响[J].中国油料作物学报,1998,20(2):66-70. (Ding H, Guo Q Y, Li Z Y, et al. Effect of phosphorus on grain yield and quality in soybean cultivars[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1998, 20(2): 66-70. )