

# 磷肥 – 种子相对位置对花生生长发育及磷肥利用率的影响

司贤宗<sup>1</sup>, 张翔<sup>1\*</sup>, 索炎炎<sup>1</sup>, 李亮<sup>1</sup>, 余琼<sup>1</sup>, 余辉<sup>2</sup>

(1. 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002;

2. 正阳县花生研究所, 河南 正阳 463600)

**摘要:** 采用盆栽试验, 通过不施磷, 0 ~ 10 cm 土壤混匀施磷, 花生种下 5 cm 施磷, 花生种子一侧 5 cm 及深 5 cm 施磷, 花生种子两侧 5 cm 及深 5 cm 施磷, 研究了磷肥 – 种子相对位置对花生生长发育及磷肥利用效率的影响, 为花生机械化种肥同播精准施肥提供技术依据。研究结果表明, 种下 5 cm 施磷的花生主茎高、侧枝长、分枝数、饱果数、饱果重、百果重、出仁率、单株生产力等农艺性状和产量性状最优, 不同器官的干物重、磷含量、磷积累量和磷肥利用率最大, 其次是花生种子一侧 5 cm 及深 5 cm 施磷, 再次是花生种子两侧 5 cm 及深 5 cm 施磷, 0 ~ 10 cm 土壤混匀施磷的最小。本试验条件下, 集中施用磷肥, 能促进花生的生长发育、提高磷肥的利用率, 其中, 花生种下 5 cm 施磷, 单株生产力最大, 为 32.4 g/株, 磷肥利用率最高, 为 27.1%。

**关键词:** 花生; 精准施肥; 生长发育; 磷肥利用率

磷是花生必需的大量营养元素之一, 科学施用磷肥能增加花生根系的总长度、根的体积和表面积<sup>[1-2]</sup>, 增加花生对氮、钾等营养元素的吸收<sup>[3]</sup>, 促进花生生长发育和高产优质。磷酸根离子在土壤中易与钙、铁等金属离子结合, 形成难溶于水的磷酸钙、磷酸铁, 一般磷在土壤中移动性差, 横向迁移不超过 5 cm<sup>[4-5]</sup>, 减少磷肥与土壤的接触面积及适宜的磷肥 – 种子相对空间位置是磷被花生高效吸收利用的关键, 对花生高产优质具有重要的意义。目前, 在小麦、玉米、水稻、谷子、大豆、烤烟、马铃薯上进行磷肥施用方面的研究较多, 研究结果表明, 施肥方式, 如, 磷肥撒施地表 + 旋耕<sup>[6-7]</sup>、种子正下方条施和混施<sup>[8]</sup>、行内施磷<sup>[9]</sup>、条施<sup>[10-11]</sup>对作物磷的吸收和利用、产量提高、品种改善有显著影响; 施肥位置, 如磷肥单层深施<sup>[12]</sup>、种下

分层施用<sup>[13-14]</sup>、膜侧施肥<sup>[15]</sup>、种内行施<sup>[16]</sup>、侧位和正位施肥及侧施距离<sup>[17-18]</sup>对作物的农艺性状、产量性状、磷的吸收效率有明显的影响; 施磷深度对作物产量和养分吸收、利用<sup>[19-21]</sup>、根系特征与分布<sup>[22-23]</sup>、干物质的积累<sup>[24-25]</sup>有显著地影响。在花生上进行磷肥施用方面的研究多集中在磷肥品种<sup>[3]</sup>、磷肥的适宜用量与其他营养元素的配施<sup>[1, 26]</sup>和磷肥在花生茬口的分配比例<sup>[27]</sup>对花生生长发育、产量形成的影响, 花生是地上开花, 形成果针, 入土后形成荚果, 花生的根、果针、幼果均可以吸收土壤中的磷营养元素, 磷的吸收利用特点明显不同于其他作物, 有关磷肥施用位置的研究未见报道。为此, 本文采用盆栽试验, 分析磷肥 – 种子相对位置对花生农艺性状、产量性状、不同器官的干物重、磷含量、磷积累量、磷肥利用率的影响, 为磷肥高效施用提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

盆栽试验于 2019 年 6 ~ 10 月在河南省正阳县兰青乡大余村花生试验田进行。供试土壤为砂姜黑土, 质地粘壤, 地势平坦, 土壤肥力均匀。耕层土壤基础地力: 有机质 18.3 g/kg, 全氮 1.15 g/kg, 碱解氮 121.8 mg/kg, 有效磷 42.2 mg/kg, 速效钾 140.5 mg/kg, pH 4.9。

收稿日期: 2020-03-15; 录用日期: 2020-06-13

**基金项目:** 国家重点研发计划“大豆及花生化肥农药减施技术集成研究与示范”(2018YFD0201008); 河南省花生产业技术体系耕作栽培岗位(S2012-05-G02); 河南省农业科学院优秀青年科技基金项目“花生钙素高效调控关键技术及机理研究”(2018YQ15); 河南省科技攻关计划项目“夏花生磷营养高效利用技术途径研究”(172102110081); 河南省重点科技攻关项目“不同施磷方式下外源磷诱导对花生锌营养的影响及其作用机制”(192102110010)。

**作者简介:** 司贤宗(1975-), 男, 河南夏邑人, 助理研究员, 博士, 主要从事经济作物施肥研究。E-mail: sixianzong@163.com。

**通讯作者:** 张翔, E-mail: zxtf203@163.com。

## 1.2 试验设计

盆栽试验共设 5 个处理, 分别为: T1, 不施磷肥; T2, 0 ~ 10 cm 土壤与磷肥混匀; T3, 花生种下 5 cm 处施磷肥; T4, 花生种子一侧 5 cm 及深 5 cm 施磷; T5, 花生种子两侧 5 cm 及深 5 cm 施磷

(表 1)。试验用盆的直径 28 cm, 高 27 cm, 底部中心位置均匀开 3 个直径 2 cm 的圆孔, 用多孔窗纱覆盖底部, 装土至高度 12 cm, 在中心为原点, 半径 5 cm 的区域平层施用氮、钾肥, 随后, 装土至 27 cm。

表 1 试验设计

| 处理 | 施磷                                                    | 播种                                             |
|----|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| T1 | 对照, 不施磷。                                              | 盆面中心位置用直径 2 cm 的铁棒钻深 3 cm 的孔, 在孔中播 3 粒花生种, 覆土。 |
| T2 | 从盆中取 0 ~ 10 cm 土层的土壤, 与磷肥充分混匀, 放回盆中。                  | 同 T1。                                          |
| T3 | 在盆中心位置用直径 2 cm 的铁棒钻深 8 cm 的孔, 在孔中施磷肥。                 | 回填土至 3 cm 深处, 播 3 粒花生种, 覆土。                    |
| T4 | 距离种子孔边 5 cm 处, 用直径 2 cm 的铁棒钻深 5 cm 的孔, 孔内施磷肥, 覆土。     | 盆面中心位置用直径 2 cm 的铁棒钻深 3 cm 的孔, 在孔中播 3 粒花生种, 覆土。 |
| T5 | 种子孔边 5 cm 对称处, 用直径 2 cm 的铁棒钻深 5 cm 的 2 个孔, 孔内施磷肥, 覆土。 | 同 T4。                                          |

根据盆口面积每盆施肥量按照 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 为 150、120、120 kg/hm<sup>2</sup> 进行折算, 分别为 923.16、738.53、738.53 mg; 肥料品种为尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44%)、氯化钾 (K<sub>2</sub>O 60%); 每个处理 10 个重复。花生出苗, 每盆中确保有 2 株大小一致的花生, 花生于 6 月 15 日播种, 9 月 23 日收获。其他盆栽管理按照一般丰产大田进行管理。

## 1.3 样品采集与分析

试验装盆前采集基础土壤样品 1 kg, 测定基础地力<sup>[24]</sup>。试验收获时, 每个处理取 5 盆的 10 株花生进行考种, 测定其株高、侧枝长、分枝数、结果枝数、单株结果数 (饱果数、秕果数)、单株果重、饱果重、秕果重、百果重等, 并按照茎、叶、根、花生仁、壳等器官分开, 烘干, 测定干物重, 粉碎, 测定磷含量, 每个处理剩余的盆栽花生, 收获计产。

## 1.4 数据分析

磷肥利用率 (%) = (施肥处理单株花生吸收的磷量 - 不施肥处理单株花生吸收的磷量) / 每盆施肥中的磷量的一半 × 100; 其中, 将花生吸收的磷量 × 2.29 换算成 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的量。

试验数据采用 Excel 2007 软件进行初步整理; 用 SPSS 17.0 软件对试验数据进行方差分析; 用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

## 2.1 不同处理对花生农艺性状的影响

从表 2 可以看出, 施用磷肥能改善花生的农艺性状, 与不施磷对照 T1 相比, 施磷花生的主茎高、侧枝长、分枝数、饱果数分别平均增加了 16.6%、10.1%、12.9%、28.6%, 秕果数降低了 10.8%。磷肥 - 种子相对位置对花生农艺性状有明显的影响, 不同处理的花生主茎高、侧枝长、分枝数、饱果数大小顺序为 T3>T4>T5>T2, 秕果数的顺序与之相反, 其中, T4 的农艺性状优于 T5, T5 优于 T2, 表明在相同施磷量下, 随着磷肥在土壤中的集中程度的增加, 花生主茎高、侧枝长、分枝数、饱果数呈增加趋势, 秕果数呈降低趋势, T3 的农艺性状优于 T4, 表明花生种下施磷比侧位施肥更能改善花生的农艺性状。

表 2 不同处理对花生农艺性状的影响

| 处理 | 主茎高<br>(cm) | 侧枝长<br>(cm) | 分枝数<br>(个) | 饱果数<br>(个) | 秕果数<br>(个) |
|----|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| T1 | 30.8d       | 33.6d       | 10.7c      | 21.3c      | 7.9a       |
| T2 | 34.2c       | 35.2cd      | 11.1c      | 26.2b      | 7.3ab      |
| T3 | 37.7a       | 38.9a       | 13.3a      | 28.9a      | 6.7b       |
| T4 | 36.2ab      | 37.1ab      | 12.5ab     | 27.7ab     | 6.9ab      |
| T5 | 35.5bc      | 36.8bc      | 11.4bc     | 26.8b      | 7.3ab      |

注: 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 下同。

## 2.2 不同处理对花生产量性状及单株生产力的影响

从表 3 可知,施用磷肥能改善花生的产量性状,提高花生的单株生产力,与不施磷对照 T1 相比,施磷花生的饱果重、百果重、出仁率、单株生产力分别增加了 20.9%、17.0%、3.9%、13.6%,秕果重降低了 40.2%。磷肥-种子相对位置对花生的产量性状及单株生产力有明显的影响,不同处理的花生饱果重、百果重、出仁率、单株生产力大小顺序为 T3>T4>T5>T2,秕果重的顺序与之相反,其中, T4 的产量性状及单株生产力优于 T5, T5 优于 T2,表明在相同施磷量下,随着磷肥在土壤中的集中程度的增加,花生饱果重、百果重、出仁率、单株生产力呈增加趋势,秕果重呈降低趋势, T3 的产量性状及单株生产力优于 T4,表明花生种下施磷比侧位施肥更能改善花生的产量性状,提高花生的单株生产力。

表 3 不同处理对花生产量性状及单株生产力的影响

| 处理 | 饱果重<br>(g/株) | 秕果重<br>(g/株) | 百果重<br>(g/株) | 出仁率<br>(%) | 单株生产力<br>(g/株) |
|----|--------------|--------------|--------------|------------|----------------|
| T1 | 24.3c        | 3.3a         | 124.1c       | 67.2c      | 27.6c          |
| T2 | 28.2b        | 2.3b         | 138.2b       | 68.9b      | 30.5b          |
| T3 | 30.8a        | 1.6c         | 151.3a       | 70.4a      | 32.4a          |
| T4 | 29.9ab       | 1.7c         | 148.5ab      | 70.3a      | 31.6ab         |
| T5 | 28.6b        | 2.3b         | 142.6b       | 69.6ab     | 30.9b          |

## 2.3 不同处理对花生不同器官干物重的影响

从表 4 可以看出,花生不同器官干物重的大小顺序为花生仁>茎>叶>壳>根。施磷能增加花生不同器官的干物重,与不施磷对照 T1 相比,施磷的花生叶、茎、花生仁、壳、根干物重分别平均增加 6.9%、6.6%、18.4%、4.1%、33.3%,因此,施用磷肥,花生干物重增幅最大的器官是根,其次是叶,花生仁最小,表明花生在不施磷时,花生光合产物向根部转运能力最强;施磷时,花生仁干物重增加幅度小,这可能与花生快速完成生活史、形成种子有关。磷肥-种子相对位置对花生不同器官干物重有明显的影响,不同处理的花生不同器官干物重大小顺序为 T3>T4>T5>T2,其中, T4>T5>T2,表明在相同施磷量下,随着磷肥在土壤中的集中程度的增加,花生不同器官干物重呈增加趋势, T3>T4,表明花生种下施磷比侧位施肥更有利于花生干物重的增加。

表 4 不同处理对花生不同器官干物重的影响 (g/株)

| 处理 | 叶      | 茎     | 花生仁   | 壳    | 根     |
|----|--------|-------|-------|------|-------|
| T1 | 11.6b  | 12.2b | 18.5b | 9.1a | 0.9c  |
| T2 | 11.7b  | 12.4b | 21.1a | 9.4a | 1.1bc |
| T3 | 13.2a  | 14.1a | 22.8a | 9.6a | 1.3a  |
| T4 | 12.4ab | 12.8b | 22.2a | 9.5a | 1.2ab |
| T5 | 12.3ab | 12.7b | 21.5a | 9.4a | 1.2ab |

## 2.4 不同处理对花生不同器官磷含量的影响

从表 5 可知,花生不同器官磷含量的大小顺序为花生仁>叶>茎>壳>根。施磷明显增加花生不同器官中磷的含量,与不施磷对照 T1 相比,施磷的花生叶、茎、花生仁、壳、根中磷含量分别平均增加 23.8%、49.7%、5.0%、9.5%、33.1%,因此,施用磷肥,花生磷含量增幅最大的器官是茎,其次是根,花生仁磷含量增加最小,表明花生在不施磷时,花生仁吸收磷的能力强,而施磷时,花生仁磷含量增幅小,这可能与保持下一代花生在遗传上的生理生化活动对磷需求密切相关。磷肥-种子相对位置对花生不同器官磷含量有明显的影响,不同处理的花生不同器官磷含量大小顺序为 T3>T4>T5>T2,其中, T4>T5>T2,表明在相同施磷量下,随着磷肥在土壤中的集中程度的增加,花生不同器官中磷含量呈增加趋势, T3>T4,表明花生种下施磷比侧位施肥更有利于花生对磷的吸收。

表 5 不同处理对花生不同器官磷含量的影响 (g/kg)

| 处理 | 叶     | 茎      | 花生仁   | 壳      | 根     |
|----|-------|--------|-------|--------|-------|
| T1 | 1.22b | 0.79d  | 4.21b | 0.79b  | 0.90c |
| T2 | 1.48a | 1.08c  | 4.23b | 0.82b  | 1.04b |
| T3 | 1.55a | 1.28a  | 4.62a | 0.91a  | 1.36a |
| T4 | 1.52a | 1.22ab | 4.49a | 0.88a  | 1.27a |
| T5 | 1.49a | 1.15bc | 4.34b | 0.85ab | 1.12b |

## 2.5 不同处理对花生不同器官磷积累量的影响

从表 6 可以看出,磷在花生不同器官积累量的大小顺序为花生仁>叶>茎>壳>根。施磷显著增加花生不同器官中磷的积累量,与不施磷对照 T1 相比,施磷的花生叶、茎、花生仁、壳、根中磷积累量分别平均增加 32.4%、59.9%、24.4%、14.0%、78.1%,因此,施用磷肥,花生磷积累量增幅最大的器官是根,其次是茎,花生壳中磷积累量增幅最



小,表明花生在不施磷时,磷向果壳优先积累的能力强,而施磷时,花生壳中磷积累量增幅小,这可能与果壳形成是花生产量形成的基础有关。磷肥-种子相对位置对花生不同器官磷积累量有明显的影响,不同处理的花生不同器官磷积累量大小顺序为 T3>T4>T5>T2,其中, T4>T5>T2,表明在相同施磷量下,随着磷肥在土壤中的集中程度的增加,花生不同器官中磷积累量呈增加趋势, T3>T4,表明花生种下施磷比侧位施肥更有利于花生对磷的积累。

表6 不同处理对花生不同器官磷积累量的影响 (mg/株)

| 处理 | 叶       | 茎       | 花生仁     | 壳      | 根      |
|----|---------|---------|---------|--------|--------|
| T1 | 14.15d  | 9.64d   | 77.89d  | 7.19d  | 0.81d  |
| T2 | 17.32c  | 13.39c  | 89.25c  | 7.71c  | 1.14c  |
| T3 | 20.46a  | 18.05a  | 105.34a | 8.74a  | 1.77a  |
| T4 | 18.85ab | 15.62ab | 99.68ab | 8.36ab | 1.52b  |
| T5 | 18.33bc | 14.61bc | 93.31bc | 7.99bc | 1.34bc |

## 2.6 不同处理对磷肥利用率的影响

从表7可知,施磷显著增加磷在花生植株中的积累量,与不施磷对照 T1 相比, T2、T3、T4、T5 处理的花生植株中磷积累量分别增加 18.4%、40.7%、31.3%、23.6%。磷肥-种子相对位置对花生植株中磷积累量有明显的影响,不同处理的花生植株中磷积累量大小顺序为 T3>T4>T5>T2,其中, T4>T5>T2,表明在相同施磷量下,随着磷肥在土壤中的集中程度的增加,花生植株中磷积累量呈增加趋势,磷肥集中施用,能显著增加花生植株中磷积累量, T3>T4,表明花生种下施磷比侧位施肥更有利于花生对磷的积累。因此, T3 处理磷肥利用率最高,为 27.1%,分别比 T4、T5、T2 处理高 7.0、12.9、14.6 个百分点。

表7 不同处理对磷肥利用率的影响

| 处理 | 积累量<br>(mg/株) | 增加量<br>(mg/株) | 增加率<br>(%) | 磷肥利用率<br>(%) |
|----|---------------|---------------|------------|--------------|
| T1 | 109.67d       | —             | —          | —            |
| T2 | 129.81c       | 20.14c        | 18.4c      | 12.5c        |
| T3 | 154.35a       | 44.68a        | 40.7a      | 27.1a        |
| T4 | 144.03ab      | 34.36ab       | 31.3ab     | 20.1ab       |
| T5 | 135.58bc      | 25.91bc       | 23.6bc     | 14.2bc       |

## 3 结论与讨论

### 3.1 施磷肥深度对作物产量的影响

施磷能显著提高作物的产量,韩上等<sup>[28]</sup>研究结果表明,油菜移栽时施磷的产量平均为 2571 kg/hm<sup>2</sup>,与不施磷相比,油菜产量提高 672 kg/hm<sup>2</sup>,增产率为 41.5%。施磷量相同时,磷肥分层施用,在增加春玉米磷积累和吸收效率方面优于传统施磷<sup>[14]</sup>,磷肥在种同层及种下 6 cm 条施的分层施对大豆的生长发育和产量影响最大,种下 6 cm 条施次之,0 ~ 15 cm 土壤混层施肥最小<sup>[13]</sup>,与分层施用和浅施相比,磷肥单层深施能促进夏玉米生长发育,增产效果显著<sup>[12]</sup>。夏玉米磷肥施入 5 cm、15 cm、1/2 施入 5 cm 和 1/2 施入 15 cm 深的土层中时,施肥深度为 15 cm 的夏玉米产量增加 5.9% ~ 10.6%,其次是 1/2 施入 5 cm 和 1/2 施入 15 cm<sup>[19]</sup>。夏玉米磷肥集中施用在 15 cm 深度,能够增加深层土壤根系的分布比例,提高植株对磷肥的吸收、利用效率,显著提高夏玉米产量<sup>[20, 23]</sup>。旋耕措施下春玉米磷肥施用深度在 12 cm 左右较为适宜,在深松+旋耕措施下 12 ~ 18 cm 深度施肥增产效果最好<sup>[22]</sup>。也有研究表明,磷肥用量相等时,施肥深度分别为 8、16、24 cm 时,小麦的穗粒数和产量与深度成正比<sup>[25]</sup>。可见,磷肥分层施用和施用深度对作物产量有明显的影响。

### 3.2 磷肥施用方式对作物产量的影响

有研究认为磷肥施用深度对小麦产量的影响最大,磷肥侧位和正位施用的影响次之,磷肥施用量的影响最小<sup>[17]</sup>。也有研究结果表明,施磷量对谷子的产量影响最大,施肥深度的影响大于施肥水平距离,谷子产量在 8000 kg/hm<sup>2</sup> 以上时, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的施用量为 136.35 ~ 153.63 kg/hm<sup>2</sup>,施肥深度为 20.80 ~ 23.75 cm、施肥水平距离为 16.80 ~ 18.75 cm<sup>[18, 24]</sup>。这可能与种植谷子的土壤肥力低,对施肥反应敏感,谷子又是深根系作物,而种植小麦的土壤一般肥力较高,施肥量较大,又是浅根系作物有关。在水稻上,磷肥浅施有利于苗期根系对养分的吸收及根系的生长发育,且磷肥的行内施用优于行间施用<sup>[9]</sup>,与磷肥直接撒施地表相比,磷肥撒施地表+旋耕的水稻有效穗和产量显著增加<sup>[7]</sup>。在烟草上,双条沟施磷肥能显著促进烤烟的生长,提高肥料的吸收和利用,显著提高烟叶的产质量<sup>[10-11]</sup>。这可能是由水稻是水田作物,而烟草是旱作作物,

土壤水分对磷肥在土壤中运移机制不同引起的,总的来说,旱作作物上磷肥条施、深施能够有效提高作物产量<sup>[4]</sup>。本试验结果表明,随着磷肥在土壤中集中程度的增加,磷肥能更有效地促进花生的生长发育,促进磷的吸收、利用。这和前人在小麦<sup>[17]</sup>、谷子<sup>[18, 24]</sup>、水稻<sup>[7, 9]</sup>、烟草<sup>[10-11]</sup>上的施磷效果基本一致。

### 3.3 磷肥-种子相对位置对作物产量的影响

王岩等<sup>[29]</sup>研究认为,相同施磷水平下,在玉米一侧穴施磷肥的地上部生物量高于两侧穴施磷肥,地上部生物量提高0.4%~7.6%。小麦定位条施于播种行侧、膜下、种侧下5 cm处的膜侧施肥促进了不同生育时期的氮磷钾吸收,协同提高了经济效益、养分吸收效率和肥料偏生产力<sup>[15]</sup>,冬小麦种子正下方5 cm条施和混施在产量和吸磷量上均高于表面撒施等施用方式<sup>[8]</sup>;大豆在种下6 cm侧向0~6 cm施用磷肥,对养分的吸收明显高于种下6 cm侧向18~24 cm施肥<sup>[21]</sup>,这表明,相同施肥深度,远离作物施用磷肥,不利于作物对磷的吸收、利用。本研究结果认为,种下5 cm施磷的花生生长发育状况最好,磷肥的吸收、利用最高,其中花生单株生产力最大,为32.4 g/株,磷肥利用率最高,为27.1%,其次是花生种子一侧5 cm及深5 cm施磷,再次是花生种子两侧5 cm及深5 cm施磷,0~10 cm土壤混匀施磷最小。这与磷肥在小麦<sup>[8, 15]</sup>、大豆<sup>[21]</sup>上的施用结果较为一致。可见,磷肥与种子的空间位置对花生的生长发育和磷的吸收、利用有重要影响。本试验在盆栽条件下明确了花生种下5 cm处施磷时,花生对磷肥的吸收、利用效果最好,因此后续应在大田实际生产中,结合花生的种肥一体化播种,开展花生种下5 cm条施磷肥方面的研究,为花生的机械化精准、高效、轻简施肥提供技术支撑。

### 参考文献:

- [1] 郑亚萍, 信彩云, 王才斌, 等. 磷肥对花生根系形态、生理特性及产量的影响[J]. 植物生态学报, 2013, 37(8): 777-785.
- [2] Kang L Y, Shen Y F, Yue S C, et al. Effect of phosphorus application in different soil depths on root distribution and grain yield of winter wheat under different water conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(15): 140-147.
- [3] 侯必新, 张美桃, 万海清. 钙镁磷肥不同用量对花生产量及培肥地力影响的研究[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2005, 17(4): 39-41, 49.
- [4] Gealy D R. Deep phosphorus fertiliser placement and reduced irrigation methods for rice (*Oryza sativa* L.) combine to knock-out competition from its nemesis, barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L. P.Beauv.)[J]. Plant and Soil, 2015, 391(1-2): 427-431.
- [5] Rehim A, Hussain M, Abid M, et al. Phosphorus use efficiency of *Triticum Aestivum* L. as affected by band placement of phosphorus and farmyard manure on Calcareous soils[J]. Pakistan Journal of Botany, 2012, 44(2): 1391-1398.
- [6] 余宗波, 邹娟, 肖兴军, 等. 湖北省小麦施磷效果及磷肥利用率研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(7): 1339-1341.
- [7] 张满鸿. 机械化肥深施与撒施的对比试验及效果分析[J]. 福建农机, 2004(2): 25-26.
- [8] 江尚焘, 王火焰, 周健民, 等. 磷肥施用方式及类型对冬小麦产量和磷素吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1503-1510.
- [9] 孙浩燕. 施肥方式对水稻根系生长、养分吸收及土壤养分分布的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [10] 邱志丹, 郭金平, 罗发健. 龙岩烟区不同施肥方式对烟叶产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2004(3): 46-48.
- [11] 韩晓飞, 王子芳, 习向银, 等. 施肥方法对烤烟生长及养分吸收、分配的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(S1): 209-213.
- [12] 杨春收. 磷肥及施用位置对夏玉米生长发育及产量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009.
- [13] 于小凡. 施磷量和施肥位置对大豆磷素吸收及产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [14] 范秀艳, 杨恒山, 高聚林, 等. 施磷方式对高产春玉米磷素吸收与磷肥利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 312-320.
- [15] 黄明, 王朝辉, 罗来超, 等. 垄覆沟播及施肥位置优化对旱地小麦氮磷钾吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(5): 1158-1168.
- [16] 张晓云, 吴伯志, 吴开贤, 等. 施肥位置与杂草管理对间作玉米、马铃薯生长和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(7): 1239-1246.
- [17] 袁文胜, 何增富, 金诚谦, 等. 机播小麦不同施肥方式对产量影响的试验研究[J]. 农机化研究, 2014(12): 212-215.
- [18] 李永虎, 曹梦琳, 杜慧玲, 等. 基于杂交谷子产量及其构成因素的最优养分用量和施肥位置研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(9): 1532-1541.
- [19] 赵亚丽, 杨春收, 王群, 等. 磷肥施用深度对夏玉米产量及养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(23): 4805-4813.
- [20] 陈晓影, 刘鹏, 程乙, 等. 基于磷肥施用深度的夏玉米根层调控提高土壤氮素吸收利用[J]. 作物学报, 2020, 46(2): 238-248.

- [21] 宋秋来, 张晓雪, 周全, 等. 侧向施肥距离对大豆氮磷钾吸收及产量的影响 [J]. 大豆科学, 2014, 33 (1): 79–82.
- [22] 张瑞富, 张玉芹, 杨恒山. 深松措施下磷肥施用深度对春玉米根系特性的影响 [J]. 华北农学报, 2019, 34 (1): 204–212.
- [23] 陈晓影, 刘鹏, 程乙, 等. 土壤深松下磷肥施用深度对夏玉米根系分布及磷素吸收利用效率的影响 [J]. 作物学报, 2019, 45 (10): 1565–1575.
- [24] 李永虎, 曹梦琳, 杜慧玲, 等. 施肥位置及施肥量对杂交谷子干物质累积、转运和产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2019, 52 (22): 4177–4190.
- [25] 温樱, 王东. 底肥分层条施提高冬小麦干物质积累及产量 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (5): 1387–1393.
- [26] 李有田, 于融, 介晓磊, 等. 砂质潮土花生氮磷肥施用技术初探 [J]. 河南农业大学学报, 1992, 26 (3): 255–259, 267.
- [27] 宋志伟, 寇长林, 王秋杰. 豫东沙区冬小麦套作花生轮作制度中磷肥分配施用效果的研究 [J]. 土壤通报, 2006, 37 (4): 727–731.
- [28] 韩上, 武际, 郭熙盛, 等. 安徽省油菜磷肥施用效果及土壤有效磷丰缺指标研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2016 (2): 90–94.
- [29] 王岩, 郭涛, 邢丹. 局部施磷对玉米磷、锌拮抗作用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (3): 94–99.

### Effect of relative position of phosphate fertilizer- kernel on growth and development of peanut and use efficiency of phosphate fertilizer

SI Xian-zong<sup>1</sup>, ZHANG Xiang<sup>1\*</sup>, SUO Yan-yan<sup>1</sup>, LI Liang<sup>1</sup>, YU Qiong<sup>1</sup>, YU Hui<sup>2</sup> (1. Institute of Plant Nutrition, Resource and Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou Henan 450002; 2. Zhengyang Institute of Peanut, Zhengyang Henan 463600)

**Abstract:** Effects of relative position of phosphate fertilizer–kernel on growth and development of peanut and use efficiency of phosphate fertilizer were studied by pot experiment with no phosphorus application, phosphorus application mixed with 0 ~ 10 cm soil, phosphorus application in one side with 5 cm distance from peanut seed and 5 cm depth, phosphorus application in two sides with 5 cm distance from peanut seed and 5 cm depth, and phosphorus application under peanut seed 5 cm depth, in order to provide technical basis for precise fertilization combined with sowing kernel of peanut with machine. The results showed that agronomic traits and yield characters were optimal, including peanut main stem, lateral branch length, branch number, full pod number, full pod weight, weight of 100 pod, ratio of kernel to pod, productivity per plant, dry matter weight, phosphorus content, phosphorus accumulation in different organs of peanut, and phosphate use efficiency were the largest, with phosphorus application under peanut seed 5 cm depth, followed by phosphorus application in one side with distance from peanut seed 5 cm and 5 cm depth, the third was phosphorus application in two sides with distance from peanut seed 5 cm and 5 cm depth, and the minimum was phosphorus application mixed with 0 ~ 10 cm soil. Under the conditions of this experiment, concentrated application of phosphate fertilizer could promote growth and development of peanut, improve phosphate fertilizer use efficiency, among them, productivity per plant and phosphate use efficiency were highest with phosphorus application under peanut seed 5 cm depth, which were 32.4 g/plant and 27.1%, respectively.

**Key words:** peanut; precise fertilization; growth and development; phosphate fertilization use efficiency