

# 有机无机复混肥对花生生长和品质的影响<sup>①</sup>

孙鹰翔<sup>1</sup>, 王明伟<sup>2\*</sup>

(1 中化化肥有限公司, 北京 100045; 2 中化化肥有限公司临沂农业研发中心, 山东临沂 276023)

**摘要:** 试验以不施肥(CK)为对照处理, 在同等施肥量下设置化肥处理(NPK)、有机无机复混肥处理(T1 和 T2), 研究其对土壤养分含量、花生农艺性状和花生产量、品质指标的影响。结果表明: 与 CK 相比, 化肥处理(NPK)和有机无机复混肥处理均促进了花生生长, 增加了土壤速效养分含量, 且 NPK、T1 和 T2 分别增产 9.5%、17.3% 和 19.7%; 与单施化肥处理相比, 有机无机复混肥处理改良了土壤 pH, 提高了土壤速效钾含量, 明显改善花生农艺性状, T1 和 T2 处理分别增产 7.1% 和 9.3%, 分别提高肥料偏生产力 21.0% 和 23.5%、肥料贡献率 6.0% 和 7.8%。因此, 在等量施肥下, 有机无机复混肥对土壤速效养分含量的增加、花生农艺性状的改善以及产量的提升具有更好的促进作用, 肥料的偏生产力和肥料贡献率更高, 是未来花生可持续生产的重要施肥措施。

**关键词:** 有机无机复混肥; 农艺性状; 花生产量品质; 增产效率; 解淀粉芽孢杆菌

中图分类号: S146 文献标识码: A

花生是我国农产品出口的重要经济作物之一, 但由于长期过量化肥施用或者不合理的施肥搭配, 造成了土壤活性有机质含量降低、养分失衡失调<sup>[1]</sup>、土壤环境恶化<sup>[2]</sup>、微生物群落结构异常和土传病害加重<sup>[3]</sup>等一系列问题, 极大地制约了花生生产的可持续性。而有机物料在改善土壤理化性状、调节土壤酶活性, 改善土壤供肥能力等方面发挥重要作用<sup>[4-5]</sup>。研究发现, 有机物料与无机肥料科学复合, 具有调节化学肥料养分转化、释放和供应的作用<sup>[6]</sup>, 在等养分投入条件下, 有机无机复混肥料比普通化学肥料利用率提高 5 ~ 10 个百分点<sup>[7-9]</sup>。同时, 有机无机复混肥料能够及时补充土壤有机质数量, 改善耕地质量<sup>[10]</sup>, 为作物生长提供积极稳定的生态环境<sup>[11-12]</sup>, 达到增加作物产量<sup>[13-14]</sup>、改善农产品品质<sup>[15-16]</sup>的目标。

近些年, 连作土壤障碍频发, 土壤病原菌和有害物质积累, 影响花生的正常生长。而施用有益微生物或拮抗微生物, 不仅能够促进植物生长, 还能够抑制病原菌的繁殖, 减少作物病害的发生<sup>[17-18]</sup>。研究显示, 施用微生物菌剂的花生青枯病、锈病和病毒病等几种主要病害的综合发病率由 10.94% 下降到 2.25%<sup>[19]</sup>。

因此, 本研究以多种有机物料和无机养分为基础,

加入解淀粉芽孢杆菌菌剂按照一定工艺完成有机无机复混肥造粒, 通过花生生长性状和产量的分析, 寻求更具科学性、高效性的有机无机复混肥料, 为花生高产、高效种植提供科学依据, 为化肥减量增产和环境保护提供切实行动。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2017 年 4—9 月在中化农业临沂研发中心试验田(34°56'47" N, 118°27'38" E)进行。试验区全年平均气温 13.4 °C, 极端最高气温 38 °C, 极端最低气温 -14 °C, 年降水量约 840 mm, 全年无霜期 200 d 以上。土壤基本理化性质为: pH 8.01, 0 ~ 20 cm 土层有机质含量 15.93 g/kg、全氮 1.02 g/kg、全磷 1.02 g/kg、碱解氮 226.52 g/kg、有效磷 115.45 mg/kg 和速效钾 351.81 mg/kg。

供试有机无机复混肥料由中化农业临沂研发中心提供, 有机物料包括氨基酸、腐殖酸和木薯渣, 无机养分包括尿素、磷酸一铵和硫酸钾等, 经过圆盘工艺造粒和接种解淀粉芽孢杆菌而成, 有效活菌数(cfu) ≥ 2.0 亿/g(ml); 无机复合肥由中化化肥山东分公司

基金项目: 科技部“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0200401)和中化化肥有限公司“花生有机类专用肥料研产销一体化”项目资助。

\* 通讯作者(wangmingwei.cool@163.com)

作者简介: 孙鹰翔(1976—), 男, 北京人, 硕士, 研究方向为肥料研发与农业技术推广。E-mail: 946835908@qq.com

提供。

供试花生品种为宛花 2 号,小果品种,采用地膜覆盖,一垄一行,每穴两株种植,株距 20 cm,垄宽 50 cm,小区面积 29.1 m<sup>2</sup>,于 2017 年 5 月初播种。

### 1.2 试验设计

试验共设 4 个处理,空白对照 CK、化肥处理 NPK、有机无机复混肥处理 T1、有机无机复混肥处理 T2。化肥处理施用复合肥(15-15-15)。有机无机复混肥料是有机质含量 150 g/kg、无机养分含量 400 g/kg 的颗粒状肥料,合成物料包括尿素 22.4%(质量分数)、磷酸一铵 26.5%、硫酸钾 25.0%、植物性氨基酸 10.0%、木薯渣 10.0%、腐殖酸 4.0% 等原料。有机无机复混肥 T2 处理是在有机无机复混肥 T1 处理基础上加入解淀粉芽孢杆菌菌剂制作而成,最终合成配方见表 1。各处理重复 3 次,施肥量相同,并做一次基肥全部施用。

表 1 各处理肥料方案和施用量  
Table 1 Fertilization under different treatments

处理	解淀粉芽孢杆菌	有机质 (g/kg)	无机养分			施用量 (kg/hm <sup>2</sup> )
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
CK	-	-	-	-	-	-
NPK	-	-	15	15	15	600
T1	-	≥150	15	12	13	600
T2	+	≥150	15	12	13	600

注：“-”表示“没有”，“+”表示“有”。

### 1.3 样品测定和数据处理

土壤样品指标测定：在收获期采集土壤样品,分别测定土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、速效钾的含量。土壤有机质用重铬酸钾加热法,土壤全氮用凯氏定氮法,全磷用碱熔-钼锑抗比色法,有效磷用

Olsen 法,速效钾用 1 mol/L NH<sub>4</sub>OAc 浸提-火焰光度法<sup>[20]</sup>。

花生农艺性状指标测定：在成熟期采集 6 株植株样品,分别测定花生主根长、侧枝长、主茎高、分枝数、单株荚果干重。

花生产量指标测定：分别统计小区产量、籽仁产量、百果重、单株饱果数和出仁率。百果重：取饱满双仁干荚果 100 个称重,重复两次,重复间差异不得>5%,取平均数,以 g 表示。

花生仁品质指标测定：分别测定花生仁蛋白质、脂肪、油酸、亚油酸含量以及油酸/亚油酸比值。蛋白质含量测定用微量凯氏法<sup>[21]</sup>,脂肪含量测定用索氏提取法<sup>[22]</sup>,脂肪酸组分测定用气相色谱法<sup>[23]</sup>。

本文采用的肥料增产效率指标包括：肥料偏生产力(fertilizer partial productivity, FPP)=施肥区产量/施肥区纯养分的投入量×100%；肥料贡献率(fertilizer contribution rate, FCR)=(施肥区产量-无肥区产量)/施肥区产量×100%。

本文试验数据采用 Excel 2016 和 DPS 统计软件分析。

## 2 结果

### 2.1 有机无机复混肥对土壤养分的影响

由表 2 得出,与无肥处理(CK)、化肥处理(NPK)相比,有机无机复混肥处理(T1 和 T2)能够提高土壤有机质的含量,改善土壤 pH;同时,相较于 CK, T1 和 T2 处理能够显著增加全量养分和速效养分的含量( $P<0.05$ );与 NPK 处理相比, T1 和 T2 处理显著提高速效钾含量( $P<0.05$ ), T2 与 T1 处理之间理化指标并无显著差异。

表 2 不同肥料处理土壤养分

Table 2 Soil nutrient contents under different fertilization

处理	pH(2.5 : 1)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	7.76 ± 0.15 ab	14.56 ± 1.14 b	1.20 ± 0.09 b	0.82 ± 0.07 b	43.45 ± 3.72 b	178.30 ± 25.27 c
NPK	7.93 ± 0.14 a	15.48 ± 0.53 ab	1.22 ± 0.05 b	0.95 ± 0.05 b	55.62 ± 3.02 ab	235.91 ± 10.37 b
T1	7.61 ± 0.23 b	16.51 ± 0.56 a	1.37 ± 0.03 a	1.33 ± 0.02 a	62.15 ± 5.97 a	279.23 ± 25.01 a
T2	7.62 ± 0.04 b	16.85 ± 0.55 a	1.37 ± 0.06 a	1.34 ± 0.19 a	63.90 ± 15.45 a	279.98 ± 25.02 a

注：同列不同小写字母表示处理间差异在  $P<0.05$  水平显著,下同。

### 2.2 有机无机复混肥对花生农艺性状的影响

在成熟期,对各处理花生进行主茎高、主根长等植物性状的调查,具体数据见表 3,由此可知,施肥能够显著提高花生主茎高、侧枝长( $P<0.05$ ),增加根系的长度、分枝数、植株干重,大小顺序均表现为 T2>T1>NPK;与 NPK 处理相比, T1 和 T2 处理能够

分别增加侧枝长度 5.6 cm 和 6.0 cm,提高单株荚果干重 11.1 g 和 11.3 g,同时, T2 处理能够促进主根增长 5.0 cm,而 T1 处理作用并不显著。

### 2.3 有机无机复混肥对花生产量的影响

不同处理间花生百果重、荚果产量、籽仁产量和单株饱果数差异显著( $P<0.05$ )(表 4)。T2 处理的百果

重显著高于 CK、NPK 处理( $P < 0.05$ )；与 CK 相比，施肥处理显著提高了单株饱果数、荚果产量和籽仁产量( $P < 0.05$ )，其中 T1 和 T2 处理效果最好。

#### 2.4 有机无机复混肥对花生籽仁品质的影响

由表 5 得出，有机无机复混肥处理显著影响脂肪、蛋白质、亚油酸在花生籽仁中的分布( $P < 0.05$ )。

与 CK 相比，T2 处理显著提高了脂肪、蛋白质的含量( $P < 0.05$ )，显著降低了亚油酸的含量，油酸/亚油酸比值显著增高( $P < 0.05$ )；与 NPK 相比，T2 处理显著提高了脂肪的含量( $P < 0.05$ )，增加了蛋白质、油酸和油酸/亚油酸比值，但并不显著；同时，T2 与 T1 处理花生籽仁品质指标无显著差异性。

表 3 不同肥料处理花生生长性状  
Table 3 Agronomic traits of peanut under different fertilization

处理	主茎高(cm)	主根长(cm)	侧枝长(cm)	分枝数	单株荚果干重(g)
CK	26.6±2.8 b	22.9±1.9 c	40.6±0.3 c	8.2±0.7 b	82.2±8.7 b
NPK	33.0±0.6 a	25.2±1.8 bc	44.7±1.2 b	9.0±0.7 ab	86.1±1.3 b
T1	36.3±2.1 a	29.6±3.7 ab	50.3±2.0 a	10.3±1.3 a	97.2±2.5 a
T2	36.7±2.3 a	30.2±1.8 a	50.67±1.0 a	10.3±1.2 a	97.4±4.1 a

表 4 不同肥料处理花生产量  
Table 4 Yields of peanuts under different fertilization

处理	荚果产量(kg/hm <sup>2</sup> )	籽仁产量(kg/hm <sup>2</sup> )	百果重(g)	单株饱果数	出仁率(%)
CK	4 001.1±39.8 c	3 087.8±46.6 c	167.0±1.0 b	10.4±0.2 c	77.2±0.5 a
NPK	4 381.4±74.1 b	3 340.2±63.0 b	168.3±0.6 b	12.6±0.4 b	76.2±0.5 a
T1	4 692.0±46.4 a	3 734.0±66.0 a	178.3±9.6 ab	14.1±0.6 a	78.0±1.4 a
T2	4 790.2±25.2 a	3 698.1±90.5 a	184.3±8.4 a	14.9±1.2 a	78.8±2.6 a

表 5 不同肥料处理花生籽仁品质  
Table 5 Kernel quality indexes of peanuts under different fertilization

处理	脂肪(g/kg)	蛋白质(g/kg)	油酸(g/kg)	亚油酸(g/kg)	油酸/亚油酸
CK	556.1±3.0 c	242.0±1.5 b	474.2±1.32 a	293.5±5.6 a	1.62±0.06 b
NPK	564.0±3.0 bc	250.2±1.4 ab	486.7±0.23 a	286.9±3.9 ab	1.69±0.02 ab
T1	570.3±0.4 ab	265.2±16.5 a	486.9±1.61 a	279.1±8.1 b	1.75±0.03 a
T2	578.2±0.7 a	265.4±9.0 a	490.3±0.88 a	281.3±1.6 b	1.74±0.04 a

#### 2.5 有机无机复混肥对花生的增产效率

由表 6 可得，相对于 CK 处理，T1 和 T2 处理能够分别提高花生产量 17.3% 和 19.7%；相对于 NPK 处理，T1 和 T2 处理能够分别增产 7.1% 和 9.3%；

同时，T2 处理所表现的偏生产力、肥料贡献率最高，其中相较于 NPK 处理，偏生产力增加了 23.5%，肥料贡献率增加了 7.8%，而 T1 处理分别提高了偏生产力和肥料贡献率 21.0% 和 6.0%。

表 6 不同肥料处理花生增产效率  
Table 6 Yield-increasing efficiencies of peanuts under different fertilization

处理	平均产量(kg/hm <sup>2</sup> )	相对 CK 增长(%)	相对 NPK 增长(%)	偏生产力(kg/kg)	肥料贡献率(%)
CK	4 001.1				
NPK	4 381.4	9.5		16.2	8.7
T1	4 692.0	17.3	7.1	19.6	14.7
T2	4 790.2	19.7	9.3	20.0	16.5

### 3 讨论

#### 3.1 有机无机复混肥对土壤有机质和养分的影响

施用有机物料是提高土壤有机质的主要措施，也是维持土壤有机质较高水平的重要保障。本试验施用

有机无机复混肥处理的土壤有机质增加幅度比单施化肥的高，可见，有机物料对有机质的提升具有重要的作用。同时，有机物料还可以改变有机质的养分供应能力<sup>[24]</sup>。本试验中，相较于化肥处理，施用有机无机复混肥料显著提高土壤全氮含量，主要原因可能

是化肥氮在土壤中快速转化易发生氨挥发和硝酸盐淋失<sup>[25-27]</sup>；而有机氮矿化缓慢，损失小，易在土壤中存留<sup>[28]</sup>。同样，有机无机复混肥料促进了土壤磷和钾素的积累，有机物料中的磷、钾以有机态存在，随着后期有机质分解逐渐被释放出来成为有效磷、速效钾被作物吸收利用<sup>[29]</sup>。

### 3.2 有机无机复混肥对花生生长性状的影响

合理的主茎高度、侧枝分枝数以及侧枝长度是花生高产稳产的保证。本试验发现，施肥能够显著提高花生的主茎高、侧枝长，而且有机无机复混肥的作用更加显著，这可能是因为氨基酸、腐殖酸等物料维持了作物后期的养分供应，延长了花生的生育期，使营养生长更加旺盛<sup>[30-31]</sup>。有研究显示，花生在结荚期以前，植株的氮素主要来源于土壤氮和化肥氮；结荚期以后，花生植株的氮素主要来自根瘤固氮<sup>[32]</sup>，而本试验中，与化肥处理相比，有机无机复混肥料提高了花生营养生长水平，说明有机氮肥对后期植株养分的吸收具有重要的作用。磷作为作物生长的必需元素之一，与根系生长发育<sup>[33]</sup>和根系形态性状密切相关<sup>[34-36]</sup>，在一定程度上，根系生长促进了植株的营养生长。因此土壤磷素的增加不仅能够提高花生总生物产量，而且能通过提高单株有效结果数和荚果饱满度，从而提高花生单产<sup>[37]</sup>。本试验中有机无机复混肥料处理土壤中可利用钾含量增多，能够抑制花生植株徒长并且增加花生单株饱果数、百果重和出仁率<sup>[38-39]</sup>，同时能增强花生对不良环境条件的抵抗能力，提高抗旱、抗病性，起到保叶保果的作用<sup>[40]</sup>。

### 3.3 有机无机复混肥对花生产量和品质的影响

大量研究显示，合理的有机无机肥配施可以起到显著的增产作用<sup>[41-43]</sup>，本研究结果中有机无机复混肥料能够显著提高花生产量。有机物料与无机养分配合施用，一方面花生植株能够直接吸收利用无机养分和有机小分子营养物质，加快花生新陈代谢和生殖生长，促进花生籽仁中蛋白质和碳水化合物的合成，进而增加产量；另一方面，有机无机肥料配合施用，可以使肥效相互促进，调控土壤氮素的固持和释放<sup>[44]</sup>。从肥料的增产效率来看，相较于单一化肥处理，有机无机复混肥料处理的偏生产力分别提高了 21.0% 和 23.5%，肥料贡献率提高了 6.0% 和 7.8%，这也是有机无机复混肥料增产的主要原因。

品质是农作物最重要的经济性状，品质的优劣决定了产品的价值<sup>[45]</sup>。有机无机复混肥料处理蛋白质和脂肪含量要高于化肥处理，可见有机物料对花生籽仁蛋白质和脂肪的形成有促进作用。花生油酸/亚油

酸比值是评价花生制品的耐储藏时间、花生制品货价寿命的主要依据<sup>[30]</sup>，本试验中有机无机复混肥料显著增加了油酸/亚油酸比值，这将极大地增强产品的应用价值和市场竞争力。

### 3.4 微生物菌剂在有机无机复混肥中的应用

解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)作为植物根围促生细菌(PGPR)，能够产生包括蛋白酶、纤维素酶和嗜铁素等多种防病促生物质<sup>[17, 46]</sup>，促进植物生长<sup>[47]</sup>。研究表明，解淀粉芽孢杆菌 B1619 施入土壤，能够改善土壤酶活性，有利于改善土壤肥力<sup>[47]</sup>。但本试验中这种作用并不显著，这也可能与解淀粉芽孢杆菌在土壤中是否有效定殖密切相关。

## 4 结论

相较化肥处理，有机无机复混肥处理综合利用效率显著提高，促进了花生农艺性状的改善，进而增加了花生产量和品质；有机无机复混肥料处理下肥料偏生产力和贡献率显著增加。但单一微生物菌剂的应用效果并不稳定，限制了其生产应用，因此未来益生菌复合菌剂的研发与有机物料的整合利用，是重点研发的方向，由原始的单纯提供养分向“养分、促生、高效”的新型肥料类型转化。

### 参考文献：

- [1] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 459-465
- [2] 孟红旗, 刘景, 徐明岗, 等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1109-1116
- [3] 魏巍, 许艳丽, 朱琳, 等. 长期施肥对黑土农田土壤微生物群落的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 372-380
- [4] Shang Q Y, Gao C M, Yang X X, et al. Ammonia volatilization in Chinese double rice-cropping systems: A 3-year field measurement in long-term fertilizer experiments[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2014, 50(5): 715-725
- [5] 杜伟. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理[J]. 北京: 中国农业科学院, 2010
- [6] Duan Y H, Xu M G, Gao S D, et al. Nitrogen use efficiency in a wheat-corn cropping system from 15 years of manure and fertilizer applications[J]. *Field Crops Research*, 2014, 157(2): 47-56
- [7] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究. 有机物料与尿素复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 579-586
- [8] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究 II. 有机物料与磷肥复混对

- 玉米产量及肥料养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 825-831
- [9] 杜伟, 赵秉强, 林治安, 等. 有机无机复混肥优化化肥养分利用的效应与机理研究 III. 有机物料与钾肥复混对玉米产量及肥料养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 58-63
- [10] 王秋君. 稻麦轮作系统中施用有机无机复混肥对作物生长及土壤肥力的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
- [11] 李春阳, 查晓明, 王帅. 有机无机复混肥改善土壤生态环境的作用[J]. 现代农业科技, 2011(20): 288-288
- [12] 刘杰, 王大蔚, 裴占江, 等. 有机无机复混肥对大豆根际环境的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(4): 730-732
- [13] 王强. 不同原料有机无机复混肥对作物产量和氮效率的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2009
- [14] 李静. 稻麦轮作下有机无机肥料配施对作物生长及土壤微生物特性的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015
- [15] 张文君, 刘兆辉, 江丽华, 等. 有机无机复混肥对作物产量及品质的影响[J]. 山东农业科学, 2005(3): 57-58
- [16] 刘秀珍, 向云. 新型有机无机复混肥对友好菜产量和品质的影响[C]//发挥资源科技优势 保障西部创新发展——中国自然资源学会 2011 年学术年会论文集(下册). 北京: 中国自然资源学会, 2011
- [17] Fan B, Chen X H, Budiharjo A, et al. Efficient colonization of plant roots by the plant growth promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42, engineered to express green fluorescent protein[J]. Journal of Biotechnology, 2011, 151(4): 303-311
- [18] Wang B B, Shen Z Z, Zhang F G, et al. *Bacillus amyloliquefaciens* strain W19 can promote growth and yield and suppress fusarium wilt in banana under greenhouse and field conditions[J]. Pedosphere, 2016, 26(5): 733-744
- [19] 涂显平. 酵素菌对花生的增产作用研究[J]. 花生学报, 2000, 29(2): 8-11
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [21] 北京大学生物学系生物化学教研室. 生物化学实验指导[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979
- [22] 中华人民共和国技术监督局. 粮食、油料检验粗脂肪测定法: GB 5512—1985. 北京: 中国标准出版社, 1985
- [23] 范晖. 花生脂肪酸快速测定法的研究[J]. 山东农业大学学报, 1991, 22(4): 413-415
- [24] 王旭东, 胡田田, 陈多仁, 等. 有机物料不同腐解期胡敏酸的性质变化[C]//中国土壤学会青年工作委员会, 中国植物营养与肥料学会青年工作委员会. 青年学者论土壤与植物营养科学——第七届全国青年土壤暨第二届全国青年植物营养科学工作者学术讨论会论文集. 南京: 中国土壤学会, 2000
- [25] 李宗新, 王庆成, 刘开昌, 等. 不同施肥模式下夏玉米田间土壤氮挥发规律[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 307-314
- [26] 郑凤霞, 董树亭, 刘鹏, 等. 长期有机无机肥配施对冬小麦籽粒产量及氮挥发损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(3): 567-577
- [27] Shang Q Y, Ling N, Feng X M. Soil fertility and its significance to crop productivity and sustainability in typical agroecosystem: A summary of long-term fertilizer experiments in China[J]. Plant and Soil, 2014, 381(1-2): 13-23
- [28] 岳现录, 冀宏杰, 张认连, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系秋季一次基施牛粪氮素损失与利用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 592-599
- [29] Dong W X, Hu C S, Chen S Y. Tillage and residue management effects on soil carbon and CO<sub>2</sub> emission in a wheat-corn double-cropping system[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 83(1): 27-37
- [30] 许小伟, 樊剑波, 陈晏, 等. 有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(1): 174-182
- [31] 周苏玫, 李磊, 尹钧, 等. 不同粒型花生品种衰老过程中生理特性的变化[J]. 华北农学报, 2005, 20(6): 20-23
- [32] 黄循壮. 不同施氮水平对花生结瘤与供氮和产量的影响[J]. 花生学报, 1992, 21(1): 68-72
- [33] Mackay, A D, Barber S A. Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn[J]. Soil Science Society of America Journal, 1984, 48: 818-823
- [34] 万书波, 封海胜, 王秀贞. 花生营养成分综合评价与产业化发展战略研究[J]. 花生学报, 2004, 33(2): 1-6
- [35] Chassot A, Richner W. Root characteristics and phosphorus uptake of maize seedlings in a bilayered soil[J]. Agronomy Journal, 2002, 94: 118-127
- [36] 廖红, 戈振扬, 严小龙. 水磷耦合胁迫下植物磷吸收的理想根构型: 模拟与应用[J]. 科学通报, 2001, 46(8): 641-646
- [37] 徐亮, 王月福, 程曦, 等. 施磷对花生根系生长发育和产量的影响[J]. 花生学报, 2009, 38(1): 32-35
- [38] 陈林, 朱青, 陈正刚, 等. 不同氮素水平下施用钾肥对花生产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2009(3): 34-35
- [39] 何春梅, 王飞, 李清华, 等. 钾、镁、硫元素不同配比对花生养分吸收、累积及分配的影响[J]. 土壤通报, 2009(6): 1385-1389
- [40] 梁裕元, 袁笑娴. 花生的钾素营养与钾肥的施用[J]. 花生学报, 1991, 20(3): 27-29.
- [41] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138-147
- [42] 侯红乾, 刘秀梅, 刘光荣, 等. 有机无机肥配施比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(3): 516-523
- [43] 张建军, 樊廷录, 党翼, 等. 黄土旱塬耕作方式和施肥对冬小麦产量和水分利用特性的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 1016-1030
- [44] 梁斌, 赵伟, 杨学云, 周建斌. 氮肥及其与秸秆配施在不同肥力土壤的固持及供应. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1750-1757
- [45] 张爱民, 李欣, 刘冬成, 等. 品质支撑农作物产业与未来发展[J]. 中国农业科学, 2016, 49(22): 4265-4266
- [46] 陈思宇, 陈志谊, 张荣胜. 水稻纹枯病菌拮抗细菌的筛选及鉴定[J]. 植物保护学报, 2013, 40(3): 211-218
- [47] 乔俊卿, 刘邮洲, 夏彦飞, 等. 生防菌 B1619 在番茄根部的定殖及对根际微生态的影响[J]. 植物保护学报, 2013, 40(6): 507-511

## Effects of Organic-inorganic Compound Fertilizer on Growth and Quality of Peanut

SUN Yingxiang<sup>1</sup>, WANG Mingwei<sup>2\*</sup>

(1 *Sinofert Holdings Limited, Beijing 100045, China*; 2 *Linyi Agricultural Research and Development Center of Sinofert Holdings Limited, Linyi, Shandong 276023, China*)

**Abstract:** Long term excessive application of chemical fertilizer can aggravate soil environment deterioration and cause severely soil-borne disease. In order to provide a basis for the production of organic-inorganic compound fertilizer with more scientificity and higher reliability for high yield and efficient cultivation of peanut, an experiment was conducted to study the growth traits, yield and quality as well as fertilizer efficiency of peanut, in which four fertilization treatments were designed, including no fertilizer (CK), chemical fertilizer treatment (NPK) and two organic-inorganic compound fertilizer treatments (T1 and T2) under same rate of fertilizer application. The results showed that, compared with CK, the treatments of NPK, T1 and T2 promoted the growth of peanut, increased soil available nutrients, and increased peanut yields by 9.5 %, 17.3 % and 19.7 %, respectively. Compared with NPK treatment, the treatments T1 and T2 increased soil pH and available potassium, obviously improved agronomic characters of peanut and increased peanut yields by 7.1 % and 9.3 %, fertilizer partial productivities by 21.0 % and 23.5 % and fertilizer contribution rates by 6.0 % and 7.8 %, respectively. Therefore, under the condition of equal amount of fertilizer application, organic and inorganic compound fertilizer can effectively improve soil nutrients, yield and agronomic characters of peanut, enhance partial productivity and contribution rate of fertilizer. So, organic and inorganic compound fertilizer is an important fertilization method for sustainable development of peanut.

**Key words:** Organic-inorganic compound fertilizer; Agronomic traits; Peanut yield and quality; Yield-increasing efficiency; *Bacillus amyloliquefaciens*