

腐植酸有机无机复混肥料对花生农艺性状及产量的影响

刘晓辰¹ 赵花¹ 洪丕征¹ 李强² 曹会涛¹ 盖瑞祥¹ 郭新送^{1*}

1 山东农大肥业科技股份有限公司 肥城 271600

2 泰安市生态环境局肥城分局 肥城 271600

摘要: 为探究腐植酸有机无机复混肥料对花生产量形成的影响及养分减量潜力, 本研究以不施肥(CK)为对照, 设置常规氮磷钾复合肥(T1), 以及腐植酸有机无机复混肥料等养分(T2)、减肥10%(T3)及减肥20%(T4)共5个处理进行田间试验。结果表明, 施用腐植酸有机无机复混肥料可显著优化花生农艺性状并提高产量。其中, T2处理效果最优, 其荚果和籽仁产量最高, 分别达3691.85 kg/hm²和2731.80 kg/hm², 较CK显著增产28.33%和29.98%, 且主要产量构成指标(百果重、百仁重、饱果数)均显著提升。T3处理产量与T1处理无显著差异, 表明该肥料可实现减肥稳产; T4处理产量虽低于T1处理, 但仍显著高于CK。相关性分析表明, 总枝数、饱果数、百果重、千克饱果数均与产量呈显著或极显著正相关, 是调控花生产量的关键指标。综上, 腐植酸有机无机复混肥料能有效促进花生产量形成, 且减肥10%条件下仍能维持稳产, 为花生绿色高效生产及“减肥增效”提供了科学施肥方案。

关键词: 花生; 腐植酸; 有机无机复混肥料; 产量; 减肥增效

中图分类号: TQ444.6, S565.2 文章编号: 1671-9212(2025)06-0070-06

文献标识码: A DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.007

Effects of Humic Acid Organic-inorganic Compound Fertilizer on the Agronomic Traits and Yield of Peanut

Liu Xiaocheng¹, Zhao Hua¹, Hong Pizheng¹, Li Qiang², Cao Huitao¹, Gai Ruixiang¹, Guo Xinsong^{1*}

1 Shandong Nongda Fertilizer Science Tech. Co. Ltd., Feicheng, 271600

2 Tai'an Ecological Environment Bureau Feicheng Branchu, Feicheng, 271600

Abstract: In order to explore the effect of humic acid organic-inorganic compound fertilizer on the formation of peanut yield, no fertilization (CK) was used as a control in this study, and a field experiment was conducted by setting up conventional nitrogen, phosphorus and potassium compound fertilizer (T1), as well as humic acid organic-inorganic compound fertilizer with equal nutrients (T2), and humic acid organic-inorganic compound fertilizer with a 10% reduction (T3) and a 20% reduction (T4). The results showed that the application of humic acid organic-inorganic compound fertilizer could significantly optimize the agronomic traits of peanut and increase the yield. Among them, the treatment T2 had the best effect. Its pod and kernel yields were the highest, reaching 3691.85 kg/hm² and 2731.80 kg/hm², respectively, which were significantly increased by 28.33% and 29.98%, compared with CK. Moreover, the main yield component indicators (weight per 100 fruits, weight per 100 kernels and the number of full fruits) all significantly improved. There was no significant difference in yield between treatment T3 and treatment T1, indicating

[基金项目] 山东省重点研发计划(项目编号2024CXGC010902); 山东省花生产业技术体系(项目编号SDAIT-04-18)。

[收稿日期] 2025-08-20

[作者简介] 刘晓辰, 男, 1994年生, 硕士, 主要从事植物营养、新型肥料研发等方面研究工作, E-mail: xiaocheng819@163.com。*通讯作者: 郭新送, 男, 高级工程师, E-mail: guoxinsong1028@163.com。



that stable yield could be achieved through weight reduction. Although the treatment T4 was lower than that of T1, it was still significantly higher than that of CK. Correlation analysis indicated that the total number of branches, the number of full fruits, the weight per 100 fruits and the number of full fruits per kilogram were significantly positively correlated with the yield. In conclusion, humic acid organic-inorganic compound fertilizer could effectively promote the formation of peanut yield, and its application with a 10% reduction in weight would not decrease the yield of peanut, which provided a scientific fertilization scheme for green and efficient peanut production and “weight reduction but efficiency increase”.

Key words: peanut; humic acid; organic-inorganic compound fertilizer; yield; weight reduction but efficiency increase

花生作为我国重要的油料和经济作物，是油脂、蛋白质加工的主要原料作物之一^[1]。然而，长期单一施用氮磷钾无机复合肥的种植模式，造成了土壤盐碱化加剧、土壤养分流失及肥料利用率降低等问题，不仅制约花生生产量提升，更会严重破坏花生产业的可持续发展^[2, 3]。有机肥料可以改善土壤结构，增加土壤有机质含量，并且提高养分利用效率^[4]。但有机肥氮磷钾养分含量低、养分释放缓慢等问题，难以匹配作物不同生育期养分需求^[5]。众多研究表明，无机肥与有机肥配施能有效整合有机肥的缓释长效和无机肥的速效优势，实现土壤理化性质改善和地力培肥^[1, 2]，但二者配施存在成本高（腐熟发酵、有机肥需单独施用）、耗时耗力投入大等问题。有机无机复混肥料是将有机肥和无机肥按照作物养分需求特征进行科学配比的复合肥料，具有营养全面、缓释与速效结合、肥料利用率高等优点，同时在改善土壤结构和提升土壤肥力方面发挥重要作用^[6]。

腐植酸是一种天然活性有机物质，具有增强细胞膜透性、促进养分吸收、刺激植物生理代谢和改善土壤结构等多重功能^[7]。针对有机无机配施、有机无机复混肥料对花生产量影响的研究较多^[8, 9]。然而，关于“腐植酸+有机无机复混肥料”协同调控花生产量形成的研究鲜有报道。基于此，本研究以不施肥为对照，设置常规氮磷钾复合肥和腐植酸有机无机复混肥料及其减量处理，探究其对花生农艺性状、产量构成及养分利用效率的影响，以期为花生优质高效生产及减肥增效提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

试验于2024年4月—8月在四川省南充市顺庆区花生试验田进行。地处中亚热带湿润季风气候区，平均年降水量953.6 mm，土壤类型为紫色土。供试土壤基础理化性质见表1。

表1 供试土壤基础理化性质
Tab.1 Basic physical and chemical properties of the tested soil

指标	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
含量	6.9	22.62	125.32	16.65	113.36

1.2 试验材料

供试肥料：常规氮磷钾复合肥料（N-P₂O₅-K₂O=18-6-6）；腐植酸有机无机复混肥料（总养分N-P₂O₅-K₂O=18-6-6，有机质含量≥7%，腐植酸含量≥7%），其中有机质来源主要为腐熟发酵木薯渣（有机质含量≥25%，N-P₂O₅-K₂O=1.6-0.8-0.7）

和矿源腐植酸（有机质含量≥40%，腐植酸含量≥55%），木薯渣和矿源腐植酸添加比例为1:1.7，均由山东农大肥业科技股份有限公司生产。

供试作物：花生，品种为“天府24”。

1.3 试验设计

采用完全随机区组设计，设置5个处理：

CK, 不施肥(对照); 处理1, 常规氮磷钾复合肥料(T1); 处理2, 腐植酸有机无机复混肥料(T2, 总养分与T1处理一致); 处理3, 腐植酸有机无机复混肥料减量10% (T3, 总养分为T1处理的90%); 处理4, 腐植酸有机无机复混肥料减量20% (T4, 总养分为T1处理的80%, 与T1处理施肥成本等价)。每个处理均3次重复, 小区面

积20 m² (4 m × 5 m)。各处理具体施肥量见表2。

4月21日开沟施肥(全部基施), 施肥量参照当地传统施肥习惯, 施用常规氮磷钾复合肥1125 kg/hm²; 4月22日播种, 垒作, 行距为40 cm, 穴距为20 cm, 每穴双株, 每亩8000穴; 8月31日收获。整个生育期内田间管理按当地常规措施进行。

表2 不同处理肥料施用量

Tab.2 Fertilizer application number of different treatments

kg/hm²

处理	总养分投入量			肥料用量	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	腐植酸有机无机复混肥料	氮磷钾复合肥
CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T1	202.50	67.50	67.50	0.00	1125.00
T2	202.50	67.50	67.50	1125.00	—
T3	184.95	60.75	60.75	1012.50	—
T4	162.00	54.00	54.00	900.00	—

1.4 指标测定

1.4.1 农艺性状测定

花生收获前(饱果成熟期), 每个小区随机选取有代表性的5点进行取样调查, 每点调查3株, 测定以下指标。

主茎高: 测量植株高度, 采用米尺测量植株基部至最顶部叶片的长度。

侧枝长: 采用直尺测量侧枝基部至侧枝末端的长度。

总枝数: 统计侧枝的总数, 包括主支和次支。

结果枝数: 统计结果枝数, 结有荚果的枝条认定为结果枝。

1.4.2 产量性状测定

花生收获后, 每个处理选择3株, 于阴凉干燥处放置至理化性质稳定后, 去除荚果外壳附着土壤后, 人工考种, 统计饱果数、秕果数, 并计算百果重、百仁重、千克饱果数、千克秕果数、千克果数产量。

饱果数: 统计果仁饱满、无病虫害的荚果数量即为饱果数。

秕果数: 统计每株花生的荚果数, 减去饱果数

即为秕果数。

百果重: 采用电子天平(精度0.01 g)称取每株花生饱果重量即为饱果重, 按公式“百果重=饱果重/饱果数×100”计算。

百仁重: 将饱果荚果脱壳, 采用电子天平(精度0.01 g)称取每株花生籽仁重量即为籽仁重, 按公式“百果重=籽仁重/籽仁数×100”计算。

千克饱果数: 采用电子天平(精度0.01 g)称取每株花生荚果重量, 按公式“千克饱果数=饱果数/荚果重×1000”计算。

千克秕果数: 按公式“千克秕果数=秕果数/秕果重×1000”计算。

千克果数: 千克饱果数和千克秕果数之和即为千克果数。

产量: 每处理小区实打实收, 测定每小区所有荚果重量和脱壳后籽仁重量, 即为小区荚果产量和籽仁产量, 并换算为每公顷产量。

1.5 数据处理和分析

采用Excel 2016整理数据, 采用DPS 9.01分析数据, 采用Origin 21.0绘图。图表中数据为平均值±标准误差。



2 结果与分析

2.1 腐植酸有机无机复混肥料对花生农艺性状的影响

由表3可知,施肥处理会降低花生主茎高(除T3处理外)、侧枝长,提高总枝数和结果枝数(除T1和T4处理外)。其中,以T2处理主茎高、侧枝长最低,较CK分别显著减少5.40%和8.75%;

T1处理侧枝长较CK显著降低3.78%;T3和T4处理主茎高、侧枝长虽低于CK但差异未达显著水平。施肥处理中T2处理总枝数较CK显著提高28.09%,其他处理总枝数虽高于CK但差异未达显著水平;不同施肥处理间结果枝数有差异但均未达显著水平。因此,施肥处理通过降低花生主茎高、侧枝长,提高总枝数改善花生农艺性状,以腐植酸有机无机复混肥料等养分处理(T2)效果最好。

表3 不同处理对花生农艺性状的影响

Tab.3 Effects of different treatments on agronomic traits of peanut

处理	主茎高(cm)	侧枝长(cm)	总枝数(条)	结果枝数(条)
CK	41.33 ± 0.43ab	52.93 ± 0.88a	8.33 ± 0.33b	8.33 ± 0.33a
T1	39.97 ± 0.42bc	50.93 ± 0.37b	10.00 ± 0.58ab	8.00 ± 0.58a
T2	39.10 ± 0.21c	48.30 ± 0.35c	10.67 ± 0.88a	9.00 ± 0.58a
T3	41.97 ± 0.72a	51.60 ± 0.35ab	10.00 ± 0.58ab	8.67 ± 0.33a
T4	40.80 ± 0.32ab	52.90 ± 0.70a	9.00 ± 0.58ab	8.33 ± 0.67a

注:同列不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,下同。

2.2 腐植酸有机无机复混肥料对花生产量形成的影响

由表4可知,各施肥处理均能显著降低花生秕果数、千克秕果数和千克果数,提高饱果数、百果重、百仁重、千克饱果数、荚果产量和籽仁产量。其中,千克秕果数和千克果数分别以T2和T4处理最低,较CK分别显著降低66.38%和4.57%。饱果数、百果重、百仁重、千克饱果数、荚果产量和籽仁产量均以T2处理最优,较CK分别显著提高46.52%、5.11%、7.55%、21.02%、28.33%和29.98%;T1处理饱果数、百仁重、千克饱果数、荚果产量和籽仁产量显著高于CK,分别显著提高25.08%、3.67%、17.26%、20.10%和22.68%;T3处理饱果数、百果重、百仁重、千克饱果数、荚果产量和籽仁产量均高于T1处理但差异不显著;T4处理荚果产量和籽仁产量显著高于CK但显著低于T1处理。综上,施肥处理通过降低花生千克秕果数和千克果数,提高百果重、百仁重、千克饱果数、荚果产量和籽仁产量;不同处理间以腐植酸有机无机复混肥料等养分处理(T2)效果最好,腐植酸有机无机复混肥料减肥10%的处理(T3)较常规

氮磷钾复合肥处理(T1)在减少养分投入的同时维持稳产,为花生“减肥增效”生产提供了可行路径。

2.3 施肥处理下花生农艺性状与产量形成的相关性分析

花生农艺性状与产量指标相关性分析结果(图1)表明,总枝数、饱果数、百果重、百仁重、千克饱果数均与荚果产量和籽仁产量呈显著或极显著正相关,而千克秕果数与荚果产量、籽仁产量均呈显著或极显著负相关,表明减少单位重量内秕果数量对提升产量的重要性。总枝数与百果重、百仁重、千克饱果数、饱果数、荚果产量和籽仁产量均呈显著正相关,说明合理增加分枝数量可同步提升果实饱满度和结实数量,最终提高总产量;而侧枝长则与总枝数、百果重和百仁重呈显著负相关,说明过度的营养生长(侧枝徒长)会抑制生殖生长,导致植株结构不良、果实不饱满,最终造成减产和品质下降。因此,采取有效措施控制侧枝长度、促进分枝数量,是实现花生高产优质的关键技术途径。综上,施肥处理通过提高总枝数扩大光合面积,进而提高单株饱果数、百果重和百仁重,同时降低千克果数(优化果实大小分布),最终显著提升荚果产量和

籽仁产量；腐植酸有机无机复混肥料正是通过强化这一调控路径，实现了优于常规肥料的增产效果。

表 4 不同处理对花生产量形成的影响

Tab.4 Effects of different treatments on the yield formation of peanut

处理	饱果数	秕果数	百果重	百仁重	千克饱果数	千克秕果数	千克果数	荚果产量	籽仁产量
	(个)	(个)	(g)	(g)	(个)	(个)	(个)	(kg/hm ²)	(kg/hm ²)
CK	9.33 ± 0.33c	3.67 ± 0.67a	151.40 ± 0.84b	61.83 ± 0.55c	544.00 ± 9.07c	193.33 ± 4.10a	737.33 ± 7.86a	2876.81 ± 14.24d	2101.77 ± 29.06d
T1	11.67 ± 0.33b	3.00 ± 0.33ab	154.97 ± 1.81ab	64.10 ± 0.32b	638.00 ± 7.51ab	75.67 ± 7.31b	713.67 ± 4.70b	3455.17 ± 17.56b	2578.46 ± 14.53b
T2	13.67 ± 0.88a	2.33 ± 0.88ab	159.13 ± 1.73a	66.50 ± 0.47a	658.33 ± 4.67a	65.00 ± 6.35b	723.33 ± 1.86ab	3691.85 ± 44.85a	2731.80 ± 12.02a
T3	12.33 ± 0.67ab	1.67 ± 0.67ab	155.50 ± 0.67ab	64.83 ± 0.38ab	642.33 ± 9.17ab	72.00 ± 8.02b	714.33 ± 8.95b	3508.51 ± 17.40b	2590.13 ± 14.43b
T4	11.33 ± 0.33b	1.33 ± 0.58b	154.03 ± 0.97b	63.50 ± 0.79bc	619.33 ± 8.84b	84.33 ± 6.17b	703.67 ± 6.94b	3340.17 ± 20.21c	2478.46 ± 16.92c

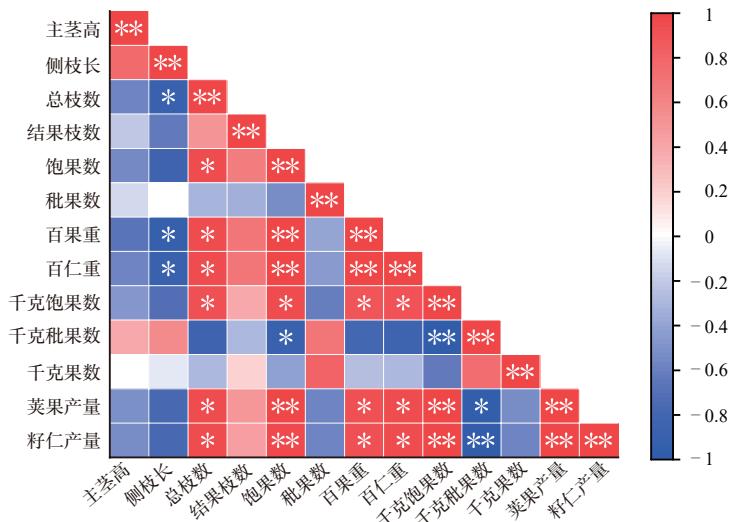


图 1 花生农艺性状与产量间的相关性分析

Fig.1 Correlation analysis between agronomic traits and yield of peanut

注：* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

3 讨论

本研究系统探讨了腐植酸有机无机复混肥料及其减量处理对花生产量形成的影响，核心发现在于腐植酸的引入可显著提升肥料对花生农艺性状与产量构成的优化效应，且在 10% 养分减量条件下仍能维持与常规施肥相当的产量水平，为花生“减肥增效”生产提供了新的技术支撑。

刘晓辰等^[10]研究发现，施用活性腐植酸肥料的花生主茎更高、侧枝更长、秕果数更少，单株生产力有明显提高。本研究与其研究结果一致，腐植酸有机无机复混肥料等养分处理（T2）在降低主

茎高、侧枝长和秕果数的同时，显著提高了总枝数、饱果数、百果重、百仁重及最终荚果与籽仁产量。

刘会丽等^[11]研究发现，腐植酸对植物生长有明显的刺激作用，施用腐植酸可以提高养分利用效率从而提高作物产量和品质。本研究进一步证实了腐植酸的活性功能对养分吸收效率的改善：等养分条件下（T2）荚果产量和籽仁产量均显著高于常规氮磷钾复合肥处理（T1），说明腐植酸有机无机复混肥料是通过提高花生对养分的利用效率实现增产；而减肥 10% 处理（T3）在产量方面与 T1 处理无显著差异，且单株饱果数、百果重等指标略高于常规施肥，与杜守良等^[6]关于“有机无机复混肥



可实现减肥稳产”的研究方向一致,但本研究通过引入腐植酸,且通过相关性分析揭示了其调控路径通过维持足够的有效分枝数量与结实效率,补偿了养分减量可能带来的产量损失。减量20%处理(T4)产量虽低于T1处理,但仍显著高于不施肥对照,说明即使大幅减肥,腐植酸有机无机复混肥料仍具有一定的增产潜力。

相关性分析进一步揭示,总枝数、饱果数、百果重等指标与产量呈显著正相关,而千克果数与产量呈负相关,表明腐植酸有机无机复混肥料通过优化植株结构和提高果实质量共同促进了产量提升。此外,腐植酸可能改善了土壤微环境,提高了养分缓释与利用效率,从而在减肥背景下仍保持较高的生物学产量。本研究结果与已有文献中关于有机无机复混肥料可提高肥料利用率的结论一致^[12],但突出了腐植酸在复混肥料中的增效作用。未来可进一步探讨腐植酸与不同有机无机肥料配比下的土壤微生物响应机制及长期施用对土壤肥力的累积效应,以深化对该类肥料的理论基础与应用潜力。

4 结论

施用腐植酸有机无机复混肥料可显著改善花生农艺性状并提高产量。与常规氮磷钾复合肥处理(T1)相比,等养分的腐植酸有机无机复混肥料处理(T2)效果最优,其荚果产量和籽仁产量分别达3691.85 kg/hm²和2731.80 kg/hm²,显著高于其他处理。该处理能有效降低主茎高和侧枝长,减少秕果数,同时增加总枝数和饱果数,提升百果重与百仁重,从而优化产量构成。减肥10%处理(T3)在产量上与常规氮磷钾施肥无显著差异,表明腐植酸有机无机复混肥料养分利用效率更高,可实现减肥稳产。减肥20%处理(T4)产量虽有所降低,但仍显著高于不施肥对照,显示出一定的减肥潜力。相关性分析证实,总枝数、饱果数、百果重、百仁重、千克饱果数与产量呈显著正相关,腐植酸有机无机复混肥料通过强化这些指标的协同提升,实现了优于常规氮磷钾复合肥的调控效果。综上,腐植酸有机无机复混肥料可通过协调营养供应、增强生

理活性,显著提高花生产量,在减量10%条件下仍能保持高产,为花生减肥增效、绿色生产提供了有效的施肥技术选择。

参考文献

- [1] 夏桂敏,樊龙江,黄亚男,等.有机无机肥配施改善辽西北风沙区花生氮素积累、产量及品质[J].中国油料作物学报,2025,47(2):450~460.
- [2] 韩鹏,刘环环,王立光,等.化肥减量及配施有机肥对冀花19号综合经济效益的影响[J].四川农业大学学报,2024,42(5):986~991.
- [3] 胡婷婷,陈雪莲,蔡裕山,等.有机肥与化肥配施对土壤理化性状和花生产量、品质、经济效益的影响[J].江西农业学报,2024,36(6):61~66,90.
- [4] 易琴,黄苗,杨国涛,等.有机无机肥配施对四川地区油菜产量和品质的影响[J].作物杂志,2024(3):163~167.
- [5] 张杨,宋修超,魏天宇,等.海藻肥对花生生长发育及土壤理化性状的影响[J].南方农业,2021,15(20):4~6.
- [6] 杜守良,丁美丽.生物有机无机复混肥在花生上的应用效果研究[J].黑龙江农业科学,2015(11):48~50.
- [7] 孟凡磊,谢碧海,袁子涵,等.含腐植酸有机水溶肥对西瓜品质及土壤理化性状的影响[J].上海蔬菜,2025(4):73~77.
- [8] 张志华,吕丰娟,肖运萍,等.有机无机配施下氮肥减施对红壤旱地花生产量及品质的影响[J].土壤与作物,2022,11(4):417~427.
- [9] 于广武,李佃通,赵鑫,等.腐植酸生物有机无机生态肥多种配方与应用[J].腐植酸,2022(5):8~16.
- [10] 刘晓辰,郭新送,范仲卿,等.活性腐植酸控释肥对花生生长发育及产量的影响[J].腐植酸,2021(6):22~26.
- [11] 刘会丽,何焯杰,潘兴.腐植酸复合肥对花生产量及品质的影响[J].腐植酸,2023(4):58~63.
- [12] 郭玉婷,毕康,张延,等.有机无机复混肥(15-40S)在春花生上的应用效果试验[J].河南农业,2019(10):18~19.