

不同肥料配施对酸性土钙素活化及花生产量和品质的影响

张佳蕾¹, 郭峰¹, 杨莎¹, 耿耘¹, 孟静静¹,

王丽丽², 张思斌², 李新国¹, 万书波¹

(1. 山东省农业科学院生物技术研究中心, 山东省作物遗传改良与生态生理重点实验室,
济南 250100; 2. 山东省文登区农业技术推广站, 山东 威海 264200)

摘要: 为了揭示增施钙肥和不同肥料配施对沿海地区酸性土钙素增量及活化效应, 于2015—2016年设置单施无机肥(CK₁)、无机肥/熟石灰配施(T₁)、无机肥—有机肥配施(CK₂)、无机肥—有机肥—熟石灰配施(T₂)、无机肥—有机肥—微生物肥配施(CK₃)、无机肥—有机肥—微生物肥—熟石灰配施(T₃)6个处理, 研究了不同肥料配施对酸性土有效钙含量、花生植株性状、荚果产量和籽仁品质的影响。结果表明: CK₂和CK₃均在一定程度上提高酸性土中水溶性钙和交换性钙含量, 0—20 cm水溶性钙含量各生育期平均分别比CK₁提高48.13%和66.50%, 交换性钙含量分别提高39.12%和60.88%。增施钙肥处理(T₁、T₂和T₃)能显著增加水溶性钙和交换性钙含量, 但T₁处理对有效钙含量增加较少, 而T₂和T₃处理增加幅度较大, 其中T₃处理0—20 cm水溶性钙和交换性钙含量各生育期平均比CK₃提高1.63、1.74倍, 说明钙肥与有机肥和微生物肥配施能显著提高酸性土钙素活化度。不同肥料配施均提高了酸性土花生的主茎高、分枝数、主茎绿叶数、单株干物质重、叶面积指数和实收株数, 增加了单株结果数和荚果饱满度, 显著提高了荚果产量, 并提高了蛋白质、总氨基酸和脂肪含量以及O/L值。其中T₃处理分别比CK₃、T₂、CK₂、T₁和CK₁增产14.38%、4.99%、18.31%、25.65%和52.52%, 增产幅度最大, 其籽仁品质也最优。增施钙肥并与有机肥和微生物肥配施能显著提高酸性土钙素活化度、有效钙含量、荚果产量和籽仁品质。

关键词: 花生; 酸性土; 钙素活化; 产量; 品质

中图分类号: S565.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)02-0270-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.02.040

Effects of Different Fertilizer Applications on Calcium Activation, Yield and Quality of Peanut in Acidic Soil

ZHANG Jialei¹, GUO Feng¹, YANG Sha¹, GENG Yun¹, MENG Jingjing¹,

WANG Lili², ZHANG Sibin², LI Xinguo¹, WAN Shubo¹

(1. Research Center of Biotechnology, Shandong Academy of Agricultural Science,

Shandong Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Ecological Physiology,

Jinan 250100; 2. Wendeng Agricultural Technology Promotion Station, Weihai, Shandong 264200)

Abstract: In order to reveal effects of calcium fertilizer application and different fertilizer application on the improvement of available Ca²⁺ and calcium-activation on acid soil of coastal areas, experiments were conducted from 2015 to 2016 to study the effects of different fertilizer applications on available calcium content, plant characters, pod yield and kernel quality of peanut. Six treatments were single inorganic fertilizer (CK₁), inorganic/slaked lime fertilizer (T₁), inorganic/organic fertilizer (CK₂), inorganic/organic/slaked lime fertilizer (T₂), inorganic/organic/microbial fertilizer (CK₃), and inorganic/organic/microbial/slaked lime fertilizer (T₃). The results showed that both CK₂ and CK₃ could increase the content of water soluble calcium and exchangeable calcium when compared with CK₁ in some degree, for example, the average content of water soluble calcium in 0—20 cm soil layer at different growth stages increased by 48.13% and 66.50%, and the average content of exchangeable calcium increased by 39.12% and 60.88%, respectively. Calcium fertilizer treatments, such

收稿日期: 2017-11-14

资助项目: 国家自然科学基金项目(31571605, 31601252); 国家科技支撑计划项目(2014BAD11B04); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-13); 山东省农业重大应用技术创新项目

第一作者: 张佳蕾(1984—), 男, 山东莱西人, 博士, 主要从事花生高产栽培理论与技术研究。E-mail: zhangjialei19@163.com

通信作者: 李新国(1972—), 男, 山东菏泽人, 研究员, 主要从事作物生理研究。E-mail: xinguo@163.com

万书波(1962—), 男, 山东栖霞人, 研究员, 主要从事花生高产优质栽培研究。E-mail: wansb@saas.ac.cn

as T₁, T₂ and T₃, significantly improved the water soluble calcium and exchangeable calcium content, but T₁ showed less effect on their increase than T₂ and T₃. Among which, The average content of water soluble calcium and exchangeable calcium in 0—20 cm soil layer at different growth stages of T₃ increased by 163% and 174% compared with CK₃, respectively. These results showed that the organic fertilizer and the microbial fertilizer could significantly improve the calcium-activation in acidic soil. Different fertilizer applications significantly increased the main stem height, branch number, leaf number of main stem, dry weight per plant, leaf area index and the plant number per unit area. Different fertilizer applications also significantly increased the pod yield by increasing the pod number per plant and pod plumpness, and the treatments also improved the content of protein, total amino acids and fat, and increased O/L values. Compared with CK₃, T₂, CK₂, T₁ and CK₁, the yield of T₃ increased by 14.38%, 4.99%, 18.31%, 25.65% and 52.52%, and the kernel quality of T₃ was the best. Calcium fertilizer combined with organic and microbial fertilizer could increase the calcium activation degree and effective calcium content, and significantly increase the pod yield and kernel quality of peanut on acidic soil.

Keywords: peanut; acidic soil; calcium activation; pod yield; kernel quality

我国土壤缺乏钙、镁等中量元素的面积约占全国耕地面积的 1/2 左右,造成土壤钙素流失和不足的原因主要有沿海地区受淋溶作用的影响,表层土壤钙含量较低^[1-2];过量使用无机化肥而很少使用钙肥,氮素硝化以及磷肥游离酸,促进土壤碳酸钙溶解而脱钙;NH⁴⁺、K⁺与土壤吸附性 Ca²⁺ 交换,降低了 Ca²⁺ 的饱和度;磷素与溶液中钙离子化学沉淀作用加速了钙素的无效化等^[3-5];无翻动的旋耕取代了深翻,表层土壤失去了“耕作复钙”作用;农家肥、厩肥不再投入使用,失去了传统的“施肥复钙”^[6-7]。

花生需钙量大,大果品种亩产荚果 300~400 kg 需要钙素(CaO)3.62~8.56 kg,花生产量形成所需要的钙有 90%由荚果直接从土壤中吸收。钙是植物生长发育过程中必需的营养元素之一,它参与从种子的萌发、生长分化、形态建成到开花结果等全过程。花生缺钙严重影响籽粒的发育,造成籽粒空秕,影响花生产量^[8-9]。国内外对花生钙营养的研究较多,主要涉及钙对花生的生长发育、产量及其构成因素、籽仁品质的影响以及形态解剖特征、生理生化特性和分子生物学机理,初步明确了钙对花生荚果发育、抗逆性、产量构成等方面的重要作用^[10-17]。在土壤钙素营养方面的研究表明,单纯提高钙肥的施用量,虽然土壤中钙含量显著提高,但水溶性钙和交换性钙的淋溶率较高^[2],应综合分析影响钙素营养的各种因素,选择适宜的钙肥种类、施钙方式和时期^[18-20]。有研究表明,混施有机肥与微生物肥可不同程度地增加土壤中速效 N、有效 P 和有效 K 含量^[21],显著提高作物产量和品质^[22-24],但有关微生物肥对土壤钙素影响的研究较少。沿海地区酸性土壤表层钙素淋失率较大,虽然增施钙肥增产显著^[25-26],但钙肥利用率不高,因此通过研究不同肥料配施对土壤钙素活化度的

影响,提高有效钙含量和荚果产量及品质,对肥料减施和花生增产具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2015—2016 年在威海文登区西楼社区同一酸性土田块进行。试验点耕层土壤为砂壤土,有机质含量 11.32 g/kg,水解性氮含量 72.5 mg/kg,有效磷含量 63.1 mg/kg,速效钾含量 113.5mg/kg,交换性钙含量 0.18 g/kg,交换性镁含量 0.08 g/kg,pH 4.42。

1.2 试验设计

选用大花生品种花育 22 号为试验材料,2015 年 5 月 3 日播种,9 月 22 日收获,2016 年 4 月 29 日播种,9 月 18 日收获。起垄覆膜栽培,垄距 82 cm,垄沟宽 30 cm,垄面宽 52 cm,垄高 10 cm,垄上播种 2 行,行距 30 cm,穴距 10 cm,每穴播种 1 粒,播深 4 cm,种植密度是 24.3 万株/hm²。

设置 6 个肥料配施处理(表 1),2/3 无机肥、有机肥和熟石灰结合冬前旋耕施入,1/3 无机肥和微生物肥结合播前旋耕施入。每个处理小区面积为 66.7 m²,3 次重复,随机区组排列。其他栽培管理措施按一般花生高产田要求进行。

表 1 不同处理每 667 m² 肥料配施及用量
单位:kg

处理	无机肥	有机肥	微生物肥	熟石灰
	(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O 为 15-15-15)	(有机质≥45%, N+P ₂ O ₅ +K ₂ O≥6%)	(有效活菌数 ≥1 亿个/g)	
CK ₁	50			
T ₁	50			50
CK ₂	50	100		
T ₂	50	100		50
CK ₃	50	100	10	
T ₃	50	100	10	50

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株性状调查 分别于开花期、下针期、结荚期、饱果期和成熟期在各小区随机连续选取植株 10 株,测其主茎高、侧枝长、分枝数、主茎节数和主茎绿叶数,打孔法计算单株叶面积和叶面积指数;根、茎、叶和果分开烘干,计算各部位干物质重。

1.3.2 土壤水溶性钙和交换性钙含量测定 水溶性钙含量采用 5:1 水土比浸提,EDTA 滴定法测定;交换性钙含量采用 1 mol/L NaCl 浸提,EDTA 滴定法^[27]测定。

1.3.3 荚果产量及其构成因素 收获时每个小区选有代表性的地段连续取样 10 株,考察单株结果数和饱果数,烘干测定单株产量。各处理逐个小区实测,去掉小区的边行和两头,测量实收面积,刨收、摘果、去杂,自然风干,统计荚果产量。在风干荚果中随机选取 1 kg 计算出仁率。

1.3.4 籽仁品质 在各处理自然风干荚果中选取均匀一致的荚果脱壳,用瑞士波通公司生产的多功能谷物近红外分析仪(DA7250)测定各处理籽仁的蛋白质和脂肪含量以及 O/L 值等。

1.4 数据处理

采用 DPS 7.05 软件对数据进行分析,用最小显著极差法(LSD)对平均数进行显著性检验;采用 Origin 8 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同肥料配施对酸性土壤钙素活化的影响

2.1.1 不同肥料配施对酸性土壤水溶性钙含量的影响 土壤中对植物有效的钙素包括水溶性钙和交换性钙,与作物生长相关性较好。由图 1 可以看出,不同肥料配施的 0—20、20—40 cm 土层的水溶性钙含量变化规律基本一致。与单施无机肥相比,无机肥/有机肥配施和无机肥/有机肥/微生物肥配施均提高了水溶性钙含量,其中无机肥/有机肥配施处理比单施无机肥在整个生育期 0—20 cm 土层的水溶性钙含量提高 48.13%,20—40 cm 土层提高 21.78%;无机肥/有机肥/微生物肥配施比单施无机肥在 0—20 cm 土层提高 66.50%,20—40 cm 土层提高 61.41%。

与不施钙肥处理相比,增施钙肥处理均显著提高了 0—20、20—40 cm 土层中水溶性钙含量,其中无机肥/熟石灰配施比单施无机肥在整个生育期 0—20 cm 土层的水溶性钙含量提高 1.21 倍,20—40 cm 土层提高 1.16 倍;无机肥/有机肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥配施处理 0—20 cm 土层提高 1.42 倍,20—40 cm 土层提高 2.03 倍;无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥/微生物肥配施处理 0—20 cm 土层提高 1.63 倍,20—40 cm 土层提高 1.85 倍。3 个增施钙肥处理相比,无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施的水溶性钙含量最高,其次是无机肥/有机肥/熟石灰配施处理,两者水溶性钙含量均显著高于无机肥/熟石灰配施处理。

2.1.2 不同肥料配施对酸性土壤交换性钙含量的影响 酸性土中交换性钙含量高于水溶性钙含量,不同肥料配施的 0—20、20—40 cm 土层的交换性钙含量变化规律也基本一致(图 2)。与单施无机肥相比,无机肥/有机肥配施和无机肥/有机肥/微生物肥配施均提高了交换性钙含量,其中无机肥/有机肥配施比单施无机肥在 0—20 cm 土层的交换性钙含量平均提高 39.12%,20—40 cm 土层提高 37.18%;无机肥/有机肥/微生物肥配施各生育期平均比单施无机肥处理在 0—20 cm 土层提高 60.88%,20—40 cm 土层提高 62.45%。与不施钙肥处理相比,增施钙肥处理均显著提高了 0—20 cm 和 20—40 cm 土层中交换性钙含量,其中无机肥/熟石灰配施比单施无机肥处理在 0—20 cm 土层的交换性钙含量平均提高 1.20 倍,20—40 cm 土层提高 1.25 倍;无机肥/有机肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥配施处理 0—20 cm 土层提高 1.53 倍,20—40 cm 土层提高 1.71 倍;无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥/微生物肥配施处理 0—20 cm 土层提高 1.74 倍,20—40 cm 土层提高 1.87 倍。与对水溶性钙含量影响一致,3 个增施钙肥处理以无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施的交换性钙含量最高,其次是无机肥/有机肥/熟石灰配施处理,两者交换性钙含量均显著高于无机肥/熟石灰配施处理。

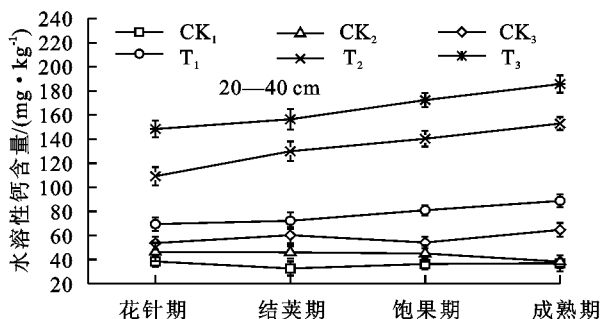
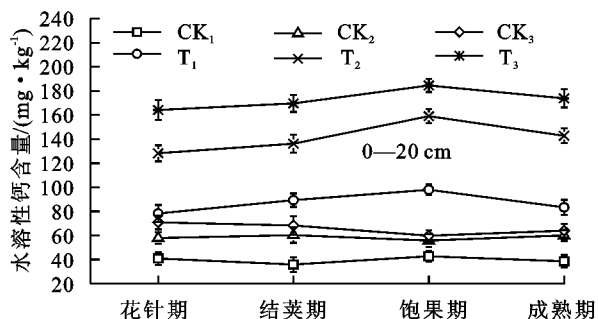


图 1 不同肥料配施对酸性土壤水溶性钙含量的影响

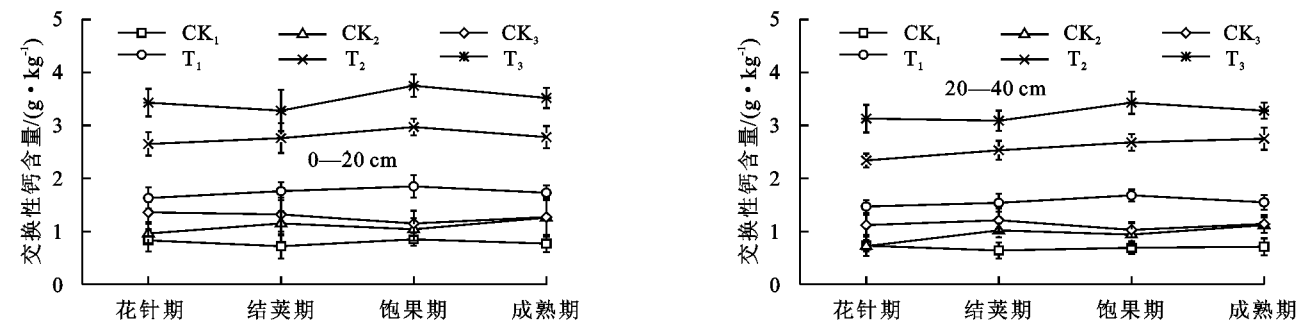


图 2 不同肥料配施对酸性土壤交换性钙含量的影响

不同肥料配施对酸性土壤水溶性钙和交换性含量的影响表明,增施有机肥和微生物肥(CK₂、CK₃)可在一定程度上增加酸性土壤中有效钙含量,但增加幅度较小,而无机肥和熟石灰配施(T₁)对有效钙活化效果也不理想。本试验条件下,无机肥/有机肥/熟石灰配施(T₂)和无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施(T₃)能显著提高水溶性钙和交换性钙含量,尤其是 T₃ 处理对钙素活化作用最强。

2.2 不同肥料配施对酸性土花生植株性状的影响

从表 2 和图 3 可以看出,不同肥料配施与单施无机肥相比,均显著提高了酸性土花生的主茎高、侧枝长、分枝数、主茎节数、主茎绿叶数、叶面积指数和单株干物质重。无机肥/熟石灰配施比单施无机肥成熟期的主茎高提高 8.62%,分枝数提高 6.94%,主茎绿叶数提高 23.08%,根茎干重提高 17.46%,叶干重提高 25.66%,各生育期平均叶面积指数提高

9.50%;无机肥/有机肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥配施成熟期的主茎高提高 9.61%,分枝数提高 7.86%,主茎绿叶数提高 28.20%,根茎干重提高 23.07%,叶干重提高 23.88%,各生育期平均叶面积指数提高 15.59%;无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥/微生物肥配施成熟期的主茎高提高 5.60%,分枝数提高 4.97%,主茎绿叶数提高 21.82%,根茎干重提高 17.39%,叶干重提高 17.82%,各生育期平均叶面积指数提高 14.46%。无机肥/有机肥/熟石灰配施比单施无机肥成熟期的干物质重提高 54.01%,各生育期平均叶面积指数提高 31.49%;无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施比单施无机肥成熟期的干物质重提高 57.64%,各生育期平均叶面积指数提高 36.53%。无机肥与有机肥和微生物肥配施及增施钙肥均具有塑造高产株型的作用。

表 2 不同肥料配施对酸性土花生成熟期植株性状影响

处理	主茎高/ cm	侧枝长/ cm	分枝数/ 条	主茎 节数/个	主茎绿 叶数/个	根茎 干重/g	叶干重/ g
CK ₁	36.53d	39.45c	9.65c	15.24d	6.50d	14.83d	11.30d
T ₁	39.68c	42.38b	10.32b	17.35c	8.00c	17.42c	14.20c
CK ₂	39.43c	43.03b	10.43b	18.37b	8.83bc	18.64bc	15.62bc
T ₂	43.22ab	49.12a	11.25a	18.64b	11.32a	22.94a	19.35a
CK ₃	42.17b	44.63b	10.67b	19.35ab	9.58b	19.49b	16.78b
T ₃	44.53a	48.35a	11.20a	20.46a	11.67a	22.88a	19.77a

注:表中数据后不同字母表示各处理在 5%水平上差异显著。下同。

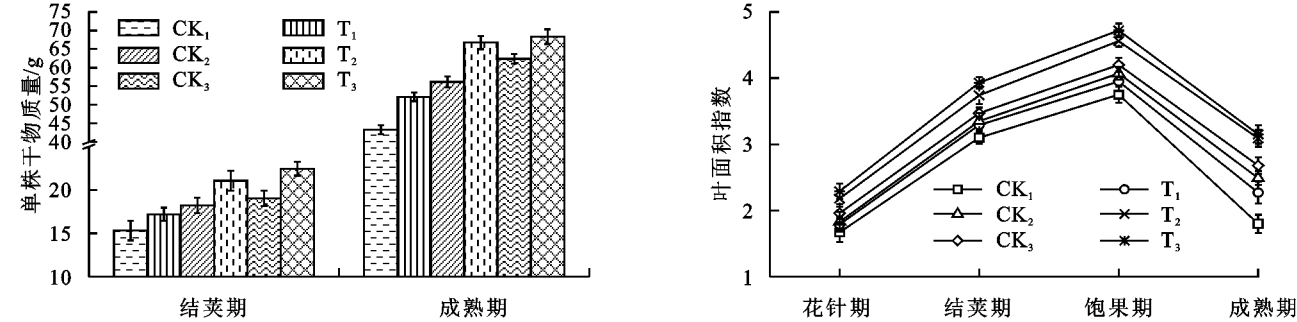


图 3 不同肥料配施对酸性土花生单株干物质重和叶面积指数的影响

2.3 不同肥料配施对酸性土花生生产量及产量构成因素的影响

由表 3 可知,不同肥料配施均提高了酸性土花生的单株结果数、单株饱果数、单株果重,显著提高了荚果产

量和出仁率,增施钙肥处理比不施钙肥处理的实收株数也有所增加。无机肥/熟石灰配施比单施无机肥单株结果数增加 16.42%,单株果重增加 19.29%,实收株数增加 1.42%,荚果产量增加 21.39%;无机肥/有机肥/熟石

灰配施比无机肥/有机肥配施单株结果数增加 6.39%，单株果重增加 11.54%，实收株数增加 1.82%，荚果产量增加 12.69%；无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥/微生物肥配施单株结果数增加 5.47%，单株果重增加 13.43%，实收株数增加 1.41%，荚果产

量增加14.38%。配施效果最好的是无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰(T₃)处理，比单施无机肥增产达到 52.52%，出仁率也提高 4.43 个百分点，籽仁产量达到 4 074.18 kg/hm²。不同肥料配施增产的主要原因是增加了单株结果数，提高了荚果饱满度。

表 3 不同肥料配施对酸性土花生产量及其构成因素影响

处理	荚果产量/ (kg·hm ⁻²)	增产/ %	实收株数/ (万株·hm ⁻²)	单株 结果数/个	单株 饱果数/个	单株 果重/g	出仁率/ %
CK ₁	3828.10e		22.53b	9.62d	4.57d	17.21e	65.35d
T ₁	4646.85d	21.39	22.85a	11.20c	6.63bc	20.53d	67.86c
CK ₂	4935.20c		22.55b	11.58bc	6.11c	21.93c	67.48c
T ₂	5561.25b	12.69	22.96a	12.32a	8.23a	24.46b	68.75b
CK ₃	5104.65c		22.72ab	11.88ab	6.86b	22.63c	68.03bc
T ₃	5838.60a	14.38	23.04a	12.53a	8.75a	25.67a	69.78a

2.4 不同肥料配施对酸性土花生籽仁品质的影响

从表 4 可以看出，不同肥料配施均提高了酸性土花生籽仁蛋白质、赖氨酸和总氨基酸含量，提高了脂肪含量和油酸相对含量以及 O/L 值。无机肥/熟石灰配施比单施无机肥的蛋白质含量提高 1.07 个百分点，脂肪含量提高 0.83 个百分点，O/L 值提高 10.94%；无机肥/有机肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥配施的蛋白质含量提高 1.08 个百分点，脂肪含量提高 0.98

个百分点，O/L 值提高 9.77%；无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施比无机肥/有机肥/微生物肥配施的蛋白质含量提高 0.93 个百分点，脂肪含量提高 0.78 个百分点，O/L 值提高 8.09%。无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施比单施无机肥的蛋白质、脂肪、赖氨酸和总氨基酸含量分别提高 1.60,1.94,0.12,1.61 个百分点，O/L 值提高 14.84%。

表 4 不同肥料配施对酸性土花生籽仁品质的影响

处理	蛋白质 含量/%	脂肪 含量/%	赖氨酸 含量/%	总氨基酸 含量/%	油酸相对 含量/%	亚油酸相对 含量/%	油酸/ 亚油酸
CK ₁	21.82c	49.62d	0.76c	18.26e	45.22d	35.34a	1.28d
T ₁	22.89ab	50.45bc	0.83b	19.13bc	47.41b	33.42c	1.42b
CK ₂	22.13bc	50.24c	0.81bc	18.62de	45.92cd	34.48b	1.33c
T ₂	23.21a	51.22ab	0.86ab	19.46ab	47.92ab	32.81d	1.46a
CK ₃	22.45b	50.78b	0.82b	18.93cd	46.58c	34.24b	1.36c
T ₃	23.42a	51.56a	0.88a	19.87a	48.24a	32.76d	1.47a

3 讨论

钙素既是作物的重要营养元素，也是具有生物信息传导功能和诱导抗性功能的重要元素^[28]。随着氮、磷、钾等化肥施用量的增加和钙肥使用的减少，无机养分积累、土壤酸化、盐碱化等问题^[29-32]，一定程度上影响着土壤中钙素形态分布或造成钙素流失。通过增施钙肥来增加土壤中钙素含量，无机肥和有机肥等配施来增加钙素活化度提高有效钙的含量是研究和生产应用的重点。李鹏等^[19]研究不同施肥方式土壤碳酸钙、水溶性钙和交换性钙含量表明，单施化肥比化肥与农家有机肥配施土壤碳酸钙、水溶性钙和交换性钙平均含量分别减少 38.8%，25.4%和 5.6%；陈建国等^[20]研究结果基本相同，在含钙较低的土壤中，有机肥与化肥配施使土壤交换性钙含量显著升高。土壤 pH 与全钙和交换性钙含量之间呈显著正相关关系，与水溶性钙呈显著的负相关关系，因此酸度越大的土壤水溶性钙越易流失；有机肥的施入可以增加土壤胶体表面的吸附点位，缓冲土壤 pH 的变

化，进而可以减少土壤中钙素的淋失^[33]。本研究结果表明，无机肥/有机肥配施和无机肥/有机肥/微生物肥配施均能提高酸性土中水溶性钙和交换性钙含量，无机肥/熟石灰配施虽能显著提高酸性土中有效钙含量，但对钙素活化效率不高，显著低于无机肥/有机肥/熟石灰配施和无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施的水溶性钙和交换性钙含量。

前期研究结果表明，酸性土增施钙肥能显著增加花生的荚果产量，增产原因是显著增加了单株结果数，提高了双仁果率，提高了荚果饱满度，从而增加了单株荚果产量；钙肥处理显著提高了籽仁蛋白质和脂肪含量，提高了赖氨酸、总氨基酸含量和油酸/亚油酸(O/L)比值^[25]。蒋春姬等^[34]研究指出增施中微肥可以改善花生籽仁品质，主要表现为提高籽仁脂肪和蛋白质含量，降低可溶性糖含量。本研究表明，增施钙肥以及无机肥与有机肥和微生物肥配施均能显著提高酸性土花生荚果产量，增产原因是增加了单株结果数提高了荚果饱满度；不同肥料配施提高了籽仁蛋白

质、脂肪、总氨基酸含量以及 O/L 值,各指标均以无机肥/有机肥/熟石灰配施和无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施的效果最佳。不同肥料配施增产和优质的主要原因是使酸性土花生个体健壮整齐,显著提高了叶面积指数和较大叶面积持续期,促进了光合产物积累增加了荚果产量,提高了荚果饱满度增加了籽仁蛋白质和脂肪含量以及 O/L 值。

4 结论

(1)无机肥/有机肥配施和无机肥/有机肥/微生物肥配施均能提高酸性土壤中水溶性钙和交换性钙含量。

(2)无机肥/熟石灰、无机肥/有机肥/熟石灰、无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施均显著提高了酸性土中水溶性钙和交换性钙含量,但无机肥/熟石灰配施效果较差,而无机肥/有机肥/熟石灰、无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施对钙素活化效率较高,能大幅提高酸性土中有效钙含量。

(3)不同肥料配施均能提高酸性土花生的荚果产量,增产原因是增加了单株结果数提高了荚果饱满度,并对成苗率和实收株数有所提高。对酸性土花生荚果产量提高幅度最大的是无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施处理。

(4)不同肥料配施均能提高酸性土花生的籽仁蛋白质、总氨基酸、脂肪含量以及 O/L 值,品质改善的原因是增加了光合产物向荚果分配,提高了籽仁饱满度。对酸性土花生籽仁品质改善效果最好的是无机肥/有机肥/微生物肥/熟石灰配施处理。

参考文献:

- [1] 吴刚,李金英,曾晓舵. 土壤钙的生物有效性及与其它元素的相互作用[J]. 土壤与环境,2002,11(3):319-322.
- [2] 刘晶晶,刘春生,李同杰,等. 钙在土壤中的淋溶迁移特征研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):53-56.
- [3] 郭堃梅,池宝亮,黄学芳,等. 碳酸钙与石膏对土壤磷及溶解有机碳淋溶的影响[J]. 中国生态农业学报,2006,14(1):128-130.
- [4] 陈琨,秦鱼生,喻华,等. 不同肥料/改良剂对冷泥田水稻生长、养分吸收及土壤性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(3):773-781.
- [5] Lemos S G, Nogueira A RA, André T N, et al. Soil calcium and pH monitoring sensor system[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2007,55(12):4658-4663.
- [6] 王金贵,王益权,徐海. 关中农田土壤有机质和碳酸钙空间变异特征及其机理分析[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(6):24-26.
- [7] 史红平,王益权,石宗琳,等. 农田土壤钙素含量及空间分布规律研究:以武功县大庄乡为例[J]. 中国农业科学,2016,49(5):1008-1016.
- [8] 周恩生,陈家驹,王飞,等. 钙胁迫下花生荚果微区特征及植株生理生化反应变化[J]. 福建农业学报,2008,23(3):318-321.
- [9] 张君诚,蔡宁波,张新文,等. 钙影响花生胚胎发育/败育特异蛋白质的筛选与鉴定[J]. 作物学报,2007,33(5):814-819.
- [10] 周录英,李向东,王丽丽,等. 钙肥不同用量对花生生理特性及产量和品质的影响[J]. 作物学报,2008,34(5):879-885.
- [11] 张海平,单世华,蔡来龙,等. 钙对花生植株生长和叶片活性氧防御系统的影响[J]. 中国油料作物学报,2004,26(3):33-36.
- [12] Rahman M A. Effect of calcium and Bradyrhizobium inoculation of the growth, yield and quality of groundnut (*A. hypogaea* L.) [J]. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research,2007,41(3):181-188.
- [13] 吴旭银,吴贺平,李彦生,等. 地膜覆盖花生对钙、镁、硫吸收特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(1):171-174.
- [14] 周卫,林葆. 受钙影响的花生生殖生长及种子素质研究[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(2):205-210.
- [15] 刘秀梅,张夫道,张树清,等. 纳米碳酸钙在花生上的施用效果研究[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):385-389.
- [16] 李岳,王月福,王铭伦,等. 施钙对花生衰老特性和产量的影响[J]. 青岛农业大学学报,2012,29(2):89-93.
- [17] 王才斌,吴正锋,赵品绩,等. 调环酸钙对花生某些生理特性和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(6):1160-1164.
- [18] 张大庚,刘敏霞,依艳丽,等. 长期单施及配施过磷酸钙对设施土壤钙素分布的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(1):223-226.
- [19] 李鹏,李春越,王益权,等. 施肥方式和园龄对洛川苹果园土壤钙素退化的影响[J]. 应用生态学报,2017,28(5):1611-1618.
- [20] 陈建国,张杨珠,曾希柏,等. 长期不同施肥对水稻土交换性钙、镁和有效硫、硅含量的影响[J]. 生态环境,2008,17(5):2064-2067.
- [21] 褚长彬,吴淑杭,张学英,等. 有机肥与微生物肥配施对柑橘土壤肥力及叶片养分的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(22):201-205.
- [22] 沈宝云,余斌,王文,等. 腐植酸铵、有机肥、微生物肥配施在克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍上的应用研究[J]. 中国土壤与肥料,2011(2):68-70.
- [23] 钱建民,王晓岑,段雪娇,等. 微生物肥对马铃薯产量及品质的影响[J]. 作物杂志,2015(1):99-102.
- [24] 陈惠哲,朱德峰,林贤青,等. 微生物肥对水稻产量及氮肥利用的影响[J]. 核农学报,2010,24(5):1051-1055.