

不同用量缓释肥对麦茬花生生长发育及养分利用的影响

纪耀坤¹, 郭振升^{1*}, 田伟², 张慎举¹, 皇甫自起¹, 吴继华³

(1. 商丘职业技术学院, 河南 商丘 476005; 2. 商丘学院, 河南 商丘 476000; 3. 商丘市农林科学院, 河南 商丘 476000)

摘要: 为了明确麦茬花生缓释肥适宜用量, 设不施肥(CK)、普通化肥(CF)、缓释肥(SRF)、缓释肥减量10%(SRF0.9)和缓释肥减量20%(SRF0.8)5个处理, 研究不同用量缓释肥对麦茬花生生长发育及养分利用的影响。结果表明: 与施用等量普通化肥(CF)相比, 缓释肥(SRF)可显著增加麦茬花生中后期叶片NR活性、根系活力、单株结果数、百果重、百仁重和出仁率, 显著提高荚果和籽仁产量。缓释肥减量10%(SRF0.9)生长指标及产量表现均高于普通化肥(CF), 但差异不显著。缓释肥减量20%(SRF0.8), 各项生理生长指标及产量均低于普通化肥处理CF, 但差异不显著。缓释肥可显著提高氮磷钾当季利用率、氮肥偏生产力、氮肥农学效率。夺取高产, 可以优先选用缓释肥SRF的施肥量; 减肥增效, 可以优先选用缓释肥SRF0.9的施肥量。

关键词: 缓释肥; 麦茬花生; 叶片NR活性; 根系活力; 肥料利用率; 氮肥偏生产力; 氮肥农学效率

中图分类号: S565.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)03-0094-05

Effects of Different Dosage of Slow Release Fertilizer on Growth and Nutrient Utilization of Peanut in Wheat Stubble

Ji Yaokun¹, Guo Zhensheng^{1*}, Tian Wei², Zhang Shenju¹, Huangfu Ziqi¹, Wu Jihua³

(1. Shangqiu Vocational and Technical College, Shangqiu 476005; 2. Shangqiu College, Shangqiu 476000; 3. Shangqiu Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shangqiu 476000, China)

Abstract: In order to determine the suitable dosage of slow-release fertilizer for wheat stubble peanut, five treatments, CK, CF, SRF, SRF0.9 and SRF0.8 were used to study the effects of different dosages of slow-release fertilizer on the growth and nutrient utilization of wheat stubble peanut. The results showed that SRF could significantly increase NR activity, root activity, fruit number per plant, 100-fruit weight, 100-kernel weight and kernel yield of wheat-stubble peanut in the middle and late stages, and significantly increase pod and kernel yield compared with CF. The growth index and yield performance of slow-release weight loss 10% (SRF0.9) were higher than those of common chemical fertilizer (CF), but the difference was not significant. Slow-release weight loss of 20% (SRF0.8), physiological growth indicators and yield were lower than those of CF treated with conventional fertilizer, but the difference was not significant. Slow-release fertilizer can significantly improve the utilization rate of nitrogen, phosphorus and potassium in the current season, partial productivity of nitrogen fertilizer and agronomic efficiency of nitrogen fertilizer. In order to obtain high yield, SRF can be selected as the priority fertilizer, while SRF0.9 can be selected as the priority fertilizer for weight loss and efficiency improvement.

Key words: Slow-release fertilizer; Wheat stubble peanut; Leaf NR activity; Root activity; Fertilizer utilization; N partial productivity; N agronomic efficiency

河南省花生种植面积和产量均居全国第一

收稿日期: 2021-08-26

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(142102110024); 河南省重大科技专项(161100111000)

作者简介: 纪耀坤(1984-), 男, 讲师, 主要从事生物技术教学与科研工作。

通讯作者: 郭振升, 男, 硕士, 教授, E-mail: sqzygz@163.com

位, 随着农业供给侧结构性改革的强力推进和《河南省推进优质花生发展工作方案》的实施, 豫东平原花生产业焕发了新的生机。近年来, 农民为了获得较高的经济效益, 大量施用化学肥料, 致使肥料利用率低, 农产品质量安全及环境污染压力不断上升^[1-2]。如何在提高肥料效益、保证作物产量与减少肥料施用、保证环境安全问题上找

到平衡点成了施肥技术必须面对的问题^[3]。缓释肥料的研发和应用为提高肥料利用率、减少施肥不当造成的环境污染提出了新的思路^[4]。缓释肥料可显著减少养分挥发和淋失,大幅度提高肥料利用率,增加产量改善品质,是21世纪化肥发展的新方向^[5-6]。2016年我国首部缓释肥产业发展白皮书发布,缓释肥产业步入高速发展新阶段,推广应用缓释肥是实现我国化肥使用零增长的重要途径之一^[7]。研究表明,花生施用缓释肥可提高化肥当季利用率^[8-10],改善叶片光合性能^[11-12],提高根系活力^[13-14],延缓衰老^[11,15],改善农艺性状^[16-17],从而提高产量、改善品质^[18-19]。花生缓释肥料不同用量的研究已有报道^[15,20],而麦茬花生缓释肥料不同用量的研究却鲜见报道。本试验在大田生产的条件下,研究不同用量缓释肥对麦茬直播花生生长发育及养分利用的影响,以为缓释肥在夏花生生产上的应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试花生品种:‘秋乐花177’(国品鉴花生2013002),属直立疏枝普通型中早熟大果品种。

供试肥料:①红四方缓释掺混肥料(氮磷钾总量45%, $N-P_2O_5-K_2O$:18-10-17,高分子包膜控释),中盐安徽红四方肥业股份有限公司生产。②普通尿素(N 46%),河南心连心化肥有限公司生产。③普通过磷酸钙(P_2O_5 12%),湖北新洋丰肥业股份有限公司生产。④农用氯化钾(K_2O 62%),俄罗斯乌拉尔钾肥股份公司生产。

1.2 试验地基本情况

试验于2018年在商丘职业技术学院试验示范基点进行。试验地土壤属于石灰性潮土,质地为沙壤,地势平坦,土壤肥力均匀,排灌条件良好,前茬为小麦。耕层土壤(0~20 cm)基础地力:有机质15.13 g/kg、全氮0.95 g/kg、碱解氮78.56 mg/kg、有效磷21.23 mg/kg、有效钾92.38 mg/kg, pH 8.1。

1.3 试验方法

试验设计:试验共设5个处理。处理1为不施肥(CK),处理2为普通化肥(CF),处理3为红四方缓释肥(SRF)1 000 kg/hm²,处理4为红四方缓释肥900 kg/hm²(减量10%,SRF0.9),处理5为红四方缓释肥800 kg/hm²(减量20%,SRF0.8)。处理2(CF)、处理3(SRF)氮磷钾施用量均为纯氮(N)180 kg/hm²,纯磷(P_2O_5)100 kg/hm²,纯钾(K_2O)170 kg/hm²。处理2(CF)施用普通尿素(供试肥料②)391.30

kg/hm²、普通过磷酸钙(供试肥料③)883.33 kg/hm²和农用氯化钾(供试肥料④)274.19 kg/hm²。小区面积20 m²,随机区组排列,重复3次。

试验实施:肥料全部作基肥施用,小麦收获后(6月9日)施肥整地播种。每小区为一个平畦,畦宽2 m,畦长10 m。花生行距40 cm,穴距15 cm,每穴2粒种子,每小区播种333穴(16.65万穴/hm²)。出苗率96%~100%,花生苗3~4片真叶时利用预备苗进行补栽,每穴保苗2株。其他栽培管理措施同一般大田。9月26日收获,全生育期109 d。

1.4 测定项目及方法

叶片硝酸还原酶(NR)活性和根系活力测定:各处理分别于幼苗期(7月6日)、花针期(7月26日)、结荚期(8月15日)、饱果期(9月5日)、成熟期(9月25日),选取生长均匀一致的代表性植株5株,取主茎倒三叶和0~30 cm土层根系于冰盒中带回实验室测定叶片硝酸还原酶活性和根系活力。叶片硝酸还原酶(NR)活性测定采用磺胺比色法^[21],根系活力测定采用TTC(氯化三苯基四氮唑)还原法^[22]。

花生产量及产量性状测定:每小区人工刨收5 m²,花生荚果自然风干后调查荚果产量、籽仁产量、百果重、百仁重和出仁率。每小区取5穴10株,调查单株结果数。

养分利用率的测定:成熟期测定花生植株及荚果氮、磷、钾含量,养分利用率计算公式如下:

肥料利用率(%)=[(施肥区作物吸肥总量-未施肥区作物吸肥总量)÷施肥量]×100

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区作物产量÷氮肥施用量

氮肥农学效率(kg/kg)=(施氮区作物产量-未施氮区作物产量)÷氮肥施用量

1.5 统计分析

应用Microsoft Office Excel 365进行方差分析、多重比较和作图。多重比较采用邓肯氏(Duncan's)新复极差法(DMRT法)。

2 结果与分析

2.1 不同用量缓释肥对麦茬花生叶片硝酸还原酶(NR)活性的影响

NR是植物氮代谢中的关键性酶,其活性高低反映了植物还原转化硝酸盐能力的强弱,可作为植物利用氮素能力的指标。从图1可以看出,花生叶片NR活性苗期较高,花针期下降,结荚期回升,饱果期、成熟期持续下降;各施肥处理各生育

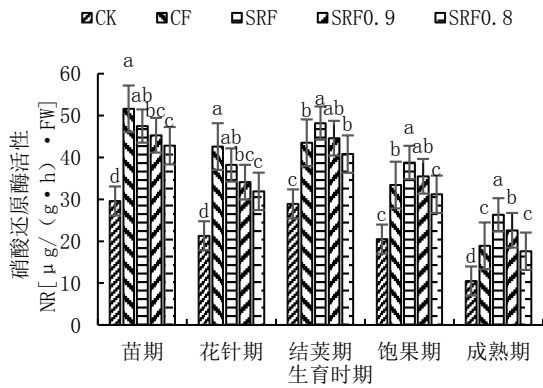


图1 不同处理对花生叶片NR活性的影响

时期均显著高于不施肥处理(CK)。缓释肥处理(SRF)和缓释肥减量处理(SRF0.9)花生叶片NR活性幼苗期、花针期均低于普通化肥处理(CF),结荚期、饱果期和成熟期均高于普通化肥处理(CF)。结荚期-成熟期叶片NR活性SRF与CF差异显著。缓释肥减量处理(SRF0.8)NR活性各生育期均比普通化肥处理(CF)低,结荚期-成熟期差异不显著。试验结果表明,与普通化肥处理(CF)相比,缓释肥处理(SRF)可显著提高麦茬花生生长中后期叶片NR活性。

2.2 不同用量缓释肥对麦茬花生根系活力的影响

根系活力泛指根系的吸收、合成、氧化和还原能力,是反映根系生命活动的生理指标,也是反映植株对养分吸收效率高低的指标。根系活力强,表示根系具有较强的养分吸收能力。从图2可以看出,各施肥处理各生育时期均可显著提高花生根系活力。缓释肥处理(SRF)和缓释肥减量处理(SRF0.9)花生根系活力幼苗期、花针期均低于普通化肥处理(CF),结荚期、饱果期和成熟期均高于普通化肥处理(CF)。结荚期-成熟期根系活力SRF与CF差异显著。缓释肥减施处理

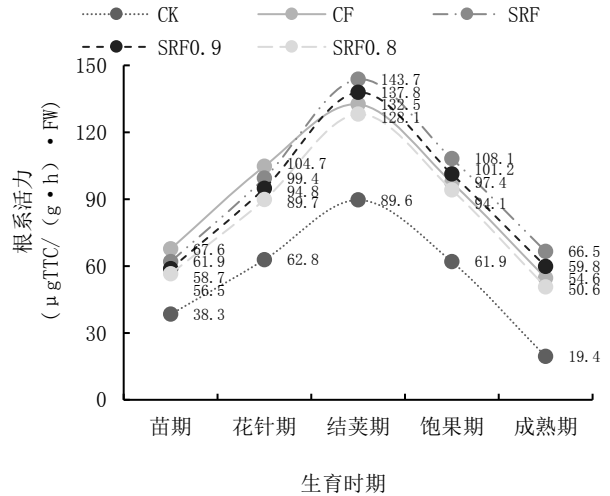


图2 不同用量缓释肥对花生根系活力的影响

(SRF0.8)根系活力各生育期均比普通化肥处理(CF)低,结荚期、饱果期和成熟期与普通化肥处理(CF)差异不显著。试验结果表明,与普通化肥处理(CF)相比,缓释肥处理(SRF)可显著提高麦茬花生生长中后期花生根系活力。

2.3 不同用量缓释肥对麦茬花生产量及产量性状的影响

由表1可以看出,施肥处理均可显著提高麦茬花生的单株饱果数、百果重、百仁重、荚果产量和籽仁产量。与普通化肥(CF)相比,SRF、SRF0.9、SRF0.8的荚果产量分别提高了12.68%、3.88%、-3.46%,籽仁产量分别提高了16.06%、6.69%、-1.26%,单株饱果数分别提高了7.06%、0.42%、-3.74%,百果重分别提高了5.25%、3.45%、0.29%,百仁重分别提高了3.07%、2.63%、2.08%,出仁率分别提高了3.00%、2.71%、2.28%。产量构成因素分析结果表明,缓释肥增产的主要原因是增加了单株饱果数和百果重,出仁率的增加对提高花生籽仁产量具有重要作用。

表1 不同用量缓控释肥对麦茬花生产量及其构成因素的影响

处理	荚果产量(kg/hm ²)	籽仁产量(kg/hm ²)	单株饱果数	百果重(g)	百仁重(g)	出仁率(%)
CK	3 342.9dC	2 249.8dc	6.29cC	159.6cC	87.2cC	67.3cC
CF	4 945.6bcB	3 466.9bcB	7.22bAB	205.7bAB	91.3bB	70.1bB
SRF	5 572.9aA	4 023.62aA	7.73aA	216.5aA	94.1aA	72.2aA
SRF0.9	5 137.5bAB	3 699.0bAB	7.25abAB	212.8abAB	93.7aAB	72.0aAB
SRF0.8	4 774.5cB	3 423.3cB	6.95bBC	206.3bB	93.2abAB	71.7aAB

注:不同大、小写字母表示差异显著性达1%、5%显著水平,下同

方差分析及显著性检验结果,荚果产量、籽仁产量SRF处理最高,与其他处理差异显著;SRF0.9处理次之,比CF增产,但差异不显著;SRF0.8处理最低,与其他施肥处理差异显著。单株饱果数CRF处

理最高,与SRF0.9处理差异不显著,与其他处理差异显著。百果重、百仁重SRF处理最高,与SRF0.9处理差异不显著,与其他处理差异显著;SRF0.8与CF之间差异不显著。出仁率SRF处理最高,与其他

缓释肥处理(SRF0.9、SRF0.8)差异不显著,与普通化肥处理(CF)差异显著。

2.4 不同用量缓释肥对麦茬花生肥料当季利用率的影响

提高肥料利用率,降低成本,减少污染是发展缓释肥料的重要目的。由表2可知,各施肥处理钾肥当季利用率最高,为41.24%~57.38%;氮肥当季利用率次之,为34.74%~48.34%;磷肥当季利用率最低,为13.22%~18.39%。氮磷钾肥当季利用率均表现为SRF>SRF0.9>SRF0.8>CF。与普通化肥处理CF相比,

SRF、SRF0.9、SRF0.8 氮肥当季利用率分别增加13.6%、8.48%、4.05%,磷肥当季利用率分别增加5.17%、3.22%、1.54%,钾肥当季利用率分别增加16.14%、10.06%、4.8%。试验结果表明,缓释肥处理能显著提高麦茬花生肥料当季利用率。各缓释肥处理均能显著提高氮肥偏生产力,SRF0.8、SRF、SRF0.9比普通化肥处理CF分别提高20.66%、15.35%、12.70%;各缓释肥处理均能提高氮肥农学效率,SRF、SRF0.9、SRF0.8比普通化肥处理CF分别提高38.97%、24.19%、11.65%,SRF、SRF0.9与CF差异显著。

表2 不同用量缓释肥对麦茬花生肥料利用率的影响

试验处理	氮肥利用率(%)	磷肥利用率(%)	钾肥利用率(%)	氮肥偏生产力(kg/kg)	氮肥农学效率(kg/kg)
CK	-	-	-	-	-
CF	34.74cC	13.22bB	41.24dB	27.49cB	8.93cB
SRF	48.34aA	18.39aA	57.38aA	30.98bA	12.41aA
SRF0.9	43.22bAB	16.44abAB	51.30bAB	31.71abA	11.09abAB
SRF0.8	38.79bcBC	14.76bB	46.04cB	33.17aA	9.97bcAB

3 讨论与结论

本研究表明,缓释肥处理(SRF)和缓释肥减量处理(SRF0.9)花生叶片NR活性,幼苗期、花针期均低于普通化肥处理(CF),结荚期、饱果期和成熟期均高于普通化肥处理(CF)。缓释肥处理(SRF)可显著提高花生生长中后期叶片NR活性。这与初长江、李栓柱等^[13-14]的研究结果基本一致。

缓释肥处理(SRF)和缓释肥减量处理(SRF0.9)花生根系活力,幼苗期、花针期均低于普通化肥处理(CF),结荚期、饱果期和成熟期均高于普通化肥处理(CF),缓释肥可显著提高花生生长中后期花生根系活力,延缓根系衰老。这与初长江、李栓柱等^[13-14]的研究结果基本一致。缓释肥延长花生根系活力高值持续期,延缓根系衰老,有利于麦茬花生后期根系对土壤中养分的吸收,满足花生荚果膨大过程中养分吸收的要求,从而提高荚果和籽仁产量。

施肥能够显著增加麦茬花生荚果和籽仁产量。与普通化肥(CF)相比,SRF、SRF0.9、SRF0.8的荚果产量分别提高了12.68%、3.88%、-3.46%,籽仁产量分别提高了16.06%、6.69%、-1.26%,这与王艳华、张玉树、刘兆新等^[9-11]的研究结果基本一致。缓释肥增产的主要原因是增加了单株饱果数和百果重,出仁率的增加对提高花生籽仁产量具有重要作用。与普通化肥(CF)相比,SRF、

SRF0.9、SRF0.8的单株饱果数分别提高了7.06%、0.42%、-3.74%,百果重分别提高了5.25%、3.45%、0.29%,百仁重分别提高了3.07%、2.63%、2.08%,出仁率分别提高了3.00%、2.71%、2.28%。这与杨吉顺等^[20]、刘文龙等^[17]、张海焕等^[18]研究结果基本一致。

与普通化肥处理CF相比,SRF、SRF0.9处理氮肥当季利用率分别增加13.6%、8.48%,磷肥当季利用率分别增加5.17%、3.22%,钾肥当季利用率分别增加16.14%、10.06%。与王艳华等^[9]氮肥、磷肥、钾肥当季利用率分别增加8.9%、4.6%、11.7%、张玉树等^[10]氮、磷、钾当季利用率分别增加3.9%~15.8%、0.6%~4.2%和2.6%~14.2%的研究结果基本一致。

本试验氮肥当季利用率为34.74%~48.34%,与成艳红等^[8]21.69%~57.39%、张玉树等^[10]27.8%~42.9%、王艳华等^[9]34.9%~43.8%、陶妹宇^[23]40%~52%的研究结果基本一致。本试验中磷肥当季利用率为13.22%~18.39%,与张玉树等^[10]10.1%~16.4%、王艳华等^[9]13.9%~18.5%的研究结果基本一致。本试验中钾肥当季利用率为41.24%~57.38%,与张玉树等^[10]40.2%~54.4%、王艳华等^[9]40.5%~52.2%的研究结果基本一致。

本试验氮肥偏生产力为27.49~33.17 kg/kg,与栾天浩等^[24]27.58~29.14 kg/kg的研究结果接近;氮肥农学效率为8.93~12.41 kg/kg,比栾天浩等^[24]

6.40~7.96 kg/kg 的研究结果略高。缓释肥处理能显著提高氮肥偏生产力和氮肥农学效率,与普通化肥处理 CF 相比,SRF0.8、SRF0.9、SRF 氮肥偏生产力和农学效率分别提高 20.66%、15.35%、12.69%,氮肥农学效率分别提高 11.65%、24.19%、38.97%。

综上所述,相同施肥量条件下,缓释肥处理 SRF,花生叶片 NR 活性、根系活力均显著优于普通化肥处理 CF,荚果和籽仁产量、肥料利用效率均显著高于普通化肥处理 CF。缓释肥减量处理 SRF0.9,生长指标及产量表现都高于普通化肥处理 CF,但差异不显著。缓释肥减量处理 SRF0.8,各项生理生长指标及产量均低于普通化肥处理 CF,但差异不显著。因此,SRF0.9 处理的施肥量是该试验条件下的最佳缓释肥施用量,继续减量则影响麦茬花生的生长发育和产量提高。试验表明,缓释肥 SRF、SRF0.9 处理施用量可代替相同施用量的普通化肥。从夺取高产的角度考虑,可以优先选用缓释肥 SRF 的施肥量;从减肥增效的角度考虑,可以优先选用缓释肥 SRF0.9 的施肥量。

参考文献:

- [1] 刘钦普. 中国化肥施用强度及环境安全阈值时空变化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(6): 214-221.
- [2] 王才斌. 实施理性栽培, 推进山东花生生产可持续发展[J]. 花生学报, 2018, 47(1): 74-76.
- [3] 自由路. 高效施肥技术研究的现状与展望[J]. 中国农业科学, 2018, 51(11): 2116-2125.
- [4] 高璐阳, 王怀利, 王晓飞, 等. 我国发展缓控释肥的意义及前景[J]. 磷肥与复肥, 2015, 34(4): 14-17.
- [5] 揣峻峰, 肖艳, 杜迎辉, 等. 控释肥对夏玉米产量及土壤性状的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(3): 41-44.
- [6] 柴鑫鑫. 控释氮肥的研制及应用研究[D]. 临汾: 山西师范大学, 2017.
- [7] 余露. 首部缓控释肥白皮书首发 力促化肥行业转型升级[J]. 农药市场信息, 2016(15): 40.
- [8] 成艳红, 武琳, 钟义军, 等. 控释肥对稻草覆盖红壤花生产量及土壤有效氮平衡的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 306-313.
- [9] 王艳华, 董元杰, 邱现奎, 等. 控释肥对坡耕地花生生理特性、产量及品质的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1974-1980.
- [10] 张玉树, 丁洪, 卢春生, 等. 控释肥料对花生产量、品质以及养分利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 700-706.
- [11] 刘兆新, 刘妍, 刘婷如, 等. 控释复合肥对麦套花生光系统 II 性能及产量和品质的调控效应[J]. 作物学报, 2017, 43(11): 1667-1676.
- [12] 杨劲峰, 鲁豫, 刘小华, 等. 施用炭基缓释肥对花生光合功能的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 408-415.
- [13] 初长江, 吴正锋, 孙学武, 等. 控释肥对花生氮代谢相关酶活性的影响[J]. 花生学报, 2017, 46(2): 32-39.
- [14] 李拴柱, 郑青焕, 宋江春, 等. 夏花生土壤磷钾养分丰缺指标研究与应用[J]. 东北农业科学, 2021, 46(3): 34-36, 40.
- [15] 郭峰, 初长江, 王才斌, 等. 控释肥料对不同品种花生 (*Arachis hypogaea* L.) 叶片生理的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1127-1131.
- [16] 姜涛, 倪皖莉, 王嵩, 等. 炭基缓释花生专用肥对砂姜黑土夏花生干物质积累及产量的影响[J]. 花生学报, 2018, 47(3): 75-80.
- [17] 刘文龙, 陈宏, 王怀利, 等. 控释掺混肥对花生农艺性状及产量品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2015(5): 115-117.
- [18] 张海焕, 王月福, 张晓军, 等. 控释肥用量对花生田土壤养分含量及产量品质的影响[J]. 花生学报, 2016, 45(2): 27-32.
- [19] 邱现奎, 董元杰, 史衍玺, 等. 控释肥对花生生理特性及产量、品质的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 223-226, 250.
- [20] 杨吉顺, 李尚霞, 吴菊香, 等. 控释肥对花生产量及干物质积累的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 45(10): 98-100, 107.
- [21] 蔡永萍. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2014: 16-19.
- [22] 郭振升. 植物与植物生理[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2014: 313-315.
- [23] 陶妹宇. 缓控释氮肥调控对花生产量及氮素吸收利用的影响[J]. 农业科技与装备, 2016(10): 1-6.
- [24] 栾天浩, 翟季, 孙祎龙, 等. 密度与氮、磷、钾用量对花生吉花 1 号产量的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(4): 23-26.
- [25] Rouquié D, Tournaire-Roux C, Szponarski W, et al. Cloning of the V-ATPase subunit G in plant: Functional expression and sub-cellular localization[J]. FEBS Letters, 1998, 437(3): 287-292.
- [26] Zhou L, Sazanov L A. Structure and conformational plasticity of the intact *Thermus thermophilus* V/A-type ATPase[J]. Science, 2019, 365(6455): w9144.
- [27] Zhou A, Takano T, Liu S. The role of endomembrane-localized VHA-c in plant growth[J]. Plant Signaling & Behavior, 2018, 13(1): e1382796.
- [28] 周爱民. V-H⁺-ATPase c 亚基对植物生长和耐盐性作用机制的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [29] 肖忠意. 棉花液泡 H⁺-ATPase C 亚基基因 *GhDET3* 的克隆与功能分析[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [30] 马辉. NaHCO₃ 胁迫下二色补血草基因的表达研究及 VHA-c 基因的功能验证[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [31] 丁晗. 野生玫瑰耐盐相关基因 *RrNHX1* 和 *RrVHA-c* 的克隆与表达分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2014.

(责任编辑:刘洪霞)

(责任编辑:王丝语)