

引用格式:

张运红, 杨红燕, 杨占平, 黄绍敏, 和爱玲, 杜君. 不同叶面肥对花生光合特性与产量及氮吸收分配的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(4): 386–392.

ZHANG Y H, YANG H Y, YANG Z P, HUANG S M, HE A L, DU J. Effects of different foliar fertilization on photosynthetic characteristics, yield and nitrogen absorption and distribution of peanut[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(4): 386–392.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



不同叶面肥对花生光合特性与产量及氮吸收分配的影响

张运红^{1,2}, 杨红燕^{3#}, 杨占平^{1,2*}, 黄绍敏^{1,2}, 和爱玲^{1,2}, 杜君^{1,2}

(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.河南省农业生态与环境重点实验室, 河南 郑州 450002; 3.聊城市土壤肥料工作站, 山东 聊城 252000)

摘要:为探索海藻酸钠寡糖(AOS)作为新型植物生长调节剂开发的可能性,以豫花 9326 为材料,开展土培盆栽试验,以清水喷施为对照,对比喷施 4 种叶面肥(磷酸二氢钾、尿素、AOS、复合生物制剂)对花生光合特性、产量及氮吸收分配的影响。结果表明:4 种叶面肥处理均可提高花生的净光合速率(Pn),增幅为 11.1%~22.0%; AOS 和复合生物制剂(CBP,由 AOS、水杨酸等配制而成)处理施用效果较优,侧枝长和分枝数分别较清水对照增加 13.1%、11.4%和 15.9%、50.9%,干物质总质量分别增加 18.1%和 52.5%,产量分别增加 30.5%和 60.9%,主要归因于单株结果数和百果质量的增加;喷施 CBP 处理可促进花生对氮的吸收,提高其在叶片和花生仁中所占的比例。综上,本试验条件下,用 AOS 或 CBP 作叶面肥可促进花生增产,其中以 CBP 处理的施用效果更优,具有市场开发前景。

关键词:花生;叶面肥;海藻酸钠寡糖;光合特性;产量;养分吸收

中图分类号: S565.206 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2020)04-0386-07

Effects of different foliar fertilization on photosynthetic characteristics, yield and nitrogen absorption and distribution of peanut

ZHANG Yunhong^{1,2}, YANG Hongyan^{3#}, YANG Zhanping^{1,2*}, HUANG Shaomin^{1,2}, HE Ailing^{1,2}, DU Jun^{1,2}

(1.Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resource and Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China; 2.Henan Key Laboratory of Agricultural Eco-environment, Zhengzhou, Henan 450002, China; 3.Liaocheng Soil and Fertilizer Workstation, Liaocheng, Shandong 252000, China)

Abstract: In order to exploring the possibility of developing alginate oligosaccharides (AOS) as a novel plant growth regulator, using “Yuhua 9326” as experimental material, pot experiments were conducted to study the effects of spraying four kinds of foliar fertilization including potassium dihydrogen phosphate, urea, AOS, and composite biological agents (CBP) on photosynthetic characteristics, yield and nitrogen absorption and distribution of peanut using clear water as the control. The results showed that spraying four kinds of foliar fertilization improved net photosynthetic rate(Pn) of peanuts by 11.1% to 22.0%. The treatments of AOS and CBP (containing substances such as AOS, salicylic acid and others) had better application effects. Compared with the control with water, the side-bough length and branch numbers of these two treatments were increased by 13.1%, 11.4% and 15.9%, 50.9%, respectively, and the total dry weights were increased by 18.1% and 52.5%. The yield under the treatments of AOS and CBP were also significantly increased by 30.5% and 60.9%, respectively, which was mainly due to the increase in pods number per plant and hundred pods weight. Spraying CBP also promoted nitrogen absorption in peanuts, and raised its proportion in leaves and peanut kernels. In summary, the

收稿日期: 2019-09-03

修回日期: 2019-09-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD201703); 河南省科技攻关计划项目(172102310467)

作者简介: 张运红(1983—), 女, 河南新乡人, 博士, 助理研究员, 主要从事植物营养与施肥研究, snowgirl23@126.com; #并列第一作者, 杨红燕(1986—), 女, 山东聊城人, 硕士, 农艺师, 主要从事农业施肥研究, hyyang1986@126.com; *通信作者, 杨占平, 硕士, 研究员, 主要从事植物营养和施肥研究, zhpyang3@163.com

treatments of AOS or CBP improved peanut yield in our experiment, and the application effects of CBP treatment were the best, showing a wonderful foreground.

Keywords: peanut; foliar fertilization; alginate oligosaccharides; photosynthetic characteristics; yield; nutrient absorption

花生(*Arachis hypogaea* L.)是中国重要的油料作物和经济作物。近几年来,随着种植结构的调整和高产优质品种的推广普及,花生种植面积不断扩大,2016年中国花生种植面积达 47 270 hm²,总产量达 1 729.0 万 t,在维护国家粮油食品安全和农村产业结构调整中具有重要作用^[1-2]。

花生除了在播种时要施足底肥外,叶面施肥也是重要的根外营养方式,具有调控及供给营养的双重作用。目前生产上常用的叶面肥有磷酸二氢钾和尿素^[3-5]。然而,高肥水、高密度条件下,花生生育中期易发生徒长倒伏、叶片早衰、饱果率低等现象,现经常通过喷施多效唑来控制。多效唑的施用虽能增加花生荚果产量,但明显降低出仁率和蛋白质含量^[6-7],且会对土壤环境造成一定的影响^[8-9];因此,亟待开发对花生生长发育具有安全调控的新型植物生长调节剂。研究^[10-11]表明,海藻肥有利于提高农作物产量、改善品质以及抵抗病虫害。张佳蕾等^[12]的研究结果表明,海藻肥和多效唑配施可提高不同类型花生的荚果产量,增加蛋白和脂肪含量,改善品质。张翠琴等^[13]报道,喷施含海藻酸钠水溶肥料可使花生增产 9.56%,并能提高粗脂肪、粗蛋白和氨基酸含量,降低油/亚比。近年来,国内众多研究机构联合着手海藻寡糖库的建立,细化海藻寡糖在农业方面的应用,打造新的海藻农业经济增长点^[14]。海藻酸钠寡糖(AOS)是从海带或海藻中提取的一类海藻寡糖,可促进作物增产,并提高其多重抗性^[15-17]。目前,海藻酸钠寡糖在花生上的应用较少。鉴于此,本课题组研究了海藻酸钠寡糖单施及与其他物质配施对花生光合特性、产量及养分吸收的影响,旨在探究海藻酸钠寡糖在花生上的施用效果,为新型植物生长调节剂的研发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤采自河南省郑州市郊区。土壤类型为潮土,有机质含量 2.78 g/kg,速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 44.92、9.10、98.62 mg/kg, pH 8.12。供试花生品种为豫花 9326,为河南省农业科学院经济作

物研究所选育的高产、高油、大果花生品种,抗叶斑病和网斑病,高抗病毒病,氮磷利用低效^[18-19]。

供试 AOS,糖醛酸组成 β -D-甘露糖醛酸(PM)与 α -L-古罗糖醛酸(PG)的量比为 7:3,糖醛酸含量 >90%,聚合度 2~10,由中国科学院大连化学物理研究所研制,配成 20 mg/L 的水溶液施用。供试复合生物制剂含有 AOS、水杨酸等物质,由河南省农业生态与环境重点实验室自主研制,稀释 200 倍施用。磷酸二氢钾和尿素,采用分析纯试剂,配成质量浓度分别为 0.2%和 1.5%的水溶液施用。

1.2 试验设计

试验于 2017 年 6—9 月在河南省农业科学院科研院进行。采用盆栽试验,选用聚乙烯塑料盆(直径 30 cm,高 20 cm,带盆托以保水),每盆装风干土 10 kg,分别施用尿素、过磷酸钙、氯化钾 3、6、4 g 作底肥,摆放在可移动遮雨棚中。每盆浇等量水,自然蒸发至适宜含水量。2017 年 6 月 11 日播种。选取饱满一致的种子,每穴播 2 粒,每盆播 3 穴。出苗后,每盆保留 3 株生长基本一致的幼苗。分别于花生花针期、盛花期、结荚期、饱果期喷施叶面肥。试验设置 5 个处理:喷施清水(CK)、喷施磷酸二氢钾(MKP)、喷施尿素(UN)、喷施海藻酸钠寡糖(AOS)、喷施复合生物制剂(CBP)。每个处理 3 次重复。每次喷施量为 20 mL/盆。在整个生育期间,水肥条件一致,及时防治病虫害。于 9 月 25 日收获。

1.3 指标测定与方法

1.3.1 SPAD 值的测定

每次喷施叶面肥 1 周后,利用 SPAD-502 叶绿素仪测定倒三叶的 SPAD 值。

1.3.2 光合特性的测定

于花生结荚期,采用 Li-6200 便携式光合作用测定仪(LI-COR Inc., USA)测定主茎倒三叶净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)和胞间 CO₂ 浓度(Ci)。测定时,光照强度设为 800~1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,叶室(2 cm×3 cm)内设定温度 25 °C,采用开放气路,

设定空气流速为 500 μmol/s ,并计算气孔限制值(Ls)和水分利用效率(WUE)。

$$Ls=1 - Ci/C0。$$

式中, C0 为气孔中 CO₂ 浓度(420 μmol/mol)。

$$WUE=P_n/Tr。$$

1.3.3 产量的测定

花生成熟后收获、晾晒、称重、计产,同时测定总果数、饱果数、饱果质量、秕果数、秕果质量、百果质量、百仁质量、出仁率、主茎高、侧枝长、分枝数。

1.3.4 养分含量的测定

分离根、茎、叶、花生壳、花生仁等器官,将其分别置于烘箱内 105 °C 杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒重。粉碎后,采用凯氏定氮法测量各器官的氮含量。根据各器官的干质量和氮含量计算氮总累积量。

1.4 数据分析

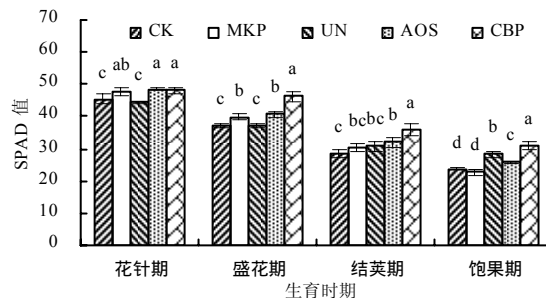
采用 Excel 2007 进行数据处理;运用 SPSS 17.0 进行方差分析;采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 喷施不同叶面肥对花生功能叶片 SPAD 值的影响

从图 1 可以看出,与对照相比,喷施叶面肥对花生叶片 SPAD 值有不同程度的影响。其中,CBP 和 AOS 处理的花生 4 个生育期的 SPAD 值均显著高于对照,且盛花期、结荚期和饱果期均以 CBP

处理的最高;MKP 处理的花生在花针期和盛花期的 SPAD 值也显著高于对照;UN 处理的花生在前期 SPAD 值和对照无显著差异,但在饱果期显著高于对照。说明喷施 AOS 和 CBP 可提高花生叶片 SPAD 值,有利于光合作用的进行,其中,以 CBP 的处理效果最优。



不同小写字母表示同一时期不同处理间差异显著 (P<0.05)。

图 1 喷施不同叶面肥花生功能叶片的 SPAD 值
Fig.1 The SPAD value of peanut functional leaves with spraying different foliar fertilization

2.2 喷施不同叶面肥对花生光合特性的影响

表 1 显示,4 种叶面肥处理的花生叶片 Pn、Tr、WUE 和 Gs 均显著高于对照,增幅分别为 11.1%~22.0%、9.7%~14.8%、1.5%~6.6%和 19.8%~33.1%,MKP 和 AOS 处理的各指标总体较高;CBP 处理可显著提高 Ci(较对照增加 2.0%),显著降低 Ls(较对照降低 4.0%);UN 处理的 Ci 较对照显著增加。说明 CBP 处理可通过提高花生叶片 Gs 和 Ci、降低 Ls,提高其光合效率;而 AOS 和 MKP 处理则主要通过提高 Pn、Gs 来促进光合作用。

表 1 喷施不同叶面肥花生的光合特性

Table 1 The photosynthetic characteristics of peanut with spraying different foliar fertilization

处理	Pn/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Ci/(μmol·mol ⁻¹)	Ls	Tr/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	WUE/(μmol·mol ⁻¹)	Gs/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
CK	22.82d	274.47c	0.347a	10.68c	2.137c	0.571d
MKP	27.85a	274.50c	0.346a	12.22a	2.279a	0.760a
UN	25.35c	277.10b	0.340a	11.72b	2.163b	0.684c
AOS	27.37a	275.35c	0.344a	12.26a	2.232a	0.744a
CBP	26.15b	279.94a	0.333b	12.05ab	2.170b	0.705b

同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.3 喷施不同叶面肥对花生农艺性状的影响

表 2 显示,与对照相比,AOS 处理的花生主茎高显著增高(增幅为 10.6%);AOS 和 CBP 处理的侧枝长显著增加(增幅分别为 13.1%和 11.4%)经 4 种叶面肥

处理的分枝数均高于对照(增幅为 8.5%~50.9%),以 CBP 处理的最高(50.9%),其次是 MKP 处理的,AOS 处理的较对照的提高 15.9%。说明喷施 CBP 可增加花生分枝数和侧枝长,从而有利于花生增产。

表 2 喷施不同叶面肥花生的农艺性状

Table 2 The agronomic trails of peanut with spraying different foliar fertilization

处理	主茎高/cm	侧枝长/cm	分枝数/个
CK	37.11b	34.56b	9.83d
MKP	36.53b	33.39b	12.67b
UN	36.48b	34.67b	10.67cd
AOS	41.06a	39.08a	11.39c
CBP	37.05b	38.50a	14.83a

同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.4 喷施不同叶面肥对花生干物质积累和分配的影响

表 3 显示,与对照相比, CBP 和 AOS 处理可显著提高花生的叶片质量(较对照增加 65.1%和

18.6%); CBP 处理显著提高了花生的茎质量(较对照增加 53.9%); UN 处理显著降低了花生的茎质量(较对照降低 16.7%); MKP 和 UN 处理的根质量显著降低(分别较对照降低 28.8%和 35.9%); CBP 和 AOS 处理的荚果质量和总质量显著增加(分别较对照增加 60.9%、30.5%和 52.5%、18.1%); UN 处理的总质量显著降低(较对照降低 8.5%); AOS 处理的根冠比显著增加(较对照提高 8.0%); CBP 和 MKP 处理的根冠比显著下降(较对照降低 10.2%和 16.5%); UN、AOS 和 CBP 处理的收获指数显著提高(分别较对照提高 15.0%、10.5%和 5.5%)。说明喷施 AOS 和 CBP 可显著促进花生干物质积累,提高其收获指数。

表 3 喷施不同叶面肥花生干物质的积累和分配

Table 3 The dry material accumulation of distribution in peanut with spraying different foliar fertilization

处理	叶片质量/g	茎质量/g	根质量/g	荚果质量/g	总质量/g	根冠比	收获指数/%
CK	14.53c	23.34b	7.49a	12.93c	58.29c	0.539b	22.18d
MKP	14.69c	24.79b	5.33b	12.45c	57.26c	0.450d	21.74d
UN	15.48c	19.45c	4.80b	13.60c	53.32d	0.527b	25.50a
AOS	17.23b	26.29b	8.46a	16.87b	68.84b	0.582a	24.51b
CBP	23.99a	35.93a	8.18a	20.80a	88.90a	0.484c	23.39c

同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。质量以株计。

2.5 喷施不同叶面肥对花生产量及其构成因子的影响

表 4 显示, CBP 和 AOS 处理显著增加花生饱果数(分别较对照增加 47.7%和 33.9%); CBP 和 UN 处理的秕果数也显著增加(分别较对照增加 67.1%和 39.1%); 4 种叶面肥处理的总果数较对照显著增加(增幅为 9.4%~56.0%), 以 CBP 处理的最高; AOS 处理的饱果率较对照显著增加(增幅为 5.7%), CBP 和 UN 处理的饱果率较对照显著下降(降幅为 5.3%和 12.8%); CBP、AOS 和 UN 处理的饱果质

量分别较对照增加 78.5%、51.4%和 9.1%; CBP 处理的秕果质量较对照显著增加 34.3%; CBP、AOS 和 UN 处理的百果质量分别较对照增加 25.3%、17.5%和 11.5%, 百仁质量分别较对照增加 48.2%、16.7%和 38.5%; UN 和 CBP 处理的出仁率较对照显著增加(增幅分别为 24.2%和 18.2%)。CBP 和 AOS 处理的产量显著提高(较对照增加 60.9%和 30.5%)。说明喷施 CBP 和 AOS 可以提高花生产量, 主要归因于喷施 CBP 和 AOS 能促进单株结果数和百果质量的增加。

表 4 喷施不同叶面肥花生的产量及其构成因子

Table 4 The yield and its components in peanut with spraying different foliar fertilization

处理	单株饱果数	单株秕果数	单株总果数	饱果率/%	单株饱果质量/g	单株秕果质量/g	百果质量/g	百仁质量/g	出仁率/%	单株产量/g
CK	12.11c	9.11c	21.22c	57.07b	7.77d	5.16b	86.73c	41.03c	47.31c	38.78cd
MKP	13.33c	9.89c	23.22b	57.42b	7.77d	4.68c	76.03d	38.58c	50.75bc	37.35d
UN	12.56c	12.67b	25.22b	49.78d	8.48c	5.12b	96.73b	56.83a	58.75a	40.80c
AOS	16.22a	10.67c	26.89b	60.33a	11.76b	5.11b	101.88ab	47.88b	47.00c	50.62b
CBP	17.89a	15.22a	33.11a	54.03c	13.87a	6.93a	108.68a	60.80a	55.94b	62.39a

同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

2.6 喷施不同叶面肥对花生氮吸收及分配的影响

表 5 显示,与对照相比,除 CBP 处理外,喷施

其他 3 种叶面肥处理的花生根的氮累积量显著降低(比对照降低 32.3%~40.1%); 4 种叶面肥处理的花

生根氮累积量所占比例均显著下降(比对照降低 33.4~39.4%)。CBP 处理的花生茎的氮累积量显著增加(高于对照 83.0%), UN 和 AOS 处理的花生茎的氮累积量及其所占比例有所降低。叶面肥处理的花生叶的氮累积量及所占比例分别比对照的高 15.0%~138.1%和 27.8%~58.1%。AOS 处理的花生壳氮累积量及其所占比例显著提高(分别比对照的增加 33.1%和 29.9%); UN 处理的花生壳氮累积量

及其所占比例显著降低(分别比对照的降低 39.2%和 44.7%); CBP 处理的花生壳氮累积量所占比例显著降低(比对照的降低 43.3%)。除 MKP 处理外, 其他 3 种叶面肥处理的花生仁中氮累积量及所占比例分别高于对照 15.2%~89.0%和 12.4%~20.0%。CBP 处理的总氮累积量显著增加(比对照的高 68.0%)。说明喷施 CBP 可促进花生对氮的吸收利用, 提高氮在叶片和花生仁中所占的比例。

表 5 喷施不同叶面肥花生的氮吸收及分配

Table 5 The nutrient uptake and distribution in peanut with spraying different foliar fertilization

处理	累积量/g					所占比例/%					总累积量/g
	根	茎	叶	花生壳	花生仁	根	茎	叶	花生壳	花生仁	
CK	0.217a	0.188b	0.226d	0.148b	0.309d	19.95a	17.28a	20.77c	13.60b	28.40b	1.088b
MKP	0.130b	0.188b	0.260cd	0.134b	0.267e	13.28b	19.20a	26.56b	13.69b	27.27b	0.979b
UN	0.147b	0.159bc	0.393b	0.090c	0.408b	12.28b	13.28b	32.83a	7.52c	34.09a	1.197b
AOS	0.146b	0.120c	0.296c	0.197a	0.356c	13.09b	10.76c	26.55b	17.67a	31.93ab	1.115b
CBP	0.221a	0.344a	0.538a	0.141b	0.584a	12.09b	18.82a	29.43ab	7.71c	31.95ab	1.828a

同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); 累积量以钵计。

3 结论与讨论

应用化控技术培育丰产株型和群体结构已成为调控花生生长发育、实现高产的有效措施之一。当前新型植物生长调节剂的研发已转向对植物生长发育的全程安全调控^[20-21]。海藻及其提取物在多种作物上表现出良好的促生长效果, 且来源丰富, 安全环保, 作为新型植物生长调节剂具有广阔的市场前景^[10,22]。光合作用是作物生长发育的基础, 也是评价植物生长调节剂的重要依据^[23]。本研究结果表明, 喷施 AOS 可增加花生功能叶片 SPAD 值, 提高 Gs 和 Pn, 从而促进光合作用进行, 最终通过增加结果数和提高百果质量来实现增产。在其他作物上的研究结果^[24-27]显示, AOS 可促进植物对光能的捕获及转化, 提高光能利用效率, 主要归因于其对类囊体膜结构的改变和功能的改善, 最终通过提高碳代谢相关酶活性, 促进碳水化合物积累和产量增加, 这可能也是本试验中喷施 AOS 促进花生增产的主要原因。

本试验中, 喷施 CBP 可提高花生功能叶片 SPAD 值, 并能通过提高 Gs 和 Ci, 降低 Ls, 来提高其光合效率。据报道^[28], 叶面喷施一定浓度的水杨酸溶液可提高花生叶片 Pn、Tr、Gs 和 WUE; 外源水杨酸还能诱导花生叶片中苯丙氨酸解氨酶

(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)等防御酶活性的提高, 从而使其获得系统抗性^[29]。本试验中, CBP 含有 AOS、水杨酸等物质, 其对花生光合作用的促进效果可能是多种物质协同作用的结果。此外, 花生是需氮较多的作物, 外源氮肥对其生长的促进主要表现为提供氮素营养, 促进多种含氮化合物(如蛋白质和核酸)的形成、叶绿素的合成以及相关酶活性和光合作用的增强^[30]。本试验中, 喷施 CBP 可促进花生对氮素的吸收利用, 并能提高氮素在叶片中的比例, 在一定程度上也有利于光合作用的进行。

前人^[31-32]研究发现, 喷施植物生长调节剂可增强花生的光合效能, 促进光合产物向荚果中运输。本试验中, 喷施 AOS 可增加花生分枝数、主茎高和侧枝长, 促进花生干物质积累, 提高根冠比和收获指数。但花生生育中期植株旺长, 易出现倒伏、叶斑病频发等现象, 故生产中常采用喷施多效唑控制植株旺长, 降低株高^[6,12]。本试验中, 喷施 AOS 处理可增加花生的主茎高, 而喷施 CBP 处理不仅主茎高未增加, 且产量较 AOS 处理的进一步提高, 这主要归因于分枝数和侧枝长增加引起的结果数增多, 但其调控机制还需作进一步研究。

综上, 本试验条件下, 用 AOS 和 CBP 作叶面肥均能促进花生增产, 其中以 CBP 施用效果更优。

参考文献:

- [1] 杨丽萍, 郭洪海, 朱振林, 等. 中国花生生态适宜性评价研究[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(3): 461–468. YANG L P, GUO H H, ZHU Z L, et al. Ecological suitability evaluation of peanut plantation in China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2019, 41(3): 461–468.
- [2] LIU Z, GAO F, LIU Y, et al. Timing and splitting of nitrogen fertilizer supply to increase crop yield and efficiency of nitrogen utilization in a wheat-peanut relay intercropping system in China[J]. Crop Journal, 2019, 7(1): 101–112.
- [3] 沈浦, 罗盛, 吴正峰, 等. 花生磷吸收分配及根系形态对不同酸碱度叶面磷肥的响应特征[J]. 核农学报, 2015, 29(12): 2418–2424. SHEN P, LUO S, WU Z F, et al. Response of P absorption-allocation rate and root morphology of peanut to P foliar fertilizers with different acidities[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2015, 29(12): 2418–2424.
- [4] 梁雄, 彭克勤, 杨毅. 叶面施肥对花生光合作用和植物激素的影响[J]. 作物研究, 2011, 25(1): 15–18. LIANG X, PENG K Q, YANG Y. Effect of foliage spraying on photosynthetic indexes and plant hormones of peanut at blossom stage[J]. Crop Research, 2011, 25(1): 15–18.
- [5] 罗盛, 杨友才, 沈浦, 等. 花生氮素吸收、根系形态及叶片生长对叶面喷施尿素的响应特征[J]. 山东农业科学, 2015, 47(10): 45–48. LUO S, YANG Y C, SHEN P, et al. Response characteristics of peanut nitrogen uptake, root morphology and leaf growth to foliar-spraying urea[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015, 47(10): 45–48.
- [6] 张佳蕾, 王媛媛, 孙莲强, 等. 多效唑对不同品质类型花生产量、品质及相关酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2850–2856. ZHANG J L, WANG Y Y, SUN L Q, et al. Effects of paclobutrazol on the yield, quality, and related enzyme activities of different quality type peanut cultivars[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(10): 2850–2856.
- [7] 黄辉, 刘登望, 李林, 等. 渍涝胁迫后喷施植物生长调节剂对花生生长及产量品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(2): 124–129. HUANG H, LIU D W, LI L, et al. Effects of spraying plant growth regulators on peanut growth and yield and quality under waterlogging stress[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2018, 44(2): 124–129.
- [8] 袁志华, 程波, 常玉海, 等. 15%多效唑可湿性粉剂对土壤微生物多样性的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 1848–1852. YUAN Z H, CHENG B, CHANG Y H, et al. Influence of paclobutrazol on microbial diversity in soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(5): 1848–1852.
- [9] LIU Z J, WEI X, REN K W, et al. Highly efficient detection of paclobutrazol in environmental water and soil samples by time-resolved fluoroimmunoassay[J]. The Science of the Total Environment, 2016, 569/570: 1629–1634.
- [10] ZHANG C G, WANG W X, ZHAO X M, et al. Preparation of alginate oligosaccharides and their biological activities in plants: a review[J]. Carbohydrate Research, 2020, 494: 108056.
- [11] 陈迪文, 周文灵, 敖俊华, 等. 海藻提取物对甜玉米产量、品质及氮素利用的影响[J]. 作物杂志, 2020(2): 134–139. CHEN D W, ZHOU W L, AO J H, et al. Effects of seaweed extract on yield, quality and nitrogen use efficiency of sweet corn[J]. Crops, 2020(2): 134–139.
- [12] 张佳蕾, 李向东, 杨传婷, 等. 多效唑和海藻肥对不同品质类型花生产量和品质的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(3): 322–328. ZHANG J L, LI X D, YANG C T, et al. Effects of foliar application of paclobutrazol and seaweed fertilizer on yield and quality of peanut types[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37(3): 322–328.
- [13] 张翠翠, 杨首乐, 寇长林, 等. 基于灰色关联度分析对新型水溶肥料在花生喷施效果的优选[J]. 土壤通报, 2012, 43(6): 1486–1490. ZHANG C C, YANG S L, KOU C L, et al. Optimization of spraying new-type water-soluble fertilizers in peanuts production based on grey relational analysis model[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(6): 1486–1490.
- [14] 杨芳, 戴津权, 梁春蝉, 等. 农用海藻及海藻肥发展现状[J]. 福建农业科技, 2014(3): 72–76. YANG F, DAI J Q, LIANG C C, et al. Current developing situation of agricultural seaweed and seaweed fertilizer[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2014(3): 72–76.
- [15] ZHANG Y H, YIN H, ZHAO X M, et al. The promoting effects of alginate oligosaccharides on root development in *Oryza sativa* L. mediated by auxin signaling[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 113: 446–454.
- [16] 张运红, 孙克刚, 杜君, 等. 海藻酸钠寡糖提高水稻幼苗对镉胁迫的抗性[J]. 中国土壤与肥料, 2017(4): 140–146. ZHANG Y H, SUN K G, DU J, et al. Alginate oligosaccharides enhanced the resistance of *Oryza sativa* L. to cadmium stress[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2017(4): 140–146.
- [17] LIU H, ZHANG Y H, YIN H, et al. Alginate oligosaccharides enhanced *Triticum aestivum* L. tolerance to drought stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2013, 62: 33–40.
- [18] 汤丰收, 张新友, 张俊, 等. 高油、高产花生新品种豫花 9326 抗旱生理特性及生产适应性研究[J]. 花生学报, 2014, 43(3): 7–12.

- TANG F S ,ZHANG X Y ,ZHANG J ,et al .Research on physiological characteristics of drought resistance and productive adaptability of new peanut variety yuhua 9326 with high oil and high yield[J] . Journal of Peanut Science , 2014 , 43(3) : 7-12 .
- [19] 司贤宗,张翔,索炎炎,等.潮土区花生不同基因型品种对养分吸收、分配和利用的差异[J].山西农业科学,2017,45(9):1487-1491.
- SI X Z ,ZHANG X ,SUO Y Y , et al . Differences of different genotype peanut varieties on major nutrient element uptake ,distribution and utilization in fluvo-aquic soil area[J] . Journal of Shanxi Agricultural Sciences , 2017 , 45(9) : 1487-1491 .
- [20] 张佳蕾,郭峰,张凤,等.提早化控对高产花生个体发育和群体结构影响[J].核农学报,2018,32(11):2216-2224.
- ZHANG J L ,GUO F ,ZHANG F ,et al .Effects of earlier chemical control on ontogeny and population structure of high yield peanut[J] .Acta Agriculturae Nucleatae Sinica , 2018 , 32(11) : 2216-2224 .
- [21] 余清,杨知建,张志飞.植物生长调节剂调控草坪草生长的研究进展[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2005,31(3):347-352.
- YU Q ,YANG Z J ,ZHANG Z F .Advances in studies on regulation of lawn grass growth by plant growth regulators[J] . Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences) , 2005 , 31(3) : 347-352 .
- [22] COURTOIS J . Oligosaccharides from land plants and algae : production and applications in therapeutics and biotechnology[J] . Current Opinion in Microbiology , 2009 , 12(3) : 261-273 .
- [23] 钟瑞春,陈元,唐秀梅,等.3种植物生长调节剂对花生的光合生理及产量品质的影响[J].中国农学通报,2013,29(15):112-116.
- ZHONG R C ,CHEN Y ,TANG X M ,et al .Effect of three growth regulators on photosynthetic physiology , yield and quality of peanut[J] . Chinese Agricultural Science Bulletin , 2013 , 29(15) : 112-116 .
- [24] 张庚,张运红,赵凯,等.海藻酸钠寡糖对菜薹光合特性和碳代谢的影响[J].中国农学通报,2011,27(4):153-159.
- ZHANG G ,ZHANG Y H ,ZHAO K , et al . Effects of alginate derived oligosaccharide on photosynthetic characteristics and carbon metabolism of *Brassica campestris* L . ssp . *chinensis* var . *utilis* Tsen et Lee[J] . Chinese Agricultural Science Bulletin , 2011 , 27(4) : 153-159 .
- [25] 张运红,和爱玲,孙克刚,等.海藻酸钠寡糖对菜心类囊体膜组成及特性的影响[J].西北农业学报,2016,25(1):129-135.
- ZHANG Y H ,HE A L ,SUN K G , et al . Effects of alginate-derived oligosaccharides on composition and characteristic of thylakoid membrane of *Brassica chinensis*[J] . Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica , 2016 , 25(1) : 129-135 .
- [26] 张运红,孙克刚,杜君,等.海藻寡糖增效尿素对水稻光合特性及碳代谢产物积累的影响[J].中国土壤与肥料,2016(3):54-59.
- ZHANG Y H ,SUN K G ,DU J , et al . Effects of alginate-derived oligosaccharides synergistic urea on the photosynthetic characteristics and accumulation of carbon metabolites in rice[J] . Soil and Fertilizer Sciences in China , 2016(3) : 54-59 .
- [27] 张运红,和爱玲,杨占平,等.海藻酸钠寡糖灌根处理对小麦光合特性、干物质积累和产量的影响[J].江西农业学报,2018,30(11):1-5.
- ZHANG Y H ,HE A L ,YANG Z P , et al . Effects of root-irrigation with alginate oligosaccharide solution on photosynthetic characteristics , dry matter accumulation and yield of wheat[J] . Acta Agriculturae Jiangxi , 2018 , 30(11) : 1-5 .
- [28] 韩艳,韩晨光,崔荣华,等.外源水杨酸对UV-B增强下花生叶片光合特性的影响[J].中国农业气象,2016,37(4):437-444.
- HAN Y ,HAN C G ,CUI R H ,et al .Effects of exogenous salicylic acid on photosynthetic characteristics of peanut leaves under elevated UV-B radiation[J] . Chinese Journal of Agrometeorology , 2016 , 37(4) : 437-444 .
- [29] 鄢洪海,赵志强,王琰,等.水杨酸处理对花生主要防御酶活性的影响[J].花生学报,2006,35(4):20-22.
- YAN H H ,ZHAO Z Q ,WANG Y , et al . Change of defense enzymatic activities after treatment with different salicylic acid in peanut[J] . Journal of Peanut Science , 2006 , 35(4) : 20-22 .
- [30] 孙虎,李尚霞,王月福,等.施氮量对不同花生品种积累氮素来源和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):153-157.
- SUN H ,LI S X ,WANG Y F , et al . Effects of nitrogen application on source of nitrogen accumulation and yields of different peanut cultivars[J] . Plant Nutrition and Fertilizer Science , 2010 , 16(1) : 153-157 .
- [31] 陈雷,李可,吴继华,等.3种植物生长调节剂对花生叶绿素和产量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(20):122-124.
- CHEN L ,LI K ,WU J H , et al . Effect of three plant growth regulators on chlorophyll and yield of peanut[J] . Journal of Anhui Agricultural Sciences , 2018 , 46(20) : 122-124 .
- [32] 陈湘瑜,徐日荣,陈昊,等.4种植物生长调节剂在花生上的应用效果研究[J].现代农业科技,2020(10):84-85.
- CHEN X Y ,XU R R ,CHEN H , et al . Research on application of four plant growth regulators in peanut production[J] . Modern Agricultural Science and Technology , 2020(10) : 84-85 .

责任编辑:毛友纯

英文编辑:柳正