

## 外源激素及抑制剂对酸化土壤花生 激素含量及生长发育的影响

吕荣臻<sup>1</sup> 买合木提·肉孜<sup>2</sup> 张勇<sup>2</sup> 买合木提·热木图拉<sup>2</sup>  
牙尔买买提·阿力木<sup>2</sup> 张建成<sup>3</sup> 于天一<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>莱阳市农业技术推广中心, 265200, 山东烟台; <sup>2</sup>喀什地区农业技术推广中心, 844000, 新疆喀什;

<sup>3</sup>山东省花生研究所, 266100, 山东青岛)

**摘要** 为明确外源激素对土壤酸化胁迫下花生生长发育的调控机制, 采用盆栽试验, 研究了外源施用生长素 (IAA)、赤霉素 (GA<sub>3</sub>)、生长素抑制剂 (TIBA) 和赤霉素抑制剂 (PAC) 对酸化土壤花生植株激素含量、形态特征、养分吸收及产量的影响。结果表明, 与对照相比, 施用 IAA 提高了关键生育时期花生叶片和荚果中 IAA 含量, 改善了荚果氮素营养, 提高了收获指数、百果重和出米率, 增产显著。施用 GA<sub>3</sub> 导致花生主茎和侧枝冗余生长, 抑制了磷、钾和钙在荚果中的积累, 显著降低了单株有效果数和收获指数, 导致减产。施用 TIBA 和 PAC 均不利于花生植株和根系生长, 抑制了养分吸收, 显著减产, 其中 PAC 的负面效应更大, 花生几乎无法正常生长。综上, 外源施用 IAA 是缓解花生土壤酸化胁迫的有效措施, 而 GA<sub>3</sub>、TIBA 和 PAC 不利于酸化土壤花生生长发育。

**关键词** 酸化土壤; 外源激素; 激素抑制剂; 花生; 形态指标; 内源激素

我国是世界上最大的花生生产和消费国, 年产量居世界首位, 花生是我国农业领域的特色农产品, 在保障我国油脂供应和食品安全中占有十分重要的地位, 对提升我国花生产能和质量具有举足轻重的意义。土壤酸化是近几十年来最严重的土地退化问题之一。测土配方施肥结果<sup>[1]</sup>显示, 我国 pH 5.5~6.5 的弱酸性和 pH 5.0~5.5 的酸性土壤分别占全国土壤总面积的 28.39% 和 14.33%, 有相当一部分花生种植在酸化土壤上。酸化土壤对花生生长发育的影响主要表现在以下两方面, 一是酸化土壤中较高的有害金属离子 (铝、锰等) 能够直接伤害花生根系, 导致细根减少, 进而影响花生对养分和水分的吸收<sup>[2-4]</sup>; 二是酸化土壤上花生极易发生缺钙现象, 光合产物向荚果中运输受阻, 导致荚果空秕, 收获指数下降, 产量显著降低<sup>[5]</sup>。因此, 土壤酸化已成为限制花生产量进一步提升的主要因素。

植物激素参与调控作物生长发育过程, 同时在作物抗逆性方面起重要作用。生长素和赤霉素是目前应用最为普遍的 2 种外源激素。生长素在

细胞分裂、生长、调节离子跨膜运输、向性反应及坐果等方面发挥着重要作用<sup>[6-7]</sup>, 也是植物响应铝胁迫过程中的关键信号调控因子<sup>[4]</sup>。铝胁迫导致拟南芥根尖转换区合成大量生长素, 进而抑制主根生长<sup>[8]</sup>。当玉米遭受铝胁迫时, 根尖生长素合成受到抑制, 进而对玉米根系生长产生负面影响, 外源施用生长素突变体能够显著缓解铝胁迫, 促进根系生长<sup>[9]</sup>。另有研究<sup>[10-11]</sup>表明, 无论是将生长素喷施在花生茎秆上还是直接作用于果针和幼果, 均能显著提高花生产量。赤霉素具有诱导细胞伸长、促进种子萌发、打破种子休眠、促进茎伸长及花粉成熟和果实生长等作用<sup>[12]</sup>。花生根系中赤霉素含量与根系干重、总长度、体积和表面积均呈显著或极显著正相关关系<sup>[13]</sup>。赤霉素在花生荚果膨大初期对荚果发育起正向调控作用<sup>[14]</sup>。有研究<sup>[15]</sup>证实, 外源施用赤霉素能够提高叶片光合作用的抗氧化能力, 能增强番茄幼苗的耐铝性。生长素和赤霉素在花生生长发育和作物耐铝性方面起重要作用, 而铝毒害并非是酸化土壤中的唯一胁迫因子, 酸化土壤中锰毒害以及盐基离子 (钙、

作者简介: 吕荣臻, 主要从事农业技术推广工作, E-mail: 13964592979@163.com

张建成成为通信作者, 主要从事花生育种、食品质量与安全相关研究, E-mail: 13863920622@163.com; 于天一为共同通信作者, 主要从事花生栽培生理相关研究, E-mail: tianyi\_1984@126.com

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项“新疆花生绿色丰产增效及农机农艺融合技术研发”(2022A02008-4)

收稿日期: 2024-03-05; 修回日期: 2024-08-14; 网络出版日期: 2025-01-13

镁、钠、钾)的缺失也是影响花生生长发育的重要因素。不同类型激素能否促进酸化胁迫下花生生长发育以及对酸化胁迫的缓解程度还不清楚。因此,本文研究外源施用生长素、赤霉素及 2 种激素抑制剂对酸化土壤花生植株激素含量、形态特征、养分吸收及产量的影响,为酸化土壤花生高产高效种植提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

盆栽试验在山东省花生研究所莱西试验基地(120°53'E, 36°86'N)防雨棚内进行。供试土壤为棕壤土,取自山东省日照市三庄镇贾家沟村,0~20 cm 土层土壤基础理化性质如下, pH 4.7、有机质 11.59 g/kg、碱解氮 96.45 mg/kg、速效磷 102.22 mg/kg、速效钾 102.7 mg/kg、有效钙 0.61 g/kg。试验所用塑料桶桶口直径 29 cm,桶底直径 23 cm,桶高 26.5 cm,桶底打 1 个直径 2 cm 的孔,防止积水涝害。将复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:15:15)与土壤混匀后倒入桶中压实,保持土面与桶上沿的距离为 2 cm。每盆土重 20 kg,施用复合肥 6.67 g。每盆播 3 粒种子,出苗后间苗 1 株,每盆保留 2 株花生。供试花生品种为花育 36,该品种由山东省花生研究所选育,为山东省主栽品种之一。

试验采用随机区组设计,设 5 个处理,包括不施激素(CK)、施用生长素(IAA)、施用生长素抑制剂(TIBA)、施用赤霉素(GA<sub>3</sub>)和施用赤霉素抑制剂(PAC)。每个处理重复 15 次,共 75 盆。将不同激素分别溶于蒸馏水中,浓度均为 0.05 mmol/L,在花针末期和结荚初期分别向土壤中施入含有不同激素的水溶液 200 mL。整个生育期采用蒸馏水灌溉,每次灌溉量为 1 L/盆,不再另外进行控旺,其他农事操作同当地常规水平。

### 1.2 测定指标与方法

在结荚中期和成熟期,每个处理分别选取有代表性的 3 盆花生植株,测定叶片和荚果中的生长素等激素含量,考察根系形态。在成熟期另选取 3 盆花生植株测产、考种,并测定不同器官氮、磷、钾、钙养分含量。

1.2.1 激素含量 分别取主茎倒三叶和第一对侧枝上的荚果,将叶片和洗净后的荚果立即置于液

氮中速冻,放在-80℃冰箱中冷冻保存,用酶联免疫法测定生长素和赤霉素含量,试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。

1.2.2 根系形态 把花生地上部与根系剪开后,捡拾土壤中散落的根系,用流水冲洗干净,放置于 100 目的筛子上防止脱落的根系被水冲走。将根系放入冰盒带回实验室冲洗干净后扫描。采用 EPSON Scan 扫描仪进行扫描,分辨率为 300 bpi。扫描时在配套的透明托盘内加水,水面厚约 1 cm,将根系平放于水面上,用镊子把根系舒展开,避免根系分支互相缠绕。扫描后保存图像,采用 WinRHIZO 根系分析系统(Regent 公司)对根系扫描图像进行分析,并计算不同直径根的根长、根表面积及根体积。

1.2.3 植株形态、养分含量、干物质重及产量构成因素 用直尺量取主茎高和侧枝长,并统计分枝数、单株有效果数、百果重和出米率。除去杂质和无效果(虫、芽、烂、幼)后,将有经济价值的荚果烘干称重,所得的重量即为单株产量。

将植株分为荚果和其他器官(根、茎、叶和果针)两部分,然后 105℃杀青 1 h,于 80℃烘干至恒重后称重,随后粉碎、过筛,用于养分含量测定。粉未经硫酸-双氧水消煮后定容、过滤,用凯氏定氮法测定全氮含量;用钼锑抗比色法测定全磷含量;用火焰光度法测定全钾含量。采用硝酸-双氧水微波消解粉末,然后用电感耦合等离子体质谱(ThermoFisher X Series2)测定全钙含量。某器官氮(磷、钾、钙)积累量=某器官全氮(磷、钾、钙)含量×该器官干物质重。

### 1.3 数据处理

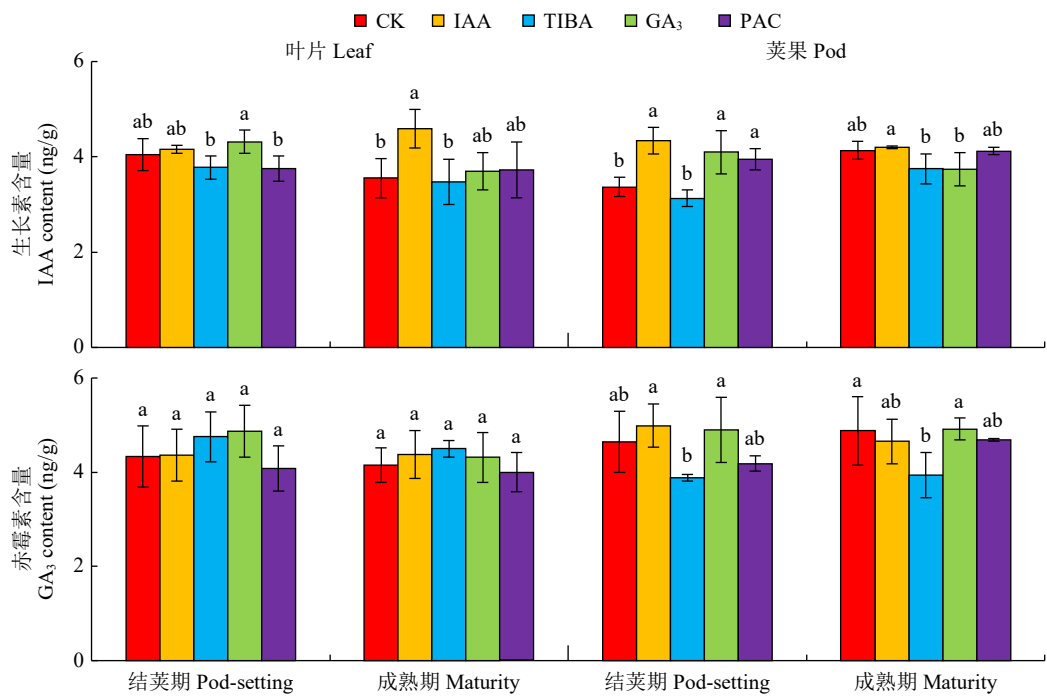
用 SPSS 13.0 统计软件进行方差分析(LSD 法),用 Microsoft Excel 2007 软件整理数据及作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 植株激素含量对外源激素及抑制剂的响应

与对照相比,施用生长素显著提高了成熟期叶片和结荚期荚果生长素含量,而对荚果和叶片中赤霉素含量的影响不显著;施用生长素抑制剂对叶片和荚果的生长素含量影响较小,但显著降低了成熟期荚果中的赤霉素含量;施用赤霉素和赤霉素抑制剂显著提高了结荚期荚果的生长素含

量，而对荚果和叶片中赤霉素含量的影响不显著（图 1）。



不同小写字母表示处理间差异达  $P < 0.05$  显著水平，下同。  
The different lowercase letters indicate significant differences among treatments at  $P < 0.05$  level, the same below.

图 1 外源激素及激素抑制剂对花生叶片和荚果激素含量的影响  
Fig.1 Effects of exogenous hormones and hormone inhibitors on hormone content in peanut leaves and pods

2.2 植株形态对外源激素及抑制剂的响应

图 2 显示，施用赤霉素促进了花生植株生长，主茎高和侧枝长较对照分别显著高出 41.40%和 34.33%。施用 2 种抑制剂均阻碍了花生植株生长，其中赤霉素抑制剂对花生植株的影响最大，该处理

花生主茎高、侧枝长和分枝数均显著低于对照，降幅分别为 64.40%、68.96%和 41.38%；生长素抑制剂则显著降低了花生侧枝长。施用生长素处理的 3 个植株形态指标与对照的差异均不显著。上述结果表明，赤霉素对植株主茎高和侧枝生长起积极作

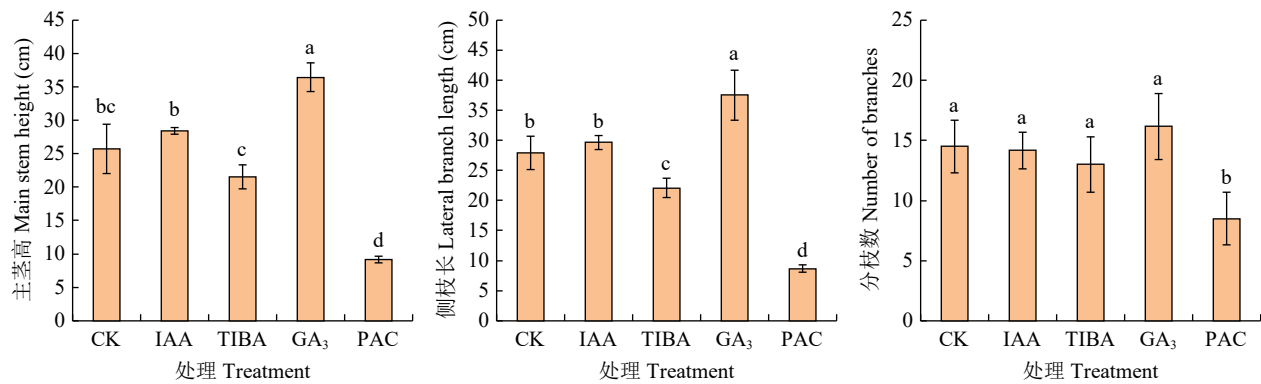


图 2 外源激素及激素抑制剂对花生植株形态的影响  
Fig.2 Effects of exogenous hormones and hormone inhibitors on plant morphology of peanut

用，而 2 种激素抑制剂起相反作用。  
表 1 显示，施用 2 种抑制剂均阻碍了花生结荚期和成熟期 0~0.5 mm 直径根系的生长，促进了 >1 mm 根系生长，其中生长素抑制剂处理 0~0.5 mm 直径根长、根表面积和根体积 2 个时期均

显著低于对照，而成熟期 >1 mm 根长和表面积均显著高于对照；赤霉素抑制剂显著降低了结荚期 0~0.5 mm 根体积和成熟期直径 0~0.5 mm 根长、根表面积和根体积，而结荚期 >1 mm 根表面积则显著高于对照。与对照相比，生长素抑制剂还显

著降低了 2 个生育期花生总根长和根表面积，赤霉素抑制剂显著降低了成熟期花生总根长和根表面积。另外，施用生长素和赤霉素处理的花生不同直径的根长、根体积及根表面积与对照均无显著差异。上述结果表明，施用 2 种激素抑制剂阻碍了花生细根生长发育，使根系总量减少，而对

表 1 外源激素及激素抑制剂对花生根系形态的影响  
Table 1 Effects of exogenous hormones and hormone inhibitors on root morphology of peanut

指标 Index	根直径 Root diameter	结荚期 Pod-setting					成熟期 Maturity				
		CK	IAA	TIBA	GA <sub>3</sub>	PAC	CK	IAA	TIBA	GA <sub>3</sub>	PAC
根长 Root length (cm)	0~0.5 mm	441.90a	440.12a	265.11b	451.84a	355.67ab	13 775.65a	13 511.13a	6242.60b	13 198.39a	4327.48b
	0.5~1 mm	105.84a	118.90a	113.21a	106.72a	106.09a	2681.68a	2241.02a	1975.85a	2541.59a	1670.78a
	>1 mm	6.37ab	7.22ab	7.90a	6.24b	7.41ab	696.16bc	554.12c	961.74a	846.64ab	914.42ab
	总计	554.11a	566.24a	386.22b	564.79a	469.18ab	17 153.49a	16 306.28a	9180.20b	16 586.62a	6912.67b
根表面积 Root surface area (cm <sup>2</sup> )	0~0.5 mm	38.77ab	38.09ab	24.39c	39.96a	31.11bc	1181.79a	1051.56a	570.53b	1116.67a	375.68b
	0.5~1 mm	23.26a	26.39a	25.22a	23.15a	23.45a	574.64a	483.96a	434.43a	562.74a	374.31a
	>1 mm	3.05b	3.01b	3.76ab	3.55ab	4.02a	376.18b	335.78b	538.26a	454.03ab	443.75ab
	总计	65.08a	67.49a	53.38b	66.66a	58.58ab	2132.60a	1871.29ab	1543.22bc	2133.43a	1193.73c
根体积 Root volume (cm <sup>3</sup> )	0~0.5 mm	0.32a	0.31a	0.21b	0.33a	0.26b	9.48a	8.00a	4.88b	9.01a	3.16b
	0.5~1 mm	0.42a	0.48a	0.46a	0.42a	0.43a	10.17a	9.42ab	7.89ab	9.73a	6.92b
	>1 mm	0.16ab	0.2ab	0.21ab	0.16b	0.21a	26.96a	21.30a	32.37a	25.69a	25.64a
	总计	0.90a	1.00a	0.89a	0.90a	0.90a	46.61a	38.73a	45.14a	44.43a	35.73a

不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平，下同。  
Different lowercase letters indicate significant differences among treatments at 0.05 level, the same below.

粗根有一定促进作用。

2.3 植株养分积累量对外源激素及抑制剂的响应

由图 3 和表 2 可知，与对照相比，施用生长素显著提高了荚果氮积累量，却显著降低了荚果钙积累量，对植株磷、钾积累量及各器官养分累

积比例无显著影响。施用赤霉素显著降低了荚果钾和钙积累量，并显著降低了磷和钾在荚果中的分配比例；施用生长素抑制剂显著降低了荚果钾积累量及其分配比例和其他器官（根、茎、叶和果针的混合物）钙积累量；施用赤霉素抑制剂虽

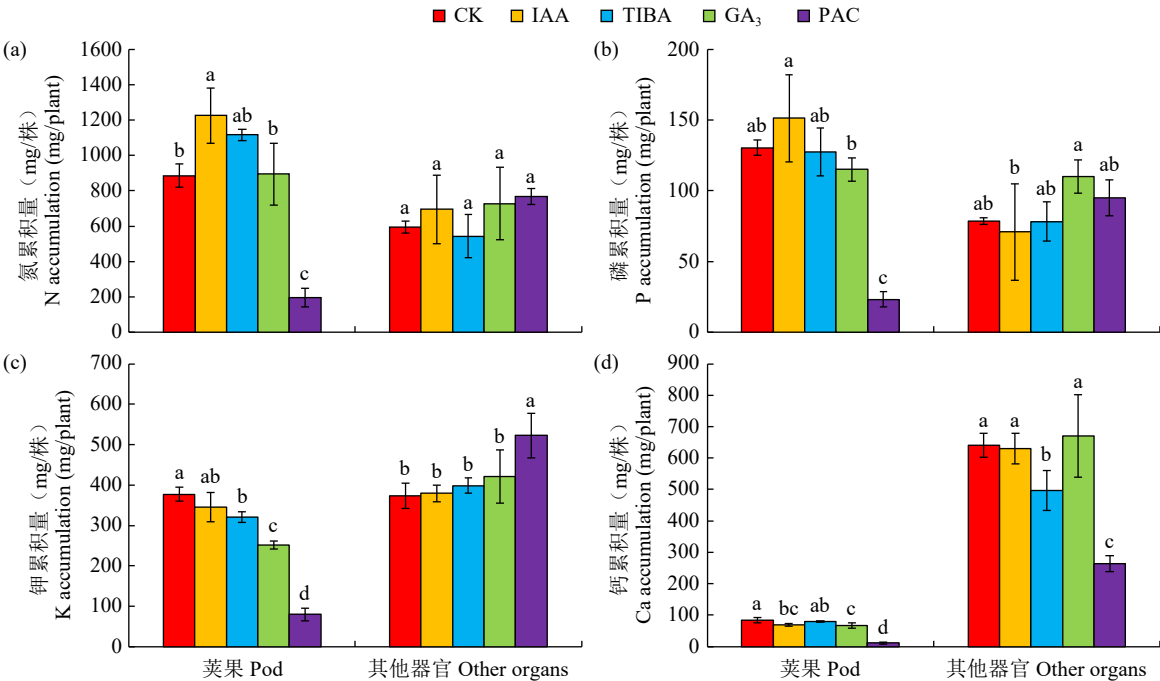


图 3 外源激素及激素抑制剂对花生植株养分积累量的影响  
Fig.3 Effects of exogenous hormones and hormone inhibitors on nutrient accumulation of peanut plants

表 2 外源激素及激素抑制剂对花生植株不同器官养分分配的影响  
Table 2 Effects of exogenous hormones and hormone inhibitors on nutrient distribution of different organs %

处理 Treatment	N		P		K		Ca	
	荚果 Pod	其他器官 Other organs	荚果 Pod	其他器官 Other organs	荚果 Pod	其他器官 Other organs	荚果 Pod	其他器官 Other organs
CK	59.79ab	40.21bc	62.45a	37.55c	50.28a	49.72d	11.57ab	88.43bc
IAA	64.29ab	35.71bc	69.23a	30.77c	47.59ab	52.41cd	10.05b	89.95b
TIBA	67.49a	32.51c	62.09a	37.91c	44.58b	55.42c	14.02a	85.98c
GA <sub>3</sub>	55.55b	44.45b	51.17b	48.83b	37.62c	62.38b	9.46b	90.54b
PAC	19.94c	80.06a	19.68c	80.32a	13.19d	86.81a	4.03c	95.97a

显著提高了其他器官中的钾累积量，却大幅度降低了荚果中的氮、磷、钾、钙累积量及其分配比例。上述结果表明，施用生长素对花生荚果有“促氮抑钙”的作用，而施用赤霉素和 2 种抑制剂对花生养分累积多为抑制作用，其中赤霉素和赤霉素抑制剂主要抑制了荚果的养分累积，其中赤霉素抑制剂的影响更大。

2.4 产量及其构成因素对外源激素及抑制剂的响应

由表 3 可知，与对照相比，施用生长素显著提高了花生产量，增幅为 9.65%，增产的原因是提高了百果重和出米率，另外施用生长素虽然显著降低了其他器官干重，但显著提高了收获指数。而施用赤霉素和 2 种抑制剂均显著降低了花生产

量，其中生长素抑制剂和赤霉素减产的原因是降低单株有效果数。施用赤霉素虽显著提高了其他器官干重，却使收获指数降低了 8.9 个百分点。而生长素抑制剂导致整株花生生物产量下降，而收获指数并未发生显著变化。赤霉素抑制剂处理的花生产量降幅高达 83.31%，该处理下单株有效果数、百果重、收获指数和生物产量均显著降低。上述结果表明，施用生长素主要是促进荚果发育，提高收获指数，进而显著增产。而赤霉素虽然能促进植株茎、叶及果针等无经济价值器官的生长，但抑制了荚果发育，导致营养生长和生殖生长比例失调，进而减产。而 2 种抑制剂均显著抑制了花生其他器官和荚果的发育，其中赤霉素抑制剂的负面影响更大。

表 3 外源施用激素及激素抑制剂对花生产量、产量构成因素及干物质重的影响  
Table 3 Effects of exogenous hormones and hormone inhibitors on yield and its component as well as dry matter weight of peanut

处理 Treatment	单株有效果数 Effective pods per plant	百果重 100-pod weight (g)	出米率 Shelled kernel rate (%)	其他器官干重 (g/株) Dry weight of other organs (g/plant)	产量 (g/株) Yield (g/plant)	生物产量 (g/株) Biomass yield (g/plant)	收获指数 Harvest index (%)
CK	40.17a	47.71b	61.84bc	24.89b	19.17b	44.06a	43.50b
IAA	37.67a	55.79a	68.45a	19.95c	21.02a	40.97a	51.30a
TIBA	29.67b	56.86a	62.59bc	18.71c	16.87c	35.58b	47.42b
GA <sub>3</sub>	26.80b	57.99a	65.29ab	29.38a	15.54c	44.92a	34.60c
PAC	12.17c	26.33c	60.07c	15.93c	3.20d	19.13c	16.75d

3 讨论

土壤酸化缺钙导致花生器官中 ATP 酶及 ATP 合成酶活性降低，体内能量减少，光合产物转化运输速率低，运输不畅通，使得更多的糖滞留于营养体和针壳中，导致籽仁发育不良或败育最终减产<sup>[16-17]</sup>。外源激素是促进花生生长发育以及提高花生抗逆性的重要方式之一。本研究表明，施用生长素能够提高花生百果重和出米率，有效缓

解酸化胁迫，主要是因为生长素具有促进细胞分裂、伸长和分化的作用，促进子房膨大，增加胚珠体积<sup>[18]</sup>，进而增加产量，这与 Peng 等<sup>[10]</sup>和林葆等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。生长素抑制剂可抑制顶端分生组织的分裂及伸长，消除顶端优势，与生长素起相反作用。本研究表明，外源施用生长素抑制剂不仅抑制花生营养生长，还阻碍荚果发育，主要是因为生长素抑制剂降低花生关键生育时期根长和根表面积，影响了根系对养分（尤其是钾

和钙)和水分的吸收,还抑制了主茎和侧枝正常生长,进而抑制光合作用,最终影响荚果发育。另外,该处理可能会抑制花生开花及果针形成,进而降低单株有效果数,这是导致其减产的另一重要原因。赤霉素能够促进植物细胞分裂,刺激茎的伸长生长,加速节间细胞生长,加快有丝分裂<sup>[19]</sup>。本研究也发现,外源施用赤霉素促进了花生主茎和侧枝生长。但外源施用赤霉素导致花生减产,这与侯风坤等<sup>[20]</sup>的观点不一致。原因可能是施用赤霉素虽然使花生主茎和侧枝伸长,但并未增加分枝数,表明外源施用赤霉素导致花生植株细长、瘦弱,植株徒长,许多高位果针无法入土,不仅消耗了大量营养,还造成单株有效果数下降。这种瘦高的株型不利于花生进行光合作用,无法为荚果正常生长提供足够的光合产物,营养生长和生殖生长比例失调,最终减产。生产上施用赤霉素抑制剂是控制花生营养体冗余生长、促进生殖生长的有效手段,是花生增产的重要技术途径之一<sup>[21]</sup>。而本研究表明,外源施用赤霉素抑制剂严重阻碍了花生根系、植株和荚果的生长发育,主要是因为第一次施用赤霉素抑制剂的时间较早(花针末期),此时花生根系、主茎和侧枝仍处于发育阶段,而赤霉素抑制剂阻断了花生的营养生长,导致其植株矮小,株型变差,光合效率下降,无法为荚果的生长发育提供足够的光合产物,进而严重减产。未来可利用转录组等技术手段,研究酸化胁迫下花生响应不同激素及激素抑制剂的分子机制,对相关调控基因进行挖掘和功能验证,以期更好地解析外源激素在调控花生生长发育及缓解土壤酸化胁迫中的作用。

## 4 结论

外源施用生长素能够改善花生荚果氮素吸收和生长素含量,促进荚果充实,提高收获指数,有效缓解土壤酸化胁迫。而外源施用赤霉素、赤霉素和生长素抑制剂不利于花生荚果发育、养分吸收和产量形成,加重土壤酸化胁迫。

### 参考文献

- [1] 杨帆,贾伟,杨宁,等.近30年我国不同地区农田耕层土壤的pH变化特征.植物营养与肥料学报,2023,29(7):1213-1227.
- [2] 杨伟波,李东霞,董志国,等.铝胁迫对海南花生根系的研究初报.热带农业科学,2013,33(11):12-15.
- [3] Dong Z X, Li Y B, Xiao X M, et al. Silicon effect on growth, nutrient uptake, and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under aluminum stress. Journal of plant nutrition, 2018, 41(15): 2001-2008.
- [4] Yan L, Riaz M, Li S, et al. Harnessing the power of exogenous factors to enhance plant resistance to aluminum toxicity; a critical review. Plant Physiology and Biochemistry, 2023, 203: 108064.
- [5] 于天一,王春晓,张思斌,等.土壤酸胁迫下不同花生品种(系)钙吸收、分配及钙效率差异.核农学报,2018,32(4):751-759.
- [6] Vanneste S, Friml J. Auxin: a trigger for change in plant development. Cell, 2009, 136(6): 1005-1016.
- [7] Woodward A W, Bonnie B. Auxin: regulation, action, and interaction. Annals of Botany, 2005, 95(5): 707-735.
- [8] Liu G C, Gao S, Tian H Y, et al. Local transcriptional control of YUCCA regulates auxin promoted root-growth inhibition in response to aluminium stress in Arabidopsis. PLoS Genetics, 2016, 12(10): 1006360.
- [9] Zhang M L, Lu X D, Li C L, et al. Auxin efflux carrier ZmPGP1 mediates root growth inhibition under aluminum stress. Plant Physiology, 2018, 177(2): 819-832.
- [10] Peng Q, Wang H Q, Tong J H, et al. Effects of indole-3-acetic acid and auxin transport inhibitor on auxin distribution and development of peanut at pegging stage. Scientia Horticulturae, 2013, 162(23): 76-81.
- [11] 林葆,周卫.花生荚果钙素吸收调控及其与钙素营养效率的关系.核农学报,1997,11(3):168-172.
- [12] 宋兆锋,陈小姝,李美君,等.低温胁迫下赤霉素对花生萌发特性的影响及转录组分析.花生学报,2023,52(3):8-19.
- [13] 邹晓霞,张晓军,王铭伦,等.土壤容重对花生根系生长性状和内源激素含量的影响.植物生理学报,2018,54(6):1130-1136.
- [14] 骆兵,刘风珍,万勇善,等.不同花生品种(系)荚果和子仁内源激素含量变化与干物质积累特征分析.作物学报,2013,39(11):2083-2093.
- [15] Khan A L, Waqas M, Hussain J, et al. Phytohormones enabled endophytic fungal symbiosis improve aluminum phytoextraction in tolerant *Solanum lycopersicum*: an examples of *penicillium janthinellum* LK5 and comparison with exogenous GA<sub>3</sub>. Journal of Hazardous Materials, 2015, 295(15): 70-78.
- [16] 于天一,王春晓,路亚,等.不同改良剂对酸化土壤花生钙素吸收利用及生长发育的影响.核农学报,2018,32(8):1619-1626.
- [17] 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.福建农业学报,2008,23(3):318-321.
- [18] 张新友,徐静,汤丰收,等.花生种间杂种胚胎发育及内源激素变化.作物学报,2013,39(6):1127-1133.
- [19] Achard P, Gusti A, Cheminant S, et al. Gibberellin signaling controls cell proliferation rate in *Arabidopsis*. Current Biology, 2009, 19(14): 1188-1193.
- [20] 侯风坤,张秀荣,刘风珍,等.外源GA和ABA对花生籽仁皱缩变异品系荚果生长的影响.西北植物学报,2018,38(4):661-670.
- [21] 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.应用生态学报,2013,24(10):2850-2856.

## Effects of Exogenous Hormones and Inhibitors on Hormone Content, Growth and Development of Peanut in Acidified Soil

Lü Rongzhen<sup>1</sup>, Maihemuti·Rouzi<sup>2</sup>, Zhang Yong<sup>2</sup>, Maihemuti·Remutula<sup>2</sup>,  
Yaermaimaiti·Alimu<sup>2</sup>, Zhang Jiancheng<sup>3</sup>, Yu Tianyi<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Agricultural Technology Promotion Center of Laiyang, Yantai 265200, Shandong, China;

<sup>2</sup>Agricultural Technology Promotion Center of Kashgar, Kashgar 844000, Xinjiang, China;

<sup>3</sup>Shandong Peanut Research Institute, Qingdao 266100, Shandong, China)

**Abstract** To clarify the regulatory mechanism of exogenous hormones on peanut growth and development under soil acidified stress, a pot experiment was conducted to investigate the effects of exogenous application of auxin (IAA), gibberellins (GA<sub>3</sub>), auxin inhibitor (TIBA) and gibberellin inhibitor (PAC) on the hormone content, morphological characteristics, nutrient absorption of peanut plants and yield in acidified soil. The results showed that, compared with the control, the application of IAA increased the IAA contents in leaves and pods during the critical growth period, improved pod nitrogen nutrition, increased harvest index, 100-pod weight and shelled kernel rate, which resulted in a higher yield. The application of GA<sub>3</sub> led to the redundant growth of main stems and lateral branches, the reduction of phosphorus, potassium and calcium accumulation in pods and the decrease of effective pods per plant and harvest index and further reduced yield. The applications of TIBA and PAC were not conducive to the growth of peanut plants and roots, inhibited nutrient absorption, and significantly reduced yield. The negative effects of PAC were even greater, and peanuts could hardly grow normally. To sum up, application of exogenous IAA was an effective measure to alleviate the soil acidified stress for peanut, while GA<sub>3</sub>, TIBA and PAC were not conducive to the growth and development of peanuts on acidified soil.

**Key words** Acidified soil; Exogenous hormone; Hormone inhibitor; Peanut; Morphological index; Endogenous hormone