

外源亚精胺对烟粉虱—黄瓜互作的影响

卢玉 张妍妍 陈海涛 李满鑫 白润娥 雷彩燕

(河南农业大学植物保护学院, 450046, 河南郑州)

摘要 以Q型烟粉虱(*Bemisia tabaci*)为试验材料,测定了烟粉虱—黄瓜互作过程中不同浓度外源亚精胺对寄主植物和烟粉虱生长发育的影响,并在生理水平探究外源亚精胺影响烟粉虱和寄主互作的机理。结果表明,烟粉虱取食后导致黄瓜株高、叶片质量、光合速率、可溶性蛋白含量、多酚含量和苯丙氨酸解氨酶活性下降,可溶性糖含量升高;而亚精胺处理能减轻烟粉虱对寄主植物的伤害,表现为促进寄主植物生长发育,提高光合能力,降低可溶性糖含量,提高可溶性蛋白、多酚含量和苯丙氨酸解氨酶活性。外源亚精胺对烟粉虱生长发育的影响表现为低浓度亚精胺(0.5 mmol/L)降低烟粉虱的产卵量和卵到1龄期存活率;高浓度亚精胺(2.0 mmol/L)显著延长烟粉虱的发育历期,降低3~4龄期的存活率。因此,在烟粉虱危害黄瓜过程中,外源亚精胺可以促进黄瓜生长发育,提高光合能力,改变营养特性,提高防御能力,同时还对烟粉虱的生长发育产生干扰,从而影响烟粉虱和寄主植物的互作。

关键词 亚精胺;烟粉虱—黄瓜互作;生长发育;生理机制

亚精胺(spermidine, Spd)是由小分子构成的多聚阳离子,属于三胺类多胺,由亚精胺合成酶(spermidine synthase, SPDS)经过丙氨基转移催化腐胺逐渐形成^[1-2]。亚精胺在植物生长中发挥着促进生长分化^[3]、延缓衰老^[4]、提高植物适应和防御低温、干旱等环境胁迫及病原物等生物胁迫的重要生物学功能^[5-6]。此外,亚精胺还可以提高植物抗虫性。例如,亚精胺显著增强了镉(Cd)胁迫下植物对斜纹夜蛾生长的抑制作用^[7]。研究^[8]表明,外源亚精胺可以作为一种诱抗剂,提高植物的生长发育和抗性,例如低浓度的外源亚精胺可以提高玉米种子的萌发率和发芽势。

烟粉虱(*Bemisia tabaci*)又名甘薯粉虱,最初于1894年在美国发现。烟粉虱是国际上公认的农业害虫^[9],寄主非常广泛。据报道^[10-11],全球烟粉虱寄主植物已达600余种,主要分布于茄科(Solanaceae)、葫芦科(Cucurbitaceae)、十字花科(Brassicaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、菊科(Compositae)和锦葵科(Malvaceae)等植物。烟粉虱的隐形物种复合体种类很多,在我国本土约有18种,其中MEAM1隐种和MED隐种在我国分布广泛,危害最为严重^[12]。烟粉虱通过直接吸取植物汁液,影响植物的正常生长和发育。

此外,烟粉虱还可以传播400多种植物病毒^[13],对植物造成严重的危害,甚至可能导致植物死亡。例如,MEAM1隐种和MED隐种传播的番茄黄化曲叶病毒(tomato yellow leaf curl virus, TYLCV)可以使番茄植株矮化,叶片黄化,产量下降,甚至绝收^[14-19]。

目前,亚精胺对植物防御系统影响的研究大多数都是关于非生物胁迫的,而关于亚精胺对植物响应生物胁迫的研究较少。刺吸式昆虫是农业一大类害虫,给植物健康带来很大影响,关于亚精胺对于植物与刺吸式昆虫互作的影响目前仍不清楚。因此,本研究选择发生严重、传毒能力强的刺吸式昆虫烟粉虱为研究材料,探析外源亚精胺对植物—烟粉虱互作的影响和机制,为烟粉虱绿色防控提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

健康Q型烟粉虱成虫采自河南农业大学科教园区,经实验室鉴定后,在人工温室内以棉花为寄主建立试验种群。黄瓜(博杰-107)种子购于天津德瑞特种业有限公司,在育苗盘中萌发后转移至营养钵,在温室中培养至四叶期用于试验。温

作者简介:卢玉,主要从事资源利用与植物保护研究, E-mail: Ly18656078990@163.com

雷彩燕为通信作者,主要从事植物—病毒—媒介互作研究工作, E-mail: leicaiyanlcy@126.com

基金项目:河南省科技攻关资助项目(222102110059, 232102110037);河南农业大学科技创新基金项目(KJCX2016A17)

收稿日期:2023-11-18;修回日期:2024-03-17;网络出版日期:2024-10-28

室气候条件：温度 28~29 °C，相对湿度 75%，光周期 L:D=14 h:10 h。亚精胺购买于上海麦克林生化科技股份有限公司，分子式 C₇H₁₉N₃，分子量 145.25，CAS 号 124-20-9。

1.2 试验设计

试验于 2023 年 3-10 月在河南农业大学龙子湖校区化学生态学实验室进行。在四叶期黄瓜幼苗中随机抽取长势相同的 20 份，设 5 个处理组，包括 2 个蒸馏水对照组和 3 个 Spd 处理组（表 1），每个处理 4 次重复。设置 3 个取样时间点（5、10、15 d）。每次试验共 60 株黄瓜苗，每个时间点每个处理取样 4 株，共 20 株。试验前将亚精胺均匀喷洒在植株叶面上，以液体不滴落叶片为准，预处理 3 d 后接种烟粉虱，接虫 24 h 后移去虫体，进行后续试验。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

处理 Treatment	亚精胺浓度 Spd concentration (mmol/L)	烟粉虱数量 Number of <i>B. tabaci</i>
CK0	0	0
CK1	0	25 对
Spd1	0.5	25 对
Spd2	1.0	25 对
Spd3	2.0	25 对

1.3 测定指标与方法

1.3.1 黄瓜生长发育指标 黄瓜植株喷施不同浓度 Spd 溶液，3 d 后接种烟粉虱，接虫后第 5、10 和 15 天用卷尺测量处理后的黄瓜株高（由黄瓜茎基部到生长点距离）；接虫后第 5、10 和 15 天用剪刀将每株苗的全部叶片从相同部位剪下，再使用电子天平称取整株叶片的鲜重。

1.3.2 黄瓜营养指标 接虫后第 5、10 和 15 天剪取每个处理的第 4 片叶片，液氮速冻后存放于 -80 °C 冰箱里。称取 0.2 g 样品，采用苏州格锐思生物科技有限公司可溶性糖含量（SS）检测试剂盒测定黄瓜中可溶性糖含量；采用考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白的含量^[20]。

1.3.3 黄瓜光合特性 接虫后第 5、10 和 15 天用手持式 SPAD-502 叶绿素测定仪检测每株黄瓜（第 4 片叶尖、叶基、叶缘）相对叶绿素含量（SPAD）；使用光合仪 LI-6400 检测每株黄瓜（第 4 片叶尖、叶基、叶缘）的胞间 CO₂ 浓度（C_i）、蒸腾速率（T_r）和净光合速率（P_n）。

1.3.4 黄瓜防御特性 接虫后第 5、10 和 15 天取样，剪取每个处理的第 4 片叶片，液氮速冻后存放于 -80 °C 冰箱里。称取 0.2 g 样品，采用苏州格锐思生物科技有限公司苯丙氨酸解氨酶（PAL）试剂盒和总酚（Tp）试剂盒分别测定黄瓜中 PAL 活性及总酚含量。

1.3.5 烟粉虱发育历期和体型 设置 CK、Spd1、Spd2、Spd3 共 4 个处理，每个处理提前 3 d 喷施 0、0.5、1.0、2.0 mmol/L 亚精胺溶液，每个处理 4 个重复。选取 5 对烟粉虱成虫放入微虫笼中，夹在各处理黄瓜植株的第 4 片叶片上，待其产卵 24 h 后将成虫移除。每个接虫叶片用超景深显微镜标出 30 头卵，将多余的卵剔除掉，拍照记录其各自分布，以后每日观察并记录直至孵化出 1 龄若虫，计算各处理的卵孵化率；1 龄若虫固定好地点之后再照相记录分布，每天测定并用超景深显微镜自带的测量工具“Measure”记录体长和体宽；观察若虫发育情况，计算每个龄期所需的发育时间，直至羽化为成虫。

1.3.6 烟粉虱产卵量 设置 CK、Spd1、Spd2、Spd3 共 4 个处理，提前 3 d 分别喷施 0、0.5、1.0、2.0 mmol/L 亚精胺溶液，每个处理 4 个重复。取刚羽化的 1 雌 1 雄烟粉虱于微虫笼中，夹在各处理黄瓜第四片叶片上产卵，待烟粉虱成虫死亡后，在超景深显微镜下观察烟粉虱产卵个数。

1.3.7 烟粉虱存活率 设置 CK、Spd1、Spd2、Spd3 共 4 个处理，提前 3 d 分别喷施 0、0.5、1.0、2.0 mmol/L 亚精胺溶液，每个处理 4 个重复。取 5 对烟粉虱成虫放于微虫笼中，夹在每个处理黄瓜第 4 片叶片上产卵，待其产卵 24 h 后将成虫移走，在超景深深显微镜下标记 30 头卵，之后每天观察孵化率以及各龄期若虫孵化率。

1.4 数据处理

采用 WPS Office、Graphpad 8.0 整理数据和绘图，使用 SPSS 22 进行单因素多重比较及差异分析。

2 结果与分析

2.1 外源亚精胺对寄主植物的影响

2.1.1 对寄主生长发育的影响 由图 1 可以看出，寄主植物受到烟粉虱取食之后，生长减缓，在观察时间点内烟粉虱取食后黄瓜株高都显著低于

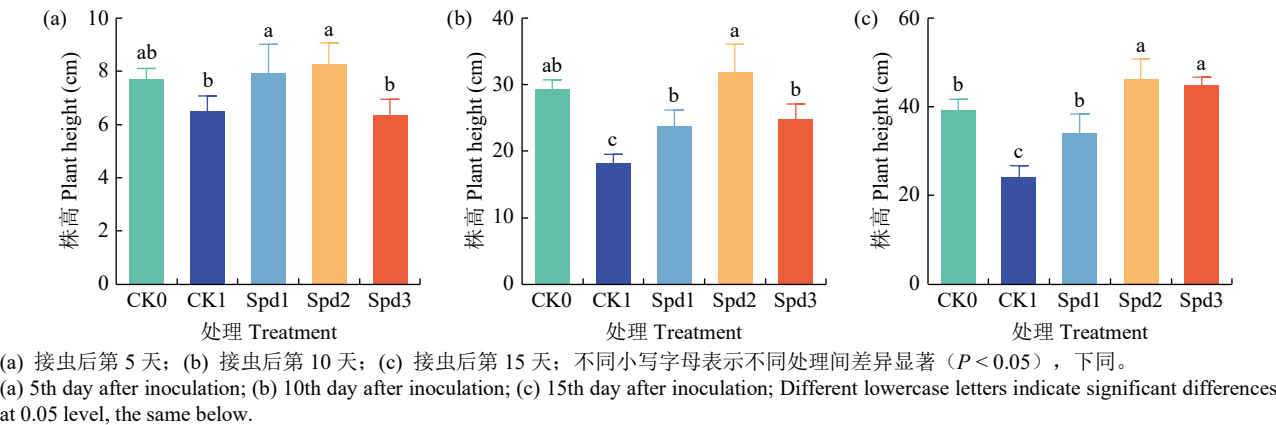


图 1 不同浓度外源亚精胺处理不同天数后黄瓜株高
Fig.1 Plant height of cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

CK0, 而喷施外源亚精胺能够减缓烟粉虱取食对寄主植物株高的影响; 其中 Spd2 处理寄主植物第 15 天株高显著高于 CK0 (图 1c)。

由图 2 可以看出, 烟粉虱取食造成黄瓜叶片质量显著减少, 喷施一定浓度的外源亚精胺后能提高黄瓜叶片鲜重。在第 10 天, 3 个浓度亚精胺处理后黄瓜叶片鲜重都能恢复到健康对照的水平 (图 2b)。

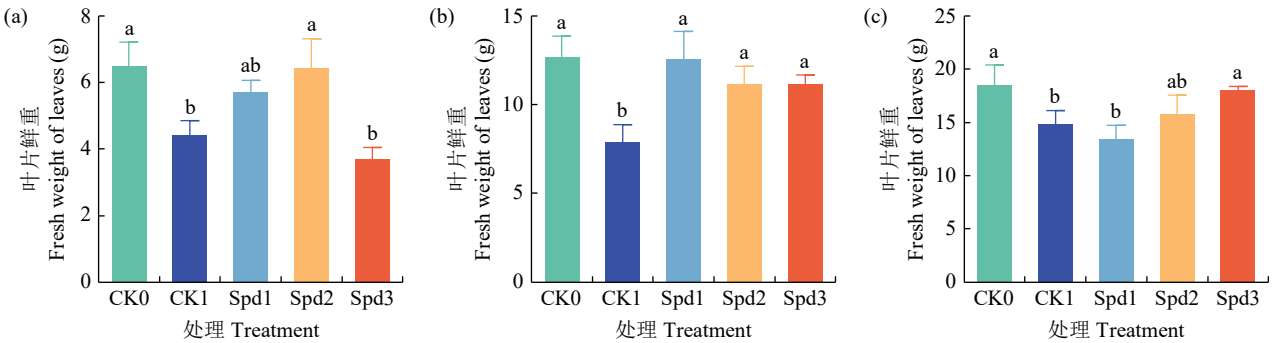


图 2 不同浓度外源亚精胺处理不同天数后黄瓜叶片鲜重
Fig.2 Fresh weight of cucumber leaves treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

2.1.2 对黄瓜光合特性的影响 由图 3 可以看出, 烟粉虱取食会造成黄瓜 SPAD 下降, 在接虫后第 10 天显著低于 CK0 (图 3b)。喷施一定浓度的外源亚精胺后能提高黄瓜 SPAD, 其中 Spd1 处理组寄主中 SPAD 在 10 和 15 d 显著高于 CK1; Spd2 处理在接虫后第 5 和 10 天的 SPAD 显著高于 CK1。

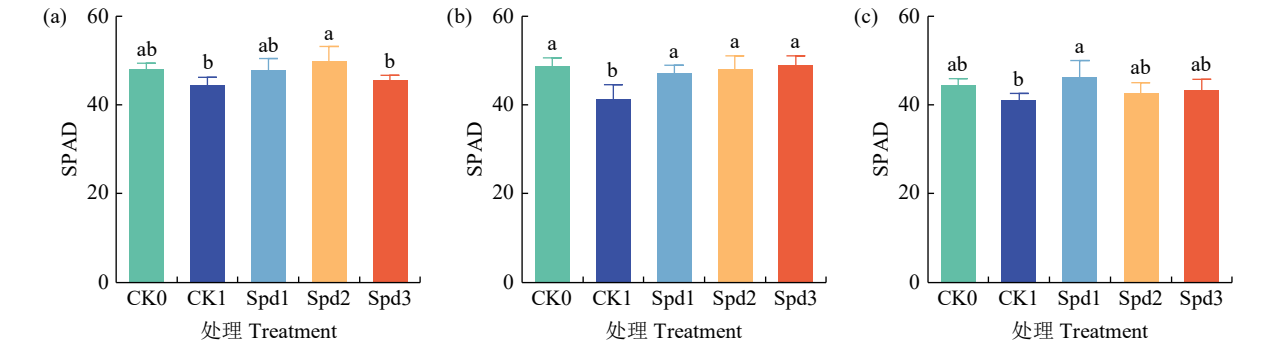
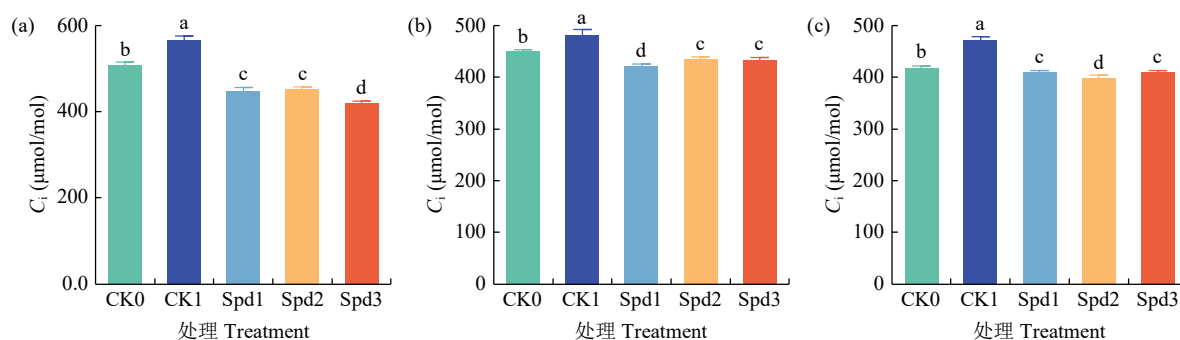


图 3 不同浓度外源亚精胺处理后不同天数黄瓜 SPAD 值
Fig.3 SPAD values of cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

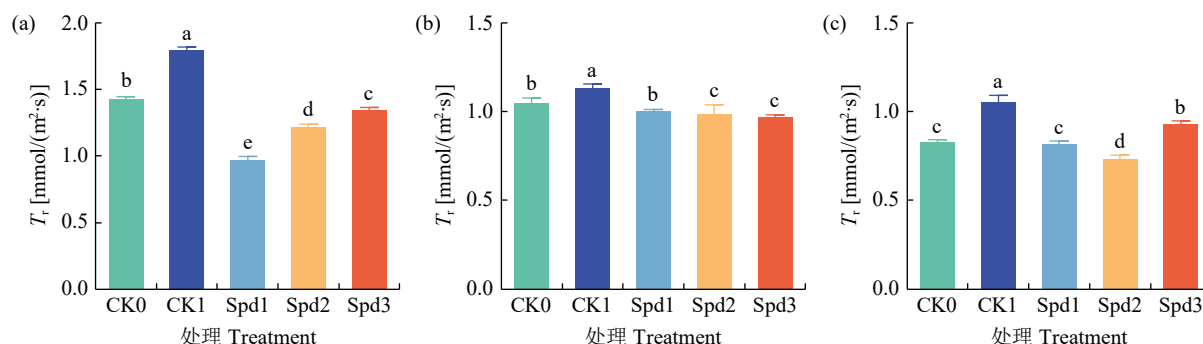
如图 4 所示, 喷施外源亚精胺可以影响黄瓜叶片 C_i , 在烟粉虱取食后的 5、10、15 d, 黄瓜叶片受胁迫后 C_i 显著升高了, 但是喷施不同浓度的外源亚精胺后, 黄瓜叶片 C_i 相对于 CK1 显著降低。其

图 4 不同浓度外源亚精胺处理后不同天数黄瓜 C_i Fig.4 C_i of cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

中在烟粉虱取食后第 5 天, Spd3 组显著低于其他处理组 (图 4a)。

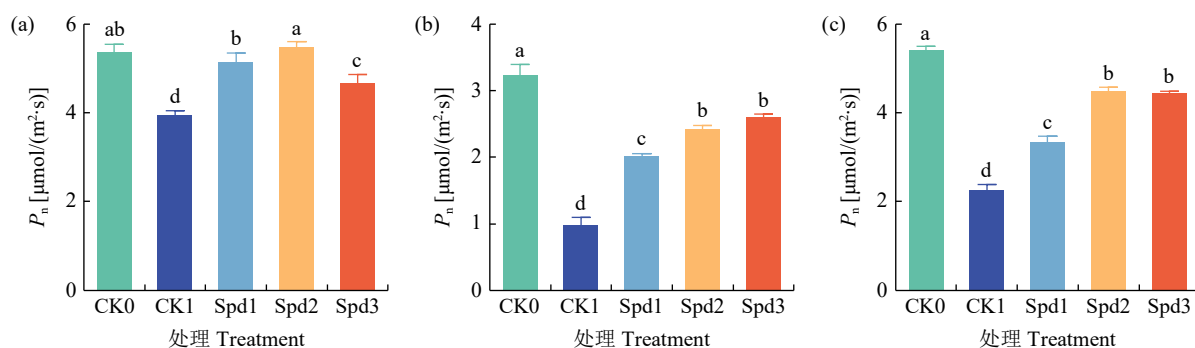
如图 5 所示, 喷施外源亚精胺可以影响黄瓜叶片 T_r , 可以看出烟粉虱取食后的 5、10、15 d, 黄

瓜叶片受胁迫后 T_r 显著升高了, 但是喷施了不同浓度的外源亚精胺后, 黄瓜叶片 T_r 相对于 CK1 显著降低。其中在烟粉虱取食后的第 5 天, Spd1 处理显著低于其他处理组 (图 5a)。

图 5 不同浓度外源亚精胺处理后不同天数黄瓜 T_r Fig.5 T_r of cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

如图 6 所示, 烟粉虱取食后的 5、10、15 d, 黄瓜叶片受胁迫后 P_n 显著降低, 但是喷施了不同浓度的外源亚精胺后, 黄瓜叶片 P_n 相对于 CK1 显

著升高。其中在烟粉虱取食后的第 5 天, Spd2 显著高于其他处理 (图 6a)。说明喷施外源亚精胺可以缓解烟粉虱取食对黄瓜光合作用的影响, 提高黄

图 6 不同浓度外源亚精胺处理不同天数后黄瓜 P_n Fig.6 P_n of cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

瓜在光照条件下对有机物的积累。

2.1.3 对黄瓜营养特性的影响 从图 7 可以看出, 烟粉虱取食之后, 黄瓜体内可溶性糖含量增加, 在观察时间点内烟粉虱取食黄瓜的可溶性糖含量都

显著高于 CK0; 与烟粉虱取食黄瓜相比, 亚精胺处理引起可溶性糖含量下降。在第 10 天时喷施 3 个浓度亚精胺的黄瓜中可溶性糖含量都显著降低 (图 7b)。烟粉虱取食会引起黄瓜植株可溶性糖含量上

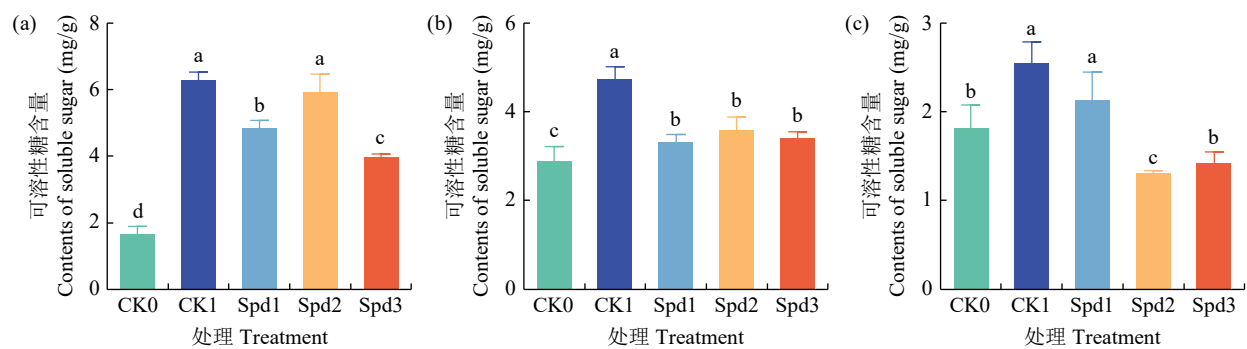


图 7 不同浓度外源亚精胺处理后不同天数黄瓜可溶性糖含量
Fig.7 Contents of soluble sugar in cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

升，而喷施不同浓度外源亚精胺后降低了黄瓜可溶性糖含量的积累，从而减少烟粉虱的营养来源。

由图 8 可以看出，烟粉虱取食导致黄瓜植株内可溶性蛋白含量显著降低；亚精胺处理前期（5 d、

10 d）可溶性蛋白含量没有降低，后期（15 d）虽然下降，但仍高于 CK1，表明植株受到烟粉虱取食后植株可溶性蛋白含量下降，而喷施不同浓度外源亚精胺后可以提高可溶性蛋白含量的积累，

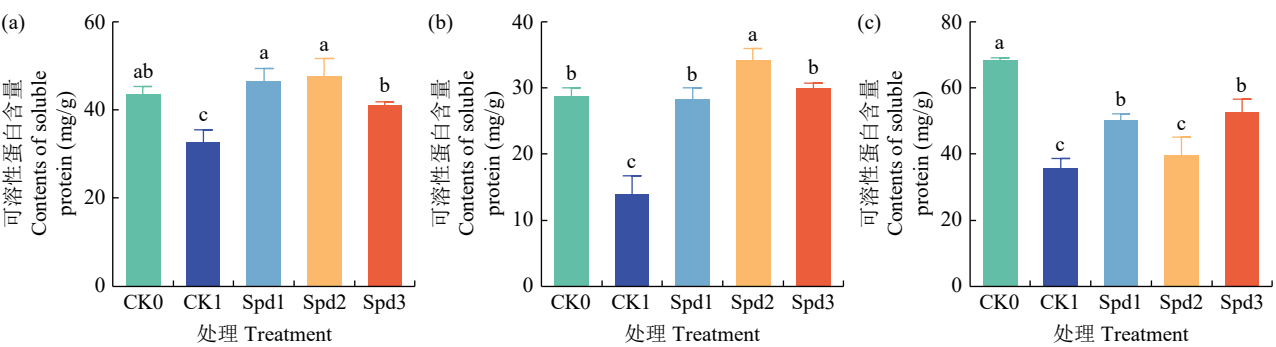


图 8 不同浓度外源亚精胺处理后不同天数黄瓜可溶性蛋白含量
Fig.8 Contents of soluble protein of cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

减轻烟粉虱在黄瓜上的取食作用。

2.1.4 对黄瓜防御特性的影响 分析了不同浓度亚精胺对烟粉虱取食黄瓜中 PAL 活性和总酚含量的影响。从图 9 可以看出，烟粉虱取食引起黄瓜

体内 PAL 活性显著降低；喷施外源亚精胺以后烟粉虱取食植株体内的 PAL 活性上升，其中 Spd2 处理（1.0 mmol/L）在第 5、10、15 d 的 PAL 活性不仅高于 CK1，而且显著高于 CK0。

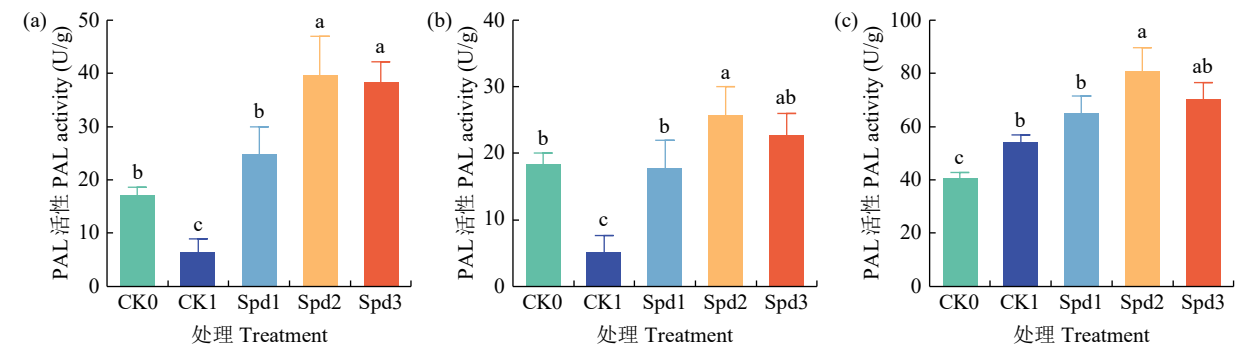


图 9 不同浓度外源亚精胺处理后不同天数黄瓜 PAL 活性
Fig.9 PAL activities of cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

从图 10 可以看出，烟粉虱取食导致黄瓜体内总酚含量降低，与烟粉虱取食黄瓜相比，喷施亚精胺以后总酚含量上升。在第 5 天时 3 个喷施亚精胺处理的黄瓜中总酚含量都显著上升（图 10a）。因

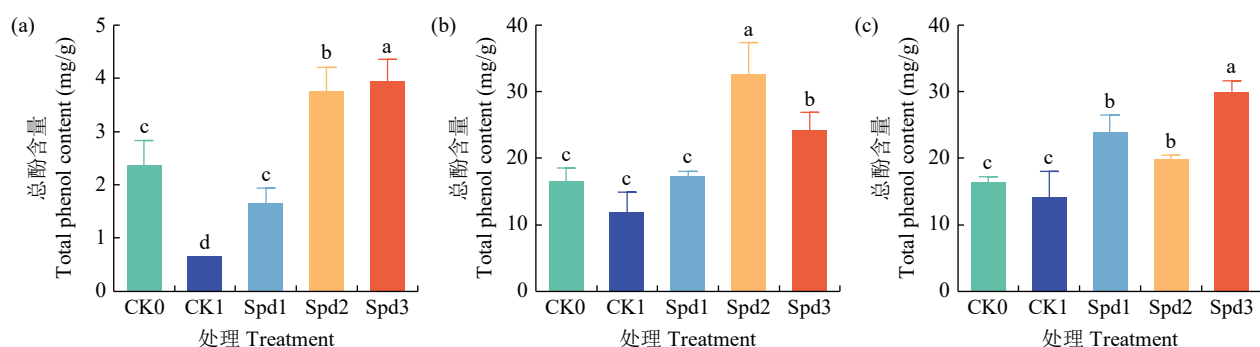


图 10 不同浓度外源亚精胺处理后不同天数黄瓜总酚含量

Fig.10 Total phenol contents in cucumber treated with different concentrations of exogenous spermidine for different days

此植株受到烟粉虱取食后植株总酚含量下降,但是喷施不同浓度外源亚精胺以后提高了总酚含量。

2.2 外源亚精胺对烟粉虱生长发育的影响

2.2.1 对烟粉虱发育历期的影响 从图 11 看出,与 CK 相比, Spd3 处理显著延长了烟粉虱的卵期,在 3 龄期, Spd2 处理显著缩短了烟粉虱 3 龄的发育历期。在 4 龄的时候, Spd1 处理与其他组相比显著缩短了烟粉虱的 4 龄发育历期,而从总的天数来看,低浓度的亚精胺 (0.5 mmol/L) 显著缩短了烟粉虱的发育历期,而高浓度的亚精胺 (2.0 mmol/L) 则显著延长了烟粉虱的发育历期。

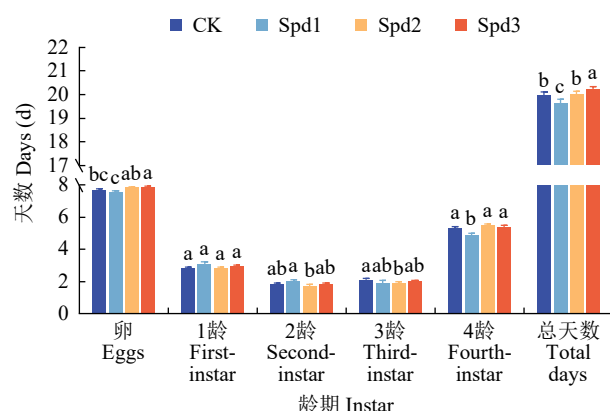


图 11 不同浓度外源亚精胺处理对烟粉虱各龄期发育历期影响

Fig.11 Effects of different concentrations of exogenous spermidine on development period of *B. tabaci* at different stages

2.2.2 对烟粉虱体长和体宽的影响 从图 12 可以看出, Spd2 处理与 CK 相比可以显著提高烟粉虱 2 龄和 3 龄烟粉虱的体长, Spd1 处理与 CK 相比可以显著降低烟粉虱 1 龄的体宽。

2.2.3 对烟粉虱产卵量的影响 由图 13 中可以看出, 外源亚精胺处理的产卵量都低于 CK, 其中 Spd1 处理显著低于 CK, 说明外源亚精胺处理植

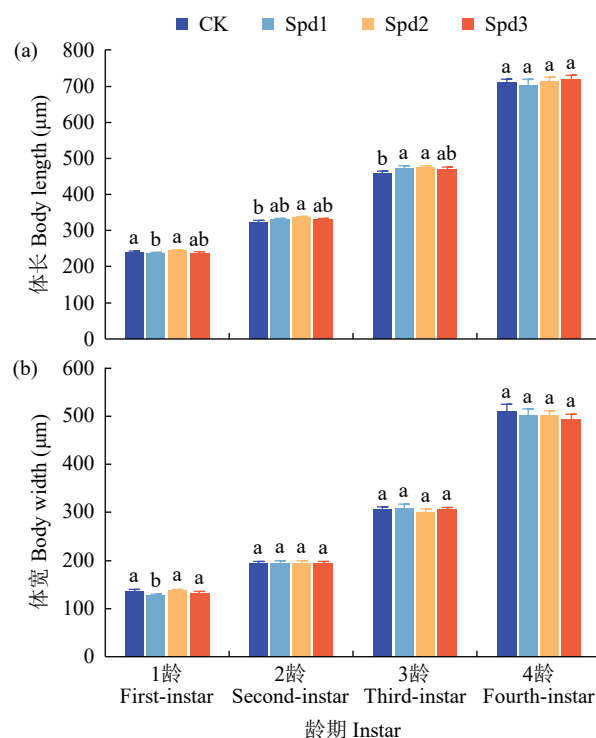
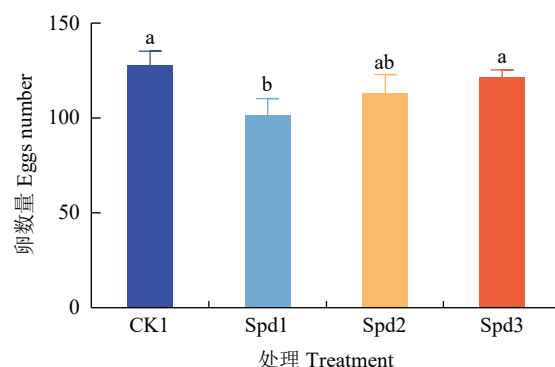


图 12 不同浓度外源亚精胺处理对烟粉虱各龄期体长体宽的影响

Fig.12 Effects of different concentrations of exogenous spermidine on the body length and width of *B. tabaci* at different stages图 13 不同浓度外源亚精胺处理对烟粉虱产卵量的影响
Fig.13 Effects of different concentrations of exogenous spermidine on laying eggs of *B. tabaci*

株使得烟粉虱产卵量降低，其中 Spd1 处理最为显著。

2.2.4 对烟粉虱存活率的影响 从表 2 中可以看出，外源亚精胺对烟粉虱存活率的影响主要表现在卵到 1 龄时期，Spd1 处理烟粉虱的存活率显著低于 CK，3 龄到 4 龄时期，Spd3 处理烟粉虱的存活

表 2 不同浓度外源亚精胺对各龄期烟粉虱存活率的影响
Table 2 Effects of different concentrations of exogenous spermidine on survival rate of *B.tabaci* at different stages

发育阶段 Developmental stage	烟粉虱存活率 <i>B.tabaci</i> survival rate (%)				差异显著性 Significance of difference
	CK	Spd1	Spd2	Spd3	
卵-1 龄 Eggs-first-instar	0.99±0.01a	0.82±0.05b	0.86±0.06ab	0.88±0.05ab	0.096
1 龄-2 龄 First-second-instar	0.91±0.08a	0.88±0.12a	0.98±0.02a	0.87±0.05a	0.776
2 龄-3 龄 Second-third-instar	0.99±0.01a	0.98±0.04a	0.94±0.02a	0.97±0.03a	0.228
3 龄-4 龄 Third-fourth-instar	0.97±0.03ab	0.89±0.07ab	0.98±0.01a	0.80±0.11b	0.153

不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level.

率显著低于 CK。

3 讨论

植物诱抗剂可以快速有效地诱导植物抗性，一直备受人们关注。亚精胺作为非生物源植物诱抗剂可以促进植物的生长和分化。例如，人工栽培苗在根形成的过程中有多胺的积累^[21-23]；芹菜细胞悬浮培养系统中，亚精胺可以加速幼苗的分化^[3]。本研究发现，喷施外源亚精胺后，黄瓜的株高和叶片鲜重都有所提高，说明亚精胺可以促进黄瓜生长。

光合作用作为植物有机物合成的主要方式之一，为植物生理代谢提供能量^[24]。叶绿素是植物重要的光合色素，其含量的高低直接影响植物光合能力^[25-26]，叶绿素含量也是植物的抗性指标之一^[27]。植物遭受病虫害胁迫后，导致叶片损伤或失绿，光合作用能力减弱，使得光合产物积累减少， P_n 下降。魏书艳等^[28]研究发现绿盲蝽危害寄主后，寄主体内叶绿素含量下降。本研究发现，烟粉虱取食导致黄瓜 SPAD 和 P_n 下降，但是喷施不同浓度的外源亚精胺能提高 SPAD 和 P_n ，减少烟粉虱取食对植物光合作用的影响。

可溶性糖与可溶性蛋白是植物中的重要营养物质，不仅影响植物的生长发育，还间接对植食性昆虫产生影响^[29]。本实验室前期研究^[30]发现，烟粉虱取食后，黄瓜体内可溶性糖含量升高；李田田等^[31]研究表明，蚜虫取食黄瓜后引起可溶性糖含量增加，为蚜虫生长提供更多的营养。本试验也发现，烟粉虱取食后黄瓜叶片可溶性糖含量显著增加，其含量是 CK0 的 3.8 倍。但是喷施不

同浓度的外源亚精胺后，黄瓜叶片可溶性糖含量与 CK1 相比都下降，说明亚精胺通过减少黄瓜中可溶性糖含量减少烟粉虱的营养来源。前人^[31-33]的研究结果显示，昆虫取食会导致可溶性蛋白含量的降低。本研究结果也显示，烟粉虱取食降低了黄瓜体内可溶性蛋白含量，而喷施不同浓度外源亚精胺增加了可溶性蛋白含量积累，说明亚精胺可以缓解了烟粉虱取食对寄主生理生化特性的影响。

PAL 是植物苯丙烷代谢的关键酶，其活性与木质素、植保素的合成有一定关联，这些物质对植物抗虫性具有重要作用^[34]。何应等^[35]证明，当蝗虫取食毛花雀稗后，毛花雀稗叶片中 PAL 活性显著下降。本研究也发现烟粉虱取食后，黄瓜叶片中 PAL 活性下降，表明昆虫取食后可以抑制植物中 PAL 活性，但是喷施一定浓度的外源亚精胺可以缓解昆虫取食的影响，增强植物的抗虫性。酚类物质在植物体内广泛存在，可以增强植物抗氧化能力，提高植物的抗虫性。例如，何雅丽等^[36]研究证明喷施茉莉酸甲酯后，幼苗总酚含量显著升高。在本研究中，不同浓度外源亚精胺增加了总酚含量积累，说明亚精胺可以在一定程度上增加植物的防御反应。

本研究发现外源亚精胺还会影响烟粉虱的生长发育。例如，高浓度亚精胺（2.0 mmol/L）显著延长烟粉虱的发育历期，降低 3~4 龄期的存活率；低浓度亚精胺（0.5 mmol/L）降低烟粉虱的产卵量、卵到 1 龄时期存活率。烟粉虱作为世界常见的超级农业害虫之一，给农业生产造成众多不利影响，本研究为烟粉虱绿色防控提供了理论

依据。

4 结论

综上所述,亚精胺可以提高黄瓜的光合能力,促进黄瓜生长发育状况,改变营养特性,增强寄主防御酶和防御物质,进而影响烟粉虱—寄主的互作,提高黄瓜对烟粉虱的抗性。

参考文献

- [1] Galston A W, Sawhney R K. Polyamines in plant physiology. *Plant Physiology*, 1990, 94: 406-410.
- [2] Tabor C W, Tabor H. The *speEspdD* operon of *Escherichia coli*. *Journal Biological Chemistry*, 1987, 262: 16037-16040.
- [3] 张小冰. 多胺在植物生长发育过程中的生理作用. *生物学教学*, 2007(10): 9-11.
- [4] Borrell A, Carbonel L, Farms R, et al. Polyamines inhibit lipid peroxidation in senescing oat leaves. *Physiologia Plantarum*, 1997, 99: 385-390.
- [5] 于力, 袁永达, 吴珏, 等. 外源亚精胺对高温胁迫下蚕豆幼苗生长和内源多胺含量的影响. 昆明: 中国园艺学会 2017 年学术年会, 2017.
- [6] 于力, 郭世荣, 阎君, 等. 亚精胺诱导黄瓜幼苗对白粉病抗性的研究. *西北植物学报*, 2012, 32(7): 1384-1389.
- [7] Qin S Y, Wu Z Q, Tang J Y, et al. Effects of exogenous spermidine on poplar resistance to leaf and root herbivory as affected by soil cadmium stress. *Journal of Environmental Management*, 2021, 288: 112467.
- [8] 杜红阳, 王进, 刘怀攀, 等. 亚精胺浸种对玉米种子萌发的影响. *安徽农业科学*, 2007(34): 11009-11010.
- [9] Li Y, Mbata G N, Punhuri S, et al. *Bemisia tabaci* on vegetables in the Southern United States: incidence, impact, and management. *Insects*, 2021, 12(3): 198.
- [10] Oliveira M R V, Henneberry T J, Anderson P. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 2001, 20: 709-723.
- [11] Brown J K, Frohlich D R, Rossel R C. The sweet potato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* of a species complex?. *Annual Review of Entomology*, 1995, 40: 51.
- [12] 贾尊尊. 新疆烟粉虱隐种分布、遗传多样性分析及抗药性监测. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2018.
- [13] 王雨蒙, 何亚洲, 刘树生, 等. 烟粉虱传播植物病毒特性及机制研究进展. *科学通报*, 2020, 65(15): 1463-1475.
- [14] 韩畅, 张兴旺, 高国龙, 等. 新疆番茄黄化曲叶病毒与烟粉虱隐种的区域分布检测. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2020, 38(2): 160-165.
- [15] Costa H S, Brown J K, Sivasupramaniam S, et al. Regional distribution, insecticide resistance, and reciprocal crosses between the A and B biotypes of *Bemisia tabaci*. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1993, 14: 255-266.
- [16] Kontsedalov S, Zchori-Fein E, Chiel E, et al. The presence of *Rickettsia* is associated with increased susceptibility of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides. *Pest Management Science*, 2008, 64(8): 789-792.
- [17] Watanabe L F M, Bello V H, De-Marchi B R, et al. Performance and competitive displacement of *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED cryptic species on different host plants. *Crop Protection*, 2019, 124: 104860.
- [18] Boykin L M, Shatters R G J, Rosell R C, et al. Global relationships of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) revealed using Bayesian analysis of mitochondrial COI DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2007, 44: 1306-1319.
- [19] Hu J, Zhang X Y, Jiang Z L, et al. New putative cryptic species detection and genetic network analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in China based on mitochondrial COI sequences. *Mitochondrial DNA Part A*, 2017, 29(3): 474-484.
- [20] 李庆波, 黄彦文, 张广军, 等. 基于可见-近红外光谱的植物叶绿素含量无损检测方法研究. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29(12): 3275-3278.
- [21] Desai H V, Metha A R. Changes in polyamine levels during shoot formation, root formation and callus induction in cultured *Passiflora* leaf discs. *Plant Physiology*, 1985, 119: 45-53.
- [22] Chriqui D, Orazi D, Bagni N. Ornithine and arginine decarboxylases and polyamine involvement during in vivo differentiation and in vitro dedifferentiation of *Datura innoxia* leaf explants. *Physiologia Plantarum*, 1986, 68: 589-596.
- [23] Biondi S, Diaz T, Iglesias I, et al. Polyamines and ethylene in relation to adventitious root formation of *Prunus avium* shoot cultures. *Physiologia Plantarum*, 1990, 98: 105-110.
- [24] 周紫燕, 李晓斐, 丁雪丹, 等. 干旱对烤烟团棵期的光合特性影响研究. *江西农业大学学报*, 2011, 33(6): 1037-1042.
- [25] 王磊, 汤家鑫, 高兴国, 等. PEG 模拟干旱胁迫条件下光叶珙桐幼苗叶片叶绿素含量变化. *安徽农业科学*, 2018, 46(32): 91-92, 95.
- [26] 李合生. 现代植物生理学(第3版). 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [27] 李传明, 何菁, 顾爱祥, 等. 烟粉虱取食对不同抗性辣椒品种营养物质和抗性物质的影响. *中国生态农业学报*, 2017, 25(10): 1456-1462.
- [28] 魏书艳, 肖留斌, 谭永安, 等. 不同寄主受绿盲蝽危害后生理代谢指标的变化. *植物保护学报*, 2010, 37(4): 359-364.
- [29] 金鹏, 林华峰, 李毅, 等. 烟草钾营养对 Q 型烟粉虱发育、存活和寄主选择性的影响. *应用昆虫学报*, 2014, 51(4): 1035-1039.
- [30] 史保争, 张妍妍, 何海芳, 等. 2,4-表油菜素内酯对烟粉虱-黄瓜互作的影响. *中国瓜菜*, 2021, 34(3): 82-87.
- [31] 李田田, 姜文芝, 谷亭亭, 等. 黄瓜叶片营养物质与抗蚜性的关系研究. *山东农业科学*, 2016, 48(10): 44-47, 50.
- [32] 李佐同, 靳学慧, 张亚玲, 等. 水稻幼苗可溶性糖及可溶性蛋白含量与抗瘟性的关系. *北方水稻*, 2009, 39(4): 6-9.
- [33] 苟长青, 孙鹏, 刘端春, 等. 棉花受牧草盲蝽胁迫后生理代谢指标的变化. *中国棉花*, 2018, 45(1): 9-11, 24.
- [34] 窦玲玲, 席倩倩, 李怀珠, 等. 白蜡虫对小叶女贞的生理影响——基于咸阳师范学院校园白蜡虫危害的分析. *陕西农业科学*, 2019, 65(10): 27-30, 33.
- [35] 何应, 马向丽, 任健, 等. 蝗虫取食对毛花雀稗防御酶活性的影响. *草业科学*, 2021, 38(11): 2294-2300.
- [36] 何雅丽, 陈振江, 魏学凯, 等. 喷施茉莉酮酸甲酯及感染内生真菌促进醉马草抗虫性的生理作用研究. *草业学报*, 2020, 29(3): 121-129.

Effects of Exogenous Spermidine on the Interaction between *Bemisia tabaci* and Cucumber

Lu Yu, Zhang Yanyan, Chen Haitao, Li Manxin, Bai Run'e, Lei Caiyan

(College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, Henan, China)

Abstract By using Q type *Bemisia tabaci* as experimental materials, effects of different concentrations of exogenous spermidine on the growth and development of the host plant and *B.tabaci* during the *B.tabaci*-host interaction process were determined, also the mechanism of the exogenous spermidine affecting the interaction between *B.tabaci* and the host were investigated at physiological level. The results showed that feeding of *B.tabaci* led to the decrease of plant height, leaf mass, photosynthetic rate, soluble protein content, polyphenol content and phenylalanine ammonia-lyase enzyme activity, the increase of soluble sugar content; whereas the treatment of spermidine reduced the damage of *B.tabaci* to the host plant, which was manifested in the promotion of growth and development of hosts, such as the enhancement of the photosynthetic capacity, the decrease of the soluble sugar content, the enhancement of the soluble protein content and polyphenol content and phenylalanine deaminase activity. Exogenous spermidine had impact on the growth and development of *B.tabaci*, manifested in low concentration of spermidine (0.5 mmol/L) reducing the number of eggs laid and the survival rate from egg to 1st-instar; high concentration of spermidine (2.0 mmol/L) significantly prolonged the developmental period of *B.tabaci* and reduced the survival rate of 3-4 instars. Therefore, during the process of *B.tabaci* damaging cucumbers, exogenous spermidine could promote plant growth and development of cucumbers, enhance photosynthetic capacity, alter plant nutritional characteristics, and improve defense ability. At the same time, it also has an adverse impact on the growth and development of *B.tabaci*, thus affecting the interaction between *B.tabaci* and host plants.

Key words Spermidine; *Bemisia tabaci*-cucumber interaction; Growth and development; Physiological mechanism