

茄子植株中 α -茄碱释放途径研究*

李志文^{1,2} 周宝利³ 刘翔² 张平^{1**}

(1. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津) 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室 天津 300384;

2. 天津大学农业与生物工程学院 天津 300072; 3. 沈阳农业大学园艺学院 沈阳 110161)

摘要 本文模拟了茄子在根系分泌、残体分解、雨水淋溶以及种子萌发情况下向环境中释放 α -茄碱的过程，利用 HPLC 测定了茄子通过不同途径向周围环境释放的 α -茄碱含量。结果表明，茄子可通过根系分泌、残体分解和种子萌发途径向环境中释放 α -茄碱，其中残体分解和种子萌发是主要途径，根系只能主动分泌极少量的 α -茄碱。茄子生长期不同，根系主动分泌 α -茄碱的量不同，从茄子现蕾到四面斗果实成熟是根系分泌 α -茄碱的主要时期，门茄坐果后至对茄成熟，茄子根际土壤中 α -茄碱含量增加最显著。植株不同部位残茎腐解后释放出的 α -茄碱量不同，大小顺序为：叶>根>茎，随着残株分解时间的延长，土壤中 α -茄碱含量显著增高。茄子种子萌发过程释放的 α -茄碱含量与种子萌发密切相关，该生物碱可抑制茄子种子萌发。紫茄“辽茄 7 号”和“超九叶茄”通过不同途径释放的 α -茄碱量显著高于绿茄“通杂 2 号”和“西安绿茄”。

关键词 茄子 α -茄碱 释放途径 化感

中图分类号: S641.11; Q946.88 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2010)06-1261-06

Release ways of α -solanine in *Solanum melongena* L. plant

LI Zhi-Wen^{1,2}, ZHOU Bao-Li³, LIU Xiang², ZHANG Ping¹

(1. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin Key Laboratory of Post-harvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China; 2. College of Agriculture and Bioengineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract α -solanine release ways, root exudation, remnant decomposition, rainwater elution and seed germination, in eggplants were simulated and the released content determined via HPLC. Results show the α -solanine in eggplants can be released through root exudation, remnant decomposition and seed germination. Remnant decomposition and seed germination are the main paths for releasing α -solanine. Only a small fraction of α -solanine is released through root exudation. Rainwater elution hardly enhances eggplant releasing α -solanine into the environment. α -Solanine content released through root exudation is different in different eggplant growth stages. From seedling alabastrum to maturity stage of third eggplant is the main period of α -solanine release through root exudation. α -Solanine content in soils around eggplant roots significantly increase from the first to the second fruit stage. The order of released α -solanine amount from different organs of remnant body is leaf>root>stem. With the time of remnant decomposition, α -solanine content in soils significantly increases. The amount of α -solanine released via seed germination is closely related to seed germination. Hence α -Solanine inhibits eggplant seed germination. The results also show that α -solanine amount released by “Liaoqie No. 7” and “Chaojiuyeqie” (purple eggplants) is higher than that released by “Tongza No. 2” and “Xi’anluqie” (green eggplant).

Key words Eggplant, α -Solanine, Release mode, Allelopathy

(Received April 27, 2010; accepted Aug. 13, 2010)

糖苷生物碱作为茄科植物次生代谢的产物，广泛分布于植物的根、茎、叶、花、果实或种子中。它们可以以糖苷前体存在或储存于细胞液泡中，当

发生环境或生物胁迫时就会释放出来。其主要释放途径包括地上部受雨雾或露水的淋溶、根系分泌、残株或凋落物分解、种子萌发和花粉在风或昆虫作

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2004AA247010)资助

** 通讯作者: 张平(1958~), 男, 博士, 研究员, 主要从事果蔬采后生理研究。E-mail: zhp-0352@163.com

李志文(1981~), 女, 博士后, 助理研究员, 主要从事蔬菜生理与生态研究。E-mail: lizhiwen315@hotmail.com

收稿日期: 2010-04-27 接受日期: 2010-08-13

用下的传播^[1]。释放到环境中的糖苷生物碱具有广泛的化学生态学作用, 而这种作用在菜田生态系统中的表现尤为突出。Udalova 等^[2]研究证实, 糖苷生物碱如 α -边缘茄碱、 α -茄碱和 α -番茄碱对常见菜田害虫红粉甲虫(*Tribolium castaneum*)幼虫和天蛾(*Manduca sexta*)幼虫的生长发育具有抑制作用; Dinkins 等^[3]最近研究发现茄子和马铃薯中的 α -茄碱和 α -查茄碱具有抵御茄科昆虫侵袭的作用, 对蝗虫和马铃薯象甲具毒性。它们的这种驱虫活性可能是由于抑制害虫体内环核苷酸磷酸二酯酶的活性, 与钙调蛋白结合, 使其不能正常发挥生物学活性, 从而起到趋避害虫的作用^[4-5]。赵骥民^[6]研究表明, 茄属各种糖苷生物碱对大白菜白斑病菌(*Cercospora brassicae*)和大葱紫斑病菌(*Alternaria porri*)都具有不同程度的抑制作用; 李志文^[7]研究表明, 茄子根系糖苷生物碱对黄瓜和甜瓜枯萎菌具有显著抑制活性, 对瓜类枯萎病具有较高防效; 而最新研究表明^[8], 茄子植株释放到环境中的糖苷生物碱对自身及番茄、辣椒种子的萌发和幼苗生长具有化感抑制活性, 其中对自身表现极显著的自毒作用, 且随着生物碱提取液浓度的升高, 化感抑制作用显著增强。

茄子(*Solanum melongena* L.)是茄科茄属一年生重要蔬菜栽培作物, 其所含的主要糖苷生物碱成分为 α -茄碱^[9], 作为茄株生长过程中产生的重要次生代谢物, α -茄碱在茄子植株各个部位都有分布^[10], 其必然会通过某些途径释放到周围的环境, 从而对其根际及周围作物生长的环境产生一些正面或负面的化感效应。为了减轻负面影响, 促进正面效应, 研究茄株内 α -茄碱究竟以何种途径释放到环境中很关键, 而国内外关于此方面的研究鲜有报道。因此, 本文模拟了茄子在根系分泌、残体分解、雨水淋溶以及种子萌发情况下向环境中释放糖苷生物碱的过程, 通过 HPLC 测定了释放的 α -茄碱含量, 旨在探索茄子体内糖苷生物碱的释放途径, 为明确 α -茄碱在菜田物质循环中的地位、建立合理的菜田轮作制度、克服负面的化感作用提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试茄子品种包括 2 种不同果实颜色类型的 4 个北方地区主栽品种: 糖苷生物碱含量较高的紫色果实品种“辽茄 7 号”、“超九叶茄”, 糖苷生物碱含量较低绿色果实“通杂 2 号”、“西安绿茄”^[7]。2007 年 2 月 1 日播种, 3 月 15 日分苗于装有土壤(园土: 基质: 腐熟猪粪=3: 1: 1, 基质组成为珍珠岩: 草炭: 蝇石=3: 2: 1)的瓦盆($\varnothing 20.5\text{ cm}$)中栽培,

正常管理。

1.2 试验设计和试验方法

1.2.1 色谱条件和标准曲线^[10]

采用 Waters Nova-pak C18 色谱柱($150\text{ mm} \times 3.9\text{ mm}$, $4\text{ }\mu\text{m}$); 流动相为乙腈-0.05 mol·L⁻¹ KH₂PO₄(1%磷酸调 pH 至 4.5, 70: 30, V/V); 流速为 $0.7\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; 检测波长 205 nm; 柱温 25 ; 进样量 $10\text{ }\mu\text{L}$ 。精密称取 α -茄碱标准品 30 mg, 以少量甲醇溶解后定容至 10 mL 容量瓶中, 得到浓度为 $3\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 α -茄碱标准溶液。分别取标准溶液 $50\text{ }\mu\text{L}$ 、 $100\text{ }\mu\text{L}$ 、 $200\text{ }\mu\text{L}$ 、 $400\text{ }\mu\text{L}$ 、 $600\text{ }\mu\text{L}$ 、 $800\text{ }\mu\text{L}$ 、 $1\text{ 000 }\mu\text{L}$, 以甲醇定容至 1 mL (相当于浓度分别为 $0.15\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、 $0.3\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、 $0.6\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、 $1.2\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、 $1.8\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、 $2.4\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、 $3\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$), 在上述色谱条件下进样 $10\text{ }\mu\text{L}$, 以 α -茄碱的浓度为横坐标, 峰高为纵坐标, 绘制标准曲线。回归方程为: $Y=1.89\times 10^5 X - 5.46\times 10^3$, $r^2=0.999\text{ 2}$ ($n=7$)。 α -茄碱在 $0.15\sim 3\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的范围内线性关系良好。

1.2.2 根系分泌物中 α -茄碱含量

分别于 5 月 15 日、5 月 25 日、6 月 4 日、6 月 14 日、6 月 24 日、7 月 4 日采用浸根法收集。将茄子从土壤中取出, 先后用清水和蒸馏水充分清洗附着在根系表面的土壤, 然后将根系放入盛有蒸馏水并包有黑色塑料薄膜的塑料桶中, 室温下连续通气培养 6 h, 小心取出根系, 收集塑料桶中溶液作为根系分泌物溶液, 之后在塑料桶内重新装入蒸馏水, 继续通气收集, 共连续收集 3 次。根系分泌物中 α -茄碱含量的提取参考李志文等^[11]的方法略作修改: 10 L 根系分泌物溶液 \rightarrow 40 减压浓缩至 50 mL \rightarrow AB-8 大孔树脂吸附 12 h \rightarrow 以 1 L 流速为 $5\text{ BV}\cdot\text{h}^{-1}$ 的水淋洗 \rightarrow 以 1 L 流速为 $2.5\text{ BV}\cdot\text{h}^{-1}$ 的 70% 乙醇洗脱 \rightarrow 收集洗脱液 \rightarrow 减压浓缩至干 \rightarrow 10 mL 色谱纯甲醇溶解 \rightarrow 过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜 \rightarrow HPLC 测定(单位表示为单位质量根系每小时释放 α -茄碱的量)。加标回收试验显示, 方法回收率为 91.60%, RSD=3.17% ($n=3$), α -茄碱含量=测定值/回收率(下同)。

1.2.3 生长中的茄株根际土壤中 α -茄碱含量

分别于 5 月 25 日、6 月 9 日、6 月 24 日、7 月 9 日、7 月 24 日、8 月 8 日取出根系, 收集紧贴根系表面的土壤, 过 120 目筛, 60 烘干备用。 α -茄碱含量的测定: 根际土壤 1 kg \rightarrow 10 L 70%工业甲醇浸泡 \rightarrow 50 超声波振荡 60 min \rightarrow 抽滤 \rightarrow 40 减压浓缩至 50 mL \rightarrow AB-8 大孔树脂吸附 12 h \rightarrow 以 1 L 流速为 $5\text{ BV}\cdot\text{h}^{-1}$ 的水淋洗 \rightarrow 以 1 L 流速为 $2.5\text{ BV}\cdot\text{h}^{-1}$ 的 95% 乙醇淋洗 \rightarrow 以 1 L 流速为 $2.5\text{ BV}\cdot\text{h}^{-1}$ 的 70% 乙醇洗脱 \rightarrow 收集洗脱液 \rightarrow 减压浓缩至干 \rightarrow 10 mL 色谱纯甲

醇溶解→过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜→HPLC测定(单位表示为单位质量根系每小时释放 α -茄碱的量)。加标回收试验显示,方法回收率为95.07%, $RSD=3.44\,(n=3)$ 。

1.2.4 不同时间的植株残茬土壤中 α -茄碱含量

根系残茬土壤中 α -茄碱含量:对茄成熟后(6月25日),将植株地上部砍断,将根系洗净、铲断、称重后翻入土壤中,每隔15 d随机取根际土样,共取8次,过120目筛60 烘干备用(每次取样完毕不再继续腐解,下次取样从没取过样的盆中取,保证根际土量)。测定方法同1.2.3。 α -茄碱总量=测定总量-原土壤中 α -茄碱含量。

茎秆残茬土壤中 α -茄碱含量:对茄成熟后,将植株连根拔出,土壤过40目筛,去除残根,将植株茎秆切成长约3 cm的茎段,洗净、称重后翻入土壤中,每隔15 d随机取土样,共取5次,过120目筛60 烘干备用。测定方法同1.2.3。

叶片残茬土壤中 α -茄碱含量:对茄成熟后,将植株连根拔出,土壤过40目筛,去除残根,将植株所有叶片洗净、切成面积约 2 cm^2 左右的小片、称重后翻入土壤中,每隔15 d随机取土样,共取5次,过120目筛60 烘干备用。测定方法同1.2.3。

1.2.5 不同成熟器官水提液中 α -茄碱含量

为测定雨水淋溶对 α -茄碱释放的影响,于对茄成熟后(6月25日),取茄株将根系、茎秆、叶片、花剪成3 cm长小段后风干,果实切2 mm厚小片后风干、称重,按照1:10的料液比例置于蒸馏水中浸泡并震荡,每次浸泡3 h,换水后再浸泡,共进行5次,合并水提液待测。测定方法同1.2.2。单位表示为单位质量的器官水提液中的 α -茄碱质量。

1.2.6 种子萌发过程中向环境中释放 α -茄碱含量

选饱满、均一的“辽茄7号”和“西安绿茄”种子各50粒,称初始重量后经10% H_2O_2 消毒,浸种膨胀均匀一致,放入铺有两层定性滤纸的培养皿($\varnothing=15\text{ cm}$)中,添加10 mL水,摇匀,置于温度为25

的培养箱中培养,每天补充等量水分,从播种后第2 d开始到16 d结束每隔1 d取出种子转移到新培养皿中继续萌发,并将原培养皿中滤纸撕碎后以70%甲醇充分溶解提取,培养皿以70%甲醇清洗3次,合并甲醇,旋转蒸发至干,以5 mL色谱纯甲醇溶解残留物,过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜后上HPLC测定。同时记录种子发芽数和计算发芽率(种子发芽均以芽长1 mm为标准)。加标回收试验显示,方法回收率为97.00%, $RSD=2.66\,(n=3)$ 。

1.2.7 数据统计

各项测定均设3次重复,每重复随机取样,结果取平均值。测定数据采用Excel2003和DPS7.05

统计软件进行计算和统计分析

2 结果与分析

2.1 不同时期茄子根系分泌物中 α -茄碱含量

由图1可知,茄子根系可以在茄株生长发育的某些时期向环境中分泌微量 α -茄碱。紫色茄子品种(以下简称紫茄)从定植初期(5月15日)到现蕾期(5月25日),根系几乎不分泌生物碱,从茄苗现蕾到四面斗果实成熟(7月4日)是根系分泌 α -茄碱的主要时期,根系分泌物中 α -茄碱含量呈先升后降趋势,对茄成熟期(6月24日)分泌量达到最高,在该时期收集的“辽茄7号”根系分泌物中 α -茄碱含量为 $0.116\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$;绿色茄子品种(以下简称绿茄)从门茄坐果(6月4日)开始根系分泌 α -茄碱,其他变化趋势与紫茄相似;紫茄“辽茄7号”和“超九叶茄”通过根系分泌 α -茄碱总量高于绿茄“通杂2号”和“西安绿茄”。

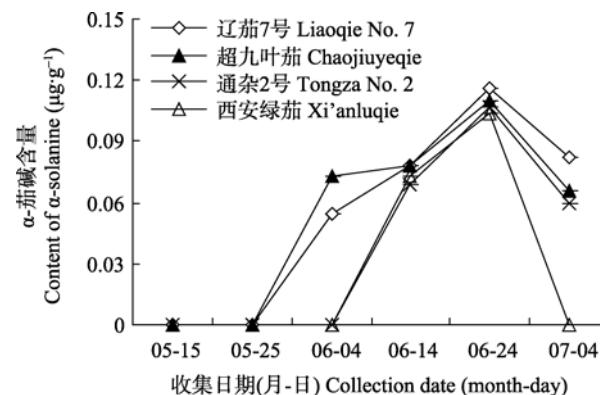


图1 不同生长时期不同品种茄子根系分泌物中 α -茄碱含量

Fig. 1 Content of α -solanine in root exudates of different varieties of eggplants in different growth periods

2.2 不同时期根际土壤中 α -茄碱含量

由图2可知,现蕾期(5月25日)后茄子植株根际土壤中开始积累 α -茄碱,门茄坐果(6月9日前)土壤中 α -茄碱含量增加缓慢;门茄坐果后至对茄成熟(6月24日),各品种茄子根际土壤中 α -茄碱含量显著($P\leqslant 0.05$)增加;对茄成熟以后,土壤中 α -茄碱含量增加减慢;至拉秧期(8月8日)测得“辽茄7号”、“超九叶茄”、“通杂2号”和“西安绿茄”根际土壤中积累 α -茄碱含量分别为 $24.39\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $21.65\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $20.05\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $14.19\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。可见紫茄“辽茄7号”和“超九叶茄”在多数时期根际土壤中 α -茄碱含量高于绿茄“通杂2号”和“西安绿茄”。

2.3 腐解不同时间的植物残茬土壤中 α -茄碱含量

由图3可知,开始腐解后的60 d内,各品种茄子根系残茬向其周围土壤释放的 α -茄碱含量增加缓慢或没有增加;腐解60~90 d,各品种茄子根系残茬

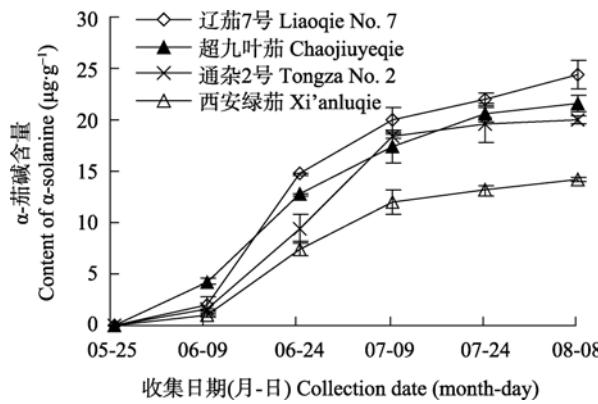


图 2 不同生长时期不同品种茄子根际土壤中 α -茄碱含量
Fig. 2 Content of α -solanine in rhizospheric soil of different varieties of eggplants in different growth periods

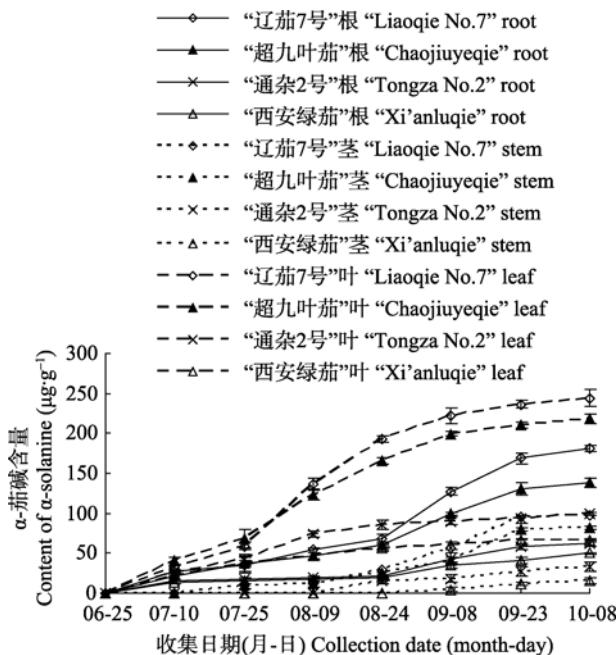


图 3 腐解不同时间的茄子植株残渣土中 α -茄碱含量
Fig. 3 Content of α -solanine in soils with eggplant plant residues decomposed for different times

释放 α -茄碱速度加快, 土壤中 α -茄碱含量显著 ($P \leq 0.05$) 增加; 90 d 后, 土壤中 α -茄碱含量增加再次变缓; 其中, 紫茄根系残渣土壤中 α -茄碱含量变化较绿茄显著; 腐解到 90 d 时, “辽茄 7 号”、“超九叶茄”、“通杂 2 号”和“西安绿茄”根系残渣土壤中 α -茄碱含量分别为 $169.15 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $131.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $57.55 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $40.77 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。由图 3 还可看出, 茄子茎秆残渣腐解向土壤中释放的 α -茄碱含量显著低于根系; 紫茄/绿茄开始腐解的 30 d/60 d 内, 茄子茎秆几乎不向外释放 α -茄碱; 腐解 60 d 后, 各品种茄子茎秆向土壤中释放 α -茄碱的含量开始增加, 紫茄增加显著, 绿茄增加缓慢; 腐解 90 d 后, 土壤中 α -茄碱含量几乎不再增加; 腐解到 90 d 时, “辽茄 7 号”、“超九叶茄”、“通杂 2 号”和“西安绿茄”茎秆残渣土壤中 α -茄碱含量分别为 $94.75 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $80.33 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $40.77 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $27.52 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $27.52 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $11.6 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。自茄叶片开始腐解, 随腐解时间增加, 土壤中 α -茄碱含量迅速升高, 且紫茄比绿茄变化显著; 紫茄叶腐解 75 d 后土壤中 α -茄碱含量增长变缓, 而绿茄叶腐解 45 d 后土壤中 α -茄碱含量几乎不再增加; 腐解到 90 d 时, “辽茄 7 号”、“超九叶茄”、“通杂 2 号”和“西安绿茄”叶片残渣土壤中 α -茄碱含量分别为 $236.66 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $211.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $92.55 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $65.74 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。不同品种腐解不同时间的根、茎和叶片残渣土壤中 α -茄碱含量排序相同: “辽茄 7 号”>“超九叶茄”>“通杂 2 号”>“西安绿茄”。

2.4 茄子不同器官水提液中 α -茄碱含量

由图 4 可知, 茄子不同器官水提液中只含有微量的 α -茄碱或不含 α -茄碱。茄子叶片水提液中 α -茄碱含量相对较高, “辽茄 7 号”、“超九叶茄”、“通杂 2 号”和“西安绿茄”含量分别为 $0.24 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.31 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.10 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.09 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 其次为茎秆水提液, 但绿茄茎秆水提液中不含 α -茄碱; 果实水提液中也仅仅含有少量 α -茄碱; 根系和花的水提液中几乎不含 α -茄碱。说明茄子几乎不能以雨水淋溶这种方式向环境中释放 α -茄碱。

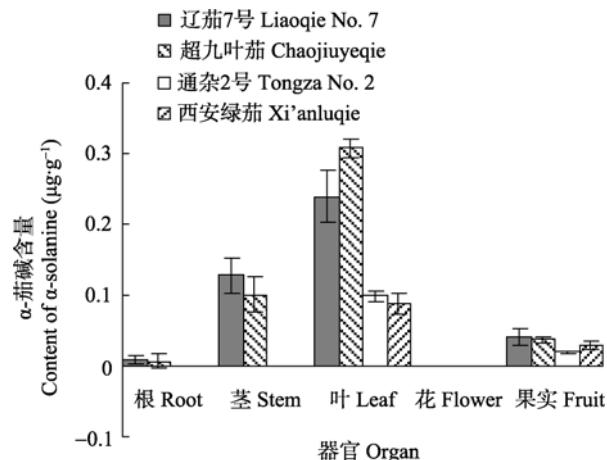


图 4 茄子不同器官水提液中 α -茄碱含量
Fig. 4 Content of α -solanine in water extracts of different eggplant organs

2.5 茄子种子萌发释放 α -茄碱含量与种子发芽的关系

由图 5 可知, 随着播种时间的增加, 茄子种子释放的 α -茄碱含量总体上呈先升高后降低的趋势。“辽茄 7 号”播种后 4 d 内种子释放 α -茄碱含量显著升高, 第 5 d 略有下降, 到第 7 d α -茄碱释放量迅速上升至最高。随后, α -茄碱释放量极显著降低, 到播种后 12 d 几乎不再释放 α -茄碱。“西安绿茄”从播种开始种子缓慢向外释放 α -茄碱, 到播种后第 5~6 d, α -茄碱释放量达到最高, 随后释放量降低, 到第 10 d 左右释放量几乎为 0。

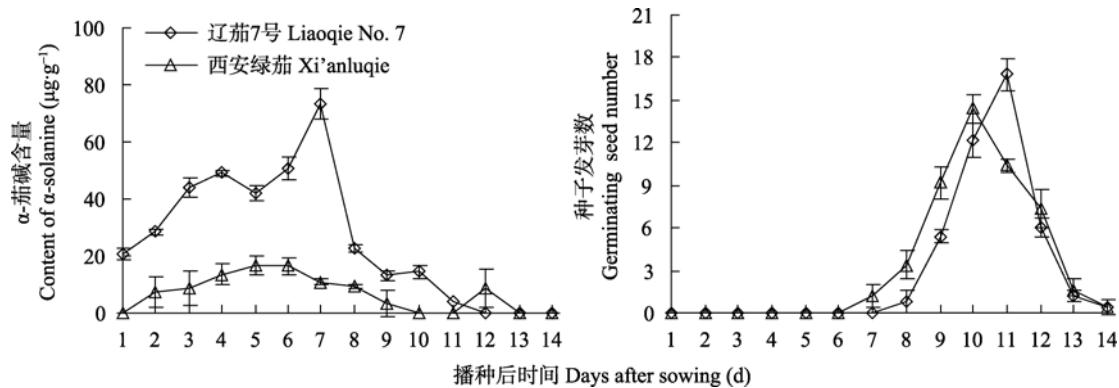


图 5 播种后不同时间不同品种茄子种子萌发释放 α -茄碱含量和种子发芽数

Fig. 5 Content of α -solanine released from germinating seeds and germinating seeds number of different eggplant varieties after different time of sowing

由图 5 可知, 茄子播种 6~7 d 内没有种子萌发, 此时 α -茄碱释放量正处于显著上升阶段; 第 8 d 后开始发芽, 此时 α -茄碱释放量已开始呈现显著下降趋势; 到播种后 10~11 d, 种子发芽数达最多, 此时 α -茄碱释放量降为 0。说明茄子种子不但向环境中释放 α -茄碱, 且释放的 α -茄碱含量与种子发芽密切相关。

3 讨论与结论

3.1 化感物质通过根部分泌

一些植物根部能分泌化感物质。小麦幼苗在无菌条件下分泌的核苷酸量占整个根干重的 0.5%~1%, 占根尖干重的 2%~4%; 蚕豆根部在 5 h 内分泌的腺嘌呤、胞苷和尿核苷的量也达到根干重的 0.1%^[12]。研究证明^[13], 谷类作物的化感物质主要通过根分泌的途径进入土壤, 用 XAD-4 树脂可以采集黑麦不同品种通过根分泌的羟基肟酸。何海斌等^[14]发现水稻“PI312777”根系分泌物中存在化感物质, 以非(弱)极性物质为主。根系分泌的酚酸类物质是重要的化感物质, 如对羟基苯甲酸、阿魏酸、丁香酸、肉桂酸、苯甲酸等, 能够抑制一些植物根系的萌发、生长^[15~16]。耿广东等^[17]利用生物测定的方法研究得出, 辣椒根系分泌物包含多种化感物质, 其中邻苯二甲酸二丁酯的含量最高。而也有一些研究表明, 自然状态下植物根系分泌的化感物质极少, 不足以发挥化感效应^[18]。比如地肤释放化感物质可能有多种途径(如地上部淋溶、根系分泌等), 但根系只释放少量的化感物质^[19]。化感物质在土壤中的累积与其在土壤中的吸附和解吸附、滞留和降解等环境行为也有密切关系^[20]。本文研究结果表明, 作为一种化感物质, 茄子中仅有极微量的 α -茄碱以根系分泌的途径进入环境, 这可能与外界因素的影响有关。

3.2 化感物质通过残根分泌

植物根部除了能直接分泌化感物质外, 另一个

释放化感物质的途径是植物残株在土壤中分解。植物残株降解必然产生大量的有机小分子, 而土壤中也存在许多经微生物或其他途径产生的小分子, 这众多的小分子在一定的土壤理化条件下完全有可能进行作用而生成新的有机分子, 这些所生成的有机分子一些是具有生物活性的, 一些是没有活性的。植物中化感物质在土壤微生物的作用下, 逐步向环境释放, 不少酚酸分子进入土壤可以在土壤的作用下聚合而失去活性, 形成非活性的化感物质。梁春启等^[21]证实玉米秸秆腐解液中存在多种对小麦土传病原菌具有不同化感作用的酚酸类物质。甄文超等^[22]在草莓根系腐解物醇提液和水提液中分别检测到 6 种和 5 种酚酸, 其中邻苯二甲酸含量较高。马永清等^[23]研究发现水稻、小麦、玉米、向日葵、豆类的残株都能产生大量的化感物质影响自身或其他作物或杂草的生长发育。本试验结果显示, 茄子中 α -茄碱向环境释放的主要途径之一是残体分解, 植株不同部位残茎腐解后释放出的 α -茄碱量不同, 大小顺序为: 叶>根>茎, 随着残株分解时间的延长, 根际土壤中 α -茄碱含量显著增高。

3.3 种子萌发传播化感物质研究

20世纪50年代以后, 研究者开始关注种子萌发产生的化学物质对土壤化学平衡的影响, 但直到80年代种子化感作用才被引起注意。种子含有的次生物质必须释放到环境中, 并影响临近植物的萌发、生长, 才能表达化感作用。60年代就发现许多杂草的种子水淋溶液能显著地抑制许多作物的萌发, 如杂草 *Abutilon theophrasti* 种子的水淋溶液含有大量的氨基酸, 对苜蓿种子的萌发有极高的抑制活性^[24~25]。最近 Laterra^[26]研究南美 Pampa 的 *Lotus tenuis* 对 *Carduus acanthoides* 化感作用时发现: 无论是在室内还是在田间, *L. tenuis* 种子释放的化感物质都对 *C. acanthoides* 的萌发和生长产生显著的影响。近年来也有一些研究证明种子浸提液对其他植物存

在化感效应^[27~29]。本试验结果发现, 茄子种子不但向环境中释放 α -茄碱, 且释放的生物碱含量与种子发芽密切相关, 该生物碱可抑制茄子种子萌发。

本研究表明, 茄子可通过根系分泌、残体分解和种子萌发途径向环境中释放 α -茄碱, 其中残体分解和种子萌发是主要途径, 根系只能主动分泌极少量的 α -茄碱。植株不同部位残茬腐解后释放出的 α -茄碱量不同, 大小顺序为叶>根>茎, 随着残株分解时间的延长, 根际土壤中 α -茄碱含量显著增高。茄子种子萌发过程释放的 α -茄碱含量与种子萌发密切相关, 该生物碱可抑制茄子种子萌发。

参考文献

- [1] Inderjit. Plant phenolics in allelopathy[J]. *The Botanical Review*, 1996, 62(2): 186~202
- [2] Udalova Z V, Zinoveva S V, Vasieva I S, et al. Correlation between the structure of plant steroids and their effects on phytoparasitic nematodes[J]. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2004, 40: 93~97
- [3] Dinkins C L, Peterson R K, Gibson J E, et al. Glycoalkaloid responses of potato to Colorado potato beetle defoliation[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, 46(8): 2832~2836
- [4] Morrissey J P, Osbourn A E. Fungal resistance to plant antibiotics as a mechanism of pathogenesis[J]. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 1999, 63: 708~724
- [5] 段江燕, 冯军军, 武志洋, 等. 番茄碱对环核苷酸磷酸二酯酶活性的影响[J]. 植物保护学报, 2005, 32(3): 335~336
- [6] 赵骥民. 茄科植物糖苷生物碱 Chaconine, Solanine 和 Tomatine 抗真菌的防御作用及生态意义[D]. 哈尔滨: 东北师范大学, 2006
- [7] 李志文. 茄子体内糖苷生物碱的含量分布特征及其化学生态学功能的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009
- [8] 周宝利, 李志文, 丁昱文, 等. 茄子(*Solanum melongena* L.)根系糖苷生物碱对 5 种蔬菜作物的化感效应及相关分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 310~316
- [9] Li Z W, Zhou B L, Ding Y W, et al. Extraction and determination of α -solanine in eggplant fruits[J]. *The Journal of Applied Horticulture*, 2009, 11(1): 59~63
- [10] 周宝利, 李志文, 丁昱文, 等. 茄子体内 α -茄碱的含量检测及分布特点研究[J]. 植物研究, 2009, 29(3): 380~384
- [11] 李志文, 周宝利, 刘翔, 等. 茄子果实中 α -茄碱的高效液相色谱法检测[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(4): 479~482
- [12] Rice. Allelopathy[M]. 2nd Ed. New York: Academic Press, 1984
- [13] Niemeyer H M, Perez F J. Potential of hydroxamic acids in the control of cereal pests, diseases, and weed[J]. *Acs Symposium Series*, 1995, 582: 260~270
- [14] 何海斌, 王海斌, 陈祥旭, 等. 化感水稻苗期不同器官水浸提液及根系分泌物对稗草的化感作用[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 14~17
- [15] 柴强, 冯福学. 玉米根系分泌物的分离鉴定及典型分泌物的化感效应[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(5): 43~48
- [16] 胡元森, 李翠香, 杜国营, 等. 黄瓜根分泌物中化感物质的鉴定及其化感效应[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 954~957
- [17] 耿广东, 张素勤, 程智慧. 辣椒根系分泌物的化感作用及其化感物质分析[J]. 园艺学报, 2009, 36(6): 873~878
- [18] Birkett M A, Chamberlain K, Hooper A M, et al. Does allelopathy offer real promise for practical weed management and for explaining rhizosphere interactions involving higher plants?[J]. *Plant and Soil*, 2001, 232: 31~39
- [19] 赵利, 牛俊义, 李长江, 等. 地肤水浸提液对胡麻化感效应的研究[J]. 草业学报, 2010, 19(2): 190~195
- [20] 王延平, 王华田. 植物根分泌的化感物质及其在土壤中的环境行为[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 501~507
- [21] 梁春启, 甄文超, 张承胤, 等. 玉米秸秆腐解液中酚酸的检测及对小麦土传病原菌的化感作用[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 210~213
- [22] 甄文超, 王晓燕, 孔俊英, 等. 草莓根系分泌物和腐解物中的酚酸类物质及其化感作用[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(4): 74~78
- [23] 马永清, 毛仁钊, 刘孟雨, 等. 小麦秸秆的生化他感效应[J]. 生态学杂志, 1993, 12(5): 36~38
- [24] Pandey D K, Kauraw L P, Bhan V M. Inhibition effect of parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.) residue on growth of water hyacinth. I. Effect of leaf residue[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1993, 19(11): 2651~2662
- [25] Kathiresan R M. Allelopathic potential of native plant against water hyacinth[J]. *Crop Protection*, 2000, 19: 705~708
- [26] Laterra P B. Seed-to-seed allelopathic effects between two invaders of burned Pampa grasslands[J]. *Weed Research*, 1999, 39: 297~308
- [27] 邵庆勤, 李孟良, 杨安中. 几种化感物质对大白菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 294~297
- [28] 李彩琴, 陈垣, 郭凤霞. 宽叶羌活种子浸提液对白菜种子萌发及幼苗生长的抑制活性[J]. 甘肃农业大学学报, 2008, 43(5): 84~86
- [29] 李华英, 张勇哲, 罗广军. 桃叶卫矛假种皮浸提液对种子发芽的影响[J]. 延边大学农学学报, 2008, 30(1): 58~62