

# 番茄种子及其萌发期化感作用分析

王广印<sup>1,①</sup>, 韩世栋<sup>2</sup>, 张建伟<sup>1</sup>, 孙 丽<sup>1</sup>

(1. 河南科技学院园艺园林学院, 河南 新乡 453003; 2. 潍坊职业学院农业工程学院, 山东 潍坊 261041)

**摘要:** 采用种子发芽生物测试法,以发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数为指标,对番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)种子及其萌发期对大白菜[*Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson]、萝卜(*Raphanus sativus* Linn.)、黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.)和番茄种子萌发的化感效应进行测定,并采用化感效应指数(RI)和化感综合效应(SE)对化感作用进行评价。结果表明:用30 mg·mL<sup>-1</sup>番茄种子浸提液培养大白菜、萝卜和黄瓜种子,各项发芽指标均低于对照;番茄种子萌发可导致套种的大白菜、萝卜和黄瓜种子的各项发芽指标降低;番茄幼苗分泌物对大白菜、萝卜和黄瓜种子的萌发也均有抑制作用;在4个发芽指标中,对种子活力指数的抑制效应最大。与对照相比,0.5和1.0 g番茄幼苗模拟腐解物对大白菜、萝卜和黄瓜种子的发芽率有一定的促进作用,但均导致种子发芽指数和活力指数的降低;而1.5 g番茄幼苗模拟腐解物对3种蔬菜种子各项发芽指标的抑制作用最大;随模拟腐解物质量的增加,番茄种子的发芽指标值也逐渐降低。8、16和24 mg·mL<sup>-1</sup>番茄幼苗浸提液对大白菜、萝卜、黄瓜和番茄种子的萌发有明显抑制作用,随浸提液浓度提高,受试蔬菜种子的各项发芽指标均逐渐降低。总体上看,在番茄种子萌发过程中对受试蔬菜种子萌发的RI值多数为负值、SE值均为负值。研究结果证实:番茄种子含有化感物质,在其萌发过程中分泌与释放化感物质并抑制胚根生长,且除抑制其他植物种子的萌发外还具有自毒作用。

**关键词:** 番茄; 化感作用; 种子浸提液; 种子萌发; 自毒作用; 蔬菜

中图分类号: S641.2; Q948.12<sup>+</sup>2.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)01-0094-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.01.15

**Analysis on allelopathy of seed and its germination stage of *Lycopersicon esculentum*** WANG Guangyin<sup>1,①</sup>, HAN Shidong<sup>2</sup>, ZHANG Jianwei<sup>1</sup>, SUN Li<sup>1</sup> (1. College of Horticulture and Landscape Architecture, He'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China; 2. College of Agricultural Engineering, Weifang Vocational College, Weifang 261041, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(1): 94-101

**Abstract:** Using seed germination bioassay and taking germination rate, germination energy, germination index and vigor index as indexes, the allelopathic effect of seeds and its germination stage of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) on seed germination of Chinese cabbage [*Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson], radish (*Raphanus sativus* Linn.), cucumber (*Cucumis sativus* Linn.) and tomato was determined, and the allelopathic effect was evaluated by allelopathic response index (RI) and allelopathic synthesis effect (SE). The results show that all seed germination indexes of Chinese cabbage, radish and cucumber cultured by 30 mg·mL<sup>-1</sup> tomato seed extract solution are lower than those of the control; germination of tomato seed can cause decreasing of all seed germination indexes of interplanted Chinese cabbage, radish and cucumber; and exudates from tomato seedling also inhibites to seed germination of Chinese cabbage, radish and cucumber. And among four seed germination indexes, the inhibition effect on vigor index of seed is the largest. Compared with the control, 0.5 and 1.0 g simulated decomposing products of tomato seedling have a promotion to seed germination rate of Chinese cabbage, radish and cucumber, but can cause decreasing of germination index and vigor index of their seeds, while 1.5 g simulated decomposing products has the largest inhibition effect on all seed

收稿日期: 2012-03-20

基金项目: 河南省科技攻关重点项目(112102110023); 河南省大宗蔬菜产业技术体系建设项目(S2010-03-G06)

作者简介: 王广印(1962—),男,陕西蒲城人,本科,教授,主要从事蔬菜栽培生理生态的研究。

①通信作者 E-mail: wangguangyin@tom.com

germination indexes of three vegetables. And seed germination indexes of tomato also gradually decrease with mass increasing of simulated decomposing products. 8, 16 and 24 mg · mL<sup>-1</sup> aqueous extract solution of tomato seedling have an obvious inhibition to seed germination of Chinese cabbage, radish, cucumber and tomato, and with rising of extract solution concentration, all seed germination indexes of vegetables tested are gradually decreasing. Generally, during tomato seed germination process, most of *RI* values of seed germination of vegetables tested are negative, and *SE* values all are negative. It is confirmed that tomato seeds contain allelochemicals, which are secreted and released during tomato seed germination process and have an inhibition to radicle growth; and also have an autotoxicity besides having inhibition effect on seed germination of other plants.

**Key words:** tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.); allelopathy; seed extract solution; seed germination; autotoxicity; vegetable

化感作用(allelopathy)是指植物(或微生物)通过向环境中释放某些化学物质对自身或周围其他植物(包括微生物)的生长产生有利或有害影响的作用<sup>[1]</sup>。这类化学物质称为化感物质(allelochemicals),通常是通过地上部淋溶和挥发、根系分泌和植物残体分解等方式释放到环境中的次生代谢产物,对周围其他植物的生长有一定的影响<sup>[1-3]</sup>。自毒作用(autotoxicity)是发生在植物种内的生长抑制作用,属于一种特殊的化感作用。

种子发芽是植物生长发育的开始,种子萌发过程不仅是植物向环境释放化感物质的途径之一,也是植物显示化感作用的第一步<sup>[4]</sup>。许多植物的种子都含有大量的次生代谢产物,当种子萌发时,这些次生代谢物进入土壤并对周围的土壤微生物或其他植物种子产生影响<sup>[5]</sup>。Vanstaden等<sup>[6]</sup>的研究结果表明:当田菁属(*Sesbania* Scop.)植物*S. punicea* (Cav.) Benth.的种子与黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.)、莴苣(*Lactuca sativa* Linn.)和萝卜(*Raphanus sativus* Linn.)等作物的种子一同萌发时,作物种子的萌发受到抑制,且对作物幼苗生长的抑制作用更强;*S. punicea*种子的水浸液对黄瓜、小麦(*Triticum aestivum* Linn.)以及鬼针草(*Bidens pilosa* Linn.)种子的萌发和幼苗生长也有显著的化感抑制作用;而在其种子萌发过程中分离获得的化感成分 sesbanimide 在 3 μmol · L<sup>-1</sup>水平就可抑制黄瓜、莴苣和萝卜种子的萌发。Latto等<sup>[7]</sup>的研究结果证实:黄瓜、番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)和小麦等作物的种子在萌发过程中也能产生化感物质,导致与它们共存的其他植物的种子不能或难以有效萌发。除农作物外,其他植物,如宽叶羌活(*Notopterygium forbesii* Boiss.)、唐古特白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)和南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairii* (Lemée

et Lévl.) L. K. Fu et Nan Li]等种类的种子中也含有抑制发芽的化感物质<sup>[8-11]</sup>。李志文等<sup>[12]</sup>的研究结果显示:茄子(*Solanum melongena* Linn.)种子在萌发过程中会向环境中释放α-茄碱,可抑制茄子种子萌发,其含量与种子萌发密切相关。这些研究结果均证实作物及其他植物的种子萌发过程中均存在不同程度的化感作用,但目前涉及种子萌发的化感作用研究主要是用于对化感活性的检测<sup>[13-14]</sup>。

番茄是主要蔬菜作物之一。目前番茄化感作用的研究主要涉及其根系分泌物、植株提取物、化感物质及化感作用检测、自毒作用、植株残体腐解物、不同种源的化感作用比较和以番茄为受体的化感效应测定<sup>[15-21]</sup>等方面,而有关番茄种子浸提液及其种子萌发期化感作用的研究报道尚不多见。

为明确番茄种子所含的化感物质及其种子萌发过程中化感物质的分泌状况,探讨番茄种子及其萌发期的化感作用机制,作者以大白菜[*Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson]、萝卜、黄瓜和番茄为受体,采用种子发芽生物测试法,对番茄种子浸提液及幼苗的分泌物、模拟腐解物和浸提液的化感效应进行测定与分析,以期为建立番茄种子及其萌发期化感作用快速检测体系提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试番茄品种‘星杂9号’种子由西安三星种子公司生产,黄瓜品种‘油绿10号’种子由新乡市华盛种业公司生产,萝卜品种‘791’种子由新乡科达种子公司生产,大白菜品种‘新乡小包23’种子由河南敦煌种业新科种子公司生产。

## 1.2 方法

1.2.1 种子浸提液提取及化感作用测定 称取番茄种子 3.000 g, 加入蒸馏水 100 mL, 于 25 °C 恒温箱内浸种 24 h, 捞出种子晾干以备萌发所用, 该浸种液即为质量浓度 30 mg · mL<sup>-1</sup> 的番茄种子浸提液。

选择均匀饱满的黄瓜、萝卜和大白菜种子, 用质量分数 5% NaClO 溶液消毒 10 min, 蒸馏水冲洗 3 次, 分别播种在铺有 2 层滤纸的培养皿(直径 10 cm)中, 每皿分别播种 50 粒种子; 分别在培养皿中加入上述番茄种子浸提液 7 mL, 对照则加入蒸馏水 7 mL, 每处理及对照均设 3 次重复; 均置于光照度 4 000 lx、光照时间 10 h · d<sup>-1</sup> 的条件下培养, 其中黄瓜种子的培养温度为 25 °C、大白菜和萝卜种子的培养温度为 20 °C; 培养期间每天添加番茄种子浸提液或蒸馏水 2 ~ 3 mL; 每天按照《国际种子发芽规程》(ISTA 1996) 统计萌发种子数量(突出种皮的胚根长度为种子长度的 1/2 即视为萌发), 在培养的第 7 天统计发芽率, 并称量胚根鲜质量。

1.2.2 对套种蔬菜种子的化感作用测定 将浸种后晾干的番茄种子均匀播入铺有 2 层滤纸的培养皿内, 每皿 30 粒种子, 加 7 mL 蒸馏水并置于温度 25 °C、光照度 4 000 lx、光照时间 10 h · d<sup>-1</sup> 的条件下培养; 3 d 后在每一培养皿内分别以间距 0.5 cm 隔行套种 20 粒黄瓜、大白菜或萝卜种子, 组成番茄与黄瓜、番茄与大白菜、番茄与萝卜 3 组处理; 同时分别在加入 7 mL 蒸馏水的培养皿中各单播 50 粒黄瓜、大白菜或萝卜种子, 即为相应处理的对照; 各处理及对照均设 3 次重复。均置于温度 25 °C、光照度 4 000 lx、光照时间 10 h · d<sup>-1</sup> 的条件下培养, 每天各皿均定时补充蒸馏水 4 ~ 5 mL。每天按照《国际种子发芽规程》(ISTA 1996) 统计黄瓜、大白菜和萝卜种子的萌发数量, 在培养的第 7 天统计发芽率, 并称量胚根鲜质量。

1.2.3 幼苗分泌物的化感作用测定 将浸种后晾干的番茄种子均匀播入铺有 2 层滤纸的培养皿内, 每皿 50 粒种子, 共 54 皿; 各皿加 7 mL 蒸馏水并置于温度 25 °C、光照度 4 000 lx、光照时间 10 h · d<sup>-1</sup> 的条件下培养 10 d, 然后拔除全部番茄幼苗, 备用; 在培养皿原有滤纸上再铺 1 层新滤纸, 加 6 mL 蒸馏水, 对照则铺 3 层新滤纸, 每皿分别播种 50 粒大白菜、萝卜和黄瓜种子, 各处理及对照均设 3 次重复; 均置于光照度 4 000 lx、光照时间 10 h · d<sup>-1</sup> 的条件下培养, 其中黄瓜种子的培养温度为 25 °C、大白菜和萝卜种子的培养

温度为 20 °C; 每天各皿均补充蒸馏水 2 ~ 3 mL。按上述方法统计种子萌发情况。

1.2.4 幼苗模拟腐解物的化感作用测定 取番茄幼苗捣碎并研磨成糊状, 即为番茄幼苗模拟腐解物; 分别称取模拟腐解物 0.5、1.0 和 1.5 g, 均匀铺入培养皿底部, 在其上铺 2 层滤纸并加入 7 mL 蒸馏水, 然后置于 25 °C 条件下腐解 24 h; 对照仅在培养皿内铺入 2 层滤纸, 并加入 7 mL 蒸馏水; 在培养皿内分别播入 50 粒大白菜、萝卜、黄瓜或番茄种子, 各处理及对照均设 3 次重复; 均置于光照度 4 000 lx、光照时间 10 h · d<sup>-1</sup> 的条件下培养, 其中黄瓜和番茄种子的培养温度为 25 °C、大白菜和萝卜种子的培养温度为 20 °C, 每天各皿均补充蒸馏水 2 ~ 3 mL。按上述方法统计种子萌发情况。

1.2.5 幼苗浸提液的化感作用测定 称取番茄幼苗 2.000、4.000 和 6.000 g, 分别切碎并研磨, 分别加入 250 mL 蒸馏水, 密封后于 30 °C 恒温箱内浸提 24 h, 过滤; 滤液即为质量浓度 8、16 和 24 mg · mL<sup>-1</sup> 的番茄幼苗浸提液, 于 4 °C 保存备用。

在铺有 2 层滤纸的培养皿内分别加入 7 mL 不同浓度的番茄幼苗浸提液, 对照则加入 7 mL 蒸馏水, 分别播入番茄、黄瓜、大白菜或萝卜种子 50 粒, 各处理及对照均设 3 次重复。在上述培养条件下培养萌发, 其中处理组每皿每天补充相应质量浓度的浸提液 2 ~ 3 mL, 对照组每皿则补充蒸馏水 2 ~ 3 mL。按上述方法统计种子萌发情况。

## 1.3 数据计算及处理

按下列公式计算各项种子萌发指标: 发芽率 = (萌发种子数/供试种子数) × 100%; 发芽势 = (规定天数的萌发种子数/供试种子数) × 100%, 大白菜、萝卜和黄瓜种子的规定天数均为 2 d; 发芽指数 (GI) =  $\sum (Gt/Dt)$ , 式中,  $Gt$  为  $t$  天时的萌发种子数,  $Dt$  为对应的种子发芽天数; 活力指数 (VI) =  $GI \times S$ , 式中,  $S$  为萌发结束时胚根的鲜质量。

参照 Williamson 等<sup>[22]</sup> 的方法, 采用化感效应指数 (response index, RI) 进行化感作用分析。RI 的计算公式为:  $RI = 1 - C/T$  (当  $T \geq C$  时),  $RI = T/C - 1$  (当  $T < C$  时), 式中,  $C$  为对照值,  $T$  为处理值。当  $RI \geq 0$  时, 为促进作用; 当  $RI < 0$  时, 为抑制作用,  $RI$  绝对值的大小与化感作用强度一致。

采用化感综合效应 (synthesis effect, SE) 作为评价综合化感作用的指标, 该指标的计算方法是供体对

同一受体各个测试项目  $RI$  值的算术平均值<sup>[23]</sup>。

采用 DPS 软件(7.05)进行实验数据的统计分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 番茄种子浸提液对蔬菜种子萌发的影响

番茄种子浸提液( $30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )对大白菜、萝卜及黄瓜种子萌发的影响见表1。由表1可见:番茄种子浸提液对大白菜、萝卜和黄瓜种子4个萌发指标的化感效应指数( $RI$ )均为负值,表明番茄种子浸提液对

这3种蔬菜种子的萌发均有抑制作用。在4个萌发指标中,种子发芽率和发芽势的 $RI$ 值绝对值较小,而发芽指数和活力指数的 $RI$ 值绝对值较大,其中活力指数的 $RI$ 值绝对值最大,间接说明番茄种子浸提液对3种蔬菜种子的化感作用主要是抑制胚根的生长。

由表1还可见:在3种蔬菜中,番茄种子浸提液对萝卜种子萌发的抑制作用最大;且对萝卜种子萌发的化感综合效应( $SE$ )绝对值也最大,而对大白菜种子的 $SE$ 绝对值最小。表明番茄种子浸提液对萝卜种子萌发的抑制作用最强、对大白菜种子萌发的抑制作用最弱。

表1 番茄种子不同浓度浸提液( $C$ )对3种蔬菜种子萌发的影响及化感效应比较( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effect of different concentrations ( $C$ ) of extract solution from seed of *Lycopersicon esculentum* Mill. on seed germination of three vegetables and comparison of allelopathic effect ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

蔬菜 <sup>2)</sup> Vegetable <sup>2)</sup>	$C/\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination energy	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	$SE$
V1	30	90.00±1.73 (-0.042 5b)	89.02±0.93 (-0.053 0b)	33.84±1.02 (-0.097 6b)	43.80±1.04 (-0.129 6c)	-0.080 7b
	0(CK)	94.00±1.73	94.00±1.00	37.50±0.51	50.32±1.21	-
V2	30	83.12±1.68 (-0.151 8a)	83.12±1.80 (-0.151 8a)	28.06±0.83 (-0.175 4a)	92.53±1.39 (-0.198 3a)	-0.169 3a
	0(CK)	98.00±1.00	98.00±1.73	34.03±0.53	115.43±4.21	-
V3	30	93.08±1.08 (-0.050 2b)	93.08±1.66 (-0.050 2b)	44.33±0.91 (-0.095 7b)	97.88±0.74 (-0.179 4b)	-0.093 9b
	0(CK)	98.00±1.00	98.00±1.00	49.02±0.94	119.28±1.87	-

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同蔬菜间差异显著( $P < 0.05$ ) Different small letters in same column indicate the significant difference among different vegetables ( $P < 0.05$ ); 括号中的数值表示化感效应指数( $RI$ ) The datum in brackets represent the allelopathic response index ( $RI$ );  $SE$ : 化感综合效应, 为各指标 $RI$ 值的算术平均值 Allelopathic synthetic effect, which is the arithmetic average of  $RI$  value of all indexes.

<sup>2)</sup> V1: 大白菜 *Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson; V2: 萝卜 *Raphanus sativus* Linn.; V3: 黄瓜 *Cucumis sativus* Linn.

### 2.2 番茄种子萌发期对套种蔬菜种子萌发的影响

番茄种子萌发期对3种套种蔬菜(大白菜、萝卜和黄瓜)种子萌发的影响见表2。由表2可见:大白菜、萝卜和黄瓜种子的4个萌发指标的 $RI$ 值均为负值,说明在番茄种子萌发过程中对套种的大白菜、萝卜和黄瓜种子的萌发均有一定抑制效应,产生了化感作用。与各自的单播处理相比,虽然各套种蔬菜种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均有所降低,但发芽率和发芽势的降低幅度较小,而发芽指数和活力指数的降低幅度较大。

由表2还可见:大白菜、萝卜和黄瓜种子的同一发芽指标的 $RI$ 值明显不同,可见3种套种蔬菜对番茄种子化感抑制作用的敏感性有明显差异,且各发芽指标所受的化感作用强度也不同。由化感综合效应( $SE$ )值也可见3种套种蔬菜对番茄种子萌发的化感抑制作用的敏感性存在差异,其中番茄种子萌发对黄瓜种子萌发的化感综合效应最大,对大白菜种子萌发

的化感综合效应最小。

### 2.3 番茄幼苗分泌物对蔬菜种子萌发的影响

番茄幼苗分泌物对3种蔬菜(大白菜、萝卜和黄瓜)种子萌发的影响见表3。由表3可见:在番茄种子萌发过程中,残留于滤纸上的幼苗分泌物对3种受体蔬菜种子萌发的化感作用略有差异。其中,黄瓜种子的发芽率略高于对照,而其发芽势、发芽指数和活力指数均较对照有所降低;大白菜和萝卜种子的各项萌发指标均低于对照。由各指标 $RI$ 值的比较可见:除黄瓜种子发芽率的 $RI$ 值外,3种受体蔬菜种子4个萌发指标的 $RI$ 值均为负值,说明番茄种子萌发过程中产生的分泌物对蔬菜种子萌发有化感抑制效应。总体来看,番茄幼苗分泌物对3种蔬菜种子发芽指数和活力指数的抑制效应大于对发芽率和发芽势的抑制效应,对活力指数的化感抑制效应最大,反映了番茄幼苗分泌物对受体蔬菜种子的胚根生长有强烈的化感抑制作用。

此外,大白菜、萝卜和黄瓜种子的同一发芽指标的  $RI$  值有一定差异,表明3种受体蔬菜种子对番茄幼苗分泌物化感作用的敏感性存在差异。总体上看,

番茄幼苗分泌物对黄瓜和大白菜种子萌发的抑制作用明显高于萝卜,对黄瓜种子萌发的化感综合效应 ( $SE$ ) 值最大,对萝卜种子萌发的  $SE$  值最小。

表2 番茄种子萌发对3种套种蔬菜种子萌发的影响及化感效应比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of seed germination of *Lycopersicon esculentum* Mill. on seed germination of three interplanted vegetables and comparison of allelopathic effect ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理 <sup>2)</sup> Treatment <sup>2)</sup>	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination energy	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	SE
1	92.07±0.97 (-0.012 5b)	92.07±0.87 (-0.012 5b)	11.38±0.79 (-0.390 5a)	6.36±0.48 (-0.409 5b)	-0.206 3b
2	93.24±1.39	93.24±1.22	18.67±0.75	10.77±0.31	-
3	90.44±0.63 (-0.002 5b)	88.23±0.58 (-0.026 9b)	13.90±0.59 (-0.287 5b)	9.36±0.26 (-0.586 6a)	-0.225 9ab
4	90.67±0.15	90.67±0.23	19.51±0.58	22.64±0.33	-
5	85.44±1.38 (-0.083 3a)	85.44±1.24 (-0.083 3a)	11.78±1.16 (-0.373 4a)	24.28±0.56 (-0.447 1b)	-0.246 8a
6	93.21±0.85	93.21±0.79	18.80±0.57	43.92±1.09	-

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同蔬菜间差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in same column indicate the significant difference among different vegetables ( $P<0.05$ ); 括号中的数值表示化感效应指数 ( $RI$ ) The datum in brackets represent the allelopathic response index ( $RI$ );  $SE$ : 化感综合效应,为各指标  $RI$  值的算术平均值 Allelopathic synthetic effect, which is the arithmetic average of  $RI$  value of all indexes.

<sup>2)</sup> 1: 番茄与大白菜套播 Interplanting of *Lycopersicon esculentum* Mill. and *Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson; 2: 大白菜单播 Single-planting of *B. campestris* ssp. *pekinensis*; 3: 番茄与萝卜套播 Interplanting of *L. esculentum* and *Raphanus sativus* Linn.; 4: 萝卜单播 Single-planting of *R. sativus*; 5: 番茄与黄瓜套播 Interplanting of *L. esculentum* and *Cucumis sativus* Linn.; 6: 黄瓜单播 Single-planting of *C. sativus*.

表3 番茄幼苗分泌物对3种蔬菜种子萌发的影响及化感效应比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 3 Effect of seedling exudates of *Lycopersicon esculentum* Mill. on seed germination of three vegetables and comparison of allelopathic effect ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

蔬菜 <sup>2)</sup> Vegetable <sup>2)</sup>	处理 <sup>3)</sup> Treatments <sup>3)</sup>	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination energy	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	SE
V1	Ex	92.23±1.47 (-0.011 8c)	90.06±0.49 (-0.002 2b)	12.92±0.73 (-0.208 8a)	8.25±0.58 (-0.220 2a)	-0.110 8a
	CK	93.34±0.62	90.26±0.26	16.33±0.58	10.58±0.56	-
V2	Ex	94.08±1.42 (-0.031 3b)	90.05±1.39 (-0.033 0a)	13.57±0.56 (-0.072 5b)	33.20±1.05 (-0.132 5b)	-0.067 3b
	CK	97.12±1.38	93.12±1.19	14.63±0.95	38.27±1.08	-
V3	Ex	96.02±0.31 (0.031 2a)	86.02±0.58 (-0.011 3b)	17.39±0.59 (-0.209 6a)	79.00±0.23 (-0.270 0a)	-0.114 9a
	CK	93.03±1.25	87.00±1.00	22.00±0.86	109.45±1.65	-

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同蔬菜间差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in same column indicate the significant difference among different vegetables ( $P<0.05$ ); 括号中的数值表示化感效应指数 ( $RI$ ) The datum in brackets represent the allelopathic response index ( $RI$ );  $SE$ : 化感综合效应,为各指标  $RI$  值的算术平均值 Allelopathic synthetic effect, which is the arithmetic average of  $RI$  value of all indexes.

<sup>2)</sup> V1: 大白菜 *Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson; V2: 萝卜 *Raphanus sativus* Linn.; V3: 黄瓜 *Cucumis sativus* Linn.

<sup>3)</sup> Ex: 番茄幼苗分泌物 Seedling exudates of *L. esculentum*; CK: 对照 The control.

## 2.4 番茄幼苗模拟腐解物对蔬菜种子萌发的影响

番茄幼苗模拟腐解物对4种蔬菜(大白菜、萝卜、番茄和黄瓜)种子萌发的影响见表4。由表4可见:与对照相比,少量(0.5和1.0g)的番茄幼苗模拟腐解物对大白菜、萝卜和黄瓜种子的发芽率有一定的促进作用,而用1.5g番茄幼苗模拟腐解物进行处理,各受体蔬菜种子的各项萌发指标均最低;总体上看,随番茄幼苗模拟腐解物质量的增加,各受体蔬菜种子的发芽指数和活力指数随之降低。从  $RI$  值的比较可见:用1.5g番茄幼苗模拟腐解物进行处理,对各受体蔬菜种子的活力指数的化感抑制效应最大。

由表4还可看出:用1.5g番茄幼苗模拟腐解物

进行处理,各受体蔬菜的化感综合效应 ( $SE$ ) 值的绝对值均为最大,但4种受体蔬菜间有明显差异,其中对萝卜、番茄、大白菜和黄瓜种子萌发的  $SE$  值分别为 -0.261 3、-0.213 9、-0.172 2 和 -0.117 4,显示各受体蔬菜种子萌发对番茄幼苗模拟腐解物化感作用的敏感性有明显差异。

此外,采用不同质量的番茄幼苗模拟腐解物进行处理,番茄种子的各项萌发指标均低于对照,表明番茄幼苗模拟腐解物对番茄种子萌发有自毒作用。

综上所述,番茄幼苗模拟腐解物对4种受体蔬菜种子的萌发总体上有化感抑制作用,表明腐解是番茄幼苗释放化感物质的途径之一。

表4 番茄幼苗模拟腐解物对4种蔬菜种子萌发的影响及化感效应比较( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 4 Effect of simulated decomposing products of *Lycopersicon esculentum* Mill. seedling on seed germination of four vegetables and comparison of allelopathic effect( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

蔬菜 <sup>2)</sup> Vegetable <sup>2)</sup>	$m/g^3)$	发芽率/% Germination rate	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	SE
V1	0.0 (CK)	93.32±1.35a(0.000 0b)	24.88±0.50a(0.000 0a)	23.09±1.04a(0.000 0a)	0.000 0a
	0.5	93.63±0.84a(0.003 4b)	24.60±0.66a(-0.011 2a)	21.22±0.62a(-0.081 0a)	-0.029 6a
	1.0	97.54±1.07a(0.043 3a)	24.31±0.48a(-0.022 9a)	18.12±0.25ab(-0.215 2b)	-0.049 9a
	1.5	91.32±0.69a(-0.021 4c)	21.50±0.40a(-0.135 8b)	14.79±0.45b(-0.359 5c)	-0.172 2b
V2	0.0 (CK)	93.70±0.56ab(0.000 0a)	24.67±0.48a(0.000 0a)	73.47±1.04a(0.000 0a)	0.000 0a
	0.5	93.76±0.74ab(0.000 6a)	24.27±0.71a(-0.016 2a)	62.93±0.64ab(-0.143 5b)	-0.053 0a
	1.0	94.07±0.24a(0.003 9a)	24.27±0.55a(-0.016 2a)	60.39±0.83b(-0.178 0b)	-0.063 4a
	1.5	86.13±0.96b(-0.080 8b)	22.40±0.46a(-0.092 0b)	28.57±0.64c(-0.611 1c)	-0.261 3b
V3	0.0 (CK)	94.15±1.04a(0.000 0a)	11.57±0.52a(0.000 0a)	5.03±0.14a(0.000 0a)	0.000 0a
	0.5	85.80±0.86b(-0.088 6ab)	10.58±0.77ab(-0.085 5ab)	4.12±0.47ab(-0.180 9b)	-0.118 3ab
	1.0	85.12±0.76b(-0.095 9b)	9.76±0.65ab(-0.156 4b)	3.71±0.61b(-0.262 4bc)	-0.171 6b
	1.5	83.34±0.82b(-0.114 8b)	8.93±0.39b(-0.228 8b)	3.53±0.38b(-0.298 2c)	-0.213 9b
V4	0.0 (CK)	93.32±0.57a(0.000 0ab)	27.63±0.44a(0.000 0a)	179.02±1.57a(0.000 0a)	0.000 0a
	0.5	94.03±0.66a(0.007 5a)	25.27±0.38a(-0.085 4ab)	158.91±1.47b(-0.112 3b)	-0.063 4a
	1.0	97.24±0.48a(0.040 3a)	23.72±0.45a(-0.141 5b)	153.11±1.66b(-0.144 7b)	-0.082 0ab
	1.5	92.22±0.58a(-0.011 8b)	23.58±0.34a(-0.146 6b)	144.34±1.43b(-0.193 7b)	-0.117 4b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一蔬菜不同处理间差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in same column indicate the significant difference among different treatments of the same vegetable ( $P<0.05$ ); 括号中的数值表示化感效应指数 ( $RI$ ) The datum in brackets represent the allelopathic response index ( $RI$ );  $SE$ : 化感综合效应, 为各指标  $RI$  值的算术平均值 Allelopathic synthetic effect, which is the arithmetic average of  $RI$  value of all indexes.

<sup>2)</sup> V1: 大白菜 *Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson; V2: 萝卜 *Raphanus sativus* Linn.; V3: 番茄 *Lycopersicon esculentum* Mill.; V4: 黄瓜 *Cucumis sativus* Linn.

<sup>3)</sup>  $m$ : 模拟腐解物的质量 Mass of simulated decomposing products.

## 2.5 番茄幼苗浸提液对蔬菜种子萌发的影响

番茄幼苗不同浓度浸提液对4种蔬菜(大白菜、萝卜、番茄和黄瓜)种子萌发的影响见表5。由表5可见:不同浓度番茄幼苗浸提液对4种蔬菜种子的发芽率、发芽指数和活力指数均有不同程度的影响,总体上看,随浸提液浓度的提高,4种蔬菜种子的发芽率、发芽指数和活力指数及其相应的  $RI$  值逐渐降低,呈现出一定的浓度效应。其中,用  $24\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  番茄幼苗浸提液进行处理,4种蔬菜种子的各项发芽指标及其  $RI$  值均显著低于其各自的对照。表明番茄幼苗浸提液对各受体蔬菜种子萌发具有化感抑制作用。

另外,用  $24\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  浸提液进行处理,各受体蔬菜种子的化感综合效应 ( $SE$ ) 绝对值均最大,但4种受体蔬菜间有明显差异,对黄瓜、萝卜、番茄和大白菜种子萌发的  $SE$  值分别为  $-0.397\ 2$ 、 $-0.244\ 0$ 、 $-0.219\ 0$  和  $-0.180\ 0$ ,显示各受体蔬菜种子对番茄幼苗浸提液化感作用的敏感性有明显差异。

由表5还可见:不同浓度番茄幼苗浸提液对番茄种子的各项萌发指标均有抑制作用,表明番茄幼苗浸提液也有一定的自毒作用。

## 3 讨论和结论

上述实验结果显示: $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  番茄种子浸提液对大白菜、萝卜和黄瓜种子萌发均有一定的抑制作用,且受体间对化感作用的敏感性存在差异,说明番茄种子内含有化感抑制物质,这与前人对其他植物的研究结果基本一致<sup>[5-7]</sup>。程宏波等<sup>[9]</sup>的研究结果表明:唐古特白刺种子水浸提液对小麦种子的发芽有化感抑制作用;田胜尼等<sup>[10]</sup>的研究结果也表明:南方红豆杉种皮和胚乳的不同浓度提取液对油菜 (*Brassica chinensis* var. *oleifera* Makino et Nomoto) 种子的萌发和幼苗的生长均存在一定的抑制作用。说明在不同的植物种子中均有化感物质的存在。

在番茄种子萌发过程中对套种蔬菜种子的萌发有一定的化感抑制作用,表明番茄种子在萌发时会产生与释放某些化感物质,这一结果与“在茄子种子萌发过程中向环境中释放  $\alpha$ -茄碱<sup>[12]</sup>”的研究结果相似。张宝琛等<sup>[24]</sup>将不同比例的三颖披碱草 (*Elymus nutans* Griseb.) 与细叶亚菊 [*Ajania tenuifolia* (Jacq. ex

表 5 番茄幼苗不同浓度浸提液 (C) 对 4 种蔬菜种子萌发的影响及化感效应比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 5 Effect of different concentrations (C) of extract solution from *Lycopersicon esculentum* Mill. seedling on seed germination of four vegetables and comparison of allelopathic effect ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

蔬菜 <sup>2)</sup> Vegetable <sup>2)</sup>	C/mg · mL <sup>-1</sup>	发芽率/% Germination rate	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	SE
V1	0 (CK)	91.13±1.66a(0.000 0b)	22.78±0.46a(0.000 0a)	11.09±0.68a(0.000 0a)	0.000 0a
	8	89.13±1.03ab(-0.022 0a)	21.93±0.54ab(-0.037 3a)	10.70±0.38ab(-0.035 2a)	-0.031 5ab
	16	84.29±0.57ab(-0.076 8ab)	18.73±0.21ab(-0.177 7b)	9.78±0.67ab(-0.118 1b)	-0.124 2b
	24	80.23±0.42b(-0.119 6b)	17.56±0.38b(-0.229 1b)	8.98±0.44b(-0.190 3b)	-0.180 0b
V2	0 (CK)	90.00±1.73a(0.000 0a)	21.71±0.61a(0.000 0a)	45.34±0.63a(0.000 0a)	0.000 0a
	8	78.44±0.78b(-0.128 4b)	18.68±0.45a(-0.139 6b)	42.55±0.70a(-0.061 5ab)	-0.109 8b
	16	76.15±0.89bc(-0.153 8b)	18.29±0.38ab(-0.157 5b)	39.46±0.48ab(-0.129 7bc)	-0.147 0b
	24	67.26±0.48c(-0.252 7c)	15.69±0.49b(-0.277 3c)	36.18±0.55b(-0.202 0c)	-0.244 0c
V3	0 (CK)	90.00±1.00a(0.000 0a)	8.15±0.18a(0.000 0a)	10.68±0.56a(0.000 0a)	0.000 0a
	8	89.33±0.77a(-0.007 4ab)	8.09±0.32a(-0.007 4a)	9.98±0.33a(-0.065 5a)	-0.026 8a
	16	81.11±0.83ab(-0.098 8b)	7.41±0.56a(-0.090 8b)	9.87±0.43ab(-0.075 8a)	-0.088 5a
	24	74.14±0.56b(-0.176 2c)	6.17±0.34b(-0.242 9c)	8.14±0.50b(-0.237 8b)	-0.219 0b
V4	0 (CK)	96.67±0.64a(0.000 0ab)	32.11±0.77a(0.000 0a)	146.02±1.68a(0.000 0a)	0.000 0a
	8	91.31±0.71ab(-0.055 5a)	28.93±0.65ab(-0.099 0a)	122.44±1.22ab(-0.161 5b)	-0.105 3ab
	16	87.78±0.52b(-0.092 0a)	24.99±0.66b(-0.221 7b)	110.26±1.46b(-0.244 9b)	-0.186 2b
	24	76.67±0.44c(-0.206 9b)	15.42±0.38c(-0.519 8c)	78.09±1.06c(-0.465 2c)	-0.397 2c

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一蔬菜不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters in same column indicate the significant difference among different treatments of the same vegetable ( $P < 0.05$ ); 括号中的数值表示化感效应指数 (RI) The datum in brackets represent the allelopathic response index (RI); SE: 化感综合效应, 为各指标 RI 值的算术平均值 Allelopathic synthetic effect, which is the arithmetic average of RI value of all indexes.

<sup>2)</sup> V1: 大白菜 *Brassica campestris* ssp. *pekinensis* (Lour.) G. Olsson; V2: 萝卜 *Raphanus sativus* Linn.; V3: 番茄 *Lycopersicon esculentum* Mill.; V4: 黄瓜 *Cucumis sativus* Linn.

DC) Tzvel.] 种子置于同一培养皿中进行萌发实验, 发现三颖披碱草对细叶亚菊种子的萌发有促进作用, 而细叶亚菊对三颖披碱草种子的萌发有抑制作用。同理, 套种蔬菜种子在萌发过程中也可能对番茄种子的萌发产生化感作用, 但由于本实验中番茄种子早播了 3 d, 仅能观察到番茄种子对套种蔬菜种子萌发的化感作用, 而未能对套种蔬菜种子的化感效应进行观察。另外, 番茄种子萌发对套种蔬菜种子的萌发均表现出抑制作用, 而未表现出促进作用, 可能与受体种类不同有关。

根系分泌是植物释放化感物质的重要途径<sup>[12,25]</sup>。本实验结果表明: 番茄幼苗分泌物对后茬播种的蔬菜种子萌发有化感抑制作用, 说明在番茄种子萌发及幼苗生长过程中合成与释放化感物质并通过根系分泌, 显示出较强的化感抑制作用。韩丽梅等<sup>[25]</sup>的研究结果显示: 生长 2 周的水培大豆 [*Glycine max* (Linn.) Merr.] 幼苗根系分泌物对胚根生长表现出极显著的化感抑制作用。这一结论与本实验的结果基本一致。而税军峰等<sup>[26]</sup>认为: 白三叶 (*Trifolium repens* Linn.) 种子萌发时对黑麦草 (*Lolium perenne* Linn.) 和弯叶画眉

草 [*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees] 的化感作用不显著, 而幼苗期以后却有着很显著的抑制作用。表明不同植物在不同生育期化感作用效应及其机制存在差异。在本研究中, 以滤纸为基质进行番茄种子播种, 其胚根和幼苗根系分泌的化感物质可被滤纸吸附, 如果将受体蔬菜种子播种于此, 可模拟大田中作物根系和茎叶分泌的化感物质对后茬蔬菜生长的影响, 可用于蔬菜作物化感作用的快速检测。

植株残体分解是化感物质向环境释放的途径之一<sup>[12,19]</sup>。实验结果显示: 用不同量的番茄幼苗模拟腐解物 and 不同浓度幼苗浸提液进行处理, 对 4 种受试蔬菜种子的萌发均有不同程度的抑制作用, 且随用量或浓度的提高抑制作用增强, 表明番茄幼苗的化感作用呈现出浓度效应。此外, 番茄幼苗模拟腐解物及其浸提液也能显著抑制番茄种子的萌发, 表现出较强的自毒作用。周志红等<sup>[15]</sup>认为: 尽管番茄地上部浸提物有自毒作用, 但这种自毒作用只对幼苗生长有影响, 对番茄种子萌发则无毒害作用。这一研究结论与作者的结论有一定的差异, 可能与化感成分的浓度以及番茄品种差异有关。作者采用的这种模拟田间植株

残体分解的方法,虽然不能完全隔绝空气中微生物的作用,但无土壤微生物及土壤环境条件的影响,可以说明番茄幼苗腐解物的化感作用。

本实验中,在4项种子发芽指标中均以种子活力指数所受的抑制作用最大,亦即番茄种子萌发过程中产生的化感物质主要抑制受试蔬菜种子胚根的生长。周志红等<sup>[15]</sup>的研究结果表明:番茄植株水浸提物对所有受体根生长的抑制作用明显高于对苗高生长的抑制作用;王丽娜<sup>[27]</sup>认为:茄子植株水浸液对生菜(*Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam.)种子的化感作用主要是降低了生菜种子的活力;郜峰等<sup>[28]</sup>的研究结果表明:地黄(*Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) Libosch. ex Fisch. et C. A. Mey.)根系分泌物对莴苣、芝麻(*Sesamum indicum* Linn.)和萝卜种子的胚根和胚芽生长都有化感作用,但对胚根生长的抑制性强、对胚芽生长的抑制弱。这些研究结果均证实:植物种子萌发过程中其胚根生长对化感作用较为敏感。

#### 参考文献:

- [1] RICE E L. Allelopathy[M]. 2nd ed. New York: Academy Press, 1984: 1-50.
- [2] SINGH H P, BATISH D R, KOHLI R K. Autotoxicity: concept, organisms and ecological significance[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 1999, 18(6): 757-772.
- [3] 刘姗姗,王海英,刘志明. 小蓬草精油化感作用的生物测定[J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(4): 56-62.
- [4] 孔垂华,胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用[M]. 北京:中国农业出版社, 2001: 126-143.
- [5] KOMAI K, IWAMRUA J, UEKI K. Plant growth inhibitor in the seed of catchweed[J]. *Weed Research*, 1983, 23: 205-209.
- [6] VANSTADEN J, GROBBELAAR N. The effect of sesbanimide and *Sesbania* seed extracts on germination and seedling growth of a number of plant species [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 1995, 35: 321-329.
- [7] LATTO J, WRIGHT H. Allelopathy in seeds[J]. *Journal Biological Education*, 1995, 29: 123-128.
- [8] 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.
- [9] 程宏波,李新荣,郭凤霞. 唐古特白刺种子浸提液对小麦种子发芽及生长的抑制效应[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(1): 58-61.
- [10] 田胜尼,孙启武,张小平,等. 南方红豆杉种子浸提液对油菜种子萌发与幼苗生长的影响研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(7): 124-127.
- [11] 张军保,张振全,沈海龙,等. 色木槭种皮透水性及种子浸提液生物效应的研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(20): 8571-8574.
- [12] 李志文,周宝利,刘翔,等. 茄子植株中 $\alpha$ -茄碱释放途径研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(6): 1261-1266.
- [13] 杨期和,叶万辉,廖富林,等. 植物化感物质对种子萌发的影响[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(12): 1459-1465.
- [14] 董红云,李亚,汪庆,等. 外来入侵植物牛膝菊和野蒿高水浸提液化感作用的生物测定[J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(2): 48-53, 91.
- [15] 周志红,骆世明,牟子平. 番茄(*Lycopersicon*)的化感作用研究[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 445-449.
- [16] 刘易,蒋桂英,简健平,等. 加工番茄根系分泌物自毒效应的研究[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 106-112.
- [17] 邓天福,王建华,高扬帆,等. 番茄化感物质对几种蔬菜幼苗生长的影响[J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(8): 43-44.
- [18] 耿广东,张素勤,程智慧. 不同化感物质对番茄根系吸收矿物质元素的影响[J]. *中国蔬菜*, 2009(4): 48-51.
- [19] 李志宏,秦勇,彭思健,等. 加工番茄植株残体腐解物化感作用的研究[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(6): 306-309.
- [20] 耿广东,程智慧,张素勤,等. 番茄种质资源的化感作用[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(9): 314-315, 338.
- [21] 魏玲,程智慧,张亮. 不同品种大蒜秸秆水浸液对番茄的化感效应[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2008, 36(10): 139-145.
- [22] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassay for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
- [23] 沈慧敏,郭鸿儒,黄高宝. 不同植物对小麦、黄瓜和萝卜幼苗化感作用潜力的初步评价[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 740-743.
- [24] 张宝琛,白雪芳,顾立华,等. 生化他感作用与高寒草甸上人工草场自然退化现象的研究[J]. *生态学报*, 1989, 9(2): 115-120.
- [25] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,等. 大豆根分泌物的鉴定及其化感作用的初步研究[J]. *大豆科学*, 2000, 19(2): 119-125.
- [26] 税军峰,张玉琳,马永清. 白三叶对黑麦草、弯叶画眉草的化感作用初探[J]. *草业科学*, 2007, 24(1): 48-51.
- [27] 王丽娜. 茄子对番茄幼苗化感作用及其机理研究[D]. 重庆:西南大学园艺园林学院, 2009.
- [28] 郜峰,洪冲,陈红歌,等. 地黄根系分泌物生物活性研究及化感物质的鉴定[J]. *江西农业学报*, 2010, 22(3): 131-134.