

不同轮作系统中作物根渗出物对大豆种子萌发的化感作用

李春杰¹, 赵丹², 司兆胜³, 潘凤娟¹, 许艳丽¹

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所/黑土区农业生态重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 黑龙江省农业科学院 园艺分院, 黑龙江 哈尔滨 150069; 3. 黑龙江省植检植保站, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 为明确不同作物根渗出物对大豆种子的化感作用, 用滤纸法研究了6种轮作系统中5种作物根渗出物对大豆种子发芽及芽生长的影响。结果表明: 大豆种子在大豆连作(S...SS)12年区土壤中种植后, 在其根渗出物中大豆种子的发芽率为63.3%, 与玉米-大豆-玉米(CSC)轮作区相比(发芽率96.7%), 对大豆种子萌发有明显的抑制作用。在小麦-大豆-小麦(WSW)、大豆-小麦-玉米(SWC)和玉米-大豆-玉米(CSC)轮作区种植甜菜后, 与相应轮作系统中种植其它作物相比, 大豆种子在甜菜根渗出物中的发芽率和发芽势几乎最低, 且在所有供试轮作系统中种植甜菜后均不利于下茬大豆种子发芽后的芽生长; 而在所有轮作系统中种植亚麻后, 其根渗出物更好地促进了下茬大豆种子发芽, 且芽长势良好。玉米除了在小麦-大豆-小麦(WSW)轮作区外, 在其它轮作系统中种植后对大豆种子发芽影响不大。在玉米-大豆-玉米(CSC)、大豆-小麦-大豆(SWS)和裸地(Nudation)中小麦根渗出物利于大豆种子发芽和芽生长。总之, 同一作物在不同轮作系统中种植或不同作物在同一轮作系统种植后, 作物的根渗出物对大豆种子发芽和芽生长的影响有显著差异。

关键词: 化感作用; 根渗出物; 轮作系统; 大豆; 发芽

中图分类号: S312

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)02-0206-05

Allelopathy Effect of Root Diffusate of Crops in Different Rotation Systems on Germination and Growth of Soybean Seed

LI Chun-jie¹, ZHAO Dan², SI Zhao-sheng³, PAN Feng-juan¹, XU Yan-li¹

(1. Key Laboratory of Mollisols Agroecology/Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150091, China; 2. Horticultural Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150069, China; 3. Plant Quarantine and Plant Protection Station of Heilongjiang Province, Harbin 150090, China)

Abstract: In order to clarify the allelopathy effect of root diffusate of different crops on soybean seeds, the effect of root diffusates of crop in different rotation systems on germination and sprout growth of soybean seed were tested by the filter paper method. The germination rate of soybean seed was 63.3% in the root diffusates of soybean planted in soybean continuous cropping for 12 years (S...SS), which indicated germination percentage of soybean seed inhibited by the soybean root diffusates of continuous cropping system in comparison with Corn-Soybean-Corn (CSC) rotation system with 96.7% germination. Germination rate and germinability of soybean seed were almost the lowest in the root diffusate of sugarbeet in comparison with other crops planted in Wheat-Soybean-Wheat (WSW), Soybean-Wheat-Corn (SWC) and CSC rotation systems, and the root diffusates of sugarbeet planted in all the rotation systems were not beneficial to growth of soybean sprouts. Germination and sprout growth of soybean seed were increased by the root diffusates of flax planted in all the rotation systems. The effect of corn root diffusate on soybean seed germination wasn't significant in five rotation systems except WSW. The root diffusates of wheat planted in CSC, SWS and Nudation benefited germination and sprout growth of soybean seed. The effect of the root diffusates of same crop planted in different rotation systems or different crops planted in the same rotation system on germination and sprout growth of soybean seed was markedly different.

Key words: Allelopathy; Root diffusate; Rotation systems; Soybean; Germination

植物化感作用是指植物化感物质通过淋溶、挥发、残体分解和根系分泌向环境中释放化学物质, 从而对自身或周围其它植物(包括微生物)间接产生有利或有害的作用^[1]。化感作用在农业生产中的应用极为广泛, 无论是作物的单一种植还是轮作、间作、覆盖、翻埋和重茬种植, 都要考虑化感作

用的影响^[2]。根系分泌物是植物在生长过程中通过根的不同部位向基质(土壤、营养液等)中溢泌或分泌的一组种类繁多的物质^[3-4]。广义的根系分泌物包括活体植物根系产生的渗出物、分泌物、粘胶质以及植物残体和脱落物等的降解物, 狭义的根系分泌物仅指植物通过根系分泌到土壤的各种化学

收稿日期: 2012-12-28

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD21B01-15); 黑龙江省“十一五”科技攻关项目(GA06B101-1-5)。

第一作者简介: 李春杰(1976-), 女, 博士, 副研究员, 从事作物病虫害生物生态控制。E-mail: lichunjie@neigahrb.ac.cn。

通讯作者: 许艳丽(1958-), 女, 研究员, 博士生导师, 从事植物线虫病害、作物病虫害生物生态控制和土壤微生态研究。

E-mail: xyll@neigahrb.ac.cn。

物质^[5]。多数情况下指狭义根系分泌物,其种类和数量受植物种类、发育时期、土壤中各种物理因素、植物营养、机械的或病虫害引起的损伤、微生物的活动、叶面喷施化学物质、光照和温度等因素的影响。根际周围的生长环境不同,根系分泌的组成及含量不同。如与轮作大豆相比,连作大豆根分泌物有抑制种子萌发的趋势^[6],重茬大豆根分泌物对大豆种子的萌发和发芽速度有明显的抑制作用^[7]。大豆重迎茬种植根系分泌物增加,且对大豆生长发育有不利的影响^[8]。刘志明等研究表明南方根结线虫卵在 2 个香蕉品种根渗出物中的孵化率差异达极显著水平^[9]。许艳丽等针对我国北方大豆产区 5 种主要种植茬口条件下,5 种主要作物的根系渗出物对大豆胞囊线虫卵孵化情况进行了研究,结果发现作物对大豆胞囊线虫卵孵化的促进和抑制作用不是简单地由寄主和非寄主来决定,不同茬口种植的同种作物的根系渗出物对大豆胞囊线虫卵孵化存在差异^[10]。而关于不同作物在不同茬口种植后的根系渗出物对大豆种子发芽的研究鲜有报道,因此,对不同茬口种植不同作物的根系渗出物对大豆种子萌发的化感作用进行了研究,旨在明确其对大豆种子发芽和芽生长的影响,减少因轮作制度或前茬作物影响大豆种子发芽所造成的缺苗而减产的危险,充分发挥栽培品种的丰产性能。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在中国科学院海伦农业生态实验站长期定位试验区进行,土壤为典型黑土。以黑龙江省主要轮作体系中主要作物大豆、玉米和小麦设置不同茬口,每个处理在一定年限都循环自成轮作体系。供试轮作系统有小麦-大豆-小麦(WSW)、大豆-小麦-玉米(SWC)、玉米-大豆-玉米(CSC)、大豆-小麦-大豆(SWS)、大豆连作 12 年(S...SS)、裸地 12 年(Nudation)。定位试验区供试作物品种:大豆为黑农 35,玉米为海育 6 号,小麦为龙麦 19。小区行长 10 m,行宽 0.7 m,小区面积 77 m²。JP2 大豆施肥量:磷酸二铵 150 kg·hm⁻²;玉米施肥量:磷酸二铵 150 kg·hm⁻²、尿素 225 kg·hm⁻²(一半基肥,一半追肥);小麦施肥量:磷酸二铵 84 kg·hm⁻²,尿素 168 kg·hm⁻²。大豆种植密度为 30 万株·hm⁻²,玉米种植密度为 4.8 万株·hm⁻²,小麦种植密度为 600 万株·hm⁻²。人工播种,田间管理采用当地常规方法,3 种作物均为垄作,三铲三趟,小麦收获后每年夏季,人工翻地,大豆和玉米收获后秋季机械旋耕。裸地不种植任何作物,人工铲除杂草,其他管理方式同大豆和玉米试验区。

在不同轮作系统土壤中种植以下作物:玉米(海育 6 号)、小麦(NEAU7742)、大豆(合丰 25)、甜菜(甜研 303)、亚麻(双亚 5 号)。然后收集 5 种作物的根渗出物,用滤纸法室内测试不同轮作系统中作物根渗出物对大豆种子发芽及芽生长的影响。

1.2 根渗出物的制备

取各轮作试验区耕层土(0~20 cm),供盆栽试验用。塑料盆大小为 10.5 cm×9.0 cm,内盛土 300 g,每盆根据作物植株大小分别定苗:小麦和亚麻各 15 株,甜菜 12 株,玉米和大豆各 4 株,每处理 3 盆,试验在温室内进行。在作物出苗后 30 d,将植株拔出,保留完整的根,用清水冲洗干净,参照 Tefft 等^[11]的方法,将根剪下后浸入盛有 150 mL 蒸馏水的三角瓶中,在 22℃ 的恒温培养箱内培养 24 h。然后取出并用滤纸吸干,称根鲜重。三角瓶中的蒸馏水里含有不同作物在不同茬口土壤中种植后的根渗出物,该溶液为不同作物的根渗出液。4℃ 冰箱保存,24 h 内进行大豆发芽试验。根渗出物的孵化活力用单位体积去离子水所含的根重与浸泡时间的乘积值(foot gram-hours per milliter,简称 RGH)表示。所有作物根渗出物的孵化活力为 RGH=1。

1.3 根渗出物对大豆发芽影响试验

在直径为 90 mm 的玻璃培养皿底中垫有 1 层定性滤纸。从净种子中随机取 150 粒(3 皿×50 粒)。把种子均匀摆在预先准备好的培养皿中,然后在种子上盖 1 层定性滤纸,再向滤纸上滴加 7 mL 不同作物的根浸提液。将所有培养皿放在 22℃ 恒温光照培养箱中,60%~65% 的湿度,每天保持 12 h 光照,每天打开培养箱 5 min 进行通气^[12-13]。每 24 h 调查发芽情况,120 h 测定胚根长、主根长和芽鲜重。整个试验重复 2 次,所有数据为 2 次试验的平均值。

计算不同处理条件下大豆的发芽势和发芽率等指标^[14]。

发芽势(%)=($S_{\text{日}}/S_{\text{总}}$)×100;发芽率(%)=($S_{\text{max}}/S_{\text{总}}$)×100。式中 $S_{\text{日}}$ 为日均发芽数达到最高时的发芽种子数; $S_{\text{总}}$ 为测定的样品种子总数; S_{max} 为最高发芽粒数。

1.4 数据分析

试验结果用 SPSS 11.5 统计软件进行数据处理与分析,同时采用单因素在 0.05 水平对每个轮作系统内以不同作物为处理进行方差分析(One-Way ANOVA)和 LSD 多重比较检验各处理组间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同轮作系统中作物根渗出物对大豆种子发芽的影响

所有处理第 2 天发芽最快,所以发芽势为第 2 天

的数值。第3天的发芽率几乎达到最大值,图1A~F中的发芽率为第4天的调查结果。

在麦-豆-麦轮作区,大豆种子在亚麻根渗出物中的发芽率和发芽势最高,分别是90%和56.7%;在玉米的根渗出物中大豆的发芽率和发芽势均最低(图1A)。

在豆-麦-米轮作区,大豆种子在玉米和亚麻根渗出物中的发芽率和发芽势均较高,分别达90%和50%以上;大豆种bb在小麦根渗出物中的发芽率和发芽势均最低(图1B)。

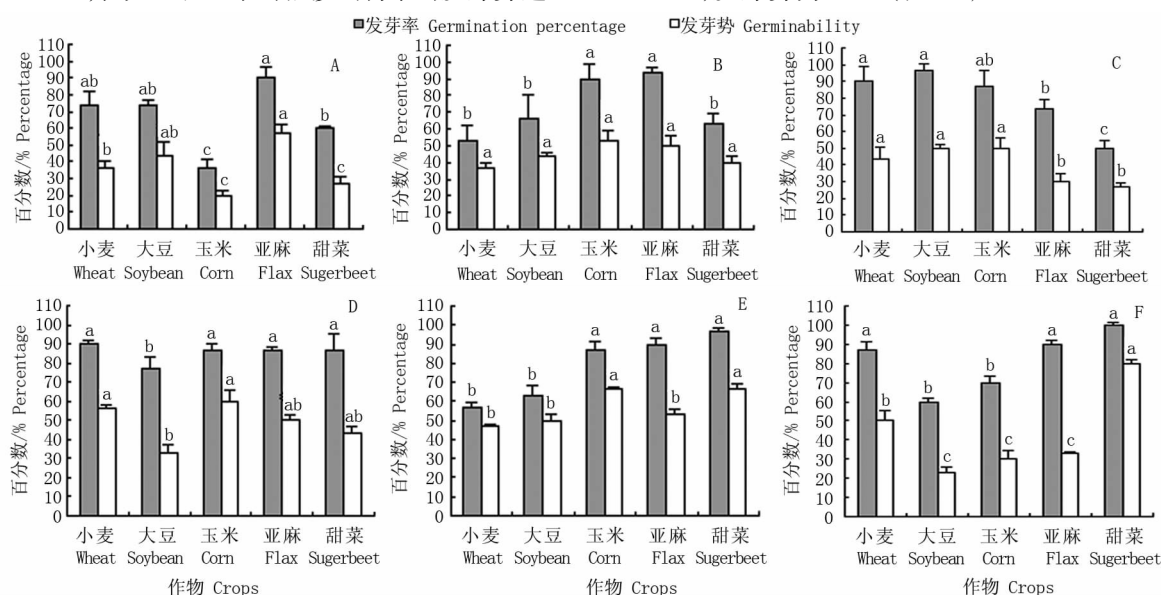
在米-豆-米轮作区,大豆种子在甜菜根渗出物中的发芽明显受到抑制,发芽率为50%,发芽势为26.7%;在小麦和大豆根渗出物中大豆种子的发芽率达90%以上;在大豆和玉米的根渗出物中的发芽势达

50%(图1C)。

在豆-麦-豆区轮作区,大豆种子在大豆根渗出物中的发芽率和发芽势均最低,分别为76.7%和33.3%;在小麦、玉米、亚麻和甜菜的根渗出物发芽率均在85%以上(图1D)。

在大豆连作12年区,大豆种子在小麦和大豆根渗出物中的发芽率均较低,分别是56.7%和63.3%;在玉米、亚麻和甜菜的根渗出物中的发芽率均高于85%,发芽势也都大于50%(图1E)。

在裸地12年区,大豆种子在大豆、玉米和亚麻根渗出物中的发芽势很低,约30%;在甜菜根渗出物中的发芽率最高,为100%,发芽势也最高,达80%;其次是在小麦根渗出物中的发芽率为86.7%,发芽势为50%(图1F)。



A:麦-豆-麦;B:豆-麦-米;C:米-豆-米;D:豆-麦-豆;E:大豆连作12年;F:裸地;同一指标不同小写字母代表0.05水平差异显著,下同。

A: Wheat-Soybean-Wheat (WSW); B: Soybean-Wheat-Corn (SWC); C: Corn-Soybean-Corn (CSC); D: Soybean-Wheat-Soybean (SWS); E: Soybean continuous cropping for 12 years (S...SS); F: Nudation. Values of the same index followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level, the same below.

图1 不同轮作系统中作物根渗出物对大豆发芽的影响

Fig. 1 Effect of root diffusate of crops in different rotation systems on seed germination of soybean

从大豆种子的发芽率和发芽势结果看,不同作物种植在不同轮作系统后的根渗出物对大豆种子的发芽有不同程度的影响。亚麻除了在米-豆-米系统外(发芽率73.3%),在其他5个轮作系统中的根渗出物有利于下茬大豆种子的发芽,发芽率均达90%;甜菜在麦-豆-麦、豆-麦-米和米-豆-米轮作区种植后,其根渗出物对下茬大豆种子的发芽有抑制作用,在豆-麦-豆、大豆连作12年区和裸地中种植甜菜后,其根渗出物却促进了下茬大豆种子的发芽;玉米在豆-麦-米、米-豆-米、豆-麦-豆和大豆连作12年区中的根渗出物有利于下茬大豆种子的发芽;小麦在豆-麦-米和大豆连作12年区种植后,其根渗出物不利于大豆种子的发芽;大豆在米-豆-米轮作区

种植后,大豆种子在其根渗出物中的发芽率达96.7%,发芽势达50%,大豆种植在其他轮作系统中,下茬大豆种子的发芽率和发芽势均不高。

2.2 根渗出物对大豆芽生长的影响

2.2.1 胚根长 在不同轮作系统中种植不同作物后,大豆种子在不同作物根渗出物中发芽,5 d后测大豆芽的胚根长,与相应茬口中其他作物相比,在麦-豆-麦、豆-麦-米、大豆连作12年和裸地中亚麻根渗出物中的大豆芽胚根最长,均达5.5 cm以上;在米-豆-米和豆-麦-豆轮作区小麦根渗出物中的大豆芽胚根较长;除豆-麦-米轮作区外,其他轮作区中甜菜根渗出物中大豆种子芽的胚根为1.2~2.1 cm,显著低于相应茬口中的其他作物(图2)。

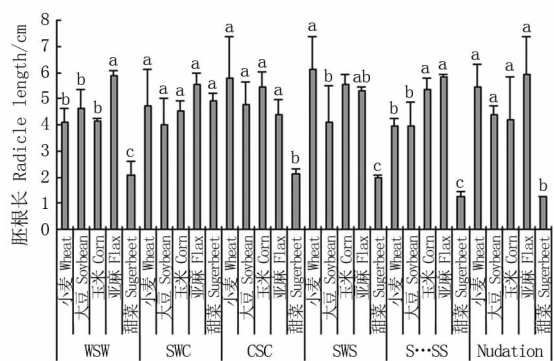


图2 不同轮作系统中作物根渗出物对大豆芽胚根长的影响

Fig.2 Effect of root diffusates of crops in different rotation systems on sprout radicle length of soybean

2.2.2 主根长 与相应轮作区种植其他作物相比,所有轮作区中种植甜菜后,大豆芽的主根均最短,为9.5 cm以下,显著低于其他作物;大豆种子在亚麻根渗出物中发芽后主根较长,均达10.8 cm以上。大豆芽主根长与大豆芽胚根长趋势基本相同(图3)。

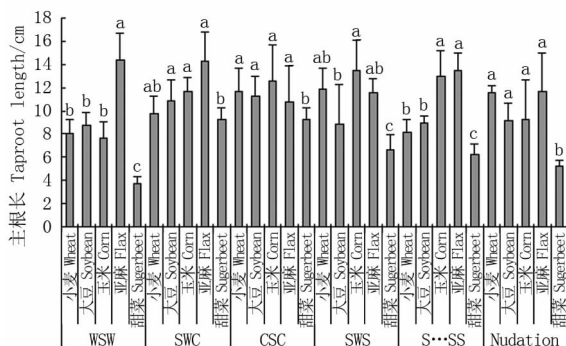


图3 不同轮作系统中作物根渗出物对大豆芽主根长的影响

Fig.3 Effect of root diffusates of crops in different rotation systems on sprout taproot of soybean

2.2.3 鲜重 在所有供试轮作系统中,除在豆-麦-米轮作区,甜菜根渗出物中大豆芽鲜重均显著低于相应轮作系统中的其他作物。其他4种作物在所有供试轮作系统种植后,大豆种子在根渗出物中发芽后的芽鲜重差异不显著(图4)。

从大豆种子芽生长情况看,甜菜除了在豆-麦-米系统外,种植在其他轮作制度中,大豆种子芽在其根渗出物中生长情况均表现不好,胚根和主根短,鲜重低。亚麻种植在麦-豆-麦、豆-麦-米、大豆连作12年和裸地系统中,其根渗出物中的大豆芽胚根和主根明显长于其他作物根渗出液处理,鲜重也较高;在米-豆-米和豆-麦-豆中虽然不高于其他处理,但与其他处理差异不显著。玉米在所有轮作制度中种植后,大豆种子的胚根和主根生长良好,鲜重较高,尤其在米-豆-米、豆-麦-豆和大豆连作12年区。

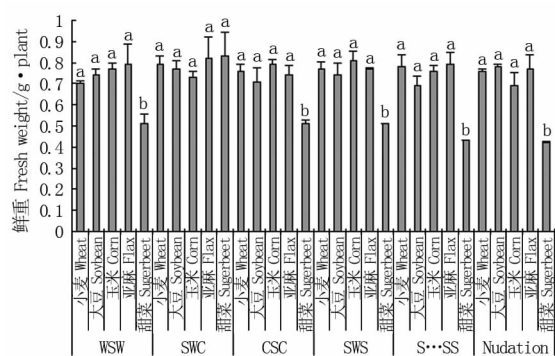


图4 不同轮作系统中作物根渗出物对大豆芽鲜重的影响

Fig.4 Effect of root diffusates of crops in different rotation systems on sprout fresh weight of soybean

3 结论与讨论

在所有供试轮作系统中种植甜菜后均不利于下茬大豆种子芽生长,在麦-豆-麦、豆-麦-米和米-豆-米轮作区的发芽率和发芽势几乎最低;而在所有轮作制度中种植亚麻后,更好地促进了下茬大豆种子发芽和芽生长;玉米除了在麦-豆-麦轮作区外,在其他轮作制度中种植后对下茬大豆种子发芽影响不大。大豆种子在大豆连作12年土壤中种植后,与种在玉米-大豆-玉米轮作区相比,其根渗出物对大豆种子萌发有明显的抑制作用。在玉米-大豆-玉米、大豆-小麦-大豆和裸地中小麦根渗出物利于大豆种子发芽和芽生长。总之,在不同轮作系统中种植不同作物后,不同作物根渗出物对大豆种子发芽和芽生长有着不同程度的影响。

化感作用是植物界普遍存在的一种现象,几乎存在于所有的植物器官中;但不同种类植物之间以及不同器官的作用类型和影响速率并不相同,甚至差异很大,在某些场合中可收到化感的增产效益^[15]。通过研究6种不同轮作系统中5种不同作物根渗出物对大豆种子萌发的影响,证实了有些作物如亚麻的根渗出物能促进大豆种子萌发。

在该试验中,与米-豆-米轮作相比,连作12年区大豆根渗出物有抑制种子萌发的趋势,这与鞠会艳等^[2]观点相同。但与麦-豆-麦、豆-麦-豆和豆-麦-玉轮作相比,未见连作12年大豆根渗出物有明显抑制种子萌发的趋势,这可能与大豆轮作的作物和顺序有关。

根渗出物中主要成分是根系分泌物,有些学者研究了根系分泌物中的化学物质对大豆发芽的作用。肉桂酸、苯甲酸、香草酸和对羟基苯甲酸对大豆种子的发芽率和胚根伸长均表现出高浓度时强烈的抑制作用,随着浓度的降低抑制作用减弱^[16]。

酚酸是化感物质中重要的一类,而苯甲酸、肉桂酸和香草酸是文献中经常报道的化感物质^[17]。韩丽梅等^[18]对重茬大豆根际土壤有机化合物进行了初步鉴定,并且在实际土壤用量条件下,醇提液对大豆种子萌发及胚根生长未表现出化感作用,这可能与其致害浓度有关。Bazivam 等^[19]报道,苯甲酸、肉桂酸使大豆膜透性增加。关于该研究中的不同作物在不同轮作系统中种植后根系分泌物促进或抑制大豆种子发芽的机制还不清楚,根系分泌物中化学物质的差异还有待于进一步深入研究。

参考文献

- [1] Rice E L. Allelopathy[M]. 2nd ed. Academic Press INC, 1984.
- [2] 彭少麟,邵华. 化感作用的研究意义及发展前景[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 780-785. (Peng S L, Shao H. Research significance and foreground of allelopathy[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(5): 780-785.)
- [3] 申建波,张福锁. 根分泌物的生态效应[J]. 中国农业科技导报, 1999, 1(4): 21-27. (Shen J B, Zhang F S. Ecological effect of root exudates[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 1999, 1(4): 21-27.)
- [4] 史刚荣. 植物根系分泌物的生态效应[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 97-101. (Shi G R. Ecological effects of plant root exudates[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(1): 97-101.)
- [5] 韩雪,吴凤芝,潘凯. 根系分泌物与土传病害关系之研究综述[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 316-318. (Han X, Wu F Z, Pan K. Review on the relation between the root exudates and soft spread disease[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(2): 316-318.)
- [6] 鞠会艳,韩丽梅. 连作大豆根分泌物对根腐病原菌及种子萌发的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(4): 45-49. (Ju H Y, Han L M. Influence of root exudations on pathogenic fungi produced by root rot and seed germination in continuous cropping soybean[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2002, 24(4): 45-49.)
- [7] 刘成,马凤鸣,吴蕾,等. 重茬大豆根系分泌物的成分及化感作用研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 11957-11959. (Liu C, Ma F M, Wu L, et al. Research on the composition in the exudate from root system of continuous cropping soybean and its allelopathy[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(22): 11957-11959.)
- [8] 何志鸿,许艳丽,刘忠堂,等. 大豆重茬减产的原因及农艺对策研究-重茬大豆的根系分泌物与根茬腐解物[J]. 大豆科技, 2011(4): 7-14. (He Z H, Xu Y L, Liu Z T, et al. One of the important reasons for reducing yield of soybean planted continuously and alternately and agronomic measures[J]. Soybean Bulletin, 2011(4): 7-14.)
- [9] 刘志明,陆光艺,黄金玲,等. 不同香蕉品种根渗出物对南方根结线虫卵孵化的影响[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(5): 564-566. (Liu Z M, Lu G Y, Huang J L, et al. Effects of root exudation of different banana varieties on the egg hatch of *Meloidogyne incognita*[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2010, 29(5): 564-566.)
- [10] 许艳丽,陈伊里,司兆胜,等. 不同茬口条件下的作物根渗出物对大豆胞囊线虫(*Heterodera glycines*)卵孵化影响[J]. 植物病理学报, 2004, 34(6): 481-486. (Xu Y L, Chen Y L, Si Z S, et al. The effects of the root diffusate of different crops from different rotation systems on the egg hatch of soybean cyst nematode *Heterodera glycines*[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2004, 34(6): 481-486.)
- [11] Tefft P M, Bone L W. Plant-induced hatching of eggs of Soybean Cyst Nematode *Heterodera glycines* [J]. Journal of Nematology, 1985, 17(3): 275-279.
- [12] 单兴翠,陈文云,刘惠平. 如何做好大豆发芽试验[J]. 种子世界, 2010(9): 37-38. (Shan X C, Chen W Y, Liu H P. How to conduct the experiment of germination of soybean seeds [J]. Seed World, 2010(9): 37-38.)
- [13] 戴丽岩. 不同设置温度对大豆种子室内发芽率的影响[J]. 种子世界, 2012(4): 42. (Dai L Y. Effect of temperature on germination of soybean seed indoors[J]. Seed World, 2012(4): 42.)
- [14] 陈圆圆,郭水良,娄玉霞,等. 大金发藓和小蛇苔化学他感作用的生物测定[J]. 植物研究, 2009, 29(1): 108-112. (Chen Y Y, Guo S L, Lou Y X, et al. Bioassay on allelopathic effect of *Polytrichum commune* and *Conocephalum japonicum* [J]. Bulletin of Botanical Research, 2009, 29(1): 108-112.)
- [15] 余叔文,汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 1998: 699-720. (Yu S W, Tang Z C. Molecular Biology and Physiology of Plants [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1998: 699-720.)
- [16] 郑军辉. 大豆连作障碍中自毒作用的研究[D]. 浙江: 浙江大学出版社, 2003. (Zheng J H. Autotoxicity of soybean continuous cropping barrier [D]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 2003.)
- [17] 陈龙,李建东,王国骄,等. 几种酚酸对大豆种子萌发的化感效应[J]. 种子, 2011, 3(5): 83-87. (Chen L, Li J D, Wang G J, et al. Allelopathy effect of several phenolic acids on seed germination of soybean [J]. Seed, 2011, 30(5): 83-87.)
- [18] 韩丽梅,阎飞,王树起,等. 重茬大豆根际土壤有机化合物的初步鉴定及对大豆种子萌发的化感作用[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 582-586. (Han L M, Yan F, Wang S Q, et al. Primary identification of organic compounds in soybean rhizospheric soil on continuous and alternate cropping and their allelopathy on soybean seed germination [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(4): 582-586.)
- [19] Bazivam akengu R G D. Effects on Benoxic and einnanie on membrane permeability of soybean roots [J]. Journal of Chemical Ecology, 1995, 21(9): 1271-1285.