

# 亚麻芥根系分泌物对胡麻和藜种子萌发及幼苗生长的影响

曹丽<sup>1</sup>, 刘杰<sup>1</sup>, 张素梅<sup>1</sup>, 范天天<sup>2</sup>, 宋谦<sup>1</sup>

(1. 平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000; 2. 会宁县韩家集镇人民政府, 甘肃 会宁 730700)

**摘要:** 为了探究亚麻芥根系分泌物对胡麻和杂草藜的化感作用, 采用水培法观察了亚麻芥根系分泌物对胡麻和藜种子萌发与幼苗生长的影响。结果表明, 亚麻芥根系分泌物对胡麻和藜种子的萌发具有抑制作用, 且抑制作用随着处理浓度的增加而增强。亚麻芥根系分泌物对胡麻根长、根鲜重、苗鲜重具有抑制作用, 在低处理浓度时对胡麻苗高具有促进作用, 在中、高处理浓度时抑制作用较小; 对杂草藜幼苗生长具有抑制作用, 但抑制作用较小。综合分析, 亚麻芥根系分泌物在低处理浓度时对胡麻生长的抑制作用小于对藜的抑制作用, 在中、高处理浓度时大于对藜的抑制作用。

**关键词:** 亚麻芥; 胡麻; 藜; 化感效应; 根系分泌物

中图分类号: S451.224

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)02-0155-05

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2023.02.012

## Allelopathic Effects of *Camelina sativa* Root Exudates on Seed Germination and Seedling Growth of Oil Flax and Quinoa

CAO Li<sup>1</sup>, LIU Jie<sup>1</sup>, ZHANG Sumei<sup>1</sup>, FAN Tiantian<sup>2</sup>, SONG Qian<sup>1</sup>

(1. Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang Gansu 74400, China; 2. People's Government of Hanjiaji Township, Huining County, Huining Gansu 730700, China)

**Abstract:** In order to explore the allelopathic effects of *Camelina sativa* root exudates on oil flax and quinoa, this research studied the effects of *Camelina sativa* root exudates on seed germination and seedling growth of oil flax and quinoa using hydroponics in the laboratory. The results showed that the *Camelina sativa* root exudates had inhibitory effects on seed germination of oil flax and quinoa, and the inhibition increased with the increase of treatment concentration. Root exudates of *Camelina sativa* inhibited the root length, root fresh weight and seedling fresh weight of oil flax and promoted seedling height of oil flax at low concentration treatment, but it showed little inhibitory effect at medium and high concentration treatments. It inhibited the growth of quinoa seedling, but the inhibition effect was small. Comprehensive analysis showed that the root exudates of *Camelina sativa* had less inhibitory effect on the growth of quinoa than that on oil flax at low concentration treatment, and more inhibitory effect on the growth of quinoa than that on oil flax was detected at medium and high concentration treatments.

**Key words:** *Camelina sativa*; Oil flax; Quinoa; Allelopathic effect; Root exudate

藜是胡麻田主要杂草之一, 目前对于藜的防治多采用化学除草剂喷防<sup>[1-2]</sup>, 但除草剂的大量使用易引发环境污染、后茬作物药害等一系列相关问题, 给农作物安全生产和生态环境造成了威胁。利用直接从植物中提取或间接合成的化感物质防治杂草是一种资源节约、环境友好型的生态防治方法, 在降低生产成本的同时减少了环境污

染, 对生态环境保护和农业的可持续发展具有重要意义<sup>[3-4]</sup>。

根系分泌物是指植物在生长过程中根系分泌的多种生物化学物质的总称, 大量研究表明, 根系分泌物具有化感作用, 对植物生长的影响主要有促进、抑制和无联系 3 种情况<sup>[5]</sup>。牛学礼等<sup>[6]</sup>的研究表明, 香草根分泌物水浸液能显著促进

收稿日期: 2022-05-17; 修订日期: 2022-11-22

基金项目: 国家特色油料产业技术体系(CARS-14-2-26); 甘肃省青年科技基金计划(22JR5RL1048)。

作者简介: 曹丽(1986—), 女, 甘肃泾川人, 助理研究员, 硕士, 研究方向为胡麻栽培及育种。Email: 191251785@qq.com。

通信作者: 刘杰(1991—), 男, 甘肃甘谷人, 助理研究员, 硕士, 研究方向为胡麻栽培。Email: 962697153@qq.com。

重金属胁迫下黑麦草和高生芽 2 种草坪草的种子萌发和幼苗生长。杨瑞吉<sup>[7]</sup>研究发现,油菜根系分泌物对小麦的种子发芽率、幼苗根长和根系活力等均表现出促进作用。江山等<sup>[8]</sup>的研究则发现线辣椒根系分泌物在低浓度下对线辣椒种子萌发和苗期生长具有促进作用,高浓度下则具有抑制作用。李明珠<sup>[9]</sup>发现番茄和黑豆、菜豆的根系分泌物溶液对黄瓜种子得发芽势和发芽率具有明显的抑制作用。也有研究表明,根系分泌物中部分糖类和氨基酸类物质对植物的生长影响较小<sup>[10]</sup>。亚麻荠 [*Camelina sativa* (L.) Crantz] 是一种特色油料作物,具有较强的适应性和抗逆性<sup>[11-12]</sup>。亚麻荠在田间播种密度大,出苗迅速且生长速度快,具有良好的抗草害能力<sup>[13]</sup>。目前对于亚麻荠抗草害能力的研究仅从群体优势进行分析,而对于其根系分泌物化感作用的研究未见报道。我们模拟亚麻荠根系分泌的途径,研究了亚麻荠根系分泌物对胡麻和胡麻田杂草藜种子萌发和幼苗生长的影响,以期为胡麻田杂草藜的生物防控提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与方法

指示胡麻品种为陇亚 10 号,亚麻荠品种为春性品种 SNNZOR (由河南省农业科学院引进)。杂草藜种子采自平凉市农业科学院高平试验场。参照赵利等<sup>[14]</sup>的方法,采用培养皿纸上发芽法。首先在 18 个直径 12 cm 的培养皿中培养亚麻荠,每个培养皿中铺 2 张滤纸后加入 6 mL 蒸馏水,每 6 个培养皿为一组,分别加入 200、300、400 粒亚麻荠种子,在(22±1) °C、光照 12 h、黑暗 12 h、相对湿度 70%的人工智能培养箱中恒温培养 14 d。萌发过程中加蒸馏水保持滤纸湿润。14 d 后取出亚麻荠幼苗,在原有滤纸上再加一层滤纸,然后加入 6 mL 蒸馏水。18 个培养皿分 2 组,1 组加入 30 粒健康的胡麻种子,另一组加入 50 粒健康的藜种子,另取 6 个培养皿(未种植亚麻荠)分为 2 组作为对照。

### 1.2 测定指标与方法

在种子萌发过程中,每天加入 3 mL 蒸馏水,保持滤纸湿润,第 3 天统计发芽势,连续 5 d 统计发芽率。第 7 天挑选第 1 天萌发种子的幼苗 10 株,用吸水纸吸干水分,用直尺测量每株幼苗根

长和苗高,并用电子天平称量根鲜重和苗鲜重,取平均值,分别计算各处理和对照的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、化感作用抑制率、综合化感效应指数。参照 williamson 等<sup>[15]</sup>方法计算化感作用抑制率(RI)。综合化感效应指数(SE)以供体对同一受体发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、苗高、根长和根鲜重、苗鲜重等 5 个测试项目 RI 的算术平均值。

发芽率=(正常发芽的种子数/供试种子总数)×100%;

发芽势=(前 3 d 内正常发芽种子数/供试种子总数)×100%;

发芽指数(GI) =  $\sum(G_t / Dt)$  ( $G_t$ 是在  $t$  天内的发芽数,  $D_t$  为相应的发芽天数)。

活力指数(VI) =  $GI \times S$ ,  $S$  为第 7 天测得的整株幼苗鲜重(g)。

化感作用抑制率(RI) =  $[(T_i - T_o) / T_o] \times 100\%$  ( $T_i$  为测试项目的处理值,  $T_o$  为对照值)  $RI > 0$  为促进作用,  $RI < 0$  为抑制作用,绝对值反映化感作用的强弱。

综合化感效应指数(SE) = 供体植物对同一受体植物的各项指标 RI 的平均数。

### 1.3 数据分析

数据采用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 对数据进行统计分析,多重比较采用 Duncan's 新复极差法。

## 2 结果与分析

### 2.1 亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜种子萌发的影响

由表 1 可以看出,亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数均有抑制作用。胡麻和藜的发芽势在 400 粒/皿处理下最低,均显著低于 CK; 200 粒/皿和 300 粒/皿处理与 CK 之间差异不显著。亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜种子的发芽率影响不同,胡麻种子的发芽率在 300 粒/皿和 400 粒/皿处理下显著低于 CK,而藜种子的发芽率在 3 个处理下均显著低于 CK。胡麻和藜种子的发芽指数在 300 粒/皿和 400 粒/皿处理下均显著低于 CK,200 粒/皿处理下胡麻的发芽指数与 CK 之间差异不显著,且显著高于 300 粒/皿和 400 粒/皿处理。胡麻的活力指数在 3 个处理下均显著低于 CK,藜的活力指数仅在 400 粒/皿

处理下显著低于 CK。

由表 1 还可见, 亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数的抑制率均随着处理浓度的增大而增强, 400 粒/皿处理下胡麻种子较 200、300 粒/皿处理发芽势抑制率分别增加 17.25、6.90 个百分点、发芽率抑制率分别增加 16.09、4.60 个百分点、发芽指数抑制率分别增加 16.69、5.84 个百分点, 活力指数抑制率分别增加 25.61、8.42 个百分点。400 粒/皿处理下藜种子分别较 200、300 粒/皿处理发芽势抑制率分别增加 16.21、8.11 个百分点、发芽率抑制率分别增加 11.10、9.73 个百分点、发芽指数抑制率分别增加 9.28、0.44 个百分点、活力指数抑制率分别增加 14.28、6.12 个百分点。

另外, 对比发现, 亚麻荠根系分泌物对胡麻发芽势的抑制率大于对藜的抑制率, 在 200、300、400 粒/皿处理下对胡麻的发芽势抑制率分别比藜的发芽势抑制率高了 2.23、4.48、3.27 个百分点。对胡麻发芽率的抑制率则小于对藜的抑制率, 在 200、300、400 粒/皿处理下对胡麻发芽率的抑制率较对藜的发芽率抑制率低了 18.35、8.23、13.36 个百分点。亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜发

芽指数抑制率与活力指数抑制率的影响在不同处理下不同, 在 200、300 粒/皿处理下胡麻的发芽指数抑制率比藜的发芽指数抑制率低了 6.13、4.12 个百分点, 但在 400 粒/皿处理下则高了 1.28 个百分点; 200 粒/皿处理下胡麻活力指数抑制率比藜活力指数抑制率低 8.06 个百分点, 300、400 粒/皿处理下胡麻活力指数抑制率比藜活力指数抑制率高 0.97、3.27 个百分点。

## 2.2 亚麻荠根系分泌物对胡麻、藜幼苗生长的影响

由表 2 可以看出, 亚麻荠根系分泌物对胡麻幼苗的根长根鲜重、苗鲜重均具有抑制作用, 在 200 粒/皿处理下对胡麻苗高具有一定的促进作用; 300、400 粒/皿处理下则表现为抑制作用, 但抑制作用较小。300、400 粒/皿处理下胡麻根长、根鲜重、苗鲜重均显著低于 CK, 根长较 CK 分别降低 21.67%、56.35%, 根鲜重降低了 31.11%、49.48%, 苗鲜重降低 10.77%、11.90%; 200 粒/皿处理下胡麻根长、苗鲜重与 CK 之间差异不显著, 根鲜重较 CK 显著降低了 26.02%; 而苗高在不同处理下均与 CK 之间差异不显著, 200 粒/皿处理下胡麻苗高较 CK 提高 1.93%。不同处理下藜根长、苗高、根鲜重、苗鲜重均与 CK 之间无显著

表 1 不同处理胡麻、藜种子发芽状况

作物	处理 /(粒/皿)	发芽势 /%	发芽率 /%	发芽指数	活力指数	抑制率/%			
						发芽势	发芽率	发芽指数	活力指数
胡麻	0(CK)	96.67 a	96.67 a	31.69 a	2.850 a				
	200	86.67 ab	88.89 a	28.75 a	2.440 b	-10.34	-8.05	-9.28	-14.39
	300	76.67 ab	77.78 b	25.31 b	1.950 c	-20.69	-19.54	-20.13	-31.58
	400	70.00 b	73.33 b	23.46 b	1.710 c	-27.59	-24.14	-25.97	-40.00
藜	0(CK)	24.67 a	48.00 a	17.98 a	0.049 a				
	200	22.67 ab	35.33 b	15.21 ab	0.038 ab	-8.11	-26.40	-15.41	-22.45
	300	20.67 ab	34.67 b	13.62 b	0.034 ab	-16.21	-27.77	-24.25	-30.61
	400	18.67 b	30.00 b	13.54 b	0.031 b	-24.32	-37.50	-24.69	-36.73

表 2 不同处理胡麻、藜幼苗生长状况

作物	处理浓度 /(粒/皿)	根长 /cm	苗高 /cm	根鲜重 /(mg/株)	苗鲜重 /(mg/株)	抑制率/%			
						根长	苗高	根鲜重	苗鲜重
胡麻	0(CK)	12.37 a	8.79 a	16.49 a	73.33 a				
	200	12.22 a	8.96 a	12.20 b	72.59 a	-1.21	1.93	-26.02	-1.01
	300	9.69 b	8.40 a	11.36 b	65.43 b	-21.67	-4.44	-31.11	-10.77
	400	5.40 c	8.39 a	8.33 c	64.60 b	-56.35	-4.55	-49.48	-11.90
藜	0(CK)	2.41 a	3.29 a	0.63 a	2.07 a				
	200	2.35 a	3.02 a	0.59 a	1.90 a	-2.49	-8.21	-6.35	-8.21
	300	2.33 a	3.11 a	0.53 a	1.97 a	-3.32	-5.47	-15.87	-4.83
	400	2.03 a	3.10 a	0.49 a	1.83 a	-15.77	-5.78	-22.22	-11.59



差异。

由表 2 还可见, 亚麻荠根系分泌物对胡麻根长、根鲜重、苗鲜重的抑制率均随着处理浓度的增加而增强, 400 粒/皿处理下较 200、300 粒/皿处理胡麻幼苗根长抑制率分别增加 55.14、34.68 个百分点、根鲜重抑制率分别增加 23.46、18.37 个百分点、苗鲜重抑制率分别增加 10.89、1.13 个百分点, 400 粒/皿处理下胡麻苗高抑制率较 300 粒/皿处理增加 0.11 个百分点。亚麻荠根系分泌物对杂草藜根长、根鲜重的抑制率随着处理浓度的增加而增强, 对苗高和苗鲜重的抑制率则表现为随着处理浓度的增加先降低后增强。400 粒/皿处理下对藜的根长抑制率较 200 粒/皿和 300 粒/皿处理分别增加 13.28、12.45 个百分点, 根鲜重抑制率分别增加 15.87、6.35 个百分点。400 粒/皿处理下对藜的苗高抑制率较 200 粒/皿降低 2.43 个百分点, 较 300 粒/皿提高 0.31 个百分点; 苗鲜重抑制率在 300 粒/皿处理下最低, 分别较 200 粒/皿和 400 粒/皿降低 3.48、6.76 个百分点。

对比亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜幼苗生长的影响发现, 亚麻荠根系分泌物对胡麻根长和苗鲜重的抑制率在 300 粒/皿和 400 粒/皿处理下大于对杂草藜的抑制率, 根鲜重抑制率则在 3 个处理下均大于对藜的抑制率, 对胡麻苗高的抑制率在 3 个处理下均小于对藜苗高的抑制率。

### 2.3 亚麻荠根系分泌物对胡麻、藜生长的综合效应

从表 1、表 2 可以看出, 亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜生长的综合效应均表现为抑制作用, 且随着处理浓度的增加而增强。并计算得出 400 粒/皿处理下对胡麻的综合抑制效应较 200、300 粒/皿分别提高了 21.87、9.77 个百分点, 对藜的综合抑制效应较 200、300 粒/皿分别提高 9.99、6.32 个百分点。另外, 在 300、400 粒/皿处理下, 亚麻荠根系分泌物对胡麻的综合抑制效应较藜分别增加了 4.38、7.83 个百分点, 在 200 粒/皿处理下胡麻较藜降低了 4.05 个百分点。由此可见, 亚麻荠根系分泌物在低浓度下, 对胡麻生长的抑制作用小于对藜的抑制作用, 在高处理浓度下则相反。

### 3 讨论与结论

根系分泌物对于植物生长和物质循环起着至关重要的作用, 依据分子量大小可分为低分子

量化合物和高分子量化合物, 主要包括有机酸、氨基酸、糖类、酶类、黏胶类等多种物质<sup>[16-18]</sup>。不同的根系分泌物在植物生长过程中具有不同的功能<sup>[19-21]</sup>。江山等<sup>[8]</sup>对线辣椒 6 类根系分泌物的研究表明, 雪松醇在浓度较小时对线辣椒种子萌发和幼苗生长具有促进作用, 高浓度时抑制作用较小; 而丙炔酸在低浓度时对线辣椒种子萌发和幼苗生长基本无促进, 高浓度处理下则表现出较强的抑制作用。朱佳鹏等<sup>[22]</sup>研究发现, 滇水金凤根系分泌物中的有机酸在低浓度时对滇水金凤种子萌发具有促进作用, 在高浓度时则表现为抑制作用。本研究发现, 亚麻荠根系分泌物对胡麻和杂草藜种子萌发均具有抑制作用, 且抑制作用随着处理浓度的增加逐渐增强, 这与前人研究类似, 说明亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜种子萌发的影响可能与根系分泌物中有机酸的分泌有关。

大量研究表明, 不同的植物种类其根系分泌物的种类和含量不同, 对植物生长的影响也不同<sup>[16, 23]</sup>。赵利等<sup>[14]</sup>的研究表明, 地肤根系分泌物主要通过影响根的性状而发生作用, 在不同处理浓度下地肤根系分泌物对胡麻根长均有促进作用, 而对苗高、根鲜重、苗鲜重均有抑制作用。本研究发现, 亚麻荠根系分泌物对胡麻根长、根鲜重、苗鲜重具有抑制作用, 在低处理浓度(200 粒/皿)下对胡麻苗高具有一定的促进作用, 中、高处理浓度下则表现出较小的抑制作用, 说明亚麻荠根系分泌物主要通过影响杂草藜地上部分的生长而影响其幼苗生长, 这与前人研究不一致, 其原因可能是由于不同植物的根系分泌物组成和含量不同造成。另外, 亚麻荠根系分泌物对杂草藜幼苗的生长具有抑制作用, 但抑制作用较小, 对根长、根鲜重的抑制率随着处理浓度的增加而增强, 对苗高和苗鲜重的抑制率则表现为随着处理浓度的增加先降低后增强, 在中(300 粒/皿)处理浓度下对藜苗高和苗鲜重的抑制率最小。

本研究还发现, 亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜种子萌发与幼苗生长的综合效应均表现为抑制作用, 且随着处理浓度的增加抑制作用逐渐增强。在低处理浓度下, 亚麻荠根系分泌物对胡麻的抑制作用小于对藜的抑制作用, 在高处理浓度下对胡麻的抑制作用小于对藜的抑制作用。本研究仅

在实验室内模拟了亚麻荠根系分泌物对胡麻和藜种子萌发和幼苗生长的影响, 在自然条件下, 根系分泌物受生长时期、外界环境及土壤微生物等一系列因素的影响, 因此, 对于亚麻荠根系分泌物与外界土壤环境互作对胡麻和藜生长的影响, 有待进一步研究。

综合分析本试验结果表明, 亚麻荠根系分泌物对胡麻和杂草藜种子萌发具有抑制作用, 且抑制作用随着亚麻荠根系分泌物浓度的增加而增强。亚麻荠根系分泌物在低处理浓度时, 对胡麻苗高具有一定的促进作用, 在中、高处理浓度下抑制作用较小, 对胡麻根长、根鲜重、苗鲜重的抑制作用随着处理浓度的增加而增强, 对杂草藜幼苗生长的抑制作用较小。亚麻荠根系分泌物在低处理浓度下对胡麻的抑制作用小于对藜的抑制作用, 在高处理浓度下对胡麻的抑制作用小于对藜的抑制作用。

#### 参考文献:

- [1] 赵 利, 胡冠芳, 王利民, 等. 兰州地区胡麻田杂草消长动态及群落生态位研究[J]. 草业学报, 2010, 19(6): 18-24.
- [2] 王玉灵, 许维诚, 胡冠芳, 等. 胡麻田施用噻吩磺隆对后茬作物的安全性研究[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(9): 68-72.
- [3] 石旭旭, 王红春, 高 婷, 等. 化感作用及其在杂草防除中的应用[J]. 杂草科学, 2013, 31(2): 6-9.
- [4] 郭怡卿, 陆永良. 水稻化感作用与杂草的生物防治[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 157-165.
- [5] 吴清莹, 林宇龙, 孙一航, 等. 根系分泌物对植物生长和土壤养分吸收的影响研究进展[J]. 中国草地学报, 2021, 43(11): 97-104.
- [6] 牛学礼, 丘雯鑫, 杨锦玉, 等. 香根草根分泌物对重金属胁迫下两种草坪草种子萌发的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(6): 1074-1087.
- [7] 杨瑞吉. 油菜根系分泌物对不同作物幼苗生长的化感效应[J]. 生态环境, 2006(5): 1062-1066.
- [8] 江 山, 赵尊练, 臧纱纱, 等. 线辣椒根系分泌物中几种化感物质对其种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(12): 137-143.
- [9] 李明珠. 植物根系分泌物与蔬菜用地土壤的改良[J]. 蔬菜, 2008(8): 32-33.
- [10] RASMANN S, TURLINGS T C J. Root signals that mediate mutualistic interactions in the rhizosphere [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2016, 32: 62-68.
- [11] GUGEL R K, FALK K C. Agronomic and seed quality evaluation of *Camelina sativa* in western Canada [J]. Canadian journal of plant science, 2006, 86(4): 1047-1058.
- [12] 邓曙东, 张青文. 亚麻荠种植和利用的研究现状[J]. 植物学通报, 2004(3): 376-382.
- [13] PUTNAM D H, BUDIN J T, FIELD L A, et al. *Camelina*: a promising low-input oilseed[J]. New crops, 1993, 314: 322.
- [14] 赵 利, 牛俊义, 胡冠芳, 等. 地肤根系分泌物对胡麻的化感作用[J]. 草业科学, 2012, 29(6): 894-897.
- [15] BRUCE WILLIAMSON G, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of chemical ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [16] 任改弟, 王光飞, 马 艳. 根系分泌物与土传病害的关系研究进展[J]. 土壤, 2021, 53(2): 229-235.
- [17] BADRI D V, VIVANCO J M. Regulation and function of root exudates [J]. Plant, cell & environment, 2009, 32(6): 666-681.
- [18] 吴林坤, 林向民, 林文雄. 根系分泌物介导下植物-土壤-微生物互作关系研究进展与展望[J]. 植物生态学报, 2014, 38(3): 298-310.
- [19] 莫思琪, 曹旖旎, 谭 倩. 根系分泌物在重金属污染土壤生态修复中的作用机制研究进展[J]. 生态学杂志, 2022, 41(2): 382-392.
- [20] 赵 宽, 周葆华, 马万征, 等. 不同环境胁迫对根系分泌有机酸的影响研究进展[J]. 土壤, 2016, 48(2): 235-240.
- [21] ZAHAR HAICHAR F, SANTAELLA C, HEULIN T, et al. Root exudates mediated interactions belowground [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 77: 69-80.
- [22] 朱佳鹏, 闻永惠, 季文丽, 等. 溴水金凤根系分泌物对其种子萌发的影响[J]. 种子, 2020, 39(5): 41-46.
- [23] 毛梦雪, 朱 峰. 根系分泌物介导植物抗逆性研究进展与展望[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(10): 1649-1657.