

朱吉风,王伟荣,张俊英,等.油菜不同器官水浸提液对水稻和高粱种子萌发的影响[J].上海农业学报,2021,37(3):7-13.

油菜不同器官水浸提液对水稻和高粱种子萌发的影响

朱吉风,王伟荣,张俊英,江建霞,蒋美艳,李延莉,杨立勇,周熙荣*

(上海市农业科学院,上海 201403)

摘要: 基于室内发芽试验,以种子发芽势、发芽率、幼苗根长和芽长为参数,研究了油菜不同器官(根、茎、叶、花)水浸提液对水稻和高粱种子萌发的化感作用。结果表明:油菜不同器官水浸提液对水稻种子发芽率的影响不明显,但会延迟发芽速度,即水浸提液抑制水稻种子发芽势,并随浓度增加抑制作用增强;而油菜不同器官水浸提液对高粱种子发芽势表现为促进作用,对高粱种子发芽率和芽长的作用总体上呈现“低促高抑”的规律。从化感指数来看,油菜不同器官水浸提液抑制水稻和高粱幼苗根的生长,其中对水稻幼苗根的抑制效应更为明显。在不同质量浓度下,油菜不同器官水浸提液对水稻的化感综合效应均为抑制,对高粱的化感综合效应在 3.1 g/L 与 6.2 g/L 时为促进,在 12.5 g/L 与 25.0 g/L 时为抑制。

关键词: 油菜;水稻;高粱;化感作用;发芽

中图分类号: S565.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3924(2021)03-007-07

Effects of water extracts from different organs of rape on seed germination of rice and sorghum

ZHU Jifeng, WANG Weirong, ZHANG Junying, JIANG Jianxia, JIANG Meiyang,
LI Yanli, YANG Liyong, ZHOU Xirong*

(Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

Abstract: Based on the indoor germination experiment, the allelopathic effects of water extracts from roots, stems, leaves and flowers of rape on the seed germination of rice and sorghum were studied with seed germination potential, germination rate, seedling root length and bud length as parameters. The results showed that the water extracts from different organs of rape had no significant effect on the germination rate of rice seeds, but delayed the germination speed, in other words, the water extracts inhibited the germination potential of rice seeds, and the inhibition increased with the increase of concentration. However, the water extracts from different organs of rape promoted the germination potential of sorghum seeds, and showed the law of “low promotion and high inhibition” on the seed germination rate and bud length of sorghum. In terms of allelopathic index, the water extracts from different organs of rape inhibited the root growth of rice and sorghum seedlings, and the inhibition effect on the roots of rice seedlings was more obvious. At different concentrations, the comprehensive allelopathic effects of water extracts from different organs of rape on rice were inhibited, the comprehensive allelopathic effects on sorghum were promoted at 3.1 g/L and 6.2 g/L, and inhibited at 12.5 g/L and 25.0 g/L.

Key words: Rape; Rice; Sorghum; Allelopathy effect; Germination

自 1937 年首次提出“化感作用”一词以来,人们对农业系统中的化感作用进行了深入研究,并取得了一些成果。研究表明,还田植物在雨水淋溶或腐解过程中通过向环境释放养分和化感物质,促进或抑制后茬作物的种子发芽和幼苗生长^[1]。魏云霞等^[2]研究表明,不同绿肥浸提液对水稻种子发芽率无显著影响,但对水稻幼苗鲜重有显著化感作用;秦俊豪等^[3]研究表明,绿肥植物田菁淋溶液对稗草、萝卜等的生

收稿日期:2020-04-29

基金项目:国家自然科学基金项目(31901502);上海市崇明区农业科创项目(2019CNKC-12)

作者简介:朱吉风(1988—),女,博士,助理研究员,从事作物育种与栽培方面的研究。E-mail:zhujifeng0224@163.com

* 通信作者,E-mail:zhouxr63@mail.sh.cn

长具有显著的化感抑制效应;李茹等^[4]研究表明,油菜秸秆水浸提液对千金子的化感作用强于小麦秸秆水浸提液。

油菜是我国长江流域最主要的油料作物,具有生物产量高、干物质积累量大、还田易分解、适应区域广等特点,在我国农业生产中已作为主要的冬季绿肥作物进行种植^[5-6]。油菜作绿肥还田对增加土壤有机质含量、培肥地力、改善土壤结构、抑制田间杂草、防治土传病害等具有重要作用^[7-9]。前人对油菜作绿肥栽培已进行了大量的研究,但已有研究多集中在绿肥油菜对土壤肥力的影响,也有少数研究关注油菜秸秆水浸提液或根系分泌物对受体植物的化感作用^[6,10-12],而关于油菜不同器官提取物对后茬作物的化感效应研究甚少。因此,本试验拟研究油菜不同器官水浸提液对后茬作物种子萌发的化感作用,以期丰富绿肥油菜化感理论、指导油菜绿肥还田量以及了解油菜作绿肥时所产生的农业生态效益提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

以甘蓝型油菜常规品种‘沪油 21’为供体材料,选取油菜后茬作物水稻和高粱为受体材料,其中水稻品种为粳稻‘日本晴’,高粱品种为甜高粱‘甜芦’,均由上海市农业科学院提供。

1.2 水浸提液制备

2020 年 3 月上旬,在上海市农业科学院庄行综合试验基地采集油菜植株的地上部分和地下部分,用自来水冲洗干净后剪段、风干。参照魏云霞等^[2]的方法,将风干后的油菜根、茎、叶和花分开并剪碎(小于 0.5 cm),分别称取 5.0 g 碎样,加入 100 mL 蒸馏水,置于室温下浸泡 48 h,双层纱布过滤,获得质量浓度为 50.0 g/L 的水浸提液母液,4 ℃ 冰箱保存备用。发芽试验时,取上述母液用蒸馏水稀释成质量浓度分别为 25.0 g/L、12.5 g/L、6.2 g/L 和 3.1 g/L 的溶液备用。

1.3 试验方法

选取当年收获、饱满、无病害、大小一致的受体作物种子,放入铺有 2 层无菌滤纸的培养皿中,每皿 30 粒种子,分别加入 15 mL 不同质量浓度的上述水浸提液,以蒸馏水为对照(CK),重复 3 次,放于温度为 20 ℃ 的恒温培养箱中进行发芽试验。次日起定时观察并统计发芽种子数,以根长超过其种子长度的 1/2 为发芽标准,连续 3 d 种子发芽数保持不变时结束观察,每皿随机选取 10 株幼苗测量其根长和芽长。

1.4 数据分析

根据水稻和高粱种子的发芽数计算对应发芽势及发芽率,并计算各项指标的化感指数(RI)与综合敏感指数(SI)^[2]。

$$\text{发芽势}(GE) = (4 \text{ d 内发芽种子数}/N) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽率}(GR) = (\sum GT/N) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{化感指数}(RI) = (T - C)/C \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{综合敏感指数}(SI) = \frac{\sum_{j=1}^n RI_j}{n} \times 100\% \quad (4)$$

式中, GT 为第 t 日内的发芽种子数; N 为供试种子总数; T 为水浸提液处理下的对应测量值; C 为对照值; n 为该处理各指标数据 RI 的总个数; $RI > 0$ 为促进, $RI < 0$ 为抑制,绝对值的大小与化感作用强度一致。

采用 Excel 2010 软件和 SAS 9.2 软件对数据进行整理和分析。

2 结果与分析

2.1 油菜水浸提液对水稻种子发芽和幼苗生长的化感作用

2.1.1 油菜水浸提液对水稻种子发芽的影响

由图 1 可见:油菜不同器官水浸提液处理的水稻种子发芽势均低于对照(73.9%);在质量浓度为 3.1—25.0 g/L 时,种子发芽势随油菜不同器官水浸提液浓度的增加表现为先升后降的变化趋势,在水浸提液质量浓度为 6.2 g/L 时达到最高值,在 25.0 g/L 时降到最低值。在水浸提液质量浓度为 3.1 g/L 时,油菜叶水浸提液处理的水稻种子发芽势最高,为 64.4%,其他器官水浸提液处理的水稻种子发芽势相近,

介于 55.2%—55.9%；在水浸提液质量浓度分别为 6.2 g/L 与 12.5 g/L 时,油菜花水浸提液处理的水稻种子发芽势分别为 68.9% 和 52.0%,均高于其他器官水浸提液处理的水稻种子发芽势,而在 25.0 g/L 时,油菜花水浸提液处理的水稻种子发芽势则降到最低值(37.8%)。

水稻种子在处理后的第 3 天开始萌动,随着种子发芽时间延长,不同器官水浸提液处理的水稻种子发芽率间的差距越来越小,7 d 后种子发芽率基本一致,10 d 后种子发芽率均达到最高值,各处理水稻种子发芽率均在 90% 以上。油菜不同器官水浸提液处理的水稻种子发芽率在质量浓度为 6.2 g/L 时全部最早达到峰值,其中由茎、叶水浸提液处理的水稻种子发芽率分别在发芽 7 d 时达到最高值,由花、根水浸提液处理的水稻种子发芽率分别在发芽 8 d 和 9 d 时达到最高值(图 2)。

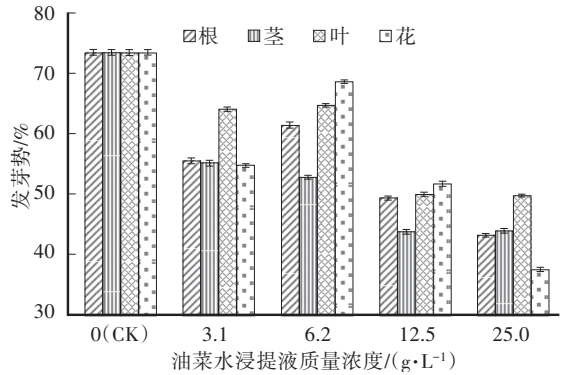


图 1 油菜水浸提液对水稻种子发芽势的影响

Fig. 1 Effects of rape water extracts on germination potential of rice seeds

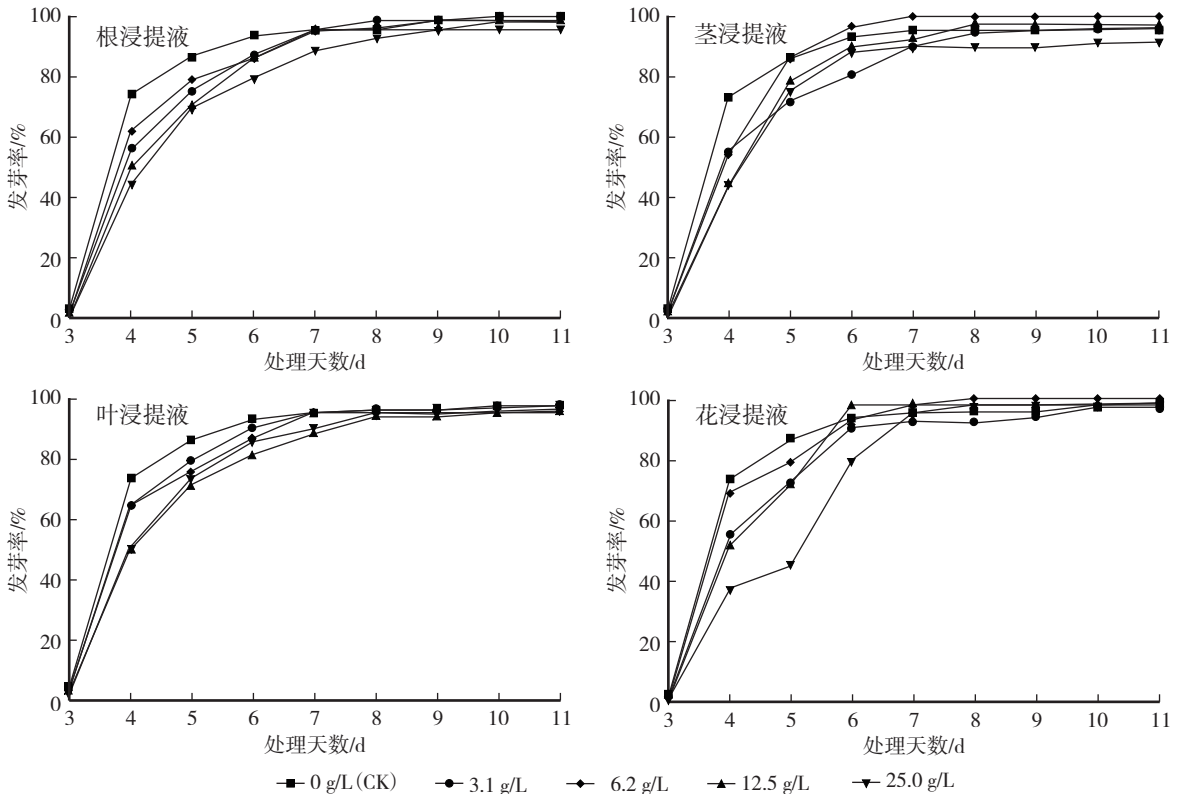


图 2 油菜水浸提液对水稻种子发芽动态的影响

Fig. 2 Effects of rape water extracts on germination dynamics of rice seeds

2.1.2 油菜水浸提液对水稻幼苗发育的影响

油菜不同器官水浸提液对水稻幼苗发育具有不同的化感效应(图 3),在质量浓度为 3.1—25.0 g/L 时,油菜花水浸提液处理的水稻幼苗根长和芽长随水浸提液浓度的增加先增后降,分别在质量浓度为 6.2 g/L 和 12.5 g/L 时达到最高值,但根长仍低于对照;油菜根、叶水浸提液处理的水稻种子根长随浓度的增加先降后增,均在质量浓度为 6.2 g/L 时降到最低值;油菜茎水浸提液处理的水稻种子根长随浓度的增加表现为降-增-降,分别在质量浓度为 6.2 g/L 和 12.5 g/L 时降到最低值和增加到最高值;油菜根、茎、叶水浸提液处理的水稻种子芽长受水浸提液浓度影响不明显。

2.1.3 油菜水浸提液对水稻的综合化感效应

通过分析油菜不同器官水浸提液对水稻‘日本晴’种子的发芽势、发芽率、幼苗根长、芽长的化感效应发现:油菜不同器官水浸提液对种子发芽势、幼苗根长的化感指数均为负值(-48.9%—-6.8%),说明油菜不同器官水浸提液均抑制水稻种子发芽势和幼苗根长;油菜不同器官水浸提液对水稻种子发芽率的

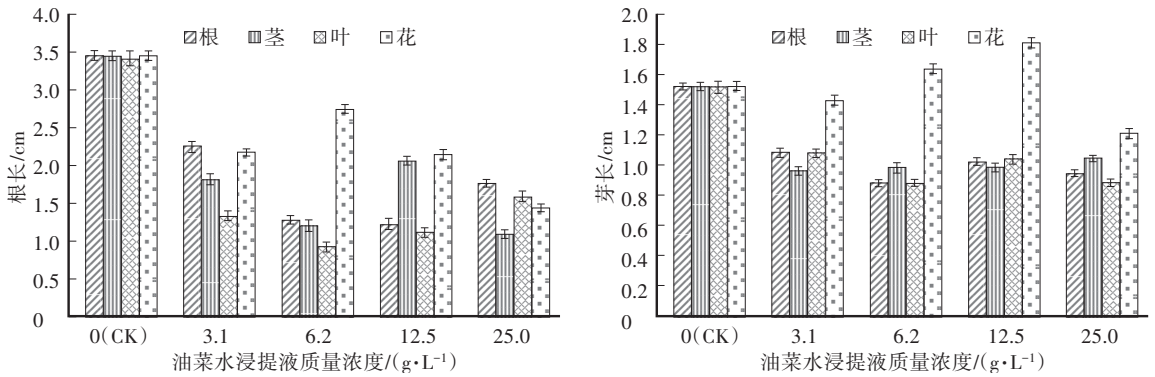


图3 油菜水浸提液对水稻幼苗根长和芽长的影响

Fig. 3 Effects of rape water extracts on root length and shoot length of rice seedlings

化感指数存在正负差异(−6.3%—2.3%),但其化感指数绝对值接近于0,说明油菜不同器官水浸提液对水稻种子发芽率的影响较小,但对其种子发芽进程有延迟效应。此外,油菜不同器官水浸提液对水稻种子发芽的综合敏感指数均为负值(−36.5%—−4.3%),说明油菜不同器官水浸提液对水稻种子萌发综合表现为抑制效应,且随浓度增加其抑制效应呈增加趋势(表1)。

表1 油菜水浸提液对水稻种子发芽和幼苗生长的化感效应

Table 1 Allelopathic effects of rape water extracts on seed germination and seedling growth of rice

处理	质量浓度/(g·L ⁻¹)	化感指数/%				综合敏感指数/%
		发芽势	发芽率	根长	芽长	
根浸提液	3.1	-24.4	2.3	-34.4	-28.4	-21.2
	6.2	-16.5	0.6	-62.9	-42.1	-30.2
	12.5	-32.7	0.6	-64.3	-32.9	-32.3
	25.0	-41.2	-2.7	-48.8	-38.2	-32.7
茎浸提液	3.1	-24.8	-1.8	-47.5	-36.8	-27.7
	6.2	-28.2	2.3	-64.9	-35.1	-31.5
	12.5	-40.4	-0.3	-40.2	-35.1	-29.0
	25.0	-40.2	-6.3	-68.1	-31.6	-36.5
叶浸提液	3.1	-12.8	-1.1	-61.2	-28.9	-26.0
	6.2	-12.0	-2.3	-73.0	-42.1	-32.3
	12.5	-31.7	-2.0	-67.6	-31.6	-33.2
	25.0	-32.3	-0.8	-53.7	-42.1	-32.2
花浸提液	3.1	-25.3	-0.8	-37.1	-6.1	-17.3
	6.2	-6.8	2.3	-20.4	7.6	-4.3
	12.5	-29.6	-0.2	-37.8	18.9	-12.2
	25.0	-48.9	0.0	-58.1	-20.6	-31.9

2.2 油菜水浸提液对高粱种子发芽和幼苗生长的化感作用

2.2.1 油菜水浸提液对高粱种子发芽的影响

油菜不同器官水浸提液对高粱‘甜芦’的种子萌发具有较明显的化感效应。在质量浓度为3.1—25.0 g/L时,不同器官水浸提液处理的高粱种子发芽势均随浓度增加而降低,其中茎、叶和花水浸提液处理的高粱种子发芽势受处理浓度影响较明显,在质量浓度为3.1 g/L和6.2 g/L时,其种子发芽势显著高于对照(19.3%);而油菜根水浸提液对高粱种子发芽势影响较小,其种子发芽势为22.3%—24.1%,略高于对照(图4)。

高粱种子在处理后的第3天开始萌动,随着发芽时间延长,油菜不同器官水浸提液处理的高粱种子发芽率间的差距越来越小,处理13 d后未发芽种子不再萌动。本试验中,高粱品种‘甜芦’的种子发芽率较低,对照的种子发芽率仅为50.0%,油菜不同器官水浸提液处理的‘甜芦’种子发芽率略有增加,其中在

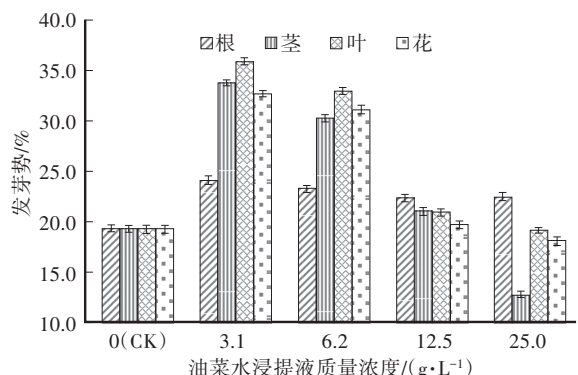


图4 油菜水浸提液对高粱种子发芽势的影响

Fig. 4 Effects of rape water extracts on germination potential of sorghum seeds

质量浓度为 6.2 g/L 时,油菜茎、叶、花水浸提液处理的高粱种子发芽率较高,种子发芽率分别为 61.9%、76.5% 和 66.0%。此外,油菜根水浸提液处理的高粱种子在低浓度(3.1 g/L 和 6.2 g/L)时发芽动态变化趋势基本一致,在处理 5 d 时其发芽种子数已超过 50% (图 5)。

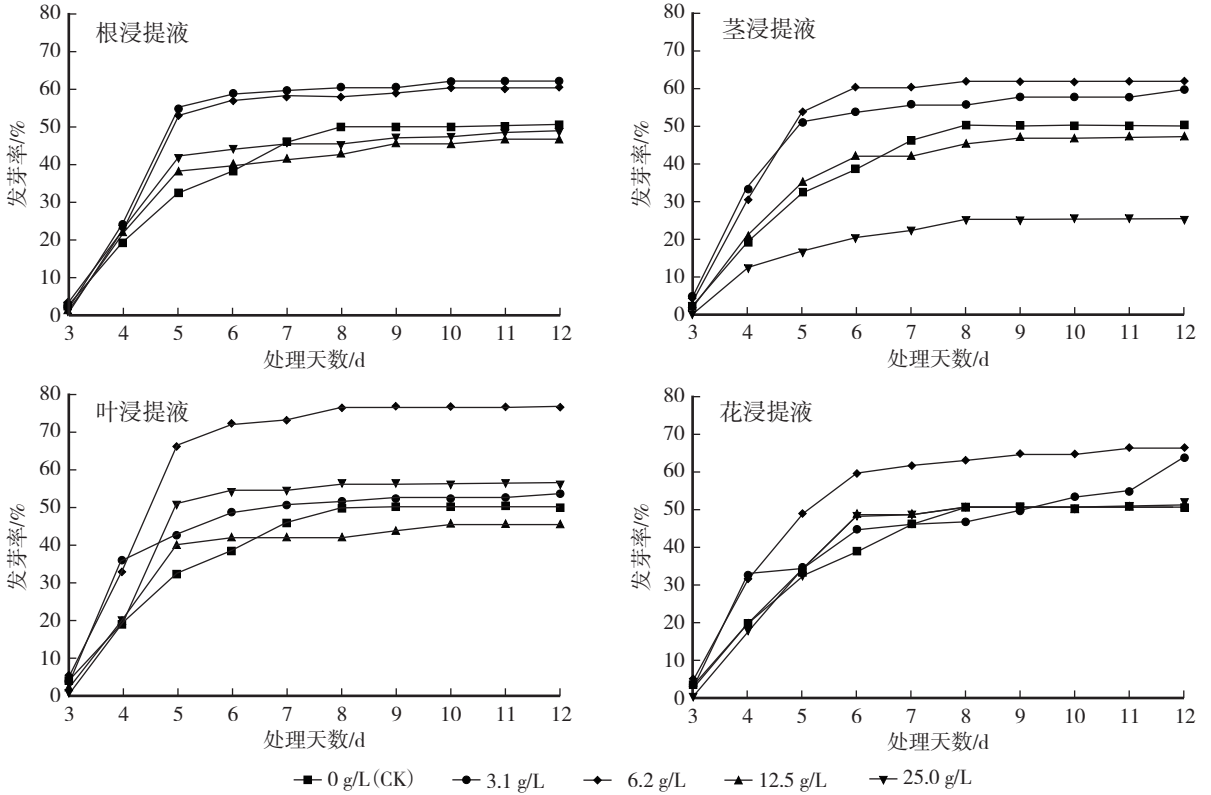


图 5 油菜水浸提液对高粱种子发芽动态的影响

Fig. 5 Effects of rape water extracts on germination dynamics of sorghum seeds

2.2.2 油菜水浸提液对高粱幼苗发育的影响

在质量浓度为 3.1—25.0 g/L 时,油菜茎、叶水浸提液处理的高粱幼苗根长变幅较小,均低于对照(3.5 cm),而其芽长随浓度的增加先增后降,在水浸提液质量浓度为 6.2 g/L 时达到最高值,芽长均为 2.2 cm;油菜根、花水浸提液处理的高粱幼苗根长和芽长随浓度的增加先增后降,在水浸提液质量浓度为 6.2 g/L 时达到最高值,根长均值分别为 3.5 cm 和 3.3 cm,芽长均值分别为 2.6 cm 和 2.9 cm (图 6)。

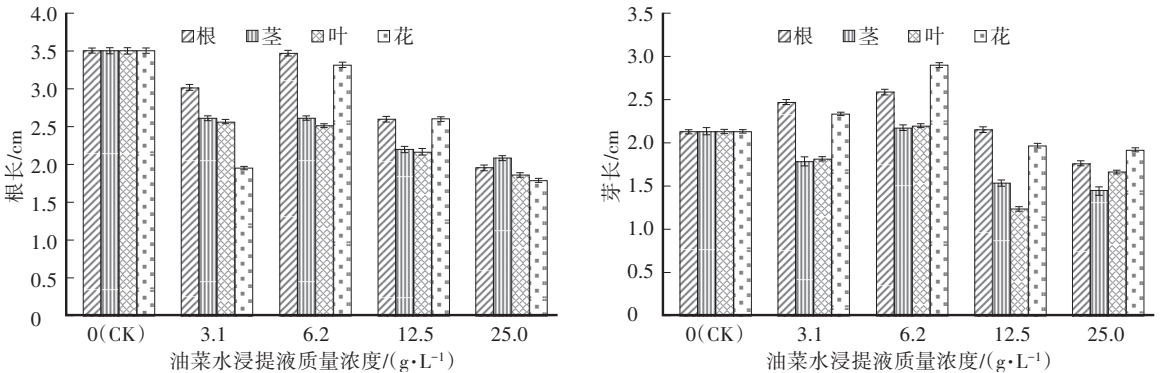


图 6 油菜水浸提液对高粱幼苗根长和芽长的影响

Fig. 6 Effects of rape water extracts on root length and shoot length of sorghum seedlings

2.2.3 油菜水浸提液对高粱的综合化感效应

通过分析油菜不同器官水浸提液对高粱‘甜芦’种子发芽势、发芽率、幼苗根长、芽长的化感效应发现:在质量浓度为 3.1—25.0 g/L 时,油菜根水浸提液对高粱种子发芽势的化感指数均为正值(15.6%—25.0%),说明油菜根水浸提液对高粱种子发芽势起促进效应。在质量浓度分别为 3.1 g/L、6.2 g/L 和 12.5 g/L 时,油菜茎、叶和花水浸提液对高粱种子发芽势的化感指数均为正值(2.2%—86.3%),而在质

量浓度为25.0 g/L时,化感指数均为负值(-34.3%—-0.9%),说明在质量浓度为3.1 g/L、6.2 g/L和12.5 g/L时,油菜茎、叶和花水浸提液对高粱种子发芽势起促进效应,而在25.0 g/L时,则为抑制效应。在3.1 g/L和6.2 g/L时,油菜根、茎水浸提液对高粱种子发芽率的化感指数均为正值(18.9%—23.8%),而在12.5 g/L和25.0 g/L时,其化感指数则为负值(-49.7%—-2.6%),说明油菜根、茎水浸提液对高粱种子发芽率表现为“低促高抑”。油菜不同器官水浸提液对高粱幼苗根长的化感指数均为负值(-49.0%—-0.8%),即均抑制根的生长。此外,油菜不同器官水浸提液对高粱种子萌发的综合敏感指数在低质量浓度(3.1 g/L和6.2 g/L)时为正值(12.6%—31.0%),在高质量浓度(12.5 g/L和25.0 g/L)时为负值(-39.1%—-4.0%),说明油菜不同器官水浸提液对高粱种子发芽均表现为“低促高抑”的化感效应(表2)。

表2 油菜水浸提液对高粱种子发芽和幼苗生长的化感效应

Table 2 Allelopathic effects of rape water extracts on seed germination and seedling growth of sorghum

处理	质量浓度/(g·L ⁻¹)	化感指数/%				综合敏感指数/%
		发芽势	发芽率	根长	芽长	
根浸提液	3.1	25.0	23.6	-13.9	15.8	12.6
	6.2	20.9	20.4	-0.8	21.4	15.4
	12.5	15.6	-6.7	-25.8	1.1	-4.0
	25.0	16.7	-2.6	-43.9	-17.4	-11.8
茎浸提液	3.1	75.2	18.9	-25.5	-16.1	13.1
	6.2	57.2	23.8	-25.7	1.7	14.3
	12.5	9.1	-6.3	-37.2	-28.4	-15.7
	25.0	-34.3	-49.7	-40.5	-31.9	-39.1
叶浸提液	3.1	86.3	7.2	-26.8	-14.9	13.0
	6.2	70.9	52.9	-28.5	3.2	24.6
	12.5	8.6	-9.0	-38.2	-41.8	-20.1
	25.0	-0.9	12.5	-46.9	-21.8	-14.3
花浸提液	3.1	69.5	26.7	-44.2	9.8	15.5
	6.2	61.5	32.1	-5.4	35.8	31.0
	12.5	2.2	2.8	-25.5	-7.4	-7.0
	25.0	-6.2	0.8	-49.0	-10.2	-16.2

3 讨论与结论

植物根、茎、叶、花等器官中普遍存在着一些具有化感作用的化学物质,这些物质可能在植物生长、秸秆和绿肥还田等过程中被释放到环境中,进而影响周围或后茬作物的种子萌发、幼苗生长、根系活力等^[13-15]。前人研究认为,前茬秸秆或绿肥还田对杂草种子萌发和生长具有显著的化感抑制效应,而对水稻、玉米等作物幼苗生长无不利影响^[3,4,11-16]。杨海婧等^[12]研究发现,油菜茎、叶水浸提液对秦艽种子萌发及胚根生长具有较强的化感抑制作用;李茹等^[4]研究发现,油菜和小麦秸秆水浸提液对千金子种子萌发和幼苗生长具有化感抑制作用,而对水稻种子萌发和幼苗生长无显著影响。

本研究发现:油菜不同器官水浸提液对水稻种子发芽势、幼苗根长等具有明显的化感抑制效应,且其抑制效应随浓度增加呈增加趋势,但油菜不同器官水浸提液对水稻种子发芽率影响较小(RI 为-6.3%—2.3%),说明油菜不同器官水浸提液延缓了水稻种子的发芽速度,但不影响种子发芽率,这与前人研究结果基本一致^[2]。与水稻相比,油菜不同器官水浸提液对高粱幼苗根长具有明显的化感抑制效应,对其种子发芽势和发芽率的化感作用总体呈现“低促高抑”的浓度规律。在秸秆和绿肥还田过程中所释放的化感物质对后茬作物种子的萌发普遍存在着“低促高抑”的现象^[17-19]。此外,油菜不同器官水浸提液均降低了水稻种子发芽势,并随浓度增加抑制作用增强;油菜不同器官水浸提液对高粱种子发芽势却表现为促进作用,但随浓度增加逐渐减弱。因此,在油菜作绿肥还田时,为减少油菜化感物质对后茬作物种子萌发的不利影响,需控制油菜绿肥还田量,避免因“营养过剩”而影响后茬作物种子萌发和幼苗生长。

根是植物吸收水分和养分的重要器官,其生长发育情况将影响植物的吸水吸肥能力,进而影响植株整体的生长发育。化感物质对植物根生长的抑制作用导致植株吸水吸肥能力降低,进而影响该作物的生长发育^[17]。本研究发现:油菜不同器官水浸提液虽不抑制水稻和高粱种子的萌发率,但对水稻和高粱幼

苗根的生长却有明显的抑制作用,并随浸提液浓度增加抑制作用增强。由于本试验仅针对油菜不同器官水浸提液对水稻和高粱种子萌发的影响开展研究,试验中所用水浸提液的化学成分和浓度与油菜绿肥还田后的土壤化学组成和浓度有较大的差异,因此,今后需要进一步开展油菜绿肥还田后的土壤成分动态变化以及后茬作物种子萌发、幼苗生长等方面的相关研究,并明确还田量对后茬作物种子萌发及幼苗生长的影响,以确定油菜最佳种植密度和绿肥还田量,为油菜作绿肥还田提供更加全面的理论基础。

参 考 文 献

- [1] FERREIRA M I, REINHARDT C F. Field assessment of crop residues for allelopathic effects on both crops and weeds[J]. *Agronomy Journal*, 2010, 102(6):1593-1600.
- [2] 魏云霞, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 不同秸秆及绿肥浸提液对水稻的化感作用研究[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(30):18-22.
- [3] 秦俊豪, 温莹, 李君菲, 等. 绿肥植物田菁的化感效应及对土壤肥力的影响[J]. *土壤*, 2015, 47(3):524-529.
- [4] 李茹, 陈国奇, 张玉华, 等. 油菜和小麦秸秆水浸提液对千金子种子萌发和幼苗生长的影响及其应用[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(2):293-298.
- [5] 曹卫东, 黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(4):1-3.
- [6] 王丹英, 彭建, 徐春梅, 等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J]. *中国水稻科学*, 2012, 26(1):85-91.
- [7] 李红燕, 胡铁成, 曹群虎, 等. 旱地不同绿肥品种和种植方式提高土壤肥力的效果[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(5):1310-1318.
- [8] 李文广, 杨晓晓, 黄春国, 等. 饲料油菜作绿肥对后茬麦田土壤肥力及细菌群落的影响[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(15):2664-2677.
- [9] HANDISENI M, BROWN J, ZEMETRA R, et al. Effect of Brassicaceae seed meals with different glucosinolate profiles on *Rhizoctonia* root rot in wheat[J]. *Crop Protection*, 2013, 48:1-5.
- [10] 邓力超, 李莓, 范连益, 等. 绿肥油菜翻压还田对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. *湖南农业科学*, 2018(2):18-20.
- [11] YASUMOTO S, MATSUZAKI M, HIROKANE H, et al. Glucosinolate content in rapeseed in relation to suppression of subsequent crop[J]. *Plant Production Science*, 2010, 13(2):150-155.
- [12] 杨海婧, 田丰, 马永清, 等. 小麦、蚕豆和油菜浸提液对秦艽种子萌发的影响[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(5):145-148.
- [13] ZHANG P, WEI T, JIA Z K, et al. Effects of straw incorporation on soil organic matter and soil water-stable aggregates content in semiarid regions of Northwest China[J]. *PLoS One*, 2014, 9(3):e92839.
- [14] 葛婷婷, 黄益洪, 何晓兰, 等. 高粱不同组织浸提液对小麦幼苗的化感作用[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(5):722-728.
- [15] 冒宇翔, 李贵, 沈俊明, 等. 玉米秸秆覆盖还田结合化学除草剂对水稻田杂草的控制效果及对水稻产量的影响[J]. *江苏农业学报*, 2014, 30(6):1336-1344.
- [16] 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, 15(5):1062-1066.
- [17] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等. 红薯叶片浸提液对 5 种主要农田杂草种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. *生态学报*, 2017, 37(6):1931-1938.
- [18] 王晓维, 杨文亭, 王淑彬, 等. 黑麦草浸提液对水稻、大豆和玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2014, 36(3):470-475.
- [19] 李彦斌, 刘建国, 程相儒, 等. 秸秆还田对棉花生长的化感效应[J]. *生态学报*, 2009, 29(9):4942-4948.

(责任编辑:闫其涛)