

DOI: 10.5846/stxb202006171567

徐高峰, 申时才, 张云, 杨韶松, 董立尧, 张付斗, 金桂梅. 油菜类型和品种对外来入侵杂草小子藨草的替代控制作用. 生态学报, 2021, 41(19): 7808-7818.

Xu G F, Shen S C, Zhang Y, Yang S S, Dong L Y, Zhang F D, Jing G M. Replacement control of the invasive weed littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) by different types and cultivars of rapeseed. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(19): 7808-7818.

油菜类型和品种对外来入侵杂草小子藨草的替代控制作用

徐高峰^{1,2,3}, 申时才^{1,2}, 张云⁴, 杨韶松^{1,2}, 董立尧³, 张付斗^{1,2,*}, 金桂梅^{1,2}

1 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205

2 云南省农业跨境有害生物绿色防控重点实验室, 昆明 650205

3 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095

4 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650205

摘要:外来入侵植物小子藨草(*Phalaris minor* Retz.)是世界公认的冬季农田恶性杂草,掌握农作物对其替代控制作用具有重要的研究价值。前期研究表明,油菜是替代控制小子藨草的优良农作物,然而,目前尚不清楚油菜类型与品种对其控制能力的影响。为此选取与小子藨草同域发生的不同类型(白菜型油菜、芥菜型油菜和甘蓝型油菜)油菜品种各3种,通过田间小区实验和室内化感作用测定,对比研究其对小子藨草的生长、繁殖、表型以及化感作用的影响。田间实验显示:竞争方式(种内或种间竞争)和油菜类型对小子藨草的地上生物量、种子数、株高、分枝数、叶面积和比叶面积存在极显著($P=0.0001$)影响;而油菜品种对小子藨草的地上生物量($P=0.6064$)、种子数($P=0.3577$)、株高($P=0.4279$)、分枝数($P=0.6357$)、叶面积($P=0.8839$)和比叶面积($P=0.3424$)均无显著影响。3种类型油菜对小子藨草生长、繁殖以及表型的影响存在明显差异,其中芥菜型油菜对小子藨草的上述指标的影响最强,而白菜型油菜的影响最弱。室内生物测定显示,油菜对小子藨草具有化感抑制作用,当供试油菜叶片水提液浓度为0.1 g/mL时,小子藨草种子的萌发和幼苗的株高、根长、生物量均被显著抑制;研究也表明不同类型油菜对小子藨草的化感作用显著不同,同等条件下,芥菜型油菜对小子藨草的化感抑制作用最强。综上所述,油菜类型对外来入侵小子藨草的控制作用存在显著差异,其中芥菜型油菜对植物小子藨草的替代控制作用明显优于白菜型油菜和甘蓝型油菜,而其强的化感抑草特性或许是其强控草能力的原因之一。另外,本研究也为进一步利用油菜替代控制入侵植物小子藨草提供了参考。

关键词:小子藨草;白菜型油菜;芥菜型油菜;甘蓝型油菜;替代控制;化感作用

Replacement control of the invasive weed littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) by different types and cultivars of rapeseed

XU Gaofeng^{1,2,3}, SHEN Shicai^{1,2}, ZHANG Yun⁴, YANG Shaosong^{1,2}, DONG Liyao³, ZHANG Fudou^{1,2,*}, JING Guimei^{1,2}

1 Institute of Agricultural Environment and Resources Research, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China

2 Key Laboratory of Green Prevention and Control of Agricultural Transboundary Pests of Yunnan Province, Kunming 650205, China

3 College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

4 Biotechnology and Germplasm Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China

基金项目:云南省应用基础研究面上项目(2017FB055);云南省应用基础研究重点项目(2018FA24);省高端人才计划2020年云南省技术创新人才(徐高峰)培养

收稿日期:2020-06-17; 网络出版日期:2021-07-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fdzh@vip.sina.com

Abstract: Littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) is one of the most troublesome invasive weeds infesting winter crops in the world. Exploring replacement control using higher value crops was thought to be the most potential green control method. Our previous study found that rapeseed was a logical candidate crop to control this weed in agroecosystems, however, the control efficiency of different types of rapeseed (*Brassica rape*, *Brassica juncea* and *Brassica napus*) to the invasive weed littleseed canarygrass were unknown. In this paper, nine rapeseed cultivars of *Brassica rape*, *Brassica juncea* and *Brassica napus*, which occurred in the same region with *P. minor*, were selected to study their effects on the growth, reproduction, phenotype and allelopathic effects of this invasive weed both in the field and in laboratory experiments. In field experiments, we found that competition modes (intraspecific or interspecific competition) and rapeseed types had significant effects ($P = 0.0001$) on the aboveground biomass, seed number, plant height, branch number, leaf area and special leaf area (SLA) of *P. minor*, while rapeseed varieties had no significant effects on aboveground biomass ($P = 0.6064$), seed number ($P = 0.3577$), plant height ($P = 0.4279$), branch number ($P = 0.6357$), leaf area ($P = 0.8839$) and specific leaf area ($P = 0.3424$). We also found that the effects of different rapeseed types on *P. minor* were significantly different, the growth, reproduction and phenotype of *P. minor* were most affected by *Brassica juncea* and least by *Brassica rape* ($P < 0.05$). In laboratory experiments, we found that rapeseeds have strong allelopathy on *P. minor*, the seed germination, plant height, root length and fresh biomass of *P. minor* were significantly inhibited when the water extract concentration of the rapeseed leaves was 0.1g/mL. We also found that the allelopathic effects of different rapeseed types on *P. minor* were significantly different ($P < 0.05$), the species with the strongest allelopathic ability on weed was *Brassica juncea* under the same conditions. Together, the control efficiency of different rapeseed types on invasive weed *P. minor* were significant differences, and the control effect of *Brassica juncea* was better than that of *Brassica rape* and *Brassica napus*, its strong allelopathic characteristics may play an important role in replacement control. In addition, our study also suggest that replacement control by different rapeseed varieties is potentially a feasible and sustainable means of suppressing littleseed canarygrass.

Key Words: *Phalaris minor* Retz.; *Brassica rape*; *Brassica juncea*; *Brassica napus*; replacement control; allelopaty

外来入侵植物小子藨草 (*Phalaris minor* Retz.) 为禾本科 (Gramineae) 藨草属 (*Phalaris*) 一年生杂草, 20 世纪 70 年代随麦类引种侵入我国, 现为我国冬季农田重要外来入侵杂草之一^[1-4]。小子藨草具有强的繁殖能力、竞争能力和生态适应能力, 常导致入侵地冬春农作物 (尤其是麦类) 减产超 30%, 严重的甚至绝收^[5-7]。安全有效控制小子藨草一直是人们关注的焦点与研究的核心, 国内外学者已对其开展了多种控草技术研究^[8]。然而, 由于小子藨草独特的生物生态学特征, 常导致物理防治、生物防治等控草技术存在防效低、防治成本高等不足而难以满足现代农业的需求^[7,9-10]。目前世界治理小子藨草的主要措施为喷施化学除草剂, 如异丙隆 (Isoproturon)、脞草酮 (Tralkoxydim)、禾草灵 (Diclofop-methyl)、炔草酯 (Clodinafop-propargyl)、稀禾定 (Sethoxydi) 等除草剂已被广泛应用于麦田控制该草^[11-13]。然而, 长期大量施用除草剂导致的抗药性增加、环境污染、食品安全等诸多问题已引起人们广泛关注^[14]。如何持久有效绿色控制外来入侵植物小子藨草近年来被广泛研究^[15]。

外来物种成功入侵不仅受到自身属性和功能的影响, 同时也与入侵地的环境条件密切相关, 入侵地群落中的一些生物因素和环境因素能够抵抗外来植物的入侵^[16-18]。如研究显示, 在薇甘菊入侵地, 本地物种幌伞枫、血桐以及农作物红薯等不仅能有效抵御薇甘菊的入侵危害, 也对其破坏的生态环境具有较强的生态修复能力^[19-20]。因此, 探索利用具有一定生态和经济价值的本地物种或伴生物种来替代控制外来入侵杂草, 被认为是一种科学、有效的绿色控草技术, 也是近年国内外研究的热点。

选择适宜当地的替代植物是实现替代控制的关键^[21]。油菜是云南省种植面积最大的油料作物, 由于其生长迅速, 株型高大, 已被研究应用于控制农田杂草和外来入侵杂草^[22]。如李林等^[23] 研究显示油菜可用

于农田替代控制入侵植物紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum*)。娄群峰等^[24]则研究表明在适当的耕作条件下,油菜可有效控制如日本看麦娘 (*Alopecurus japonicas* Steud)、牛繁缕 (*Myosoton aquaticum* (L.) Moench)、稻搓菜 (*Lapsana apogonoides* Maxim) 等农田杂草。在小子藨草的中国入侵地,油菜物候期和空间分布与小子藨草种群重叠^[25]。作者前期通过野外定点观测、温室盆栽和田间试验研究了小子藨草与不同农作物的种间关系,发现农作物油菜对小子藨草具有强的竞争能力,油菜田小子藨草的种群数量、土壤种子库种子量和种子生成量也显著低于蚕豆田和小麦田^[3,26-27]。前期研究表明,油菜可能是替代控制小子藨草的优良作物。根据遗传类型,油菜可分为白菜型油菜 (*Brassica rape*, AA)、芥菜型油菜 (*Brassica juncea*, AABB) 和甘蓝型油菜 (*Brassica napus*, AACC)^[28]。由于遗传背景不同,3 种类型油菜在表型特征、养分需求和种群分布等均存在较大差异。然而,目前尚不清楚不同类型与品种的油菜对小子藨草的绿色防控能力与作用机制,且也未见国内外相关研究报道。

为此,本研究选取在云南与小子藨草同域的白菜型油菜、芥菜型油菜和甘蓝型油菜各三种,首先通过田间实验对比研究其对小子藨草的生长、繁殖以及表型的影响,后通过室内生物测定研究了不同类型油菜对小子藨草种子萌发和幼苗生长的化感作用,探讨油菜类型与品种对入侵植物小子藨草绿色防控能力的影响及其作用机制。相关研究为利用油菜绿色防控外来入侵植物小子藨草指明方向。

1 材料与方法

1.1 实验样地概况与实验材料

实验地位于云南省农业科学院嵩明试验基地 (25°05'—25°28' N, 102°40'—103°20' E)。试验点前茬作物为水稻,土壤类型为水稻土,耕作层 0—20 cm 土壤理化性质为:有机质 27.6 g/kg,全氮 1.32 g/kg,全磷 1.31 g/kg,全钾 2.42 g/kg,速效氮 93.5 mg/kg,速效磷 20.8 mg/kg,速效钾 121.7 mg/kg, pH 6.61。

供试油菜品种分别为:白菜型油菜,品种编号为 AA₁, AA₂ 和 AA₃;芥菜型油菜,品种编号为 AB₁, AB₂ 和 AB₃;甘蓝型油菜,品种分编号为 AC₁, AC₂ 和 AC₃。上述油菜品种由云南省农业科学院农业经济作物研究所油菜项目组提供。小子藨草种子为 2018 年 4 月采自云南省保山市麦田,晾干后室温保存。供试小子藨草的发芽率 >90%。

1.2 实验方法

1.2.1 油菜类型与品种对外来入侵植物小子藨草生长繁殖的影响

2018 年 9 月—2019 年 4 月,在云南省农业科学院嵩明试验基地,通过设置不同油菜品种与小子藨草的单种与混种种群,研究白菜型油菜、芥菜型油菜和甘蓝型油菜三种类型不同品种油菜对入侵植物小子藨草生长繁殖的影响。试验采用裂区试验设计,其中主处理为白菜型油菜、芥菜型油菜和甘蓝型油菜三种类型油菜;副处理为不同类型油菜对应的不同油菜品种及其于小子藨草的单混种种群,副处理采用完全随机排列。具体如下:2018 年 9 月 24 日,首先将 3 种品种油菜和小子藨草的种子撒播温室苗圃。10 月 29 日,按实验设计要求,分别选取大小一致的油菜和小子藨草幼苗,按 1:1 比例(油菜 90 株,小子藨草 90 株)将其均匀移栽至试验小区,小区之间设有 1 m 的隔离带。试验各小区面积均为 9.0 m² (3 m×3 m),每个小区种植总物种数量为 180 株,每处理重复 4 次。单种处理小区为同一物种的种植方式,混种处理小子藨草与油菜在小区中均匀分布。幼苗移栽后的 1 周内每天 10:00—15:00 打开遮阴网和滴灌装置以保持土壤湿润,提高幼苗植株的存活率,并对未成活的幼苗及时补充移栽大小一致的植株。在生长过程中,人工拔除其它植物。另外,试验采用基肥+追肥的方式施肥,基肥采用一次性翻施方式施用,氮、磷、钾和硼施用量分别为氮肥 108 kg N/hm² (尿素 N 46%),磷肥 90 kg P₂O₅/hm² (过磷酸钙 P₂O₅ 12%),钾肥 120 kg K₂O/hm² (氯化钾 K₂O 12%),硼肥 15 kg 硼砂/hm² (硼砂 B 12%),后期追肥 2 次,分别为氮肥 36 kg N/hm² (尿素 N 46%),浇水按正常田间管理。

2019 年 3 月下旬,于小子藨草种子成熟期,分别在各单一和混合种群中随机选取 10 株小子藨草植株,将其贴土割断,分别计数用小子藨草的主茎长度、分枝数和种子数,并用 Li-3000 A 型叶面积仪测定主穗的剑叶

面积(叶龄 20—30 天)。后在 80 ℃ 烘箱中将小子藨草植株烘干至恒重,用电子天平(精确度 0.001 g)称量,测定小子藨草的叶片和地上部生物量。

1.2.2 不同类型油菜品种叶片水提液对入侵植物小子藨草种子萌发的影响

采集移栽后 30 d 生长健壮油菜新叶叶片 50.0 g,剪碎后 4 ℃ 条件下放入 3 倍的蒸馏水中浸提 48 h,二次过滤后,将其定容至浓度为 0.1 g/mL(以鲜叶质量计算)。取部分浸提液用蒸馏水分别稀释至质量浓度为 0.05 g/mL 和 0.025 g/mL(以鲜叶质量计算)。后采用培养皿滤纸法测试水提液对小子藨草种子萌发的影响。具体为:首先选择颜色较深、饱满且大小一致的小子藨草种子,用 0.5% 次氯酸钠溶液浸泡 10 min,后用无菌蒸馏水清洗干净。在直径 9 cm 培养皿中垫 2 层滤纸,每皿放置 30 粒小子藨草种子,后每皿加入 10 mL 不同浓度叶片浸提液,对照加入 10 mL 蒸馏水,后放入光照培养箱培养(培养温度为白天 25 ℃,夜间 20 ℃,白天和夜间时间各 12 h)。每处理重复 4 次。10 d 后记录萌发种子数(芽长和根长 ≥ 0.5 cm 视为萌发),计算种子萌发抑制率。

1.2.3 不同类型油菜品种叶片水提液对小子藨草幼苗生长的影响

供试不同类型油菜品种叶片水提液的制备和小子藨草种子前处理方法同 1.2.2。采用室内盆钵法测试不同浓度油菜叶片水提液对小子藨草幼苗生长的影响^[29]。具体为:取无菌风干细土 200.0 g 置于直径 15 cm、高 10 cm 的塑料杯中,每杯分别加入 60 mL 不同浓度叶片浸提液,对照加入 60 mL 蒸馏水;后于每杯分别播入 30 粒小子藨草种子,用手将小子藨草种子轻轻按压至土层 0.5 cm 处,后置于人工气候箱培养(培养温度为白天 25 ℃,夜间 20 ℃,白天和夜间时间各 12 h)。每处理重复 4 次。培养期内每天视情况每皿补充一定量蒸馏水,保持土壤润湿。20 d 后每杯随机选取 10 株小子藨草幼苗,测量株高、根长和生物量。

1.3 数据处理分析

采用化感响应指数^[30](response index, *RI*) 分别度量不同品种油菜叶片水提液对小子藨草株高和根长化感作用的类型和强度,计算公式为:当 $T \geq C$ 时, $RI = 1 - C/T$; 当 $T < C$ 时, $RI = T/C - 1$ 。其中:*C* 为对照值, *T* 为处理值。 $RI > 0$ 为促进作用, $RI < 0$ 为抑制作用,绝对值的大小与化感作用强度一致。

另外,水提液对小子藨草种子萌发的抑制率计算公式为^[31]:

种子萌发抑制率% = [(对照组种子萌发平均数 - 处理组种子萌发平均数) / 对照组种子萌发平均数] $\times 100\%$

比叶面积(SLA)计算公式为^[31]:

$$\text{比叶面积}^{[19]} = \text{叶片面积}(\text{cm}^2) / \text{叶片干重}(\text{g})$$

油菜类型、油菜品种和竞争方式(种类或种间竞争)对外来入侵植物小子藨草的地上生物量、种子数、株高、分枝数、叶面积、比叶面积的影响,试验数据采用 SPSS 13.0 软件的多因素方差分析(three-way mixed ANOVA)法进行分析处理,并采用 LSD 法对上述数据以及化感数据对其进行差异显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 油菜类型与品种对小子藨草生长繁殖的影响

研究表明,小子藨草与油菜混种处理组,其地上生物量和种子数均显著低于其单种处理组,表明油菜对小子藨草的生长繁殖具有显著的抑制作用。研究也显示,不同类型的油菜品种对小子藨草生长繁殖的影响存在显著差异,其中与芥菜型油菜混种处理组,小子藨草地上生物量和种子数均显著低于白菜型油菜和甘蓝型油菜混种处理组,表明芥菜型油菜对小子藨草生长繁殖的抑制作用最强。另外,研究也表明,同一类型不同品种油菜(除芥菜型油菜 AB₁外)对小子藨草地上生物量和种子数的影响均无显著差异(图 1)。

多因素方差分析显示,竞争方式(种内-种间竞争)和油菜类型均极显著($P = 0.0001$)影响小子藨草地上生物量和种子数,而油菜品种对小子藨草的地上生物量($P = 0.6064$)和种子数($P = 0.3577$)均无显著影响。油菜类型与竞争方式交互(油菜类型 \times 竞争方式)对小子藨草地上生物量具有极显著影响($P = 0.0001$),对种子数

具有显著影响($P=0.0362$)。而油菜品种与油菜类型或竞争方式的互作对入侵植物小子藨草的生长、繁殖均无显著影响(表1)。

表1 油菜类型、油菜品种、竞争方式及其互作对入侵植物小子藨草生长繁殖的影响(三因素方差分析)

Table 1 Effects of rapeseed type, cultivar, competition modes and their interaction on morphological characteristics and biomass to *P. minor* Retz. (three-way mixed ANOVA results)

因变量 Response	df	均方 Mean-square	F	P
地上生物量 Aboveground biomass				
油菜类型 Types	2	10.3420	118.9435	0.0001
油菜品种 Cultivars	2	0.0447	0.5139	0.6046
竞争方式 Competition modes	1	520.3011	1422.6441	0.0001
油菜类型×油菜品种 Types×Cultivars	4	0.1348	1.5500	0.2198
油菜类型×竞争方式 Types×Competition modes	2	10.3420	28.2778	0.0001
油菜品种×竞争方式 Cultivars×Competition modes	2	0.0447	0.1222	0.8855
油菜类型×油菜品种×竞争方式 Types×Cultivars×Competition modes	4	0.1348	0.3685	0.8289
种子数 Seed number				
油菜类型 Types	2	177386.6000	103.3581	0.0001
油菜品种 Cultivars	2	1842.3790	1.0735	0.3577
竞争方式 Competition modes	1	231142570.6000	4903.1759	0.0001
油菜类型×油菜品种 Types×Cultivars	4	3722.1240	2.1688	0.1032
油菜类型×竞争方式 Types×Competition modes	2	177386.6000	3.7629	0.0362
油菜品种×竞争方式 Cultivars×Competition modes	2	1842.3790	0.0391	0.9617
油菜类型×油菜品种×竞争方式 Types×Cultivars×Competition modes	4	3722.1240	0.0790	0.9881
株高 Plant height				
油菜类型 Types	2	2860.5460	120.1117	0.0001
油菜品种 Cultivars	2	20.9487	0.8796	0.4279
竞争方式 Competition modes	1	21987.0500	572.0221	0.0001
油菜类型×油菜品种 Types×Cultivars	4	34.4437	1.4463	0.2495
油菜类型×竞争方式 Types×Competition modes	2	2860.5460	74.4209	0.0001
油菜品种×竞争方式 Cultivars×competition modes	2	20.9487	0.5450	0.5861
油菜类型×油菜品种×竞争方式 Types×Cultivars ×Competition modes	4	34.4437	0.8961	0.4799
分枝数 Branch number				
油菜类型 Type	2	44.6235	88.8725	0.0001
油菜品种 Cultivar	2	0.2318	0.4617	0.6357
竞争方式 Competition modes	1	7597.3360	2115.0493	0.0001
油菜类型×油菜品种 Types×Cultivars	4	0.8297	1.6525	0.1938
油菜类型×竞争方式 Types×Competition modes	2	44.6235	12.4229	0.0001

续表

因变量 Response	df	均方 Mean-square	F	P
油菜品种×竞争方式 Cultivars×competition modes	2	0.2318	0.0645	0.9376
油菜类型×油菜品种×竞争方式 Types×Cultivars×Competition modes	4	0.8297	0.2310	0.9185
叶面积 Leaf area				
油菜类型 Type	2	2.2513	10.6393	0.0005
油菜品种 Cultivar	2	0.0262	0.1241	0.8839
竞争方式 Competition modes	1	89.1113	130.8411	0.0001
油菜类型×油菜品种 Types×Cultivars	4	0.0550	0.2599	0.9007
油菜类型×竞争方式 Types×Competition modes	2	2.2513	3.3055	0.052
油菜品种×竞争方式 Cultivars×Competition modes	2	0.0262	0.0385	0.9622
油菜类型×油菜品种×竞争方式 Types×Cultivars×Competition modes	4	0.0550	0.0808	0.9876
比叶面积 Special leaf area				
油菜类型 Type	2	2871.7050	105.1968	0.0001
油菜品种 Cultivar	2	30.6101	1.1213	0.3423
竞争方式 Competition modes	1	53606.2900	174.9279	0.0001
油菜类型×油菜品种 Types×Cultivars	4	91.9883	3.3697	0.0253
油菜类型×竞争方式 Types×Competition modes	2	2871.7050	9.3709	0.0008
油菜品种×竞争方式 Cultivars×competition modes	2	30.6101	0.0999	0.9053
油菜类型×油菜品种×竞争方式 Types×Cultivars×Competition modes	4	91.9883	0.3002	0.8752

2.2 不同类型油菜品种对小子藨草表型的影响

小子藨草与油菜混种处理组,小子藨草的株高、比叶面积均显著增加,而分枝数、叶面积则显著降低,表明不同类型油菜均能显著影响小子藨草的表型。不同类型油菜对小子藨草株高、分枝数、叶面积和比叶面积的影响显著不同,其中与芥菜型油菜混种处理组,小子藨草的株高和比叶面积显著高于白菜型油菜和甘蓝型油菜混种处理组,分枝数和叶面积则显著小于另外两种油菜。另外,研究也发现同一类型油菜不同品种对小子藨草株高、分枝数、叶面积、比叶面积 3 种表型的影响无明显差异(图 1)。

多因素方差分析显示,竞争方式(种内-种间竞争)和油菜类型均极显著($P=0.0001$)影响小子藨草的株高、分枝数、叶面积和比叶面积;而油菜品种对小子藨草的株高($P=0.4279$)、分枝数($P=0.6357$)、叶面积($P=0.8839$)和比叶面积($P=0.3424$)均无显著影响。油菜类型与竞争方式互作(油菜类型×竞争方式)对小子藨草的株高($P=0.0001$)、分枝数($P=0.0001$)和比叶面积($P=0.0008$)均具有极显著影响,但对叶面积则无显著影响。而油菜品种与油菜类型或竞争方式的互作对入侵植物小子藨草的株高、分枝数、叶面积和比叶面积均无显著影响(表 1)。

2.3 不同类型油菜品种叶片水提对小子藨草种子萌发和幼苗生长的影响

研究结果表明,不同类型油菜叶片水提液对小子藨草种子萌发的影响存在明显差异。在浓度为 0.1 g/mL 时,3 种类型油菜品种的叶片水提液均显著抑制小子藨草的种子萌发;其中芥菜型油菜叶片水提液对小子藨草种子萌发的抑制作用最强(抑制率均超过 70%),且显著大于白菜型油菜和甘蓝型油菜。随着叶片水提液

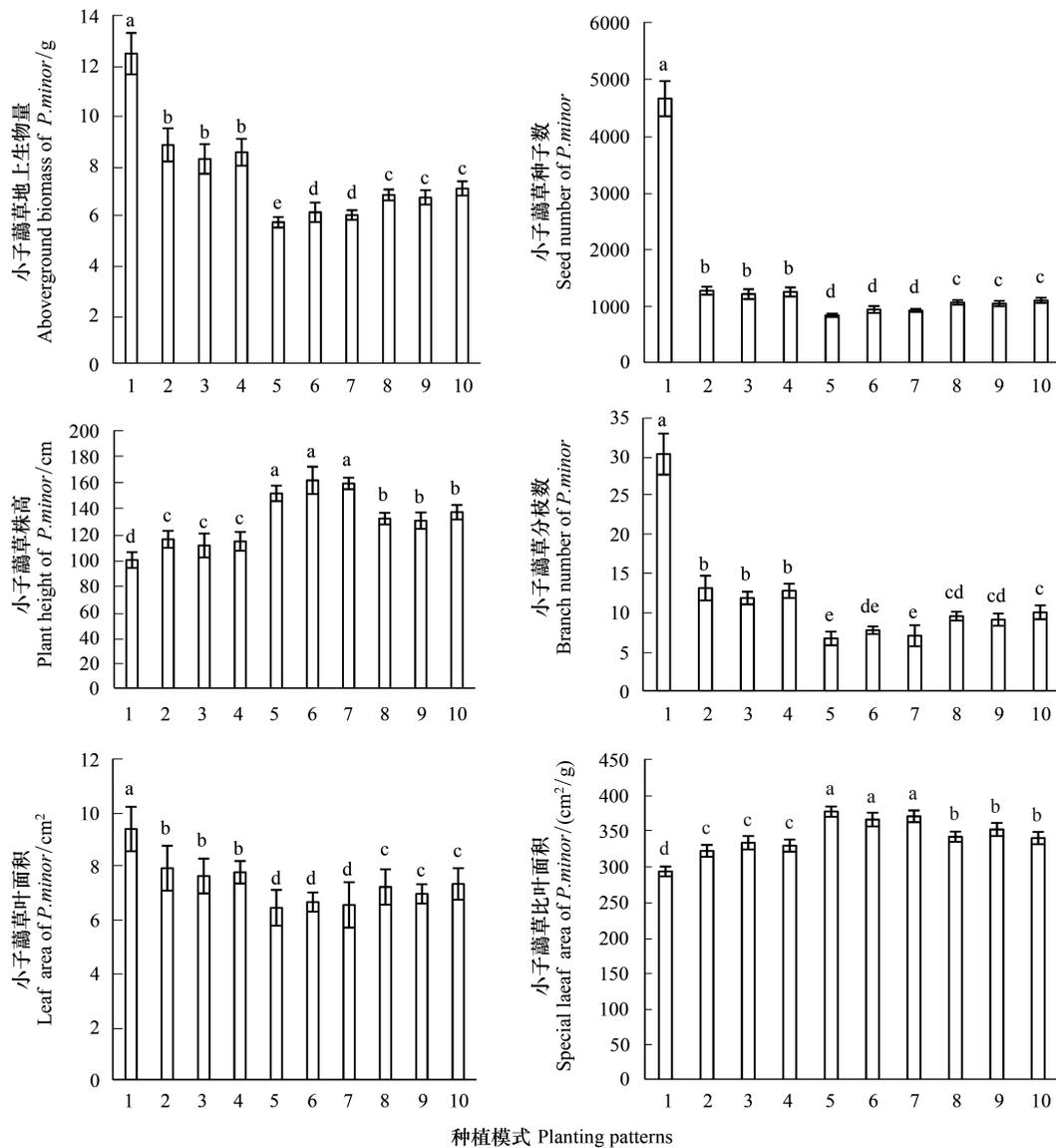


图 1 不同类型油菜品种对外来入侵植物小子蔺草生长繁殖的影响(平均值±标准误)

Fig.1 Effects of different rapeseed cultivars on the growth and reproduction of littleseed canarygrass(mean±SE)

横坐标数字 1 表示小子蔺草单种;数字 2,3,4 表示小子蔺草分别与白菜型油菜品种 AA₁,AA₂和 AA₃混种;数字 5,6,7 表示小子蔺草分别与芥菜型油菜 AB₁,AB₂和 AB₃混种;数字 8,9,10 表示小子蔺草分别与甘蓝型油菜 AC₁,AC₂和 AC₃混种

浓度的降低,其对小子蔺草种子萌发的抑制率显著降低,其中在浓度为 0.025 g/mL 时,白菜型油菜品种 AA₁、AA₂;甘蓝型油菜品种 AC₂、AC₃均促进小子蔺草种子的萌发。另外研究也显示,同种类型油菜不同品种,在同等浓度条件下对小子蔺草种子萌发率无明显差异(表 2)。

研究也显示,不同类型油菜叶片水提液对小子蔺草幼苗生长也存在明显差异。在浓度为 0.1 g/mL 时,3 种类型油菜品种的叶片水提液均显著抑制小子蔺草的株高和根长;其中芥菜型油菜叶片水提液对小子蔺草株高和根长的抑制作用最强,白菜型油菜对株高和根长的抑制作用最弱。随着叶片水提液浓度的降低,其抑制降低,其中在浓度为 0.025 g/mL 时,白菜型油菜品种 AA₁、AA₂和 AA₃;甘蓝型油菜品种 AC₁和 AC₂均促进小子蔺草株高和根长的生长(图 2)。

2.4 不同类型油菜品种叶片水提对小子蔺草幼苗生长的影响及化感效应指数

研究表明,在浓度为 0.1 g/mL 和 0.05 g/mL 时,3 种类型油菜对小子蔺草株高、根长和生物量的化感

指数均为负值,其中芥菜型油菜对小子藨草的化感指数绝对值最大;表明在上述浓度条件下,油菜叶片水提液抑制小子藨草的生长,芥菜型油菜对小子藨草的抑制作用最强。另外,研究也显示,3 种类型油菜品种叶片水提液对小子藨草株高、根长和生物量的化感效应指数存在差异,其中生物量的化感指数绝对值最大,株高的化感指数绝对值最小,显示油菜叶片水提液对小子藨草株高的抑制效应最弱(表 2)。

表 2 不同类型油菜品种的叶片水提液对小子藨草的化感作用(平均值±标准误)

Table 2 Effects of different rapeseed cultivars on the allelopathic of littleseed canarygrass (mean ± SE)

油菜类型 Rapeseed type	油菜品种 Rapeseed cultivars	浓度 Concentration/ (g/mL)	小子藨草 Littleseed canarygrass			
			种子萌发抑制率 Inhibition rate of seed number/%	株高化感指数 Allelopathic index on plant height	根长化感指数 Allelopathic index on root length	生物量化感指数 Allelopathic index on biomass
白菜型油菜 <i>Brassica rape</i>	AA ₁	0.1	64.79±4.15bc	-0.33±0.04de	-0.37±0.03c	-0.40±0.03c
		0.05	20.65±5.65ef	-0.05±0.05bc	-0.07±0.04ab	-0.18±0.04ab
		0.025	-3.67±3.02g	0.07±0.04a	0.01±0.04a	-0.17±0.02ab
	AA ₂	0.1	68.47±1.58b	-0.36±0.02de	-0.39±0.02c	-0.47±0.03c
		0.05	22.52±6.30e	-0.06±0.03bc	-0.08±0.04ab	-0.18±0.02ab
		0.025	-2.78±3.55g	0.01±0.02ab	-0.01±0.02ab	-0.12±0.05ab
	AA ₃	0.1	65.85±7.73bc	-0.33±0.06d	-0.35±0.06c	-0.44±0.04c
		0.05	17.96±8.57f	-0.07±0.06bc	-0.09±0.06ab	-0.19±0.03ab
		0.025	1.62±3.11g	-0.01±0.03abc	-0.03±0.06ab	-0.13±0.02ab
芥菜型油菜 <i>Brassica juncea</i>	AB ₁	0.1	78.38±3.96a	-0.47±0.01f	-0.51±0.01f	-0.59±0.04d
		0.05	34.18±6.27d	-0.09±0.06c	-0.11±0.02b	-0.21±0.02b
		0.025	2.75±3.68g	-0.03±0.03abc	-0.02±0.01ab	-0.10±0.02a
	AB ₂	0.1	73.95±10.78a	-0.43±0.04def	-0.48±0.03e	-0.56±0.04d
		0.05	36.90±7.31d	-0.10±0.05c	-0.12±0.08b	-0.21±0.05b
		0.025	4.34±1.05g	-0.05±0.04bc	-0.07±0.04ab	-0.17±0.03b
	AB ₃	0.1	74.75±5.09a	-0.45±0.05ef	-0.49±0.04e	-0.57±0.03d
		0.05	34.02±6.84d	-0.09±0.05c	-0.11±0.06b	-0.21±0.07b
		0.025	7.25±3.08g	-0.0319±0.06abc	-0.04±0.05ab	-0.13±0.06ab
甘蓝型油菜 <i>Brassica napus</i>	AC ₁	0.1	67.61±5.53b	-0.40±0.04def	-0.44±0.04d	-0.53±0.03cd
		0.05	26.75±6.52e	-0.06±0.04bc	-0.08±0.03ab	-0.19±0.03b
		0.025	0.73±7.41g	0.01±0.08abc	0.003±0.02a	-0.11±0.08ab
	AC ₂	0.1	63.96±3.26bc	-0.38±0.04def	-0.43±0.03d	-0.53±0.03cd
		0.05	32.55±4.54d	-0.07±0.07bc	-0.09±0.07ab	-0.19±0.06b
		0.025	-0.94±5.45g	0.03±0.07ab	0.01±0.06a	-0.12±0.08a
	AC ₃	0.1	61.26±3.88c	-0.37±0.04def	-0.42±0.03d	-0.52±0.03cd
		0.05	38.74±8.43d	-0.07±0.06bc	-0.09±0.04ab	-0.19±0.06ab
		0.025	-2.77±3.51g	0.01±0.05abc	-0.02±0.03ab	-0.13±0.06a

表中数据为平均值±标准误,同一列数值后不同小写字母表示同一列不同处理在 0.05 水平差异显著,反之差异不显著

3 讨论

不同类型品种的油菜,由于其遗传基础不同,可能其对小子藨草的防控能力存在差异。本文通过田间试验和室内化感作用研究了油菜类型与品种对小子藨草防控能力的影响。通过田间实验和室内化感作用测定,我们发现油菜类型对小子藨草的地上生物量、种子量以及化感作用的影响存在明显差异,其中芥菜型油菜对小子藨草的生长、繁殖的抑制作用以及对小子藨草种子萌发、幼苗生长的化感抑制作用明显强于白菜型油菜和甘蓝型油菜。另外,研究结果也显示,同一类型的不同油菜品种,其对小子藨草的生长繁殖和化感作用均无明显差异。利用农作物自身抑(抗)草特性控制农田入侵杂草是近年国内外研究热点^[15,17]。本研究首次报道

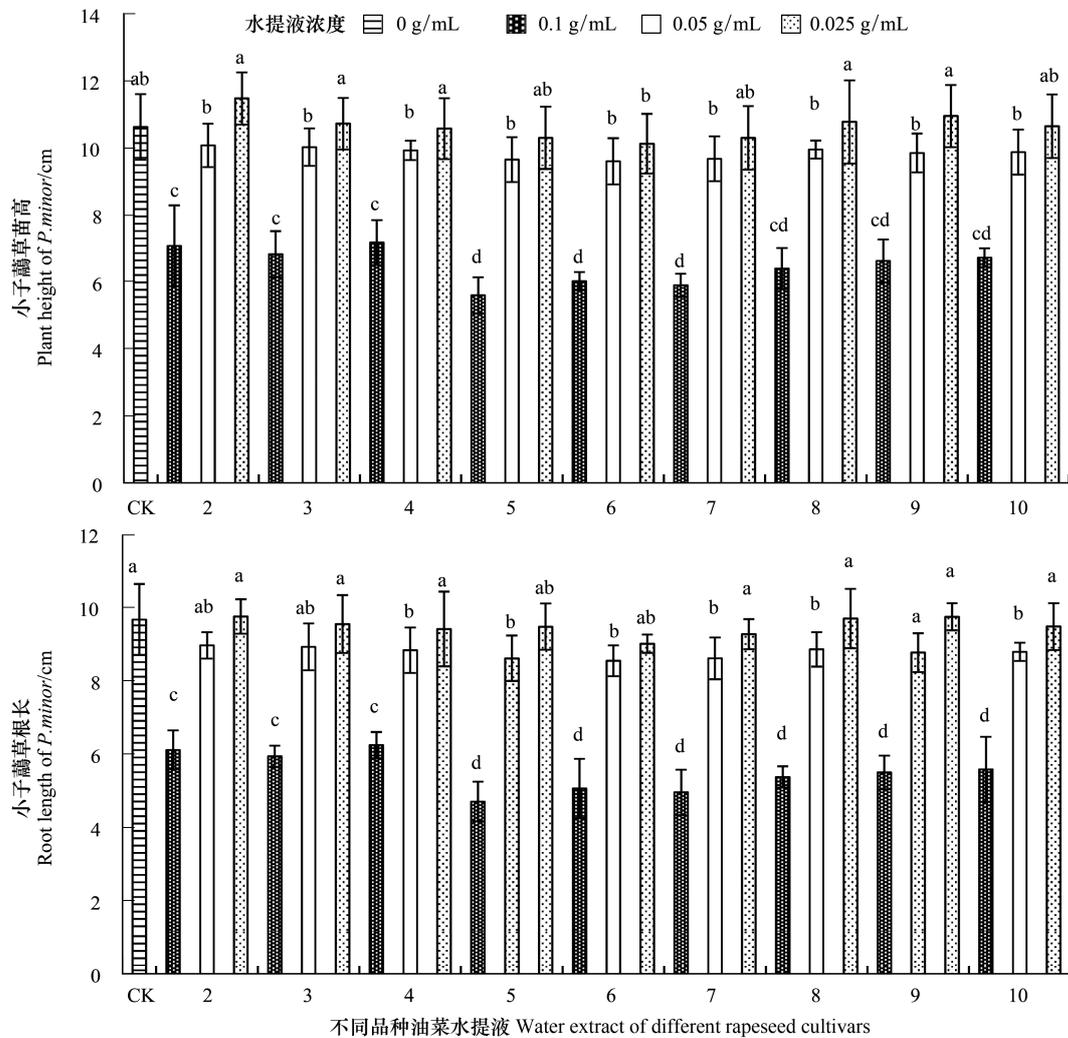


图2 不同类型油菜品种叶片水提液对小子藜草苗高和根长的影响(平均值±标准误)

Fig.2 Effects on plant height and root length of *P. minor* by leaves water extract from different rapeseed cultivars (mean±SE)

横坐标 CK 表示纯水对照; 数字 2,3,4 分别表示白菜型油菜品种 AA₁, AA₂ 和 AA₃ 的叶片水提液; 数字 5,6,7 分别表示芥菜型油菜 AB₁, AB₂ 和 AB₃ 的叶片水提液; 数字 8,9,10 分别表示甘蓝型油菜 AC₁, AC₂ 和 AC₃ 的叶片水提液

了油菜类型对入侵植物小子藜草替代控制的影响,明确了芥菜型油菜是绿色控制外来入侵植物小子藜草的最佳油菜类型,同时也阐述了化感作用在油菜替代控制小子藜草中扮演重要角色。为进一步开发、利用油菜控制外来入侵植物小子藜草提供了参考。

本研究结果表明油菜能显著抑制小子藜草的有性繁殖能力,减少其种子的生成数量。而通过室内生物测定发现油菜对小子藜草具有强的化感作用,显著抑制其种子萌发和幼苗生长。作为一年生草本植物,种子是外来入侵植物小子藜草种群扩散、蔓延和危害的唯一载体。因此,抑制田间小子藜草的种子萌发,减少其种子的生成是控制小子藜草的关键。前期调查发现,油菜田小子藜草的种群数量和土壤种子库数量均显著低于蚕豆田和小麦田^[24,27],但对这一现象的原因尚不清楚。本研究通过田间实验和室内实验对前期田间调查的现象进行了解答。另外,本研究也明确了白菜型油菜、芥菜型油菜和甘蓝型油菜 3 种油菜类型在同等条件下,芥菜型油菜对小子藜草种子萌发和田间种子量的抑制作用最大,而白菜型油菜的抑制作用最弱。上述结果暗示,在小子藜草入侵地推广种植芥菜型油菜,可减少入侵地小子藜草种群的发生危害。

本研究结果表明油菜对小子藜草种子萌发和幼苗生长具有强的化感作用,且不同类型油菜对小子藜草的

化感作用存在显著差异,芥菜型油菜对小子藨草种子萌发抑制率最高,化感抑制作用最强。前期研究表明,油菜对小子藨草具有强的种间竞争能力^[3]。然而,植物种间关系极其复杂,植物不仅能通过竞争来获取资源,也可通过释放化感物质实现有利于自身而不利于周边其它物种生长的目的^[32]。本研究结果暗示,油菜对入侵植物小子藨草生长繁殖具有较强的抑制能力可能是竞争作用和化感作用共同作用的结果。另外,前期研究主要从种间竞争的角度揭示油菜对小子藨草的替代控制机制,而本研究从化感作用的角度探讨了油菜对小子藨草的控制机制,拓宽了对油菜控制小子藨草的认知。

研究表明植物的表型变化与植物的生长对策及其对环境的适应性紧密联系,能够反应植物适应环境变化的能力与对策^[33]。如叶面积和比叶面积可以反映植物获取光照资源的能力与环境的适应能力^[34]。本研究结果显示,不同类型的油菜显著影响小子藨草的表型,其中芥菜型油菜处理组,小子藨草的株高和比叶面积显著大于另外两种油菜处理组,而叶面积则相反。本研究暗示,芥菜型油菜处理组小子藨草的光合能力较弱,但为应对芥菜型油菜的选择压力,其能量可能更多的用于营养生长,导致其分枝数、种子量等有性繁殖特征显著低于另外两种油菜。

综上所述,3 种类型油菜对入侵植物小子藨草的生长、繁殖具有显著的抑制作用,其中芥菜型油菜抑制作用最强,白菜型油菜的抑制作用最弱。进一步研究发现,芥菜型油菜对小子藨草种子萌发和幼苗生长化感抑制效应显著强于另外两种油菜,导致小子藨草的表型变化也显著不同于另外两个油菜种群。本研究为利用油菜高效控制入侵植物小子藨草提供了参考。

参考文献 (References):

- [1] 李扬汉. 中国杂草志. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1297-1299.
- [2] 赵国晶. 我省麦田新发现的外来杂草. 云南农业科技, 1983(1): 37-38.
- [3] 徐高峰, 申时才, 张付斗, 张云, 毛佳, 金桂梅. 外来入侵植物小子藨草研究进展与展望. 中国生态农业学报, 2015, 23(9): 1083-1092.
- [4] 徐高峰, 申时才, 张付斗, 李天林, 张云, 金桂梅. 小子藨草在云南省的地理分布、生物生态学特性及其发生特点//中国植物保护学会成立 50 周年庆祝大会暨 2012 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012: 264-270.
- [5] Chhokar R S, Singh S, Sharma R K. Herbicides for control of isoproturon-resistant Littleseed Canarygrass (*Phalaris minor*) in wheat. Crop Protection, 2008, 27(3/5): 719-726.
- [6] Mehra S P, Gill H S. Effect of temperature on germination of *Phalaris minor* Retz. and its competition in wheat. Journal Research, Punjab Agricultural University, 1988, 25: 529-534.
- [7] 徐高峰, 张付斗, 李天林, 单芹丽, 张云, 吴迪. 奇异藨草和小子藨草生物学特性及其对小麦生长的影响和经济阈值研究. 中国农业科学, 2010, 43(21): 4409-4417.
- [8] Inderjit, Kaushik S. Management of *Phalaris minor*, an exotic weed of cropland//Inderjit, ed. Management of Invasive Weeds. Dordrecht: Springer, 2009: 279-286.
- [9] Kumar N, Walia U S, Kaur R, Walia S S, Kler D D. N-uptake by wheat and *Phalaris minor* Retz. as influenced by rice straw management techniques and weed control treatments. Environment and Ecology, 2000, 18(3): 639-642.
- [10] Singh S, Kirkwood R C, Marshall G. Biology and control of *Phalaris minor* Retz. (littleseed canarygrass) in wheat. Crop Protection, 1999, 18(1): 1-16.
- [11] Arshad J, Sobiya S, Shazia S. Herbicidal activity of *Datura metel* L. against *Phalaris minor* Retz. Pakistan Journal Weed Science Research, 2008, 14(3/4): 209-220.
- [12] Javaid A, Shafique S, Shafique S. Herbicidal activity of *Withania somnifera* against *Phalaris minor*. Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters, 2010, 24(15): 1457-1468.
- [13] Inderjit, Kaushik S. Effect of herbicides with different modes of action on physiological and cellular traits of *Anabaena fertilissima*. Paddy and Water Environment, 2010, 8(3): 277-282.
- [14] Brar L S, Walia U S, Seema J. Characterization of isoproturon resistant *Phalaris minor* biotypes exposed to alternate herbicides under cropped and uncropped situations. Indian Journal of Weed Science, 2002, 34(3/4): 161-164.
- [15] 李博, 马克平. 生物入侵——中国学者面临的转化生态学机遇与挑战. 生物多样性, 2010, 18(6): 529-532.
- [16] Blackburn T M, Essl F, Evans T, Hulme P E, Jeschke J M, Kühn I, Kumschick S, Marková Z, Mrugała A, Nentwig W, Pergl J, Pyšek P,

- Rabitsch W, Ricciardi A, Richardson D M, Sendek A, Vilà M, Wilson J R U, Winter M, Genovesi P, Bacher S. A unified classification of alien species based on the magnitude of their environmental impacts. *PLoS Biology*, 2014, 12(5): e1001850.
- [17] 徐承远, 张文驹, 卢宝荣, 陈家宽. 生物入侵机制研究进展. *生物多样性*, 2001, 9(4): 430-438.
- [18] Schoepfner N M, Relyea R A. Phenotypic plasticity in response to fine-grained environmental variation in predation. *Functional Ecology*, 2009, 23(3): 587-594.
- [19] Li W H, Luo J N, Tian X S, Chow W S, Sun Z Y, Zhang T J, Peng S L, Peng C L. A new strategy for controlling invasive weeds: selecting valuable native plants to defeat them. *Scientific Reports*, 2015, 5: 11004.
- [20] Shen S C, Xu G F, Clements D R, Jin G M, Chen A D, Zhang F D, Kato-Noguchi H. Suppression of the invasive plant mile-a-minute (*Mikania micrantha*) by local crop sweet potato (*Ipomoea batatas*) by means of higher growth rate and competition for soil nutrients. *BMC Ecology*, 2015, 15(1): 1.
- [21] 李鸣光, 鲁尔贝, 郭强, 咎启杰, 韦萍萍, 蒋露, 徐华林, 钟填奎. 入侵种薇甘菊防治措施及策略评估. *生态学报*, 2012, 32(10): 3240-3251.
- [22] 谢永俊, 刘旭云, 王奇彬. 云南油菜种质资源的品质鉴定研究. *云南农业大学学报*, 2000, 15(4): 341-344.
- [23] 李林, 曹劫程, 喻大昭, 朱文达, 颜冬冬, 欧阳灿彬. 油菜对紫茎泽兰的替代控制效果. *中国油料作物学报*, 2016, 38(4): 513-517.
- [24] 娄群峰, 张敦阳, 黄建中, 王庆亚, 刘天龙, 朱元良. 氮肥用量对三种杂草与油菜间竞争关系的影响. *南京农业大学学报*, 2000, 23(1): 23-26.
- [25] 徐高峰, 申时才, 张付斗, 李天林, 张云. 两种外来入侵植物奇异蒺藜和小子蒺藜生物生态学特性及其防治[C]//第十届全国杂草科学大会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 87-93.
- [26] 徐高峰, 张付斗, 李天林, 申时才, 张玉华. 环境因子对奇异蒺藜和小子蒺藜种子萌发的影响. *西北植物学报*, 2011, 31(7): 1458-1465.
- [27] Xu G F, Shen S C, Zhang Y, Clements D R, Yang S S, Li J, Dong L Y, Zhang F D, Jin G M, Gao Y. Designing cropping systems to improve the management of the invasive weed *Phalaris minor* Retz. *Agronomy*, 2019, 9: 809.
- [28] 董发明, 洪登峰, 刘平武, 谢彦周, 何庆彪, 杨光圣. 甘蓝型油菜隐性细胞核雄性不育系 9012AB 遗传模式新释. *华中农业大学学报*, 2010, 29(3): 262-267.
- [29] 李茹, 陈国奇, 张玉华, 刘庆虎, 张凯, 董立尧. 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. *江苏农业学报*, 2018, 34(2): 293-298.
- [30] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 金桂梅, 刘树芳, 杨艳鲜, 张玉华. 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. *生态学报*, 2017, 37(6): 1931-1938.
- [31] 刘苏闽, 王奎萍, 董立尧. 油菜对千金子的化感作用及其化感物质分离鉴定. *杂草科学*, 2010, (3): 5-8.
- [32] Meiners S J, Kong C H, Ladwig L M, Pisula N L, Lang K A. Developing an ecological context for allelopathy. *Plant Ecology*, 2012, 213(8): 1221-1227.
- [33] Lambers H, Poorter H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research*, 1992, 23: 187-261.
- [34] Baldwin I T, Schmelz E A. Constraints on an induced defense: the role of leaf area. *Oecologia*, 1994, 97(3): 424-430.