



刘巧丽,陈彩慧,钟永达,等.香樟凋落物对杂草萌发与生长的化感作用[J].江西农业大学学报,2024,46(1):128–138.
LIU Q L, CHEN C H, ZHONG Y D, et al. Allelopathic effects of *Cinnamomum camphora* leaf litter on weed germination and growth [J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2024, 46(1): 128–138.

香樟凋落物对杂草萌发与生长的化感作用

刘巧丽^{1,2}, 陈彩慧^{1,2}, 钟永达^{1,2}, 余发新^{1,2}, 刘腾云^{1,2}, 肖亮^{1,2}, 吴照祥^{1,2*}

(1. 江西省科学院 生物资源研究所, 江西 南昌 330096; 2. 江西省乡土珍贵阔叶树种遗传改良与培育工程研究中心, 江西 南昌 330096)

摘要:【目的】杂草是农业生产中的主要危害之一,化学除草剂导致的环境与健康问题日益突出,利用化感作用防治杂草已成为一种新的趋势。【方法】研究采用培养实验,探究添加不同量(质量分数3%、6%、9%、12%)的香樟含油叶粉和脱油叶粉对田间土种子库杂草萌发与生长的影响。【结果】(1)两种叶粉均能显著抑制杂草的萌发与生长,具有明显的“浓度效应”,且能延迟除稗草外其他禾本科杂草的萌发时间8 d以上。(2)根据综合化感效应指数,当添加量≤6%时,香樟脱油叶粉对杂草的抑制效果要强于含油叶粉;添加量≥9%时,香樟含油叶粉的抑制效果要强于脱油叶粉。施加同一叶粉时,综合化感效应指数随叶粉量的增加而增强。(3)两种叶粉均能显著提升土壤的肥力,增加速效钾、速效磷、速效氮和有机质含量。(4)相关性分析结果表明,土壤的速效钾含量与杂草的萌发、生长之间有极显著负相关关系。【结论】两种香樟叶粉均可以抑制土壤种子库杂草萌发和生长,且当浓度≤6%时,脱油叶粉的效果更佳;当浓度≥9%时,含油叶粉抑草效果更佳。

关键词: 香樟;凋落叶;杂草;土壤肥力;化感效应

中图分类号: S365 文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2286(2024)01-0128-11



Allelopathic effects of *Cinnamomum camphora* leaf litter on weed germination and growth

LIU Qiaoli^{1,2}, CHEN Caihui^{1,2}, ZHONG Yongda^{1,2}, YU Faxin^{1,2},
LIU Tengyun^{1,2}, XIAO Liang^{1,2}, WU Zhaoxiang^{1,2*}

(1. Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China; 2. Engineering Research Center of Genetic Improvement and Cultivation of Native Precious Broad-Leave Tree Species of Jiangxi Province, Nanchang 330096, China)

Abstract: [Objective] Weeds are one of the main hazards in agricultural production. The environmental and health problems caused by the huge amount of the chemical herbicides application are becoming increasingly prominent. The utilization of allelopathic effects to take control of the farmland weeds has become a new trend, and also a new research hotspots. [Method] In this study, a simulated pot experiment was conducted

收稿日期: 2023-09-06 修回日期: 2023-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160397)和中央引导地方科技发展资金项目(20192ZDD01004)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China (32160397) and National Government Guidance Fund for Regional Science and Technology Development (20192ZDD01004)

作者简介: 刘巧丽, 硕士生, orcid.org/0000-0001-5319-8952, liuqiaoli2019@126.com; *通信作者: 吴照祥, 副研究员, 博士, 主要从事植物生态学研究, orcid.org/0000-0002-0236-9560, wuzhaoxiang2004@126.com。

to explore the allelopathic effects of the different dosages application (3%, 6%, 9%, 12%, m/m) of *Cinnamomum camphora* oily leaf powder and deoiled leaf powder on the germination and growth of farmland weeds in the garden soil seed bank. [Result] The results showed that: (1) Two types of *C. Camphora* leaf powder significantly inhibited the germination and growth of farmland weeds and exhibited a typical “dose effect”. Their application could delay the germination time of other grass weeds except *E. crusgalli* for more than 8 days. (2) According to the comprehensive allelopathy index, when the addition amount was less than or equal to 6%, the inhibitory effect of deoiled leaf powder on farmland weeds was stronger than that of oily leaf powder. When the addition amount was higher or equal to 9%, the inhibitory effect of oily leaf powder was more stronger than that of deoiled leaf powder. When the same type of leaf powder was applied, the comprehensive allelopathy index increased with the increase of leaf powder amount. (3) The two types of *C. Camphora* leaf powder could significantly improve the soil fertility, available potassium, available phosphorus, available nitrogen and organic matter content. (4) The results of correlation analysis showed that there was a significant negative correlation between the soil available potassium content and the weed germination and growth. [Conclusion] The results showed that both *C. Camphora* oily leaf powder and deoiled leaf powder could inhibit the germination and growth of farmland weeds in the garden soil seed bank, and the effects of deoiled leaf powder was more obvious when the addition amount was less than or equal to 6%, When the addition amount was higher or equal to 9%, the effects of oily leaf powder on weed inhibition was more better.

Keywords: *Cinnamomum camphora*; leaf litter; farmland weed; soil fertility; allelopathic effect

【研究意义】杂草是指对农业生产场所有害的植物,具有顽强的生命力,繁殖速度快,极难清除。杂草通过种间竞争,逐渐抢夺作物的光照、温度、土壤养分、水分和空间资源,占领作物的生态位,严重影响作物的产量和品质^[1]。杂草是世界范围内现代农业生产所面临的主要问题之一^[2]。在全球范围内,约有 1 800 种杂草,可导致作物产量减少 31.5%^[3]。最新的研究表明,大气中 CO₂ 的增加可以增强杂草的光合作用及新陈代谢,从而促进杂草的入侵^[4]。目前控制杂草生长的主要方法是喷洒化学除草剂,然而化学除草剂使用不当和过度使用,会导致土壤、空气和水的污染,破坏生态环境。食用含有有毒化学残留物的食物会危害人体健康,甚至可能导致癌症、遗传疾病、神经系统疾病、内分泌疾病等。另一方面,人工除草不仅费时费力,而且控制周期短,甚至可能伤害栽培植物的根系^[5]。因此,迫切需要寻找绿色环保的除草剂来替代化学除草剂和人工除草。【前人研究进展】化感作用是指植物、藻类、细菌和真菌通过向环境中释放化学物质来影响其他物种的生长和发育的现象,这些化学物质被称为化感物质^[6]。植物通过自然挥发、雨雾淋溶、残体分解和根系分泌等途径将化感物质向周围环境释放,其中残体分解是植物产生化感作用的重要途径^[7],而叶片是植物化感物质的重要载体,其化感作用往往强于其他器官^[8-9]。凋落物分解是生态系统中物质循环和能量转换的重要途径,同时也是化感物质进入土壤的主要途径^[10]。植物源化感物质具有环境友好、低毒、易降解、无残留等优点,利用植物分泌的化感物质抑制杂草是目前重要的杂草防治创新方法之一^[11]。

【本研究切入点】香樟 (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl) 有抗菌、抗肿瘤、免疫抑制、昆虫拒食剂等活性,在园林、经济、药用等方面都具有极高的应用价值,是我国重要的经济和用材树种^[12]。香樟富含精油,是香料、医药、日用和化工产品等的重要原料,我国每年樟树精油产量为 16 200 t,精油提取后产生的残渣高达 81 万 t。其中仅有少数残渣被当做燃料焚烧回收利用,利用率不到 5%,其余大部分被闲置,不仅浪费资源,占用大量的储存空间,还会对生态环境造成一定的破坏^[13]。大量研究表明,从樟属植物的叶片、树枝中提取的樟脑、芳樟醇、桉叶油素和萜类化合物等,大多数已被证实对农作物、杂草或微生物的生长会产生明显的化感作用^[14]。研究发现香樟凋落叶的浸提液可显著抑制三叶鬼针草、薇甘菊的发芽^[15-16],抑制空心莲子草、水棉、草坪草、高羊茅等的生长^[17-21],还可对青萍的生物活性造成影响^[22]。【拟解决的关键问题】基于植物的化感效应,为探究香樟叶在抑制农田杂草方面的效应,研究采用

培养实验,模拟人为田间施用香樟凋落叶,证实利用香樟凋落物开发除草剂的可能,同时对比提取精油后的香樟脱油叶粉的化感作用效果,以期达到废物利用与绿色防治杂草的双重效果。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为香樟凋落叶,取自于江西省南昌市黄马乡的江西省科学院生物资源研究所资源与环境综合试验基地内的10年生香樟树。于4—5月份收集新近凋落的叶片,一部分采取水蒸气法蒸馏2 h提取精油后风干(脱油叶粉),剩余部分直接风干(含油叶粉),利用粉碎机将香樟风干叶片粉碎,过30目筛备用;以聚乙烯塑料盆为培养容器,口径15 cm,底径10 cm,高度9 cm;供试土壤为江西省科学院资源与环境试验基地附近水稻田表层土壤(0~20 cm):pH 5.21,电导率1.93 mS/cm,有机质52.26 g/kg,速效磷19.91 mg/kg,速效钾42.80 mg/kg,速效氮100.45 mg/kg,过0.5 cm筛去除较大的石砾和草根,充分混匀,阴干后备用。

1.2 试验设计

按照3%、6%、9%、12%的质量比将香樟含油叶粉(Y)、香樟脱油叶粉(T)与土壤均匀混合,分别用3Y、6Y、9Y、12Y、3T、6T、9T、12T表示(下同),每盆装混合基质500 g,距离花盆边缘有3 cm的空余高度。每个处理设10个重复,以不添加叶粉的土壤为空白对照(CK),共计9个处理,共90盆。

将培养装置统一放置于托盘内,托盘中加水直至土壤吸水饱和,将多余的水排出,并置于人工气候室内(25℃,16 h光照,空气湿度70%~80%)进行种子的发芽与幼苗的种属鉴定。在种子发芽期间,每隔两天加水一次,土壤吸至饱和后排出多余的水。每隔7 d观察种子的发芽情况,在种子出苗后仔细辨别幼苗的种属,一旦能够辨别出幼苗的种属立即记录,观察无新种苗后试验结束。试验结束后统计每种植物的数量,选出生长状态最好的植物作为代表,整株挖取后洗净泥沙,用剪刀剪下完整根系(不破坏根系),用滤纸擦干叶子和根系表面水分,测量植株的株高、地上部鲜重与干重、根长、根鲜重与干重等指标,分别计算化感效应指数和综合化感指数,并进行土壤理化性质的测定。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 形态指标测定

采用直尺测定各处理杂草的株高,用电子天平测定植物地上部与根系的鲜重与干重,并采用根系分析系统(Win RHIZO Pro LA2400, Canada)对植物根系进行扫描,测定根系长度。

1.3.2 土壤理化性质测定

参照鲍士旦主编《土壤农化分析(第三版)》^[23],采用电极法测定土壤pH值(水:土=2.5:1),电导法测定电导率(水:土=4:1),重铬酸钾氧化-加热法测定土壤有机质含量,碱解扩散法测定速效氮含量,盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法测定速效磷含量,乙酸铵浸提-火焰分光光度计法测定土壤速效钾含量。

1.3.3 化感效应综合评价

化感作用效应指数(response index, RI)计算方式^[24]如下: $RI = 1 - c/t (t \geq c)$ 或 $t/c - 1 (t < c)$ (式中: c 为对照值, t 为处理值, RI 为各项指标的化感作用效应指数)。化感综合效应指数(synthetical allelopathic index, SE)为各项指标 RI 的平均值^[25]。RI>0、SE>0 表示促进, RI<0、SE<0 表示抑制,绝对值大小表示化感作用强度。

1.4 数据处理与分析

使用Excel 2021和Origin 2021软件进行数据整理与作图,SPSS 25.0统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用字母法标注显著性,不含相同字母则说明具有显著差异($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 香樟叶粉添加对土壤种子库萌发与生长进程的影响

试验持续36 d后,观察发现香樟叶粉添加量高的处理组植物开始枯萎,终止实验。不同处理条件下,田园土种子库的萌发进程结果如图1所示。盆栽中出现的杂草主要为稗草(*Echinochloa crusgalli*)、繁

缕草(*Stellaria media*)、节节麦(*Aegilops tauschii*)、莎草(*Cyperus rotundus*),其中稗草是优势物种。经过 36 d 的动态监测发现,稗草萌发起始时间不受香樟叶粉添加的影响,所有处理与对照组同步萌发,但数量上有差异。萌发 8 d 后,CK 和 3Y、3T、6Y、6T 组的稗草数量达到峰值,分别为 14.7,12.9,14.3,11.8,15.4 株,后期 CK 组数量下降到 11.2 株。萌发 15 d 后,9Y、9T、12Y、12T 组萌发速率达到最高值,且所有处理组不再有新稗草幼苗萌发,整体达到稳定状态。其他禾本科植物出苗晚于稗草出苗时间,12 d 开始陆续出苗。试验发现 CK 组中繁缕草在实验开始的第 2 天即开始萌发,而其他处理组繁缕草的萌发均滞后,10 d 后才陆续萌发,添加量越高,滞后越明显。试验结束时除 3Y 组萌发数量(22.1)略多余对照组(20.5)外,其余组繁缕草数量均明显少于对照组。

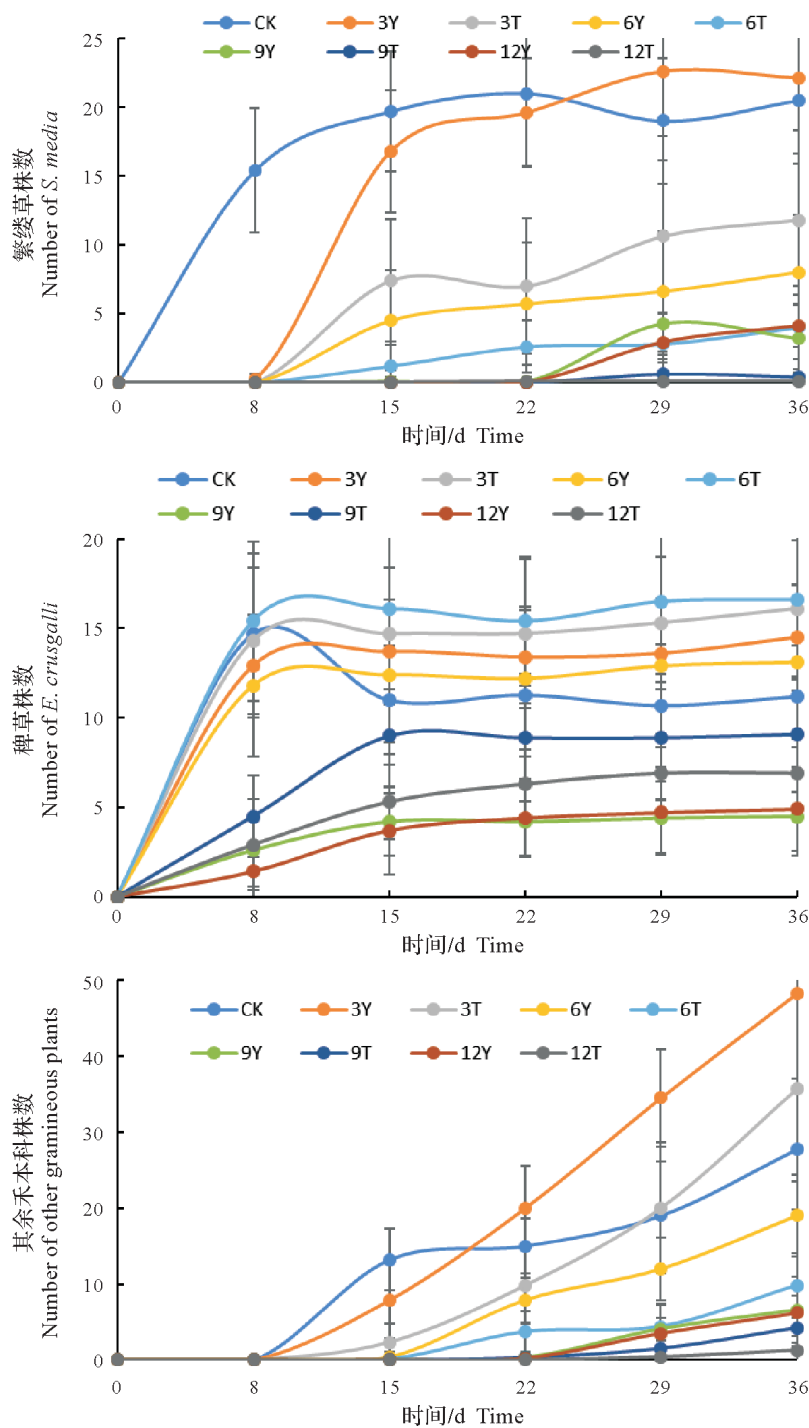
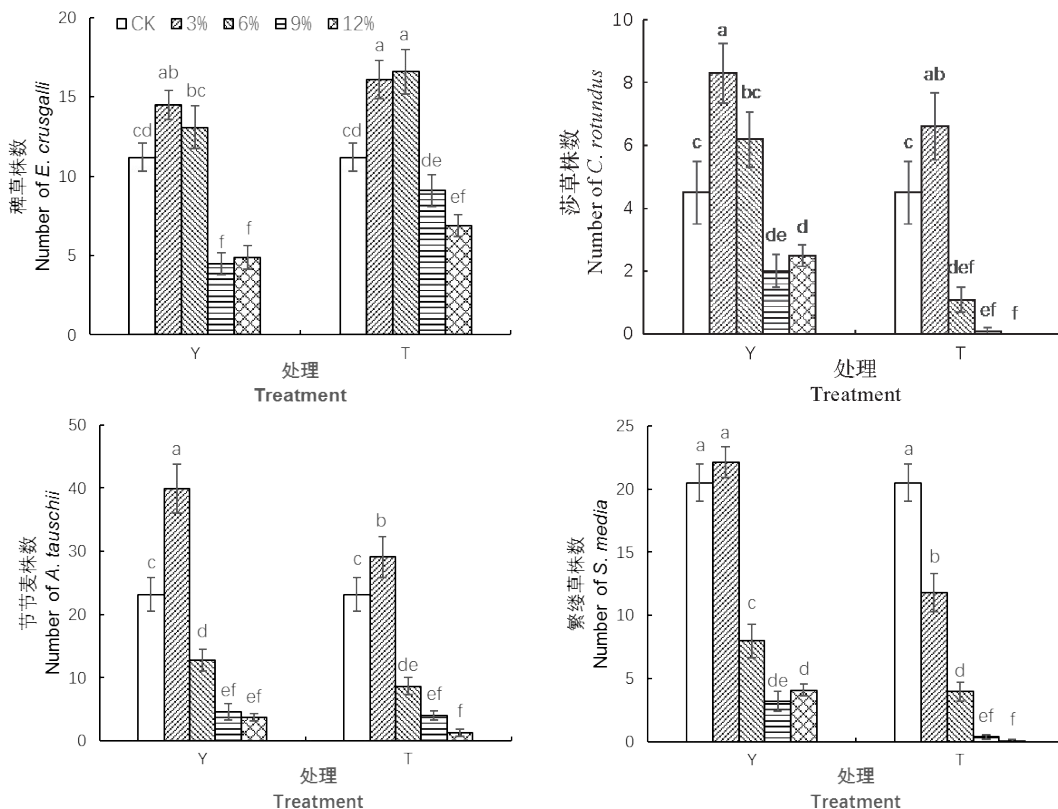


图 1 不同处理下土壤种子库的萌发进程

Fig.1 Germination process of soil seed bank under different treatments

2.2 香樟叶粉添加对主要杂草保存数量的影响

以培养试验中出现的4种主要杂草为代表,试验结束时分别统计它们的保存数量。如图2所示,香樟含油叶粉和脱油叶粉对田园土种子库中不同杂草的保存数量产生了明显的影响。就稗草而言,添加同一种叶粉的条件下,添加量为3%、6%时,处理组稗草的株数显著多于对照组(11.2株);添加量为9%、12%时,处理组稗草株数显著少于对照组,且添加量为3%、6%的4个处理组与添加量为9%、12%的4个处理组之间有显著差异;添加量相同的条件下,脱油叶粉处理的稗草保存数要多于含油叶粉处理,添加量越高,差异越明显。香樟叶粉对节节麦、莎草的影响趋势相似,所有处理组的节节麦、莎草株数均与CK组有明显差异。除3T、3Y组株数显著多于CK组外,其余6组处理均显著少于CK组,且脱油叶粉处理的节节麦、莎草株数较添加含油叶粉处理的更少。就繁缕草而言,除3Y组外其余处理下繁缕草的株数与CK组相比均有明显差异。随着添加量的增加,繁缕草的株数显著减少,且添加量相同的条件下,脱油叶粉处理的株数要少于含油叶粉处理组。



不同小写字母表示不同处理间差异显著($P \leq 0.05$)。

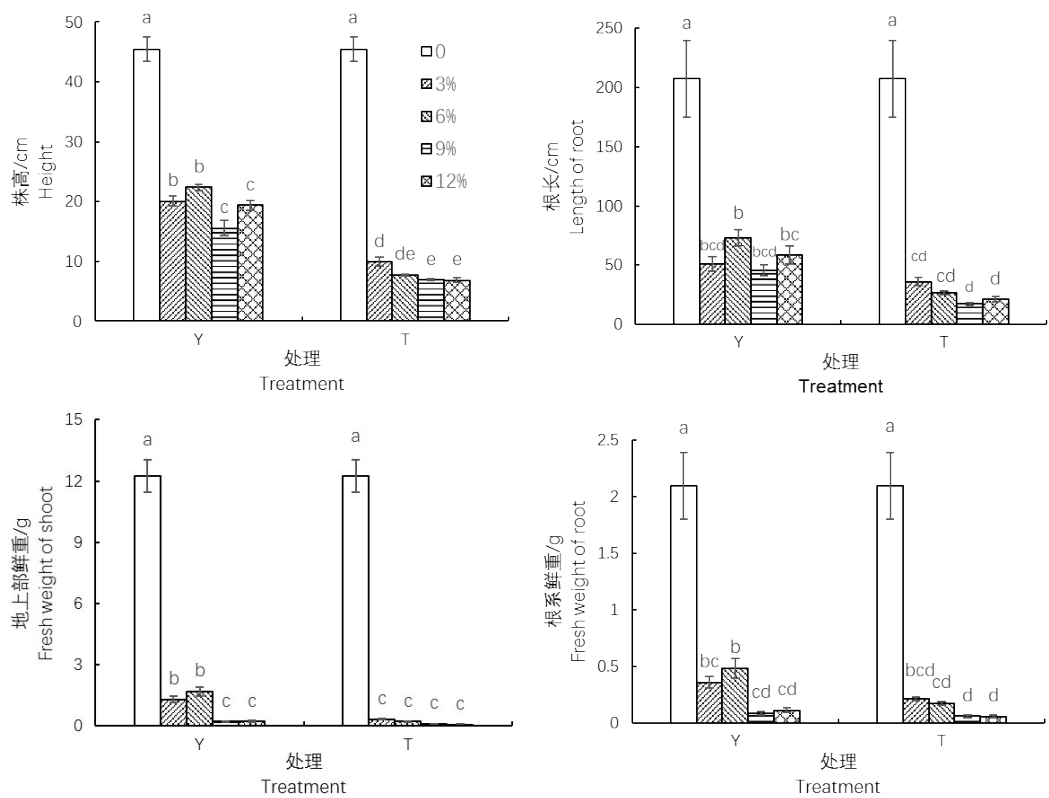
Different small letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

图2 不同条件下4种代表植物萌发数量

Fig.2 The germination quantity of four representative plants under different conditions

2.3 香樟叶粉添加对稗草生长的影响

稗草是培养试验中出现的优势物种,选择稗草为代表,进一步测定其地上、地下部分鲜重、株高以及根长。结果如图3所示,CK组中稗草的株高(45.43 cm)、根长(207.4 cm)及地上(12.25 g)、根系(2.10 g)鲜重均高于处理组,且差异极其显著。当添加量相同时,香樟脱油叶粉处理的稗草地上地下部鲜重、株高、根长均要小于含油叶粉处理组,且对株高的影响差异显著。就同类型香樟叶粉对稗草的影响而言,添加量3%与6%之间、添加量9%与12%之间对株高、根长、地上及根系鲜重的影响差异不显著,但含油叶粉添加量为3%与添加量为9%、12%之间对稗草株高、根长、地上部鲜重的影响是有显著性差异的;而脱油叶粉添加量为3%与添加量为9%、12%仅对稗草的株高的影响有显著性差异的,分别为9.95, 6.94, 6.84 cm,对其鲜重的影响差异不大。



不同小写字母表示同一月份不同处理间差异显著($P\leq0.05$)。
Different small letters meant significant difference among treatments in the same month at 0.05 level.

图 3 不同处理对稗草生长的影响
Fig.3 Effects of different treatments on the growth of *E. crusgalli*

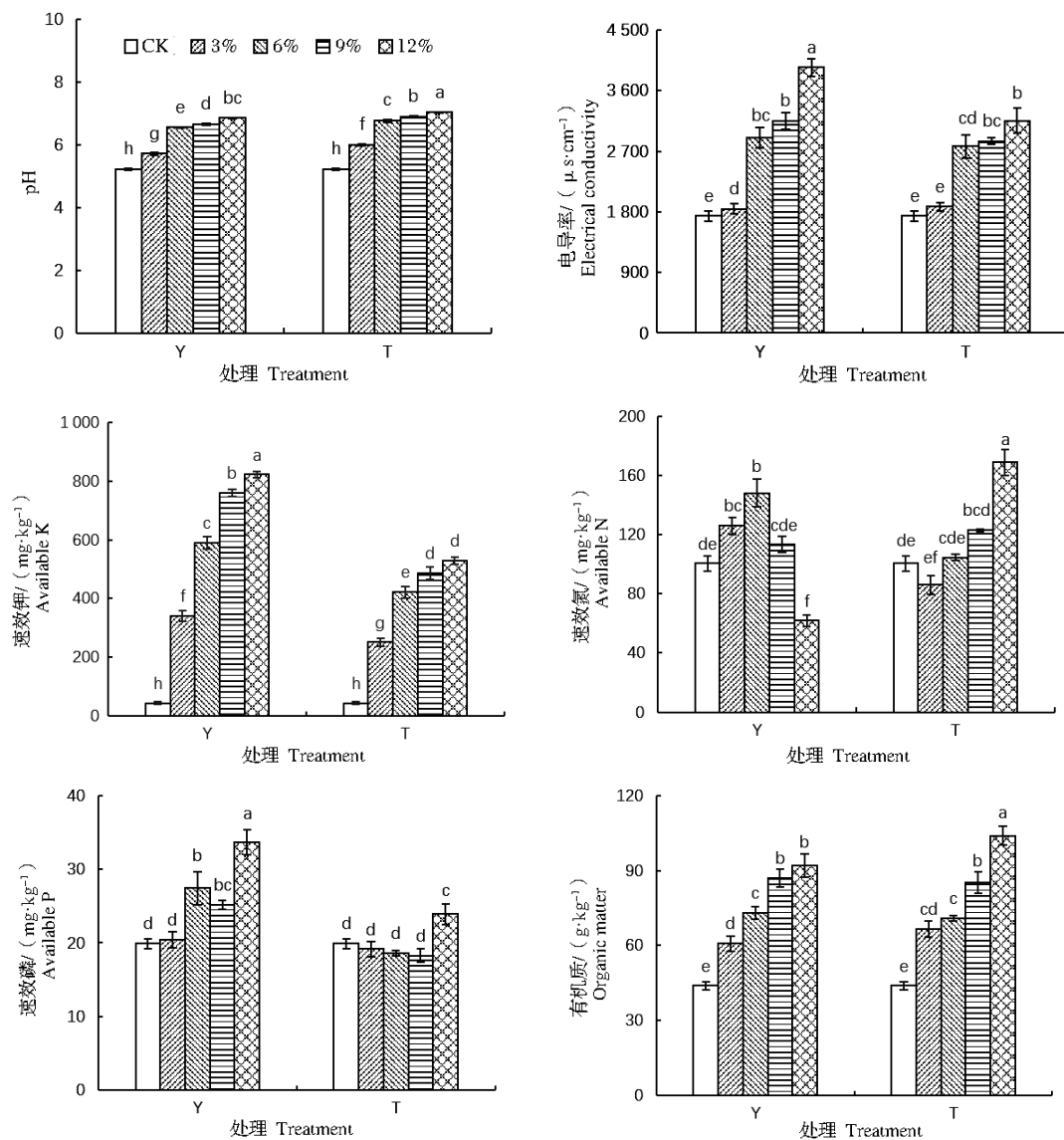
根据表 1 可知,除稗草的干物质含量以及添加 3% 和 6% 的两种香樟叶粉处理的稗草株数 RI 值是正值(促进作用)外,其余指标 RI 值均为负值(抑制作用),综合化感效应指数 SE 也均为负值。两种类型香樟叶粉对稗草各项生长指标的抑制作用效果从强到弱依次为地上部分鲜重>根系鲜重>根长>株高。随着香樟叶粉添加量的增加,含油叶粉、脱油叶粉对稗草的 SE 值分别从|−0.42|增强到|−0.64|、|−0.45|增强到|−0.61|,抑制效果均随叶粉添加量的增多呈逐渐增强的趋势。当香樟叶粉添加量为 3%、6% 时,脱油叶粉的 SE 绝对值大于含油叶粉 SE 绝对值,分别为|−0.45|>|−0.42|、|−0.46|>|−0.42|;当叶粉添加量为 9%、12% 时,脱油叶粉的 SE 绝对值小于含油叶粉 SE 绝对值,分别为|−0.58|<|−0.66|、|−0.61|<|−0.64|。

表 1 不同处理对稗草的化感效应指数及综合化感效应指数的影响
Tab.1 The effects of different treatments on the RI and SE of *E. crusgalli*

处理 Treatment		化感效应指数 RI						
		株数 Number	株高 Height	地上部鲜重 Shoot fresh weight	根鲜重 Root fresh weight	根长 Root length	干物质含量 Dry matter content	SE
含油叶粉 Oily leaf powder	3Y	0.23	−0.56	−0.89	−0.83	−0.71	0.22	−0.42
	6Y	0.15	−0.51	−0.86	−0.77	−0.62	0.09	−0.42
	9Y	−0.60	−0.66	−0.98	−0.96	−0.91	0.17	−0.66
	12Y	−0.56	−0.57	−0.98	−0.95	−0.89	0.10	−0.64
脱油叶粉 Deoiled leaf powder	3T	0.30	−0.78	−0.97	−0.90	−0.77	0.43	−0.45
	6T	0.33	−0.83	−0.98	−0.92	−0.82	0.46	−0.46
	9T	−0.19	−0.85	−0.99	−0.97	−0.93	0.43	−0.58
	12T	−0.38	−0.85	−0.99	−0.97	−0.94	0.47	−0.61

2.4 香樟叶粉添加对土壤理化性质的影响

从图4可以看出,添加香樟含油叶粉与脱油叶粉对土壤性质均有一定的影响。随着两种类型香樟叶粉添加量的增加,土壤的pH值、电导率、速效钾含量和有机质含量均随之增大,且差异显著,尤其是速效钾含量的增加,含量最高达到823.0 mg/kg(12%含油叶粉处理),是CK组(42.8 mg/kg)的19倍。速效氮含量随着含油香樟叶粉的增加先升后降,随脱油叶粉的增加持续上升。速效磷含量随含油叶粉增加而增加,随脱油叶粉增加呈先降后升的趋势。添加量相同时,添加脱油香樟叶粉的土壤pH值和有机质含量比添加含油叶粉的土壤显著增高;电导率、速效磷含量和速效钾含量则与之相反。



不同小写字母表示不同处理间差异显著($P \leq 0.05$)。

Different small letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

图4 不同处理对土壤理化性质的影响

Fig.4 Effects of different treatments on physical and chemical properties of soil

2.5 杂草萌发、生长指标与土壤养分因子的相关性分析

从表2可以看出,添加了含油叶粉后的土壤养分因子与杂草的生长指标之间几乎均为负相关,即土壤养分含量越高,杂草生长的各项指标越弱。速效钾含量与稗草地上部分鲜重相关性最大($|r|=0.905$, $P \leq 0.01$)、其次为速效钾含量与稗草株高之间($|r|=0.889$, $P \leq 0.01$)。表3的结果显示,添加无油叶粉后的所有土壤养分因子与杂草的各生长指标皆为负相关,相关系数最高达 $|r|=0.943$ 。其中与速效钾含量呈极显著负相关关系($|r| > 0.8$)的杂草生长指标数多达8项,其次为土壤pH值与杂草的各生长指标之间。

表 2 杂草生长指标与添加含油叶粉的土壤养分因子的相关性分析

Tab.2 The correlation between weed growth index and soil nutrient factors added with oily leaf powder

	速效氮 Available N	有机质 Organic matter	速效磷 Available P	速效钾 Available K	pH	电导率 Electrical conductivity
稗草株数 Number of <i>E. crusgalli</i>	0.680**	-0.572**	-0.321	-0.564**	-0.486*	-0.505*
节节麦株数 Number of <i>A. tauschii</i>	0.328	-0.605**	-0.474*	-0.650**	-0.679**	-0.662**
莎草株数 Number of <i>C. rotundus</i>	0.578**	-0.413*	-0.302	-0.374	-0.410*	-0.246
繁缕草株数 Number of <i>S. media</i>	0.231	-0.853**	-0.610**	-0.847**	-0.864**	-0.752**
稗草地上部分鲜重 Shoot fresh weight of <i>E. crusgalli</i>	-0.039	-0.820**	-0.505**	-0.905**	-0.878**	-0.690**
稗草根系鲜重 Root fresh weight of <i>E. crusgalli</i>	-0.022	-0.763**	-0.413*	-0.852**	-0.765**	-0.641**
其他植物总鲜重 Total fresh weight of other plants	0.090	-0.748**	-0.399*	-0.801**	-0.698**	-0.641**
稗草株高 Height of <i>E. crusgalli</i>	-0.013	-0.823**	-0.480*	-0.889**	-0.820**	-0.683**
稗草根长 Root length of <i>E. crusgalli</i>	-0.222	-0.648**	-0.391	-0.645**	-0.560**	-0.533**
所有植物总重 Total weight of all plants	-0.008	-0.775**	-0.423*	-0.860**	-0.774**	-0.653**

*表示在 0.05 水平的显著性,**表示在 0.01 水平的显著性;相关系数绝对值 ≥ 0.8 用加粗标注。
* means significant correlation at 0.05 level,** means extremely significant correlation at 0.01 level. $|r| \geq 0.8$ in bold.

表 3 杂草生长指标与添加无油叶粉的土壤养分因子的相关性分析

Tab.3 The correlation between weed growth index and soil nutrient factors added with deoiled leaf powder

	速效氮 Available N	有机质 Organic matter	速效磷 Available P	速效钾 Available K	pH	电导率 Electrical conductivity
稗草株数 Number of <i>E. crusgalli</i>	-0.643**	-0.421*	-0.426*	-0.276	-0.263	-0.500*
节节麦株数 Number of <i>A. tauschii</i>	-0.651**	-0.739**	-0.182	-0.806**	-0.848**	-0.660**
莎草株数 Number of <i>C. rotundus</i>	-0.506**	-0.524**	-0.147	-0.569**	-0.599**	-0.593**
繁缕草株数 Number of <i>S. media</i>	-0.574**	-0.826**	-0.100	-0.943**	-0.927**	-0.746**
稗草地上部分鲜重 Shoot fresh weight of <i>E. crusgalli</i>	-0.347	-0.732**	-0.061	-0.844**	-0.829**	-0.515**
稗草根系鲜重 Root fresh weight of <i>E. crusgalli</i>	-0.285	-0.716**	-0.013	-0.838**	-0.806**	-0.496*
其他植物总鲜重 Total fresh weight of other plants	-0.282	-0.711**	-0.072	-0.811**	-0.768**	-0.549**
稗草株高 Height of <i>E. crusgalli</i>	-0.328	-0.736**	-0.052	-0.864**	-0.841**	-0.518**
稗草根长 Root length of <i>E. crusgalli</i>	-0.280	-0.708**	-0.091	-0.816**	-0.780**	-0.559**
所有植物总重 Total weight of all plants	-0.292	-0.723**	-0.025	-0.842**	-0.810**	-0.510**

*表示在 0.05 水平的显著性,**表示在 0.01 水平的显著性;相关系数绝对值 ≥ 0.8 用加粗标注。
* means significant correlation at 0.05 level,** means extremely significant correlation at 0.01 level. $|r| \geq 0.8$ in bold.

3 结论与讨论

本研究中发现 CK 组中稗草的数量在萌发 8 d 后达到巅峰值 14.7 棵,15 d 后减少至 11.2 棵,推测是自

疏作用的结果。种群自疏(self-thinning)特征是指生长于较高密度的种群个体植株,因密度制约,种群内个体为获取各生态因子(如水、光、肥等)发生竞争而逐渐死亡,使种群个体数降低,直至达到种群数目平衡^[26]。研究中还发现香樟凋落物不仅降低了杂草种子的萌发率,使繁缕草种子开始萌发的时间延迟,这与张淑珍等^[20]的研究一致。种子萌发对物种更新至关重要,萌发延迟可能会降低植物在群落中的丰富度,将严重影响植物对地上和地下资源的竞争能力,影响物种更新,甚至会因种间竞争影响该种群在生态系统中的生态位置^[27],这一现象除了受不同添加量香樟凋落物的影响外,还与种子活力和基因型有关^[28]。

研究发现香樟对4种杂草的抑制效果不同。尽管节节麦和繁缕草萌发的株数较稗草多,然而长势却远弱于稗草,这主要与稗草本身的生长属性有关。香樟凋落物对受体作物生长的影响可以从生物量和形态指标中直接反映。本研究发现,香樟凋落物对稗草的株高、根长、鲜重均有明显的抑制作用,且有明显的“浓度效应”,即凋落物添加量越高抑制效果越明显。这与李仲彬等^[29]研究香樟凋落物分解对凤仙花生长的影响结果一致。这是因为化感物质的浓度决定了其生物活性的大小,凋落物添加量越大,其含有的化感物质越多。受化感物质浓度的影响,处理组稗草的根系生长显著低于对照组,浓度越高,根系越短,因而这可能是导致杂草生长受到抑制的直接原因之一。综合化感效应指数来看,添加量小于6%时,脱油叶粉的抑制作用要强于含油叶粉;添加量大于9%时,则含油叶粉的抑制作用更强。这一点与李仲彬等^[29]的研究结果不同,其研究结果表示施加蒸煮后的香樟凋落物对凤仙花生长无明显影响,这可能与不同植物对香樟凋落物中的化感物质敏感程度不一致有关。推测可能是由于当含油叶粉的添加量大于9%时,叶粉中所含有的萜类等物质达到一定的浓度,从而起到决定性的起作用。Zhou等^[30]的研究中也发现黄花刺茄的精油在0.25 mg/L时对早熟禾的化感作用是促进的,当浓度大于0.5 mg/L时才开始产生抑制作用。

植物的化感物质可以通过影响土壤的理化性质,改变其养分状况,进而影响植物的吸收和生长等^[31]。本研究中两种叶粉均显著提高了土壤的pH值、电导率、速效钾和有机质含量,尤其是对速效钾含量的提高作用尤其显著。且根据相关性分析结果来看,无论添加的是香樟含油叶粉,还是脱油叶粉,土壤的速效钾含量与杂草的生长指标之间有极显著高度负相关关系的指标数最多,这说明土壤的速效钾含量增加很有可能是抑制杂草的原因之一。潘俊峰等^[32]研究中也发现晚稻田中杂草物种数与速效钾含量呈显著负相关($P<0.05$)。

综上所述,土壤中无论是添加香樟含油叶粉或者是脱油叶粉都可以有效抑制土壤中杂草种子库的萌发与生长,当添加量 $\leq 6\%$ 时脱油叶粉的效果要优于含油叶粉,当添加量 $\geq 9\%$ 时,香樟含油叶粉的抑草作用更佳。本研究还证明在土壤中施加一定量的香樟凋落物不仅可以达到绿色防治杂草的效果,同时还能显著提高土壤肥力,尤其是速效钾含量。这表明在实际生产中,香樟精油提取后的剩余物可能是开发绿色环保的植物源除草剂的潜在原料,达到高效利用工业副产物、资源利用最大化的目的。但与此同时,香樟凋落物分解对农作物生长的影响还需进一步研究。

致谢:江西省科学院省级财政科研项目经费包干制试点示范项目(2022YSBG22003,2022YSBG50008)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] SONG J S, LIM S H, LIM Y, et al. Herbicide-based weed management in *Miscanthus Sacchariflorus* [J]. Bioenergy research, 2016, 1: 326-334.
- [2] JABRAN K, MAHAIAN G, SARDANA V, et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems [J]. Crop protection, 2015, 72, 57-65.
- [3] ADRIANNA K, AGNIESZKA W, ALICJA N, et al. The problem of weed infestation of agricultural plantations vs. the assumptions of the European biodiversity strategy [J]. Agronomy, 2022, 12(8): 1808.
- [4] RICE C, WPLF J, FLEISHER D H, et al. Recent CO₂ levels promote increased production of the toxin parthenin in an invasive *Parthenium hysterophorus* biotype [J]. Nature plants, 2021, 7: 725-729.
- [5] GHIMIRE B K, HWANG, et al. Screening of allelochemicals in *Miscanthus sacchariflorus* extracts and assessment of their ef-

- fects on germination and seedling growth of common weeds[J].Plants,2020,9:1313.
- [6] CHENG F, CHENG Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy[J].Frontiers in plant science,2015,6:1020.
- [7] SHAN Z X, ZHOU S X, SHAH A, et al. Plant allelopathy in response to biotic and abiotic factors[J].Agronomy,2023,13(9).
- [8] ZUO X, WANG Y Q, ZHAO H Y, et al. Allelopathic effects of *Amomum villosum* Lour. volatiles from different organs on selected plant species and soil microbiota[J].Plants,2022,11(24).
- [9] 王月彤,耿贵.植物间化感作用及其研究进展[J].中国农学通报,2023,39(23):17-22.
- WANG Y T, GENG G. Allelopathy between plants and its research progress[J].Chinese agricultural science bulletin,2023,39(23):17-22.
- [10] 马红叶,潘学军,张文娥.林木凋落物分解及其化感作用研究进展[J].贵州农业科学,2020,48(10):97-101.
- MA H Y, PAN X J, ZHANG W E. Research progress on forest litter decomposition and its allelopathy[J].Guizhou agricultural sciences,2020,48(10):97-101.
- [11] ZENG R. Allelopathy-the solution is indirect[J].Journal of chemical ecology,2014,40:515-516.
- [12] 莫开林,吴斌,李江,等.樟树资源化学加工利用产业发展现状[J].生物质化学工程,2021,55(1):15-22.
- MO K L, WU B, LI J, et al. Development status of Camphor tree resources chemical processing and utilization industry[J].Biomass chemical engineering,2021,55(1):15-22.
- [13] 杨磊,刘婷婷,王化,等.生物活性物质提取生产中固形剩余物的生态化学利用[J].现代化工,2009,29(1):10-15,17.
- YANG L, LIU T T, WANG H, et al. Eco-utilization of residues in extraction of active substances from biomass[J].Modern chemical industry,2009,29(1):10-15,17.
- [14] 师小平,陈银萍,闫志强,等.植物化感作用研究进展[J].生物技术通报,2020,36(6):215-222.
- SHI X P, CHEN Y P, YAN Z Q, et al. Research progress on plant allelopathy[J].Biotechnology bulletin,2020,36(6):215-222.
- [15] 廖梦雨,胡庭兴,邓承敏,等.3个树种凋落叶水浸提液对三叶鬼针草生长及抗性生理的影响[J].生态与农村环境学报,2014,30(6):724-730.
- LIAO M Y, HU T X, DENG C M, et al. Effect of leaf litter water extract of three species on growth and resistance physiology of *Bidens pilosa*[J].Journal of ecology and rural environment,2014,30(6):724-730.
- [16] 周冬梅,韩诗畴,戴建青,等.六种速生树种叶片水提液对薇甘菊化感作用研究[C]//第二届全国生物入侵学术研讨会论文摘要集,2008:56.
- ZHOU D M, HAN S C, DAI J Q, et al. Allelopathy of water extracts from leaves of six fast-growing tree species on *Mikania micrantha*[C]//Abstracts of the second national symposium on biological invasion,2008:56.
- [17] 刘雨芳,李菲,刘文海,等.9种植物水浸提液对空心莲子草的化感作用[J].生物安全学报,2011,20(4):326-330.
- LIU Y F, LI F, LIU W H, et al. Allelopathic effects of water-based extracts from nine plant species on the invasive weed *Alternanthera philoxeroides*[J].Journal of biosafety,2011,20(4):326-330.
- [18] 王聪,张饮江,段婷,等.三种陆生植物浸出液对水绵化感抑制作用研究[C]//渔业科技创新与发展方式转变:2011年中国水产学会学术年会论文摘要集,2011:295.
- WANG C, ZHANG Y J, DUAN T, et al. Allelopathy and inhibitory effect of extracts from three terrestrial plants on *Spirogyra* growth[C]//Innovation in fishery science and technology and transformation of development mode: Abstract collection of papers at the 2011 Academic annual meeting of the Chinese fisheries society,2011:295.
- [19] 王琛,廖琰明,吴坚,等.香樟林下几种冷季型草坪草的适应性及其影响因子分析[J].上海交通大学学报(农业科学版),2010,28(1):1-8.
- WANG C, LIAO Y M, WU J, et al. Turfgrass evaluation and analysis of factors inhibiting turfgrass growth under Camphor trees[J].Journal of Shanghai jiaotong university (agricultural science),2010,28(1):1-8.
- [20] 张淑珍,张帆,董姬妃,等.香樟凋落叶分解对3种草坪草的化感作用[J].草业科学,2018,35(9):2095-2104.
- ZHANG S Z, ZHANG F, DONG J F, et al. Allelopathic effects of decomposing *Cinnamomum camphora* leaf litter on three turfgrasses[J].Pratacultural science,2018,35(9):2095-2104.
- [21] 沈洁,吉星星,袁堂如,等.樟树叶水浸提液对高羊茅种子萌发和幼苗生长的化感作用[J].湖北农业科学,2013,52(14):3349-3353.
- SHEN J, JI X X, YUAN T R, et al. Allelopathy of water extract of *Cinnamomum camphora* leaf on seed germination and seed-

- ling growth of *Festuca arundinacea*[J].Hubei agricultural sciences,2013,52(14):3349-3353.
- [22] 胡安龙.14种植物乙醇提取物除草活性研究[J].现代农业科技,2012(16):119-120.
- HU A L.Study on herbicidal activity of ethanol extracts from 14 kinds of plants[J].Modern agricultural science and technology,2012(16):119-120.
- [23] 史瑞和,鲍士旦,秦怀英.土壤农化分析[M].北京:农业出版社,1996.
- SHI R H,BAO S D,QIN H Y.Soil agro-chemical analysis[M].Beijing: Agriculture Press,1996.
- [24] WILLIAMSON G B,RICHARDSON D.Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J].Journal of chemical ecology,1988,14(1):181-187.
- [25] 杨振亚,邹景泉,倪惠菁,等.芝麻浸提液对毛竹种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].东北林业大学学报,2023,51(01):11-17.
- YANG Z Y,ZHOU J Q,NI H J,et al.Effects of aqueous extract from *Sesamun indicum* L. on seed germination and physiological characteristics of *Phyllostachys edulis*[J].Journal of northeast forestry university,2023,51(1):11-17.
- [26] 韩文轩,方精云.植物种群的自然稀疏规律:-3/2还是-4/3?[J].北京大学学报(自然科学版),2008(4):1-668.
- HAN W X,FANG J Y.Self-thinning law in plant populations:-3/2 vs -4/3[J].Acta scientiarum naturalium universitatis Pekinensis,2008,44(4):661-668.
- [27] 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.
- SHEN S C,XU G F,ZHANG F D,et al.Allelopathic effects of water extracts from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves on five major farming weeds[J].Acta ecologica Sinica,2017,37(6):1931-1938.
- [28] 朱习雯,靳瑰丽,安沙舟,等.返青期醉马草株体对几种牧草种子萌发的化感作用[J].草业科学,2016,33(9):1757-1763.
- ZHU X W,JIN G L,AN S Z,et al.The allelopathic effect of *Achnatherum inebrians* at the returning green stage on seed germination of several species[J].Pratacultural science,2016,33(9):1757-1763.
- [29] 李仲彬,胡庭兴,李霜,等.香樟凋落叶在土壤中分解初期对凤仙花生长和生理特性的影响[J].应用与环境生物学报,2015,21(3):571-579.
- LI Z B,HU T X,LI S,et al.Effects of initial decomposing leaf litter of *Cinnamomum camphora* on the growth and physiology of *Impatiens balsamina*[J].Chinese journal of applied and environmental biology,2015,21(3):571-579.
- [30] ZHOU S Z,ZHU X Z,SHI K,et al.Chemical composition and allelopathic potential of the invasive plant *Solanum rostratum* Dunal essential oil[J].Flora,2021,274:151730.
- [31] 李秋玲,肖辉林.土壤性质及生物化学因素与植物化感作用的相互影响[J].生态环境学报,2012,21(12):2031-2036.
- LI Q L,XIAO H L.The interactions of soil properties and biochemical factors with plant allelopathy[J].Ecology and environmental sciences,2012,21(12):2031-2036.
- [32] 潘俊峰,万开元,陈防,等.施肥模式对砂姜黑土区土壤种子库影响的研究[J].生态环境学报,2012,21(6):1024-1030.
- PAN J F,WAN K Y,CHEN F,et al.Effect of fertilization patterns on weed seedbank in lime concretion black soils[J].Ecology and environmental sciences,2012,21(6):1024-1030.