

## 4,8-DHT 林地除草活性研究

胡琪瑶<sup>1,2</sup>, 范晓聪<sup>1,2</sup>, 杨 丽<sup>2</sup>, 阮 晓<sup>2</sup>, 章建红<sup>2</sup>, 王 强<sup>2</sup>, 郑炳松<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 浙大宁波理工学院 生物与化学工程学院, 浙江 宁波 315100)

**摘要:** 4,8-二羟基-1-四氢萘酮 (4,8-DHT) 为山核桃 *Carya cathayensis* 外果皮化感物质, 室内试验证实 4,8-DHT 具有除草活性, 但在林地中尚未得到验证。为明确 4,8-DHT 对林地杂草的防除效果, 依据《农药田间药效试验准则 (一) 中除草剂防除林地杂草》(GB/T 17980.48-2000) 设置试验处理, 对比分析不同浓度 4,8-DHT 对杂草株数、覆盖率及株防效的影响。结果表明, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 药后 8 d 对东京樱花 *Cerasus yedoensis* 林地内的陌上菜 *Lindernia procumbens*, 拟鼠麴草 *Pseudognaphalium affine*, 车前 *Plantago asiatica*, 碎米荠 *Cardamine hirsuta*, 匙叶合冠鼠麴草 *Gnaphalium pensylvanicum* 和紫薇 *Lagerstroemia indica* 林地内的耳草 *Hedyotis auricularia* 的株防效均达 100%; 不同施药方法对杂草的防除效果分析表明, 4,8-DHT 对杂草种子萌发期的抑制作用强于幼苗期; 对林地间杂草防除效果比较发现, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 对东京樱花和紫薇林地药后 20 d 的杂草防除效果存在差异, 这可能与林地环境因素和生物因素等有关。

**关键词:** 4,8-DHT; 生物除草剂; 林地; 覆盖率; 防除效果

**中图分类号:** S451.24      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3776 (2020) 02-0042-09

### Experiment on Herbicidal Activity of 4,8-DHT in Woodland

HU Qi-yao<sup>1,2</sup>, FAN Xiao-cong<sup>1,2</sup>, YANG Li<sup>2</sup>, RUAN Xiao<sup>2</sup>, ZHANG Jian-hong<sup>2</sup>, WANG Qiang<sup>2</sup>, ZHENG Bing-song<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory Cultivation Base of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 2. College of Biological and Chemical Engineering, Ningbo Technology University, Ningbo 315100, China)

**Abstract:** During June and September 2018, experiments were conducted on effect of 4,8-dihydroxy-1-tetrahydronaphthone (4,8-DHT) made from allelochemical in the *Carya cathayensis* on herbicidal activity in *Cerasus yedoensis* and *Lagerstroemia indica* stands in Ningbo, Zhejiang province, according to Pesticide-Guidelines for the Field Efficacy Trials (I): Herbicides against weeds in forest Herbicide (GB/T 17980.48-2000). The results showed that 8 days after treatment of 36 mmol/L of 4,8-DHT, *Lindernia procumbens*, *Gnaphalium affine*, *Plantago asiatica*, *Cardamine hirsuta*, *Gnaphalium pensylvanicum* in *C.yedoensis* stand could be effectively controlled, and *Hedyotis auricularia* in *L. indica* stand, with the control effect of 100%. Different concentration of 4,8-DHT sprayed at different time indicated that it had better effect at weed seed germination. Comparing the weed control effect between different stands, it was found that the weed control effect of 36 mmol/L of 4,8-DHT was different in *C. yedoensis* and *L. indica* stands.

**Key words:** 4,8-DHT; bioherbicide; woodland; coverage; control effect

近百年来, 人类使用化学除草剂有效控制了多种杂草危害, 但化学合成除草剂的大量使用也引发了环境污染、杂草耐药性增强、对非目标生物毒害等一系列严重环境问题。天然生物除草剂具有生产原料来源广泛, 对非靶标生物安全、毒副作用小、环境兼容性好等特点, 已成为全球农药产业发展的新趋势。4-8-二羟基-1-四氢

收稿日期: 2019-10-09; 修回日期: 2020-02-12

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目 (LQ19C140002); 宁波市科技富民项目 (2017C10017)

作者简介: 胡琪瑶, 硕士研究生, 从事植物生理生态学研究; E-mail: 349733742@qq.com。通信作者: 郑炳松, 教授, 从事经济林培育与利用、植物生理生化研究; E-mail: 595010169@qq.com。

萘酮(4,8-DHT)作为一种天然产物最初由 Findlay 等<sup>[1]</sup>从小柱孢属 *Scytalidium* 物种中分离出来,随后又从多种真菌以及植物中分离纯化。Eduardo 等<sup>[2]</sup>通过理论计算发现其具有两种不同的构型,分别为 R-(+)-(4R)-4,8-DHT (Regiolone) 和 S-(-)-(4S)-4,8-DHT (Isosclerone)。生物学活性研究表明,4,8-DHT 对肝癌 SMMC-7721 细胞具有一定的体外增殖抑制作用<sup>[3]</sup>。经研究发现山核桃外果皮水提取物对双子叶植物莴苣 *Lactuca sativa*, 萝卜 *Raphanus sativus*, 黄瓜 *Cucumis sativus* 和单子叶植物洋葱 *Allium cepa*, 稻 *Oryza sativa*, 普通小麦 *Triticum aestivum* 的种子萌发和幼苗生长存在抑制作用。其外果皮水提取物经 X-5 大孔树脂分离,乙醇水溶液梯度洗脱,利用莴苣种子萌发与幼苗生长指标作为除草活性筛选参数,发现 11 个洗脱组分中以 6:4, 5:5, 4:6, 3:7 的洗脱相活性最强,硅胶柱层析和葡聚糖凝胶色谱组合分离纯化目标组分,利用 UPLC, NMR, GC-MS 等技术手段组合解析活性组分结构为 4,8-DHT<sup>[4]</sup>。目标产物经 Chiral OD-H 手性色谱柱拆分,获得消旋体 S-(+)-Isosclerone 和 R-(-)-Regiolone, S-(+)-Isosclerone 对测试植物反枝苋 *Amaranthus retroflexus*, 牛筋草 *Eleusine indica*, 百喜草 *Paspalum notatum*, 香附子 *Cyperus rotundus* 和西伯利亚剪股颖 *Agrostis stolonifera* 抑制活性高于 R-(-)-Regiolone<sup>[5-7]</sup>。Zhang 等建立了以 1,5-二羟基萘为原料,五步法合成 4,8-DHT 外消旋体及结构改造物 5-羟基-4-氧代-1,2,3,4-四氢萘-1-苯甲酸乙酯、8-羟基-4-(3-羟基丙氧基)-1-四氢萘酮、8-羟基-4-(2,3-二羟基丙氧基)-1-四氢萘酮、5-羟基-8-氧代-5,6,7,8-四氢萘-1-苯甲酸乙酯、4-羟基-8-(3-羟基丙氧基)-1-四氢萘酮和 4-羟基-8-(2,3-二羟基丙氧基)-1-四氢萘酮的化学合成方法<sup>[7-8]</sup>,并分别在实验室验证了这些新结构化合物的除草活性。

除草剂室内生物测定方法普遍采用培养皿法(种子萌发法),目标除草剂处理杂草种子,通过发芽率、鲜质量、根或茎的抑制情况计算抑制中浓度,判断目标除草剂的生物活性。除草剂田间生物测定方法则根据《农药田间药效试验准则(一)》<sup>[9]</sup>在特定田地间对靶标生物施用目标除草剂,在不同时期分别测量靶标生物的株防效、鲜质量防效等参数来判断田间试验的药效。本试验依据《农药田间药效试验准则(一)中除草剂防除林地杂草》(GB/T 17980.48-2000)设置试验处理,以覆盖率、株防效为评价指标,研究 4,8-DHT 对东京樱花 *Cerasus yedoensis* 及紫薇 *Lagerstroemia indica* 林地中杂草的防除效果,以期为潜在除草活性物质 4,8-DHT 的进一步开发提供实验证据并可提高山核桃外果皮的附加值。

## 2 材料与方 法

### 2.1 试验材料

供试药剂 4,8-DHT(纯度>97%)为实验室制备,配置浓度分别为 9, 18, 36 mmol·L<sup>-1</sup>;对照药剂 41%草甘膦异丙胺盐由河北廊坊中国农科院研究基地提供。

### 2.2 试验地概况

4,8-DHT 田间试验在宁波市农业科学研究院林科所实验基地进行。该基地位于浙江省宁波市横溪镇大岙村,地理坐标为 121°35' E, 29°40' N, 试验地总面积为 10.67 hm<sup>2</sup>。年均气温为 16.2℃,年均降水量为 1 538.8 mm,年均雨日为 174 d,年均日照为 2 070 h,无霜期为 238 d。土壤表层(0~15 cm)的基本理化性质为:pH 6.0,电导率 88.5 μs·cm<sup>-1</sup>,有机质 43.8 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 1.3 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 0.7 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 22.8 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮 131.0 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 62.6 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 128.0 mg·kg<sup>-1</sup>。

试验地为含 8 科 11 属 14 种杂草的东京樱花(下文简称樱花)林地(面积 1 258.8 m<sup>2</sup>,郁闭度 0.69)及含 7 科 7 属 8 种杂草的紫薇林地(面积 1 080 m<sup>2</sup>,郁闭度 0.26)。其中,樱花林地杂草主要以牛筋草,香附子,水虱草 *Fimbristylis littoralis*, 母草 *Lindernia crustacea*, 耳草 *Hedyotis auricularia*, 碎米荠 *Cardamine hirsuta*, 陌上菜 *Lindernia procumbens*, 拟鼠麴草 *Pseudognaphalium affine*, 车前 *Plantago asiatica*, 通泉草 *Mazus pumilus*, 小蓬草 *Conyza canadensis*, 匙叶合冠鼠麴草 *Gamochaeta pensylvanica*, 球序卷耳 *Cerastium viscosum*, 泥花草 *Lindernia antipoda* 为主;紫薇林地主要以牛筋草,香附子,水虱草,母草,耳草,马松子 *Melochia corchorifolia*, 马唐 *Digitaria sanguinalis*, 丁香蓼 *Ludwigia prostrata* 为主。

### 2.3 试验设计

依据《农药田间药效准则(一)中除草剂防治林地杂草》(GB/T17980.48-2000)设计试验。对照药剂为41%草甘膦异丙胺盐(以下简称草甘膦),浓度为 $18\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (A);供试药剂4,8-DHT浓度分别为 $9\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (B), $18\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (C), $36\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (D),以清水为对照(CK)。樱花林地小区面积为 $50\text{ m}^2$ ,小区间隔 $0.5\text{ m}$ ,紫薇林地小区面积为 $50\text{ m}^2$ ,小区间隔 $0.5\text{ m}$ ,4次重复,随机区组排列。每小区用药(水)量为 $0.225\text{ L}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

## 2.4 施药方法

4,8-DHT林地除草试验时间为2018年6-9月,试验前期调查杂草种类及株数,并进行施药前人工松土,于2018年7月12日杂草萌芽前对土壤施药一次,于8月2日对杂草幼苗茎叶喷施药一次。试验期间不施用其他任何药剂。

杂草萌芽前土壤施药方法:施药前人工松土,土壤地面喷雾,施药当天(7月12日)晴,施药后3 d无雨。

杂草幼苗茎叶喷施药方法:人工松土20 d后,对杂草2~3叶期的幼苗茎叶喷雾施药,施药当天(8月2日)晴,施药后3 d无雨。

## 2.5 调查及统计方法

在樱花林地及紫薇林地每个试验小区固定3个调查样方,每个样方面积 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ ,施药后8,12,16,20 d时观察杂草生长情况,用佳能EOS 80D相机分区拍照;施药后8,20 d统计林地杂草残存种类及株数。根据调查数据,利用Excel及SPSS软件计算杂草株防治效果(以下简称株防效),并进行方差分析及多重比较,通过杂草覆盖率大小可判断杂草防除效果。计算方法如下:

图像计算杂草覆盖率:根据拍摄的调查样方,Ecognition分类软件提取杂草面积,计算杂草的覆盖率。

株防效 = (对照区杂草株数 - 处理区杂草株数) / 对照区杂草株数  $\times 100\%$

总株防效 = (对照区杂草总株数 - 处理区杂草总株数) / 对照区杂草总株数  $\times 100\%$

# 3 结果与分析

## 3.1 4,8-DHT对樱花林地杂草覆盖率的影响

根据拍摄的4,8-DHT处理樱花林地杂草调查样方(图1),计算樱花林地杂草覆盖率,结果如图2。4,8-DHT处理后,樱花林地杂草覆盖率均有所降低,且具有浓度依赖性,4,8-DHT处理浓度越高,杂草覆盖率越低。杂草萌芽前对土壤施药的杂草覆盖率明显低于杂草幼苗茎叶喷施处理, $36\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  4,8-DHT药后8 d杂草的覆盖率仅为0.15%,其杂草防除效果优于草甘膦。对杂草幼苗茎叶喷施药后,杂草覆盖率降低,但防除效果不明显(图2B)。

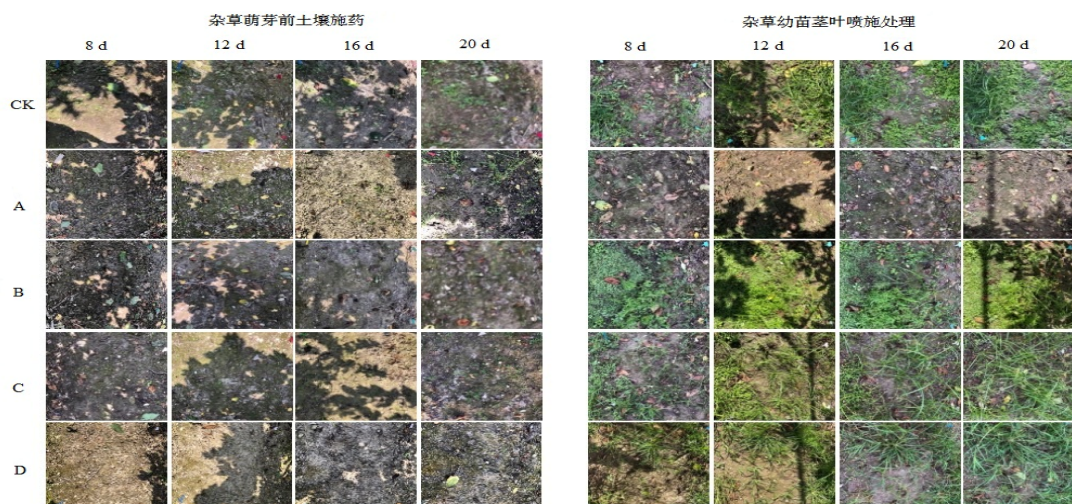
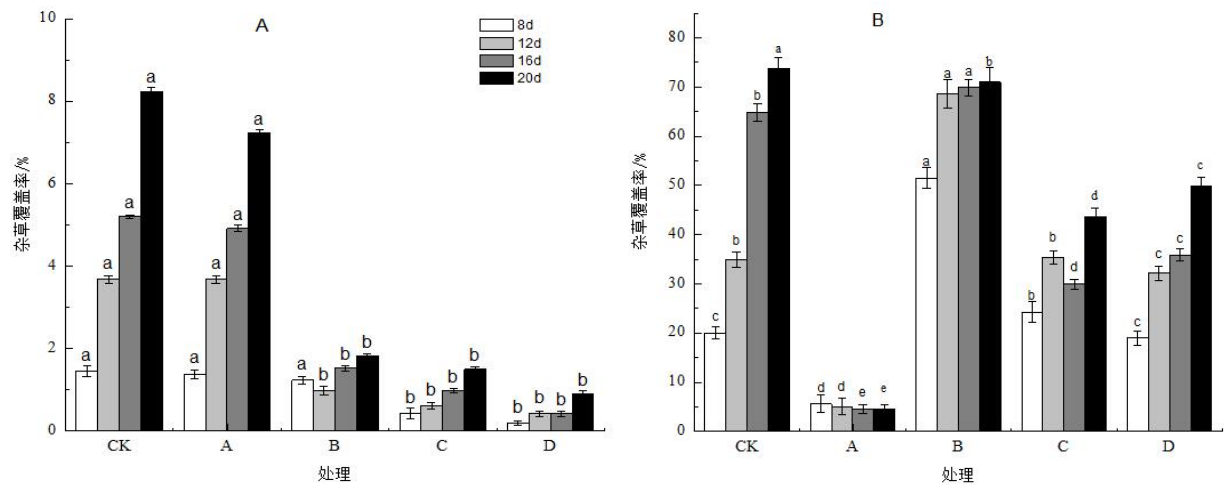


图1 4,8-DHT与草甘膦处理下樱花林地杂草生长情况

Figure 1 Growth of weeds in *C. yedoensis* stand treated by 4,8-DHT and glyphosate





A – 杂草萌芽前对土壤施药  
B – 对杂草幼苗茎叶喷施药  
注: 图中不同小写字母表示施药后同一时间点各处理间存在差异显著 ( $P < 0.05$ ), 图 4 同。

图 2 不同施药处理下樱花林地的杂草覆盖率

Figure 2 Weeds coverage in *C. yedoensis* stand treated by 4,8-DHT and glyphosate

3.2 4,8-DHT 对樱花林地杂草防除的影响

4,8-DHT 对樱花林地杂草株数、株防效的调查结果如表 1。由表 1 可知, 杂草萌芽前对土壤施药后, 4,8-DHT 对樱花林地杂草除香附子外均有较高的株防效。药后 8 d,  $36 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  4,8-DHT 对陌上菜、拟鼠麴草、车前、碎米荠、匙叶合冠鼠麴草的防除效果显著 ( $P < 0.05$ ), 株防效均高达 100%; 药后 20 d, 株防效仍为 78% 以上。对杂草幼苗茎叶喷施处理药后 8 d,  $36 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  4,8-DHT 对碎米荠、匙叶合冠鼠麴草、陌上菜的株防效作用显著 ( $P < 0.05$ ), 分别达 100%, 100%, 93.8%; 药后 20 d 时, 株防效仍能保持在 87% 以上。

3.3 4,8-DHT 对紫薇林地杂草覆盖率的影响

根据拍摄的 4, 8-DHT 处理紫薇林地杂草调查样方图 (图 3), 计算紫薇林地杂草覆盖率, 结果如图 4。由图 4 可知, 在杂草萌芽前进行 4,8-DHT 土壤施药可降低杂草的覆盖率,  $36 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  4,8-DHT 药后 8 d, 杂草覆盖率为 0.32%; 药后 20 d, 杂草覆盖率仅增长 0.68%; 与其余处理相比,  $36 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  4,8-DHT 施药后杂草的覆盖率更低。杂草幼苗茎叶喷施处理 20 d 后, 草甘膦处理的杂草覆盖率最低, 为 1.5%; 其次为  $36 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  4,8-DHT 处理, 其杂草覆盖率为 2.5%。

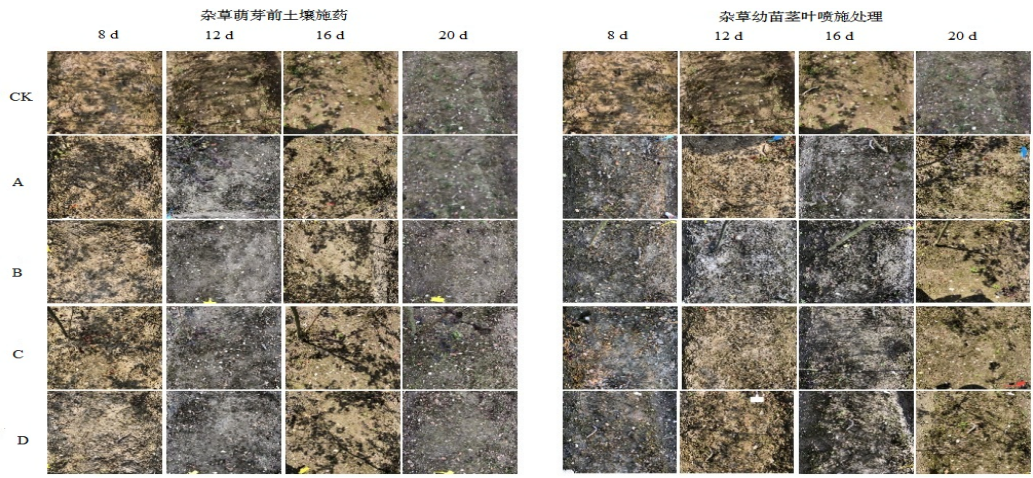


图 3 4,8-DHT 与草甘膦处理下紫薇林地杂草生长情况

Figure 3 Growth of weeds in *L. indica* stand treated by 4,8-DHT and glyphosate

表 1 4, 8-DHT 与草甘膦处理下樱花林地杂草的株防效  
Table 1 Weed control efficacy in *C. yedoensis* stand treated by 4,8-DHT and glyphosate

杂草种类	处理	土壤施药				茎叶喷施				杂草种类	处理	土壤施药				茎叶喷施			
		8 d		20 d		8 d		20 d				8 d		20 d		8 d		20 d	
		株数 /株	株防效 /%	株数 /株	株防效 /%	株数 /株	株防效/%	株数 /株	株防效/%			株数 /株	株防效 /%	株数 /株	株防效 /%	株数/株	株防效/%		
牛筋草	CK	4	—	10	—	4	—	6	—	陌上菜	CK	3	—	11	—	16	—	96	—
	A	3	25.0b	9	10.0d	1	75.0a	1	83.3a		A	6	—100.0c	12	—9.1d	0	100.0a	0	100.0a
	B	1	75.0a	4	60.0c	3	25.0c	3	50.0c		B	0	100.0a	2	81.0b	1	93.8b	43	55.2c
	C	1	75.0a	2	80.0b	2	50.0b	2	66.7b		C	1	66.7b	3	72.7c	1	93.8b	14	85.4b
	D	1	75.0a	1	90.0a	1	75.0a	2	66.7b		D	0	100.0a	1	90.9a	1	93.8b	12	87.5b
香附子	CK	3	—	5	—	10	—	16	—	拟鼠麴草	CK	6	—	14	—	4	—	3	—
	A	3	0.0b	5	0.0a	0	100.0a	4	75.0a		A	4	33.3c	16	—	0	100.0a	0	100.0a
	B	4	—	19	—280.0d	18	—80.0c	38	—137.5c		B	1	83.3b	4	71.4b	2	50.0c	3	0.0c
	C	3	0.0b	11	—120.0c	27	—170.0d	57	—256.3d		C	1	83.3b	5	64.3c	1	75.0b	1	66.7b
	D	2	33.3a	9	—80.0b	16	—60.0b	30	—87.5b		D	0	100.0a	1	92.9a	1	75.0b	0	100.0a
水虱草	CK	11	—	20	—	10	—	15	—	车前	CK	3	—	5	—	3	—	21	—
	A	10	9.1c	18	10.0d	0	100.0a	4	73.3a		A	1	66.7b	4	20.0d	0	100.0a	5	76.2c
	B	3	72.7b	12	40.0c	9	10.0c	11	26.7c		B	1	66.7b	3	40.0c	4	—33.3d	5	76.2c
	C	2	81.8a	7	65.0b	6	40.0b	9	40.0b		C	0	100.0a	2	50.0b	3	0.0c	4	81.0b
	D	2	81.8a	3	85.0a	6	40.0b	9	40.0b		D	0	100.0a	1	80.0a	2	33.3b	2	90.5a
母草	CK	5	—	7	—	19	—	31	—	碎米荠	CK	2	—	4	—	3	—	4	—
	A	4	20.0b	8	—14.3d	0	100.0a	0	100.0a		A	1	50.0b	3	25.0b	0	100.0a	0	100.0a
	B	1	80.0a	6	14.2c	7	63.2b	19	38.7d		B	1	50.0b	4	0.0c	6	—100.0b	6	—50.0c
	C	1	80.0a	3	57.1b	12	36.8c	15	51.6c		C	1	50.0b	3	25.0b	6	—100.0b	4	0.0b
	D	1	80.0a	1	85.7a	7	63.2b	8	74.2b		D	0	100.0a	0	100.0a	0	100.0a	0	100.0a
耳草	CK	5	—	14	—	5	—	9	—	匙叶合冠 鼠麴草	CK	0	—	3	—	1	—	2	—
	A	4	20.0b	12	14.3d	0	100.0a	0	100.0a		A	0	100.0a	2	33.3b	0	100.0a	0	100.0a
	B	1	80.0a	4	71.4b	13	—160.0d	29	—222.2d		B	0	100.0a	0	100.0a	1	50.0b	1	75.0b
	C	1	80.0a	8	42.9c	12	—140.0c	15	—66.7c		C	0	100.0a	0	100.0a	0	100.0a	1	75.0b
	D	1	80.0a	3	78.6a	6	—20.0b	8	11.1b		D	0	100.0a	0	100.0a	0	100.0a	0	100.0a

注：表中 8 d, 20 d 均指施药后的天数；不同小写字母表示不同处理之间差异显著（ $P<0.05$ ）。

表2 4,8-DHT与草甘膦处理下紫薇林地杂草的株防效  
Table 2 Weed control efficacy in *L. indica* stand treated by 4,8-DHT and glyphosate

杂草种类	处 理	土壤施药				茎叶喷施				杂草种类	处 理	土壤施药				茎叶喷施			
		8 d		20 d		8 d		20 d				8 d		20 d		8 d		20 d	
		株数 /株	株防效 /%	株数 /株	株防效 /%	株数 /株	株防效/%	株数 /株	株防效/%			株数 /株	株防效/%	株数 /株	株防效/%	株数 /株	株防效/%	株数 /株	株防效/%
牛筋草	CK	0	—	2	—	1	—	2	—	母草	CK	2	—	20	—	23	—	58	—
	A	0	—	1	50.0b	1	0.0b	1	50.0b		A	1	50.0b	22	—10.0c	13	43.5a	5	91.4a
	B	0	—	0	100.0a	0	100.0a	0	100.0a		B	1	50.0b	27	—35.0d	18	21.7d	41	29.3c
	C	0	—	0	100.0a	0	100.0a	1	50.0b		C	0	100.0a	16	20.0b	16	30.4c	40	31.0c
	D	0	—	0	100.0a	0	100.0a	1	50.0b		D	0	100.0a	7	65.0a	14	39.1b	30	48.3b
香附子	CK	0	—	5	—	6	—	5	—	耳草	CK	3	—	6	—	6	—	21	—
	A	0	—	10	—100.0b	13	—116.7d	1	80.0a		A	2	33.3b	5	16.7b	3	50.0a	0	100.0a
	B	0	—	14	—180.0d	7	—16.7c	11	—120.0d		B	0	100.0a	8	—33.3d	6	0.0b	27	—28.6d
	C	0	—	12	—140.0c	6	0.0b	7	—40.0b		C	0	100.0a	6	0.0c	9	—50.0d	19	9.5c
	D	0	—	3	40.0a	4	33.3a	6	—20.0c		D	0	100.0a	0	100.0a	8	—33.3c	8	61.9b
水虱草	CK	1	—	6	—	7	—	15	—	马松子	CK	0	—	2	—	3	—	3	—
	A	1	0.0b	9	—50.0d	30	—328.6c	6	60.0a		A	0	—	3	—50.0b	2	33.3b	1	66.7a
	B	0	100.0a	6	0.0c	26	—271.4b	36	—140.0d		B	0	—	4	—100.0c	4	—33.3c	4	—33.3b
	C	0	100.0a	5	16.7b	20	—185.7a	25	—66.7c		C	0	—	3	—50.0b	5	—66.7d	4	—33.3b
	D	0	100.0a	2	66.7a	19	—171.4a	21	—40.0b		D	0	—	2	0.0a	1	66.7a	2	33.3a

注：表中 8 d，20 d 均指施药后的天数。

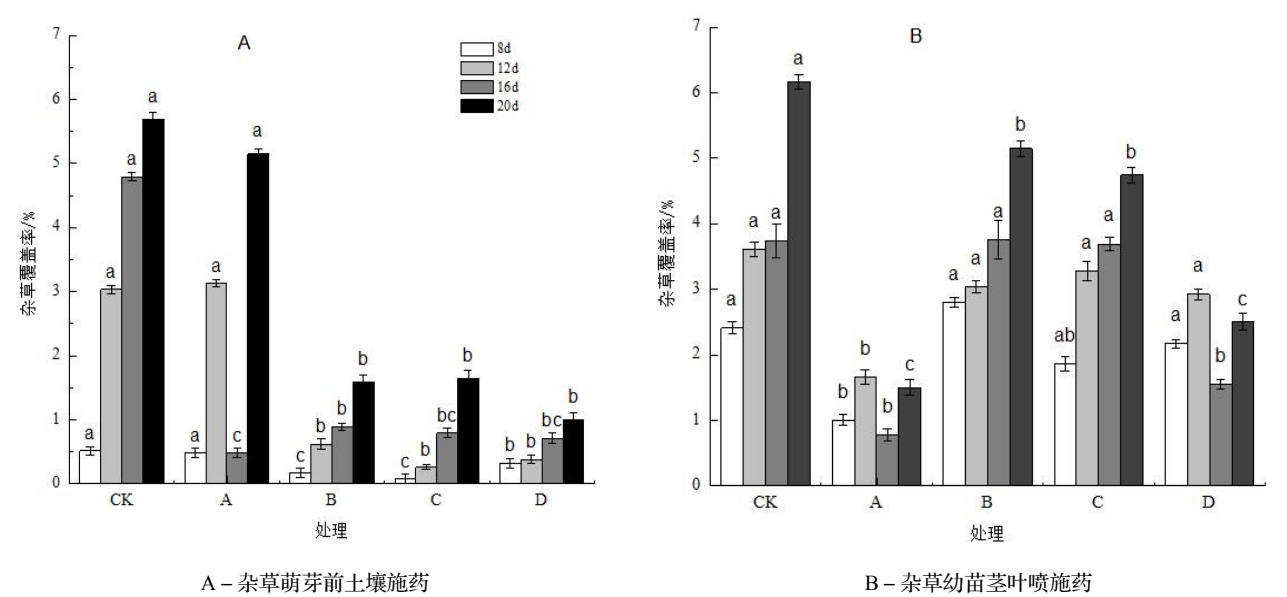


图 4 不同施药处理下紫薇林地的杂草覆盖率

Figure 4 Weed coverage in *L. indica* stand treated by 4,8-DHT and glyphosate

3.4 4,8-DHT 对紫薇林地杂草防除的影响

4,8-DHT 处理紫薇林地杂草株数及株防效调查结果如表 2。从表 2 可看出, 杂草萌芽前土壤施药, 药后 8 d, 4,8-DHT 抑制紫薇林地内母草、耳草的生长, 且随着处理浓度的增加, 防效呈明显上升的趋势, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 处理的株防效达到 100%。药后 20 d, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 对耳草、牛筋草有显著 ( $P<0.05$ ) 的抑制作用, 株防效为 100%; 其次为水虱草、母草、香附子, 株防效分别为 66.7%, 65.0%, 40%, 对马松子无防除效果。幼苗茎叶喷施药后, 4,8-DHT 各浓度处理对林地杂草的防除效果较差, 药后 20 d, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 处理对耳草、牛筋草、母草、马松子的株防效仅为 61.9%, 50.0%, 48.3%, 33.3%, 对香附子和水虱草无防除效果。不同施药方法对紫薇林地杂草的防除效果分析表明, 4,8-DHT 对杂草种子萌发期的抑制作用强于幼苗期, 因此 4,8-DHT 适用于土壤施药。

3.5 4,8-DHT 林地杂草防除效果比较

樱花及紫薇林地内杂草总数及总株防效调查结果如表 3。从表 3 可看出, 土壤施药后 20 d, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 对樱花林地中杂草的总株防效为 78.5%; 与茎叶喷施药处理相比, 总株防效增加 13.5%, 杂草防除效果显著。对紫薇林地杂草茎叶喷施 4,8-DHT 20 d 后防除效果较差, 其中 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 处理杂草的总株防效最高仅为 34.6%, 而 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 土壤施药后的总株防效为 65.9%。4,8-DHT 对林地杂草防除效果比较可知, 4,8-DHT 最佳施药方法为杂草萌芽前土壤施药。

表 3 4,8-DHT 与草甘膦处理下樱花和紫薇林地杂草总数及总株防效  
Table 3 Total number and control effect of weed in *C. yedoensis* and *L. indica* stands treated by 4,8-DHT and glyphosate

处理	樱花林地						紫薇林地					
	土壤施药 20 d			茎叶喷施药 20 d			土壤施药 20 d			茎叶喷施药 20 d		
	杂草种类/种	株数/株	总株防效/%	杂草种类/种	株数/株	总株防效/%	杂草种类/种	株数/株	总株防效/%	杂草种类/种	株数/株	总株防效/%
CK	15	93	—	12	203	—	8	41	—	8	104	—
A	13	89	4.3d	6	14	93.1a	6	50	-22.0c	4	14	86.5a
B	10	58	37.6c	11	158	22.2d	6	59	-43.9d	5	119	-14.4d
C	12	44	52.7b	12	122	39.9c	6	42	-2.4b	7	96	7.7c
D	9	20	78.5a	9	71	65.0b	6	14	65.9a	6	68	34.6b

## 4 小结与讨论

化感物质作为除草剂应用的一个显著特点是具有选择性和专一性。由天然产物莎草茵为先导化合物开发的三氟羧草醚田间试验对一年生双子叶杂草反枝苋、藜 *Chenopodium album*、狗尾草 *Setaria viridis* 具有良好的防除效果<sup>[10]</sup>; 以芳香油纤精酮 (leptospermone) 为先导化合物开发的硝磺草酮能有效防除玉蜀黍 *Zea mays* 田内牛筋草、马唐、反枝苋等杂草, 对马齿苋 *Portulaca oleracea* 无防除效应<sup>[11]</sup>; 由菊科 Compositae 植物猪毛蒿 *Artemisia scoparia* 全草提取的猪毛蒿精油能显著防除香附子<sup>[12]</sup>。本实验中, 高浓度 4,8-DHT 土壤施药对樱花林地陌上菜、碎米荠、匙叶合冠鼠鞠草和紫薇林地耳草的防除效果显著, 中低浓度 4,8-DHT 茎叶施药对香附子、碎米荠、马松子无防除效果, 本文验证目标活性物质杂草防除选择性的同时获得了除草剂目标作用谱。

除草剂作用于杂草, 可抑制杂草的营养吸收、物质合成、能量代谢、酶活性、光合作用等生理过程<sup>[13]</sup>。因抑制生理过程的不同, 除草剂施用方法主要包括土壤施药法和茎叶喷施法。草甘膦为广谱型内吸灭生型除草剂, 遇土钝化失去活性, 适于杂草茎叶喷施<sup>[14]</sup>; 乙草胺为选择性芽前处理除草剂, 主要通过阻碍蛋白质合成来抑制细胞生长, 适用于土壤施药<sup>[15]</sup>; 环庚草醚土壤施药与茎叶喷施法均能发挥其药效<sup>[16]</sup>。本试验中, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 樱花林地药后 20 d, 与茎叶喷施除草效果相比, 土壤施药杂草总株防效增加 13.5%; 紫薇林地药后 20 d, 36 mmol·L<sup>-1</sup> 4,8-DHT 土壤施药总株防效为 65.9%, 比茎叶喷施总株防效增加 31.3%。4,8-DHT 最高浓度 4,8-DHT 对林地杂草防除效果比较可知, 4,8-DHT 最佳施药方法为杂草萌芽前土壤施药。研究结果表明, 4,8-DHT 作为除草剂, 施用方法以土壤施药法为宜。

化感作用强弱不仅取决于植物本身的内在因素, 环境因子对化感作用也具有一定的影响, 这可能是解释以化感物质为基础开发的生物除草剂在不同林地间除草效应存在差异的原因。以天然产物莎草茵所开发的二苯醚类除草剂氟磺胺草醚对绿豆 *Vigna radiata*, 赤小豆 *Vigna umbellata* 及大豆 *Glycine max* 田间的铁苋菜 *Acalypha australis* 的防除效果不同, 大豆田间铁苋菜的株防效为 84.31%, 而绿豆、赤小豆田的铁苋菜的株防效仅为 73.6%<sup>[17-18]</sup>。本研究中 4,8-DHT 对樱花及紫薇林地内杂草的株防效有显著差异, 推测可能是 4,8-DHT 从喷施到发挥除草效果的过程中多种因素的综合影响而导致株防效存在差异。环境因子主要有土壤因素、气候因素等, 影响所施药剂的吸收及在杂草内的转移; 生物因素包括林地郁闭度、杂草种类及密度差异也可导致株防效出现差异。本研究仅为特定地域内单次试验研究结果, 可能影响到试验的准确性, 故仍需后续试验的再次验证, 试验结果可为 4,8-DHT 作为生物型除草剂推广应用提供理论基础, 同时也在以天然产物为基础开发新型生物农药上起到积极推动作用。

## 参考文献:

- [1] FINDLAY J A, KWAN D. Metabolites from a *Scytalidium* species[J]. Can J Biochem, 1973, 51 ( 19 ) : 3299 – 3301.
- [2] EDUARDO V, ANTONIO J, LUIZ C, *et al.* The search for new natural herbicides e Strategic approaches for discovering fungal phytotoxins[J]. Crop Prot, 2013, 48: 41 – 50.
- [3] ZHOU Y, YANG B, JIANG Y, *et al.* Studies on cytotoxic activity against HepG-2 cells of naphthoquinones from green walnut husks of *Juglans mandshurica* Maxim[J]. Molecules, 2015, 20 ( 67 ) : 15572 – 15588.
- [4] LI Y X, KANG K H, KIM H J, *et al.* In vitro induction of apoptosis by isosclerone from marine-derived fungus *Aspergillus fumigatus*. Bioorg[J]. ACS Med Chem Let, 2014, 24: 3923 – 3927.
- [5] YANG L, MA X Y, RUAN X, *et al.* Enantioselective separation of 4,8-DHT and phytotoxicity of the enantiomers on various plant species[J]. Molecules, 2016, 21 ( 4 ) : 528.
- [6] 马晓艳. 4,8-二羟基-1-四氢萘酮手性拆分及其对映异构体的生物活性检测[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [7] ZHANG J H, YANG L, RUAN X, *et al.* Synthesis and herbicidal activity of 4,8-DHT and its derivatives[J]. Ind Crop Prod, 2018, 111: 755 – 767.
- [8] LI X X, YU M F, RUAN X, *et al.* Phytotoxicity of 4,8-dihydroxy-1-tetralone isolated from *Carya cathayensis* Sarg. to various plant species[J]. Molecules, 2014, 19 ( 61 ) : 15452 – 15467.
- [9] 农业部农药检定所生测室. 农药田间药效试验准则 ( 一 ) [M]. 北京: 中国标准出版社, 1994.



- [10] 白全江, 程玉臣, 赵存虎, 等. 13%咪草·三氟羧草醚水剂防除春大豆田杂草药效试验[J]. 内蒙古农业科技, 2005 (5): 23–24.
- [11] 鞠国栋, 寇俊杰, 边强, 等. 25%硝磺草酮悬浮剂防除夏玉米田杂草田间试验[J]. 陕西农业学, 2019, 65 (04): 30–31, 37.
- [12] SINGH H.P, KAUR S, MITTAL S, *et al.* Essential Oil of *Artemisia scoparia* Inhibits Plant Growth by Generating Reactive Oxygen Species and Causing Oxidative Damage[J]. J ChemEcol, 2009, 35: 154–162.
- [13] 罗侠. 化感作用的机制及化感物质的开发应用[J]. 滁州学院学报, 2007, 9 (3): 58–61.
- [14] 郜玉江. 草甘膦异丙胺防除林地杂草药效试验[J]. 植物保护, 2017, 12 (2): 42–43.
- [15] 程玉臣, 白全江, 曹春梅, 等. 60%乙草胺扑草净 EC 防除春玉米田杂草试验[J]. 内蒙古农业科技, 2005, 5 (25): 59–60.
- [16] 卢信达, 陈耕, 李林, 等. 10%环庚草醚·苄嘧磺隆可湿性粉剂防除水稻抛秧田杂草效果[J]. 湖北农业科学, 2011, 50 (15): 3074–3077.
- [17] 王法武, 杨微, 李洪鑫. 氟磺胺草醚·烯草酮乳油对绿豆及红小豆田杂草药效试验[J]. 东北农业科学, 2017, 42 (4): 30–32.
- [18] 倪萌, 徐丽君. 25%氟磺胺草醚水剂防除大豆田杂草药效试验[J]. 植物医生, 2013, 26 (1): 31–32.