

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.09.029

引用格式:吴婧杰,张钊,达布那,等.不同苯氧羧酸类除草剂对燕麦田间杂类草防效及其草产量的影响[J].草地学报,2026,34(9):3456-3463

WU Jing-jie, ZHANG Zhao, DA Bu-na, et al. Effects of Different Phenoxy-carboxylic Acid Herbicides on Weed Control Efficacy and Weed Biomass in Oat Fields[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(9):3456-3463

## 不同苯氧羧酸类除草剂对燕麦田间杂类草防效及其草产量的影响

吴婧杰<sup>1</sup>, 张钊<sup>2</sup>, 达布那<sup>1</sup>, 王会文<sup>1</sup>, 孙帆<sup>1</sup>, 冯锐<sup>1</sup>, 黎新越<sup>3</sup>, 叶文兴<sup>4</sup>, 孔令琪<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院草原研究所, 内蒙古呼和浩特 010000; 2. 四川嘉智生态科技有限公司, 四川成都 610000;

3. 四川国光园林科技股份有限公司, 四川成都 610000; 4. 内蒙古农业大学, 内蒙古呼和浩特 010000)

**摘要:**除草剂防控田间杂类草是大田作物常用的杂类草控制手段,目前我国农业农村部尚未通过任何除草剂在燕麦上的登记,因此探索苯氧羧酸类(2,4-D衍生物)除草剂对燕麦(*Avena sativa* L.)田中杂类草防效和燕麦草产量的影响在种植燕麦上有重要的参考和指导意义。本研究以‘中草16号’燕麦品种为本底燕麦,通过设置8个不同成分、用量的处理及1个空白对照处理,在燕麦拔节期进行叶面喷雾用药,到燕麦的乳熟期对燕麦的鲜草产量及杂类草株防效、鲜重防效进行测定。结果表明:4种苯氧羧酸类除草剂对藜和蒿的株数和鲜重有不同程度的防除效果,但对禾本科杂类草没有防除效果,且对燕麦田有一定的增产效果。综合来看,2.5 mL与5 mL 2,4-D二甲胺盐、4 mL与8 mL 2,4-D异辛酯均适宜用于燕麦田中藜、蒿的杂类草防除,且对燕麦具有一定的增产作用。

**关键词:**燕麦;苯氧羧酸类除草剂;2,4-D类除草剂

中图分类号:S451.221

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)09-3456-08

## Effects of Different Phenoxy-carboxylic Acid Herbicides on Weed Control Efficacy and Weed Biomass in Oat Fields

WU Jing-jie<sup>1</sup>, ZHANG Zhao<sup>2</sup>, DA Bu-na<sup>1</sup>, WANG Hui-wen<sup>1</sup>, SUN Fan<sup>1</sup>, FENG Rui<sup>1</sup>, LI Xin-yue<sup>3</sup>,  
YE Wen-xing<sup>4</sup>, KONG Ling-qi<sup>1\*</sup>

(1. Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot, Inner Mongolia 010000, China; 2. Sichuan Jiazi Ecological Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan Province 610000, China; 3. Sichuan Guoguang Landscape Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan Province 610000, China; 4. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010000, China)

**Abstract:** Herbicide prevention and control of weeds in the field is a common weed control method for field crops. At present, China's Ministry of Agriculture and Rural Affairs has not yet passed the registration of any herbicide on oats. Therefore, it is of great reference and guiding significance to explore the effects of phenoxy-carboxylic acid (2,4-D derivative) herbicides on weed control and oat grass yield in oat fields. In this study, the 'Zhongcao No. 16' oat variety was used as the background oat. By setting up 8 different components, dosage treatments and a blank control treatment, foliar spraying was carried out at the jointing stage of oats. The fresh grass yield of oats and the control effect of weed plant numbers and fresh weight were measured at the milky stage of oats. The results showed that the four phenoxy carboxylic acid herbicides had different degrees of control effects on the number and fresh weight of quinoa and Artemisia, but had no control effect on gramineous weeds, and had a certain yield increase effect on oat fields. On the whole, 2.5 mL and 5 mL 2,4-D dimethyl-amine salt, 4 mL and 8 mL 2,4-D isooctyl ester were suitable for weed control of quinoa and artemisia in oat

收稿日期:2025-10-23;修回日期:2025-12-09

基金项目:内蒙古自治区科技计划项目(2025YFHH0164);内蒙古自治区自然科学基金项目计划(2022MS03008)资助

作者简介:吴婧杰(2002-),女,汉族,山西吕梁人,硕士研究生,主要从事饲草遗传育种与种子科学研究,E-mail: wu17635898266@163.com;

\*通信作者 Author for correspondence, E-mail: dimple123@163.com

field, and had a certain yield-increasing effect on oat.

**Key words:** Oats; Phenoxyacetic acid herbicides; 2,4-D herbicides

燕麦 (*Avena sativa* L.) 是一年生禾本科 (Gramineae) 作物, 主要分布于北纬 40° 以北的亚洲、欧洲、北美洲等地区<sup>[1]</sup>。其具有发达的根系、柔嫩多汁的叶片与秸秆、强大的分蘖能力、高产以及优良的品质, 同时还具有耐寒、耐旱、耐贫瘠的特性, 因而常作为粮饲兼用作物<sup>[2]</sup>。但在种植燕麦过程中, 杂类草会与燕麦争夺光照、水分、养分, 从而影响燕麦的产量与品质, 同时也会增加种植成本, 降低经济效益。据统计, 在我国常年受到杂类草危害的农作物的面积高达 9000 多万  $\text{hm}^2$ , 严重危害的面积约 4500 万  $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>。其中, 阔叶类杂类草拥有宽大的叶片和发达的根系, 这使它们与燕麦在争夺光照、水分、养分和生长空间方面具有显著优势<sup>[4]</sup>; 禾本科杂类草凭借其 与燕麦的亲缘性、强大的竞争和繁殖能力, 以及对生产活动的适应性, 也对燕麦的生长构成了严重威胁<sup>[5]</sup>。对此, 我们通常使用除草剂来控制杂类草繁殖, 从而提高燕麦产量。

除草剂按作用方式不同分为茎叶处理剂、土壤处理剂和茎叶、土壤处理剂。本试验所使用的除草剂为茎叶处理剂, 将除草剂制剂兑水稀释搅拌均匀后以细小的雾滴均匀喷洒在植株上, 这种喷洒法使用的除草剂即为茎叶处理剂。1941 年美国科学家 R. 波科尼 (R. Pokorny) 合成了 2,4-二氯苯氧乙酸 (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid 简称为 2,4-D), 试验发现浓度高于  $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 对禾本科植物具有较高的安全性, 对于大部分双子叶植物具有除草活性。1946 年大规模商业化之后, 2,4-D 成为了世界上第一款选择性除草剂<sup>[6]</sup>。

2,4-D 的发现极大地促进了小麦 (*Triticum aestivum* L.)、玉米 (*Zea mays* L.)、水稻 (*Oryza sativa* L.)、高粱 (*Sorghum bicolor* L.) 等禾本科作物生

产<sup>[7]</sup>, 这些作物田间的一年生和多年生阔叶杂类草得到低成本高效控制<sup>[8]</sup>。近年来大田生产中, 大田除草越来越少直接使用 2,4-D, 因为 2,4-D 本身除草防效较低, 田间需要较高的使用量, 而 2,4-D 本身的漂移和挥发性很强。田间实际操作时高浓度 2,4-D 有时漂移距离能达到  $500 \sim 2000 \text{ m}$ <sup>[9]</sup>, 对田块周边非靶标作物影响很大。此外, 2,4-D 对用药温度较为敏感, 低于  $10^\circ\text{C}$  用药容易引发安全作物的药害<sup>[10]</sup>。2,4-D 也对用药时期要求较高, 玉米田使用 2,4-D 必须在 2~5 叶期, 否则容易引起心叶畸形<sup>[11]</sup>。同时, 2,4-D 具有较强的黏附性易在水箱或喷雾器中残留, 如清洗不到位容易引起除草剂残留药害<sup>[12]</sup>。为了解决 2,4-D 的上述缺陷, 近 80 年来农业化工行业先后研发出二十余种 2,4-D 衍生物和苯氧丁酸衍生物<sup>[13]</sup>, 这类除草剂统称为苯氧羧酸类除草剂。这类除草剂不仅会导致目标杂类草叶片畸形<sup>[14]</sup>、抑制幼苗正常生长, 其施用效果还受种类、剂型及环境条件等多种因素影响。我国农业农村部曾经登记过 15 种苯氧羧酸类除草剂, 除去不再登记和禁用的成分, 目前仍在登记有效期内的苯氧羧酸类除草剂有 10 种<sup>[15]</sup>。本研究通过在燕麦田中施用不同苯氧羧酸类 (2,4-D 衍生物) 除草剂防除各种杂类草, 探讨苯氧羧酸类除草剂对各种杂类草的防效以及对燕麦产量的影响, 以期验证几种 2,4-D 衍生物除草剂在燕麦田中的施用效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验品种及供试除草剂

本试验所选品种为‘中草 16 号’燕麦。所使用的除草剂有 4 种 (表 1)。

表 1 各除草剂成分含量、剂型及生产厂家

Table 1 Content, formulation, and manufacturer of each herbicide ingredient

| 除草剂名称<br>Herbicide name | 成分含量<br>Ingredient content   | 剂型<br>Formulation        | 生产厂家<br>Manufacturer                   |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
| 不落 Bu Luo               | 85% 2,4-D 钠盐                 | 可溶性粉剂                    | 四川润科科技有限公司                             |
|                         | 85% 2,4-D sodium salt        | Soluble Powder           | Sichuan Runer Technology Co., Ltd.     |
| 谷锄 Gu Chu               | 55% 2,4-D 二甲胺盐               | 水剂                       | 安徽兴隆化工有限公司                             |
|                         | 55% 2,4-D dimethylamine salt | Liquid preparation       | Anhui Xinglong Chemical Co., Ltd.      |
| 锄宜 Chu Yinong           | 30% 2,4-D 丁酸钠盐               | 水剂                       | 山东先达农化股份有限公司                           |
|                         | 30% sodium 2,4-D butyrate    | Liquid preparation       | Shandong Xianda Agrochemical Co., Ltd. |
| 2,4-DB                  | 77% 2,4-D 异辛酯                | 乳油                       | 安徽兴隆化工有限公司                             |
|                         | 77% 2,4-D isooctyl ester     | Emulsifiable concentrate | Anhui Xinglong Chemical Co., Ltd.      |

## 1.2 试验地情况

试验田位于内蒙古自治区呼和浩特市土默特左旗沙尔沁镇(111°44′24″E, 40°33′0″N), 该地多年平均气温 6.3℃, 无霜期年平均 133 d, 年平均降水量 300~350 mm。燕麦种植前施底肥, 使用 30-7-5 的复合肥作为底肥, 施用量为 349.5 kg·hm<sup>-2</sup>, 即每个小区施用 0.4 kg。燕麦采用条播种植方式, 行距为 15 cm。试验时间为 2024 年 4—8 月。

## 1.3 试验处理与设计

本试验共设置 9 组处理(表 2), 每组处理小区面积为 12 m<sup>2</sup>(3 m×4 m), 每个小区之间设立宽度 1 m 作为过道, 小区随机区组排列(取样时每个小区内取 3 组重复)。每个小区在施用除草剂时均加入 1.5 L 水进行混合(T<sub>1</sub>-T<sub>8</sub>), 并使用 2.5 L 容量的手持式喷壶在拔节期(此时杂类草幼嫩且燕麦抗性较强, 能达到最佳除草效果并保障作物安全<sup>[16]</sup>)对燕麦进行均匀叶面喷雾, CK 为清水对照, 不施用除草剂, 仅在试验时喷雾等量清水。其他处理根据《DB15/T 3526-2024》的规定<sup>[17]</sup>进行播种等田间农事操作管理, 保证其余处理均一致。

表 2 除草剂施用量

Table 2 Herbicide application rate

| 处理编号<br>Treatment number | 施用量及施用除草剂<br>Herbicide application & name |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| T <sub>1</sub>           | 2g 不落 2 g Bu Luo                          |
| T <sub>2</sub>           | 4g 不落 4 g Bu Luo                          |
| T <sub>3</sub>           | 2.5 mL 谷锄 2.5 mL Gu Chu                   |
| T <sub>4</sub>           | 5 mL 谷锄 5 mL Gu Chu                       |
| T <sub>5</sub>           | 4 mL 锄宜农 4 mL Chu Yi Nong                 |
| T <sub>6</sub>           | 8 mL 锄宜农 8 mL Chu Yi Nong                 |
| T <sub>7</sub>           | 4 mL 2,4-DB                               |
| T <sub>8</sub>           | 8 mL 2,4-DB                               |
| CK                       | 清水对照 Clear Water Control                  |

## 1.4 试验方法

于燕麦拔节期(施用除草剂前)使用目测法对 9 个处理小区的杂类草种类及株数进行分类调查统计。于燕麦乳熟期采用随机取样法, 在各个处理小区内随机选取 1 m<sup>2</sup>(1 m×1 m)进行刈割(每个小区取 3 组重复)。将杂类草和燕麦分离, 并将杂类草分类, 使用目测法, 直接计数杂类草株数, 并测定其生物量, 计算株数防效、鲜重防效; 将燕麦取样称完鲜重后, 自然风干称其干重。

株数防效 =

$$\frac{\text{对照区杂草株数} - \text{处理区杂草株数}}{\text{对照区杂草株数}} \times 100\%$$

鲜重防效 =

$$\frac{\text{对照区杂草鲜重} - \text{处理区杂草鲜重}}{\text{对照区杂草鲜重}} \times 100\%$$

## 1.5 数据处理

试验数据利用 Excel 进行数据录入, 采用 IBM SPSS Statistics 27.0 统计软件进行方差分析, 结合 Duncan 多重比较法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 燕麦田杂类草调查

在燕麦拔节期(施用除草剂前), 对 9 个处理小区的杂类草株数进行调查统计并取平均值。经调查后发现, 试验地区的杂类草主要有藜、反枝苋、大籽蒿、牻牛儿苗等阔叶杂类草以及虎尾草、狗尾草、稗等禾本科杂类草(表 3)。(杂类草科属根据 APG IV 系统分类)平均各小区内杂类草株数可达 256.44 株。其中阔叶杂类草中藜的占比最高, 为 21.88%; 其次为大籽蒿(以下简称“蒿”), 占比 13.00%; 禾本科杂类草所占比例共为 56.55%。反枝苋、牻牛儿苗数量少且所占比例较小, 因此本试验主要研究苯氧酸类(2,4-D 衍生物)除草剂对燕麦田中藜、蒿以及禾本科杂类草的防除效果。

### 2.2 不同处理组对燕麦田杂类草的防除效果

在燕麦进入乳熟期后, 开展各处理对杂类草防除效果的统计。表 4 为各处理小区内 3 组重复(每组重复为 1 m<sup>2</sup>)中杂类草的平均株数(因为除草剂对禾本科杂类草作用不明显, 所以禾本科整体分析), 根据杂类草株数及鲜重, 计算株数防效与鲜重防效。由表 5 可知, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>8</sub> 和 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>7</sub> 各处理中藜的株防效对比差异显著( $P < 0.05$ ), 防除效果 T<sub>5</sub> > T<sub>4</sub> > T<sub>6</sub> ≈ T<sub>8</sub> > T<sub>7</sub> > T<sub>3</sub> > T<sub>2</sub> > T<sub>1</sub>, 其中 T<sub>5</sub> 防除效果最为明显, 约为 85%, T<sub>1</sub> 防除效果最不明显, 为 67.65%; T<sub>4</sub>, T<sub>8</sub> 和其他处理中藜的鲜重防效对比差异显著( $P < 0.05$ ), 防除效果 T<sub>8</sub> > T<sub>4</sub> > T<sub>6</sub> > T<sub>7</sub> > T<sub>5</sub> > T<sub>3</sub> > T<sub>2</sub> > T<sub>1</sub>, T<sub>8</sub> 的防除效果最为明显, 约为 95%。此外, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>8</sub> 对蒿的株防效、鲜重防效最为显著, 为 100% ( $P < 0.05$ ), 其余处理组的株防效

表 3 燕麦田中各杂类草种类、数量及所占比例调查

Table 3 Survey of weed species, quantity, and proportion in oat fields

| 分类<br>Categorization          | 杂类草种名<br>Miscellaneous grass seed name                          | 科属名<br>Genus and family name                 | 习性<br>Habits                           | 杂类草数量/<br>Number of<br>miscellaneous weeds/<br>(plants·plot <sup>-1</sup> ) | 比例<br>Proportion<br>/% |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 阔叶杂类草<br>Broadleaf weeds      | 藜<br><i>Chenopodium album</i> L.                                | 苋科藜属<br>Amaranthaceae<br><i>Chenopodium</i>  | 一年生<br>Annual growth                   | 56.11                                                                       | 21.88                  |
|                               | 反枝苋<br><i>Amaranthus retroflexus</i> L.                         | 苋科苋属<br>Amaranthaceae<br><i>Amaranthus</i>   | 一年生<br>Annual growth                   | 11.22                                                                       | 4.38                   |
|                               | 大籽蒿<br><i>Artemisia sieversiana</i><br>Ehrhart ex Willd.        | 菊科蒿属<br>Asteraceae<br><i>Artemisia</i>       | 一、二年生<br>Annual and biennial<br>plants | 33.33                                                                       | 13.00                  |
|                               | 牻牛儿苗<br><i>Erodium stephanianum</i> Willd.                      | 牻牛儿苗科牻牛儿苗属<br>Geraniaceae.<br><i>Erodium</i> | 一、二年生<br>Annual and biennial<br>plants | 10.78                                                                       | 4.20                   |
|                               | 禾本科杂类草<br>Miscellaneous grasses<br>of the <i>Poaceae</i> family |                                              |                                        |                                                                             |                        |
|                               | 虎尾草<br><i>Chloris virgata</i> Sw.                               | 禾本科虎尾草属<br>Gramineae<br><i>Chloris</i>       | 一年生<br>Annual growth                   | 60.56                                                                       | 23.62                  |
|                               | 狗尾草<br><i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.                    | 禾本科狗尾草属<br>Gramineae<br><i>Setaria</i>       | 一年生<br>Annual growth                   | 50.00                                                                       | 19.50                  |
|                               | 稗<br><i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.               | 禾本科稗属<br>Gramineae<br><i>Echinochloa</i>     | 一年生<br>Annual growth                   | 34.44                                                                       | 13.43                  |
| 总株数<br>Total number of plants |                                                                 |                                              |                                        | 256.44                                                                      |                        |

为  $T_6>T_5>T_7>T_1>T_2$ ,  $T_2$  对蒿的株防效仅约为 55%;其余处理组的鲜重防效为  $T_7>T_6>T_5>T_1>T_2$ 。此外,各处理对禾本科的株防效和鲜重防效均不显著,即无防除效果。综上所述,  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$  各处理对藜和蒿的株数和鲜重均有不同程度的防除效果,且  $T_4, T_8$  处理组对藜和蒿的防除效果较为显著,但各处理对禾本科类杂类草没有防除效果。

2.3 不同处理组对燕麦产量的影响

为探究施用苯氧羧酸类除草剂是否会对燕麦产量造成影响,于燕麦乳熟期在各个处理小区内随

表 4 各处理小区内 3 组重复中藜、蒿、禾本科的平均株数

Table 4 Average number of plants per plot across three replicates of *Chenopodium*, *Artemisia*, and *Poaceae* within each treatment block

| 处理<br>Treatment | 藜 Pigweed | 蒿 Black carraway | 禾本科 Poaceae |
|-----------------|-----------|------------------|-------------|
| $T_1$           | 11.00     | 8.00             | 113.00      |
| $T_2$           | 10.67     | 10.67            | 99.67       |
| $T_3$           | 8.00      | 0.00             | 111.33      |
| $T_4$           | 5.33      | 0.00             | 109.00      |
| $T_5$           | 5.00      | 3.00             | 62.33       |
| $T_6$           | 5.67      | 2.67             | 87.00       |
| $T_7$           | 7.67      | 5.33             | 99.33       |
| $T_8$           | 5.67      | 0.00             | 81.67       |
| CK              | 34.00     | 24.00            | 120.00      |

表 5 不同处理组对燕麦田中藜、蒿、禾本科的防除效果

Table 5 Weed control efficacy of different treatment groups on *Amaranthus*, *Artemisia*, and *Gramineae* in oat fields

单位: %

| 处理<br>Treatment | 藜 Pigweed               |                             | 蒿 Black carraway         |                             | 禾本科 Poaceae              |                             |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
|                 | 株防效<br>Plant effect     | 鲜重防效<br>Fresh weight effect | 株防效<br>Plant effect      | 鲜重防效<br>Fresh weight effect | 株防效<br>Plant effect      | 鲜重防效<br>Fresh weight effect |
| $T_1$           | 67.65±2.94 <sup>c</sup> | 81.72±1.35 <sup>d</sup>     | 66.67±4.17 <sup>d</sup>  | 77.35±1.63 <sup>c</sup>     | 5.84±5.2 <sup>a</sup>    | -5.92±14.32 <sup>a</sup>    |
| $T_2$           | 68.63±3.39 <sup>c</sup> | 84.00±2.00 <sup>c</sup>     | 55.55±4.81 <sup>c</sup>  | 77.10±2.87 <sup>c</sup>     | 16.95±16.08 <sup>a</sup> | 12.12±25.75 <sup>a</sup>    |
| $T_3$           | 76.47±2.94 <sup>b</sup> | 89.53±0.75 <sup>b</sup>     | 100.00±0.00 <sup>a</sup> | 100.00±0.00 <sup>a</sup>    | 22.92±15.91 <sup>a</sup> | 3.72±26.02 <sup>a</sup>     |
| $T_4$           | 84.31±1.70 <sup>a</sup> | 93.78±0.30 <sup>a</sup>     | 100.00±0.00 <sup>a</sup> | 100.00±0.00 <sup>a</sup>    | 9.17±9.83 <sup>a</sup>   | 11.43±24.18 <sup>a</sup>    |
| $T_5$           | 85.29±0.00 <sup>a</sup> | 89.67±0.17 <sup>b</sup>     | 87.50±0.00 <sup>b</sup>  | 91.96±0.14 <sup>b</sup>     | 48.06±15.31 <sup>a</sup> | 36.78±54.87 <sup>a</sup>    |
| $T_6$           | 83.33±1.70 <sup>a</sup> | 90.96±0.77 <sup>b</sup>     | 88.89±2.41 <sup>b</sup>  | 92.45±0.72 <sup>b</sup>     | 27.50±20.21 <sup>a</sup> | 23.28±26.34 <sup>a</sup>    |
| $T_7$           | 77.45±1.70 <sup>b</sup> | 90.71±0.61 <sup>b</sup>     | 77.78±2.41 <sup>c</sup>  | 93.95±0.29 <sup>b</sup>     | 17.22±11.37 <sup>a</sup> | 18.73±13.52 <sup>a</sup>    |
| $T_8$           | 83.33±1.70 <sup>a</sup> | 95.06±0.56 <sup>a</sup>     | 100.00±0.00 <sup>a</sup> | 100.00±0.00 <sup>a</sup>    | 31.94±16.13 <sup>a</sup> | 36.09±16.19 <sup>a</sup>    |

注: 同列不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。下同  
Note: Different letters indicate significant difference at the 0.05 level. The same as below

机取3组1 m<sup>2</sup>(1 m×1 m)的燕麦进行刈割,测定其鲜重和干重。由图1所示,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>6</sub>,T<sub>7</sub>,T<sub>8</sub>处理组和CK(对照)对燕麦鲜重的影响相比差异显著( $P<0.05$ ),其中T<sub>3</sub>处理组的燕麦鲜重最大,约为13.3 kg;根据图2可知,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub>,T<sub>6</sub>,T<sub>7</sub>,T<sub>8</sub>处理组对燕麦干重的影响较CK(对照)更为显著( $P<0.05$ ),T<sub>3</sub>处理组的燕麦干重最大,为8.53 kg。综上所述,施用除草剂后,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>6</sub>,T<sub>7</sub>,T<sub>8</sub>对燕麦有一定的增产作用( $P<0.05$ )。

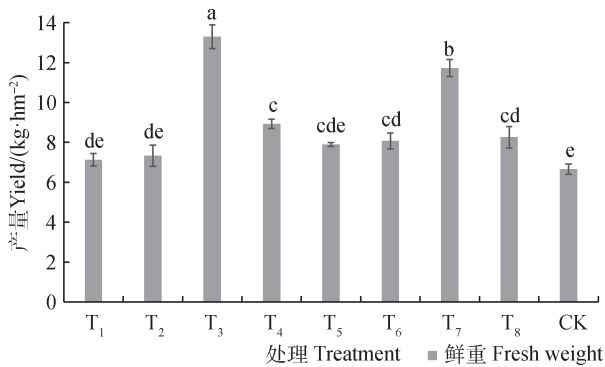


图1 不同处理组对燕麦鲜重的影响

Fig. 1 Effect of different treatment groups on oat fresh weight  
注:同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同

Note: Different letters indicate significant difference at the 0.05 level, the same as below

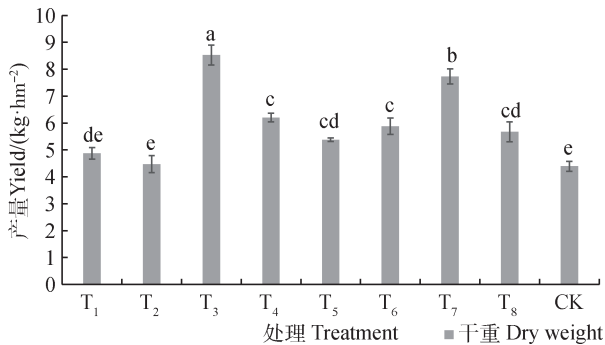


图2 不同处理组对燕麦干重的影响

Fig. 2 Effect of different treatment groups on oat dry weight

### 3 讨论

2,4-D钠盐为选择性内吸传导激素型化学制剂,低浓度时具有植物生长素的功能,可促进作物生长、果实膨大,产生无籽果实;高浓度时会抑制作物生长;但浓度过高则可能导致作物畸形发育致死,因此可作为除草剂来使用。吴迅<sup>[18]</sup>发现可以利用2,4-D钠盐杀灭假俭草坪的阔叶杂类草,但其对禾本科、莎草科(Cyperaceae)杂类草并无影响,这与本试验的研究结果一致。除草剂谷锄中的成分2,

4-D二甲胺盐属苯氧羧酸类激素型选择性除草剂<sup>[19]</sup>,对小麦田一年生阔叶杂类草有良好的防除效果<sup>[20]</sup>。2023年巴西推出了一款名为Exemplo LV的除草剂,该除草剂结合了2,4-D二甲胺盐和二乙醇胺盐,提高了农药混配制剂的稳定性,是当前2,4-D市场上最先进的产品<sup>[21]</sup>;靳芙蓉<sup>[22]</sup>施用不同浓度剂量的2,4-D二甲胺盐水剂,结果表明高浓度的2,4-D二甲胺盐水剂对春小麦田间的阔叶杂类草有良好的防除效果,且对春小麦生长安全。这与本文研究结果一致。除草剂锄宜农中的成分2,4-D丁酸钠盐也属苯氧羧酸类激素型选择性除草剂,目前主要用于防除一年生阔叶杂类草及莎草科杂类草<sup>[23]</sup>。孔祥男等人<sup>[24]</sup>经试验发现施用30%2,4-D丁酸钠盐AS 900.0 g·hm<sup>-2</sup>能高效、快速防除阔叶杂类草。这与本试验中施用2,4-D丁酸钠盐对藜的株防效最为突出的结论一致。除草剂2,4-DB中的成分2,4-D异辛酯具有挥发性低、沸点高、不易飘移、相对安全等优点<sup>[25]</sup>,是防除阔叶杂类草的主要除草剂之一,常用于玉米、小麦、大豆(*Glycine max* (L.) Merr.)等作物田中,或施用于草坪、铁路中进行除草。其作用机理是通过杂类草茎、叶和根系吸收,使分生组织受抑制,停止长度生长,产生次生膨胀而导致根与茎肿胀,进而韧皮部堵塞,最终木质部破坏,植株死亡<sup>[26]</sup>,本试验中施用8 mL 2,4-D异辛酯的处理组对藜的鲜重防效最为明显,约为95%,且对蒿的株防效、鲜重防效均为100%。这与朱春杰<sup>[27]</sup>经田间试验发现90%2,4-D异辛酯乳油可有效防除阔叶杂类草这一结果一致。T<sub>1</sub>~T<sub>8</sub>八组处理均对藜和蒿的株数和鲜重有不同程度的防除效果,但对禾本科杂类草均没有防除效果。毕洪涛等人<sup>[28]</sup>发现对燕麦田进行合理密植会抑制燕麦田中杂类草的生长,高种植密度的区域内杂类草量较少,而低种植密度的区域内杂类草量较多,若在合理密植的前提下应用谷子秸秆粉对燕麦田进行苗后处理,可以起到对禾本科杂类草的防除效果,这对本试验中除草剂对禾本科杂类草无防除作用提供了一条新思路,后续可利用此方法应用于燕麦田中,观察对禾本科杂类草的防除效果,为选择适宜燕麦田的除草剂提供理论基础。

迄今为止,我国农业农村部尚未有登记在燕麦上的除草剂<sup>[29]</sup>,对于燕麦除草剂的施用,大多参照可应用于小麦田的除草剂,但燕麦与小麦和其他麦类作物对除草剂的敏感性存在差异<sup>[30]</sup>。本试验中

选择不同苯氧羧酸类(2,4-D衍生物)除草剂作用于燕麦田中,后续也可在燕麦田中单独或混合施用除草剂。如乙草胺、扑草净和2,4-D异辛酯的复配制剂能有效扩大对玉米田杂类草的防除作用<sup>[31]</sup>,可将其施用于燕麦田中,观察防除效果。除此之外,宋维敏等人<sup>[32]</sup>发现在燕麦3叶1心至5叶期施用48%排草丹AS 3000 mL·hm<sup>-2</sup>+72%2,4-D丁酯EC 150 mL·hm<sup>-2</sup>和2甲·氯氟吡EC 1125 mL·hm<sup>-2</sup>+72%2,4-D丁酯EC 150 mL·hm<sup>-2</sup>,杂类草防效可达90%以上,可有效控制燕麦田中的猪殃殃(*Galium spurium* L.)、藜等优势杂类草,且除草后燕麦产量显著增加。但是2,4-D丁酯在我国已经禁用<sup>[33]</sup>,后续试验中可探索燕麦田中2,4-D丁酸对2,4-D丁酯替代的可行性。

除草剂的突出特点是通用性差、选择性强,这就导致通常情况下,每种除草剂只能灭除特定作物的某种特定杂类草<sup>[34]</sup>。在本试验中,所施用的除草剂对藜与蒿有防除效果,但对禾本科类杂类草均无防除作用。此外,利用除草剂对作物进行茎叶喷雾处理时,虽能根据田地里杂类草种类精准选择除草剂来有效控制特定种类的杂类草,但容易产生药害;若除草剂浓度把控不当或喷药方式操作有误,就可能会对作物产生危害<sup>[35]</sup>。例如,当风力大于4 m·s<sup>-1</sup>或气温低于13℃或高于25℃时施用除草剂,可能会影响药效发挥,进而影响作物产量<sup>[36]</sup>。从作业效率来看,使用3吨打药车时,每天可完成53.33 hm<sup>2</sup>的除草工作;若周边没有怕漂移的作物时,采用无人机飞喷的方式则可以每日完成106.67 hm<sup>2</sup>的除草工作。由此可见,探索安全高效的除草剂对燕麦大规模生产中提升产量,降低成本具有十分现实的指导意义。

## 4 结论

在燕麦拔节期施用2.5 mL谷锄、5 mL谷锄,即施用2.5 mL与5 mL 2,4-D二甲胺盐对藜的平均株数防效为80.39%,平均鲜重防效为91.66%;对蒿的平均株数防效为100%,平均鲜重防效为100%;中草16号燕麦的鲜重增产幅度平均达66.89%,干重增产幅度平均达50.08%。施用4 mL 2,4-DB,8 mL 2,4-DB,即施用4 mL与8 mL 2,4-D异辛酯对藜的平均株数防效为80.39%,平均鲜重防效为92.89%;对蒿的平均株数防效为88.89%,平均鲜重

防效为96.98%;对‘中草16号’燕麦的鲜重增产幅度平均达67.77%,干重增产幅度平均达52.62%。

综上所述,2.5 mL与5 mL 2,4-D二甲胺盐、4 mL与8 mL 2,4-D异辛酯均适宜用于燕麦田中藜、蒿的杂类草防除,且施用除草剂后能减少杂类草对燕麦的竞争从而显著增加燕麦产量。

## 参考文献

- [1] 张知,邹臻阳,梁秀芝,等. 102份燕麦种质资源遗传多样性及农艺性状综合评价[J]. 麦类作物学报,2025,45(6):847-856  
ZHANG Z, ZOU C Y, LIANG X Z, et al. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of 102 oat germplasm resources based on main agronomic traits[J]. Journal of Triticeae Crops, 2025, 45(6): 847-856
- [2] 梁国玲,秦燕,魏小星,等. 青藏高原高寒区I-D燕麦品系饲草生产性能及品质评价[J]. 草地学报,2018,26(4):917-927  
LIANG G L, QIN Y, WEI X X, et al. Evaluation on productivity and quality of oat strain I-D in the Alpine regions of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(4): 917-927
- [3] 王星茗. 大豆田反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)对氟磺胺草醚的抗药性研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019:2  
WANG X M. Study on resistance mechanism of *Amaranthus retroflexus* L to fomesafen of soybean field[D]. Harbin: North-east Agricultural University, 2019: 2
- [4] 黎蓉. 燕麦种子及幼苗浸提液对杂草的化感作用研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020:7  
LI R. Study on allelopathic effects of oat seeds and seedling extracts on weeds[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020: 7
- [5] 柴继宽,慕平,赵桂琴,等. 青海省不同地区燕麦田杂草组成及群落特征[J]. 草地学报,2018,26(2):306-311  
CHAI J K, MU P, ZHAO G Q, et al. Species composition and characterization of weed communities in oat fields in different regions of Qinghai Province[J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(2): 306-311
- [6] 李浩恺,张华. 2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)生产工艺综述[J]. 山东化工,2025,54(4):131-134,138  
LI H Q, ZHANG H. Overview of production process of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)[J]. Shandong Chemical Industry, 2025, 54(4): 131-134, 138
- [7] 禾子. 2,4-滴类除草剂升温[J]. 农村科技开发,2002(9):39  
HE Z. 2,4-drip herbicides heated up[J]. Rural Science and Technology Development, 2002(9): 39
- [8] 孙苏钰. 利用基因编辑技术创制抗茎腐病玉米和抗2,4-DB除草剂拟南芥[D]. 济南:山东师范大学,2022:60-61  
SUN S Y. Creation of maize resistant to stem rot and Arabidopsis thaliana resistant to 2,4-DB herbicide by gene editing technology[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2022: 60-61
- [9] 王军. 飞机喷洒农药的损失分析[J]. 环境科学学报,1995,15(3):322-329

- WANG J. Analysis on pesticide losses in aerial spray[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1995, 15(3): 322-329
- [10] 秦虎强. 凤翔塬区麦田使用 2,4-D 丁酯药害原因分析[J]. *陕西农业科学*, 1992, 38(5): 29-30
- QIN H Q. Analysis on the causes of phytotoxicity caused by using 2,4-D butyl ester in wheat fields in Fengxiang Plateau[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 1992, 38(5): 29-30
- [11] 郭晓慧. 苗后施用 2,4-D 丁酯对玉米药害的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013: 17-21
- GUO X H. The study on phytotoxicity of postemergence application of 2,4-D butylate against maize [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013: 17-21
- [12] 孙国强, 崔俊凤. 正确使用 2,4-D 丁酯除草 防止药害事故发生[J]. *北京农业*, 2008(13): 48
- SUN G Q, CUI J F. Correct use of 2,4-D butyl ester for weeding to prevent phytotoxicity accidents[J]. *Beijing Agriculture*, 2008(13): 48
- [13] 张华, 李浩楷. 除草剂 2,4-滴异辛酯的工艺改进[J]. *山东化工*, 2025, 54(9): 77-81
- ZHANG H, LI H Q. Process improvement of herbicide 2,4-D isooctyl ester[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2025, 54(9): 77-81
- [14] 杨峰山, 孙丛, 鲍霞霞, 等. 5 类化学除草剂在作物中残留分析的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(10): 136-141
- YANG F S, SUN C, BAO X X, et al. Residue analysis of five chemical herbicides in crops: research progress [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(10): 136-141
- [15] 王媛媛, 梁晶, 王玲玲, 等. 液液萃取-衍生化/气相色谱-质谱法测定水中 6 种苯氧羧酸类除草剂[J]. *中国农学通报*, 2025, 41(11): 159-164
- WANG Y Y, LIANG J, WANG L L, et al. Determination of six types of phenoxy acid herbicides in water by gas chromatography-mass spectrometry with liquid-liquid extraction and derivatization[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2025, 41(11): 159-164
- [16] 陈运其. 春季麦田除草五要点[J]. *农村新技术*, 2015(2): 11
- CHEN Y Q. Five main points of weeding in spring wheat field[J]. 2015(2): 11
- [17] 中国农业科学院草原研究所. DB15/T 3526-202‘中草 16 号’燕麦种子生产技术规程[S]. 呼和浩特: 内蒙古自治区市场监督管理局, 2024: 1-3
- Institute of Grassland Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences. DB15/T 3526-202 Technical specifications for production of ‘Chinese Oat No. 16’ Seeds [S]. Inner Mongolia Autonomous Region: Inner Mongolia Autonomous Region Market Supervision Administration, 2024: 1-3
- [18] 吴迅. 90% 2,4-D 钠盐原粉防除假俭草坪杂草试验[J]. *湖南农业科学*, 2001(2): 40, 48
- WU X. 2,4-D sodium salt power's (90%) control on the weeds in sod grasses [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2001(2): 40, 48
- [19] 牛树君, 王玉灵, 赵峰, 等. 氨基吡啶酸、二氯吡啶酸和 2,4-滴二甲胺盐在天然草原土壤和牧草中的消解动态[J]. *植物保护*, 2025, 51(2): 141-146
- NIU S J, WANG Y L, ZHAO F, et al. Degradation dynamics of picloram, clopyralid and 2,4-D dimethylammonium in pasture and soil of natural grassland[J]. *Plant Protection*, 2025, 51(2): 141-146
- [20] 余思策, 洪湖. 96% 2,4-滴二甲胺盐可溶粒剂的配方研制[J]. *世界农药*, 2024, 46(5): 14-17, 24
- YU S C, HONG H. Preparation of 2,4-D-dimethylammonium 96% SG[J]. *World Pesticide*, 2024, 46(5): 14-17, 24
- [21] 佚名. Albaugh 在巴西推出除草剂 Exemplo (2,4-滴二甲胺盐+乙二醇胺盐)[J]. *农药*, 2023, 62(5): 321
- Anonymous. Albaugh introduced the herbicide Exemplo (2,4-drip dimethylamine salt+diethanolamine salt) in Brazil [J]. *Agrochemicals*, 2023, 62(5): 321
- [22] 靳芙蓉. 720 g/L 2,4-滴二甲胺盐水剂防除春小麦田间阔叶杂草药效试验[J]. *农业科技通讯*, 2018(6): 124-127
- JIN F R. Efficacy test of 720 g/L 2,4- dimethylamine salt solution for controlling broad-leaved weeds in spring wheat field[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2018(6): 124-127
- [23] 王佳星. 抗 2,4-滴丁酸钠盐除草剂花生种质资源筛选[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020: 6
- WANG J X. Screening of peanut germplasm resources resistant to 2,4 drops of sodium butyrate herbicide [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020: 6
- [24] 孔祥男, 张一, 丁伟. 3 种除草剂对水稻旱直播阔叶杂草防效及安全性研究[J]. *植物保护*, 2021, 47(5): 302-309
- KONG X N, ZHANG Y, DING W. Control effect and safety evaluation of three herbicides on broadleaf weed in direct-sowing dry paddy fields [J]. *Plant Protection*, 2021, 47(5): 302-309
- [25] 李静茹, 于彩虹, 张楠, 等. 2,4-滴异辛酯除草剂风险评估研究进展[J]. *农药*, 2022, 61(3): 163-167, 171
- LI J R, YU C H, ZHANG N, et al. Research progress in risk assessment of 2,4-D-etexyl[J]. *Agrochemicals*, 2022, 61(3): 163-167, 171
- [26] 欧贵鹏. 2,4-滴异辛酯对映体的除草活性及在两种植物(玉米和播娘蒿)上的代谢行为研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2024: 7
- OU G P. Study on herbicidal activity of 2,4- diisooctyl ester enantiomer and its metabolic behavior on two plants (maize and *Descurainia sophia*) [D]. Guiyang: Guizhou University, 2024: 7
- [27] 朱春杰. 90% 2,4-滴异辛酯乳油防除玉米田、大豆田阔叶类杂草效果评价[J]. *辽宁农业科学*, 2013(5): 71-73
- ZHU C J. Evaluation on the control effect of 90% 2,4- diisooctyl ester EC on broad-leaved weeds in corn field and soybean field [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2013(5): 71-73
- [28] 毕洪涛, 李广, 金哲宇, 等. 燕麦害草除草剂筛选[C]//植物健康与病虫害防控, 2020: 164-168
- BI H T, LI G, JIN Z Y, et al. Screening of herbicides for oat grass weeds [C]//Plant Health and Pest Control, 2020: 164-168

- [29] 胡战朝,赵桂琴,刘欢,等. 4种除草剂对皮燕麦、裸燕麦不同生育时期光合特性的影响[J]. 草原与草坪,2012,32(4):44-49,55  
HU Z C, ZHAO G Q, LIU H, et al. Effect of four herbicides on photosynthesis characteristics of covered and naked oats at different growth stages[J]. Grassland and Turf, 2012, 32(4): 44-49, 55
- [30] 王丽玮,段婧,东保柱,等. 2甲·溴苯腈和苯磺隆混用对燕麦田阔叶杂草的防效[J]. 杂草学报,2021,39(3):74-82  
WANG L W, DUAN J, DONG B Z, et al. Efficacy of MCPA·bromoxynil combined with tribenuron-methyl on broadleaved weeds in *Avena sativa* L. Fields[J]. Weed Science, 2021, 39(3): 74-82
- [31] 刘峰,李雪茹,董见南,等. 乙草胺、扑草净、2,4-滴异辛酯在春玉米中的残留及膳食风险评估[J]. 农药科学与管理,2024,45(3):34-42  
LIU F, LI X R, DONG J N, et al. Residues and dietary risk assessment of acetochlor prometryn and 2, 4-D-ethylhexyl in spring maize[J]. Pesticide Science and Administration, 2024, 45(3): 34-42
- [32] 宋维敏,郭良芝,翁华,等. 燕麦田除草剂的试验筛选及安全性评价[J]. 青海农林科技,2021(1):3-7  
SONG W M, GUO L Z, WENG H, et al. Screening and safety evaluation of herbicides in oat field[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2021(1): 3-7
- [33] 周欣欣,孙晓维,嵇莉莉,等. 我国禁止和限制使用农药品种清单[J]. 农药科学与管理,2025,46(5):1-5  
ZHOU X X, SUN X W, JI L L, et al. Prohibition and restriction of pesticide varieties in China[J]. Pesticide Science and Administration, 2025, 46(5): 1-5
- [34] 杨宏伟. 豫南地区小麦化学除草存在的主要问题及科学施用技术[J]. 河南农业,2024(15):43-44  
YANG H W. Main problems and scientific application techniques of chemical weeding of wheat in southern Henan Province[J]. Agriculture of Henan, 2024(15): 43-44
- [35] 葛福柱,李品,时晶晶. 菏泽市花生田除草剂的选择与施用[J]. 杂草学报,2025,43(1):1-10  
GE F Z, LI P, SHI J J. Selection and application of herbicides in peanut fields of Heze City[J]. Weed Science, 2025, 43(1): 1-10
- [36] 张志华. 化学除草剂使用基础知识和施用方法[J]. 农业工程技术,2020,40(8):92-93  
ZHANG Z H. Basic knowledge and application methods of chemical herbicides[J]. Agricultural Engineering Technology, 2020, 40(8): 92-93

(责任编辑 刘婷婷)