新疆荒漠绿洲小麦田播娘蒿发生规律及其对小麦产量的影响

林 敏[1,2]， 沈煜洋[2]， 邓菲菲[2]， 孙婧婧[2]， 陈江华[2]， 李 进[2]，
李广阔[2]， 刘 琦[1*]， 高海峰[2*]

（1. 新疆农业大学农学院，农林有害生物监测与安全防控重点实验室，乌鲁木齐 830052；2. 新疆维吾尔自治区农业科学院，农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室，新疆农业生物安全重点实验室，乌鲁木齐 830091）

摘要 为明确播娘蒿 *Descurainia sophia* 种群发生规律及密度梯度对小麦生理特征和产量构成因子的影响，为建立科学的杂草防治指标体系提供理论支撑，本文研究了播娘蒿在 0、10、20、30、40、50 株/m² 密度梯度处理下对小麦生理生态特征与产量构成因子的影响，采用多种模型拟合分析，筛选不同密度播娘蒿与小麦产量损失率的最优模型，并计算经济阈值。观测数据显示，11 月上旬和 4 月上中旬分别为播娘蒿种群冬季和春季出苗高峰；4 月下旬，播娘蒿鲜重与株高优势完成逆转；5 月上中旬为竞争关键期，种间生物量差异达到极值，单株播娘蒿平均鲜重达小麦的 3.32 倍。随着播娘蒿密度增加，小麦穗密度和产量均显著下降，播娘蒿密度 50 株/m² 时，穗密度较空白对照降低 51.78%，产量损失率达 52.99%。小麦株高、有效穗数、穗粒数及千粒重及产量等参数均与播娘蒿密度呈极显著负相关。明确 S 函数模型 $y=e^{(4.199\,9-11.804\,7/x)}$ 能较好地拟合播娘蒿密度与小麦产量损失率间的关系，当播娘蒿密度为 2.66 株/m² 时，达到无人机防除播娘蒿经济阈值。播娘蒿对小麦的抑制效应与其密度呈正相关，当播娘蒿密度达到经济阈值时需进行有效防治。

关键词 播娘蒿； 小麦； 发生动态； 产量损失率； 经济阈值

中图分类号： S 451 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2025053

Occurrence pattern of *Descurainia sophia* in wheat fields of desert oases in Xinjiang and its influence on wheat yield

LIN Min[1,2]， SHEN Yuyang[2]， DENG Feifei[2]， SUN Jingjing[2]， CHEN Jianghua[2]， LI Jin[2]，
LI Guangkuo[2]， LIU QI[1*]， GAO Haifeng[2*]

（1. *College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi* 830052, *China*; 2. *Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crop in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Biosafety, Urumqi* 830091, *China*）

Abstract Occurrence patterns of the *Descurainia sophia* population and the influence of its density gradient on the physiological and ecological characteristics of wheat, as well as yield components, were explored to provide theoretical support for establishment of scientific prevention and control index systems. Effects of *D. sophia* at density gradients of 0, 10, 20, 30, 40, and 50 plants/m² on the physiological and ecological characteristics and yield components of wheat were investigated in this study. Optimal models for *D. sophia* with different densities and wheat yield loss rate were selected, and the economic threshold was calculated through the use of multiple models for fitting analysis. The results indicated that the peak periods for the emergence of *D. sophia* seedlings in winter and spring occurred in early November and early-to-mid April, respectively. In late April, a reversal was observed in the superiority of *D. sophia* in terms of fresh weight and plant height. During the critical period of

收稿日期： 2025-02-01 **修订日期**： 2025-05-08
基金项目： “天山英才”培养计划-青年科技拔尖人才项目(2022TSYCCX0081)；新疆小麦产业技术体系(XJARS-01)；新疆维吾尔自治区重大科技专项(2023A02009)；现代农业产业技术体系(CARS-03-88)；农业科技创新稳定支持项目(xjnkywdzc-2023004-1)
* 通信作者 E-mail：刘琦 liuqi@xjau.edu.cn；高海峰 ghf20044666@163.com

competition in early-to-mid May, the differences in biomass between the two species reached the maximum. The average fresh weight per *D. sophia* plant was recorded as 3.32 times as that of wheat. With an increase in the density of *D. sophia*, both the wheat spike density and yield are significantly reduced. When a density of 50 *D. sophia* plants per square meter was reached, a reduction of 51.78% in wheat spike density compared to the control treatment was observed, and a yield loss rate of 52.99% was recorded. Extremely significant negative correlations were observed between the density of *D. sophia* and parameters including plant height, number of effective spikes, number of grains per spikes, 1 000-grain weight, as well as yield. It is clear that the relationship between the density of *D. sophia* and the rate of wheat yield loss can be well fitted by the sigmoid function model $y=e^{(4.1999-11.8047/x)}$. The economic threshold for drone-assisted control of *D. sophia* was determined to be 2.66 plants per square meter. A positive correlation was observed between the inhibitory effect of *D. sophia* on wheat and its density. Effective control measures should be initiated when the *D. sophia* density reached the economic threshold.

Key words　*Descurainia sophia*;　wheat;　accurrence dynamics;　yield loss rate;　economic threshold

小麦是新疆的主要粮食作物之一,近年播种面积在 110 万 hm^2 左右,占新疆粮食总面积 48%。麦田杂草播娘蒿 *Descurainia sophia* 是十字花科 Brassicaceae 播娘蒿属 *Descurainia* 的一年生阔叶杂草,具有抗酸、耐寒和耐盐碱的特性,适应性极强[1-2],其生长迅速,植株高大,不仅与小麦争夺光源、水分、养分和空间,从而降低了作物的产量和质量,还成为各种病虫害的中间宿主,严重阻碍了小麦的生产[3-4]。研究播娘蒿在小麦田中的发生动态及其对小麦产量的影响,并评估其经济危害允许水平和经济阈值,对于科学和经济防除播娘蒿至关重要。前人通过对不同地区麦田杂草的研究表明,播娘蒿是我国多地域麦田优势杂草,在河南[5]、山东[3,6]、河北[7]、新疆南疆[8-10]等小麦主产区危害显著。播娘蒿出苗规律呈现地域差异,山东济南冬前出苗占比达 96.7%,主要在小麦播后 1 周至 11 月中旬[5],而河南地区则从每年秋季即开始萌发,大部分幼苗来自次年早春[11]。不同区域播娘蒿对小麦产量影响机制表现不同,冯殿英等[12]的研究发现,杂草密度与小麦千粒重之间呈负相关,但与穗粒数相关性不高,房峰等[3]的研究发现,播娘蒿主要通过减少有效穗数和穗粒数来影响小麦产量,对千粒重的影响则不显著。前人在不同地区研究小麦产量与播娘蒿生物性状之间的关系,冯殿英在山东菏泽[12],孙广勤在山东聊城[13],张全力在河北[14],分别得到了不同的相关关系模型。新疆麦田播娘蒿危害严重,无人机防治具精准高效、节本减药、适应复杂地形等优势,但关于播娘蒿在新疆田间发生动态、经济阈值及对小麦生理与产量的影响尚不明确。新疆独特的气候特征与地理环境决定了当地冬麦田杂草危害程度与返青期杂草出苗动态密切相关。本文旨在探讨荒漠绿洲麦区中播娘蒿春季出苗规律,研究不同密度的播娘蒿对小麦产量构成因素的影响,并构建播娘蒿密度与小麦产量损失率之间的最优回归模型。研究结果可为分析荒漠绿洲麦田播娘蒿的经济危害允许水平和经济阈值提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

小麦品种:'新冬 60 号',由新疆维吾尔自治区农业科学院作物研究所提供。

杂草种子:于 2023 年 6 月采集于新疆维吾尔自治区喀什地区泽普县小麦田,田间播娘蒿大量发生,随机采集种子并混匀,自然晾干后挑选饱满均匀的种子混合装于信封,储藏于通风干燥,温度(25±2)℃的室内备用。

1.2　试验条件

试验地位于新疆维吾尔自治区喀什地区泽普县脱绒厂(77°16′E,38°10′N)。试验田土质为砂壤土,肥力均匀,前茬为夏大豆,小麦播种量为 270 kg/hm^2,于 2023 年 10 月 15 日进行机械化条播。土壤理化性质分别为有机质 1.487 g/kg、全氮 0.635 g/kg、碱解氮 37.30 mg/kg、速效磷 18.20 mg/kg、速效钾 104.00 mg/kg。天气信息通过中央气象台公开数据查询。

1.3　试验设计及调查方法

1.3.1　播娘蒿田间动态调查

试验选择了播娘蒿自然发生严重的冬小麦田,在小麦播种后 20 d 进行第一次调查,此后每 15 d 调查 1 次,直至 12 月 4 日播娘蒿停止生长;在小麦返青时再次开始调查,每 15 d 调查 1 次。随机选取 12 个

样方进行定位，每个样方的面积为 0.25 m^2。其中 6 个样方定期去除播娘蒿植株，6 个样方保留自然生长的播娘蒿，分别统计样方中的播娘蒿植株的数量。

1.3.2 播娘蒿与小麦生物量测定

自然条件下，播娘蒿冬前生物量较小，故在小麦返青后进行播娘蒿与小麦的生物量测定。在试验田中选取 5 个采样点，每个点采集播娘蒿和小麦各 10 株，记录播娘蒿与小麦的株高和鲜重，每 15 d 进行 1 次调查，直至收获。

1.3.3 播娘蒿不同密度对小麦产量的影响试验

将播娘蒿种子与细沙搅拌均匀，在小麦田翻整后于小麦播种前撒播。试验设置 6 个播娘蒿密度处理：分别为 0(CK)、10、20、30、40 株/m^2 和 50 株/m^2(每 7 d 拔除样方内多余的播娘蒿，保持样方内播娘蒿植株数量)。每个处理小区面积为 30 m^2，重复 4 次。在小麦收割前，先测量各处理区的小麦和播娘蒿株高(从植株基部到植株顶端)，收获时随机 3 点取样，每个样方面积 1 m^2，样品分别存放在相应网袋中做好标记，带回室内记录穗数、穗粒数和千粒质量等指标，并测定各处理区小麦产量，计算产量损失率：

产量损失率＝(无草对照区产量－处理区产量)/无草对照区产量×100%。

1.3.4 播娘蒿经济阈值的计算

结合文献与实际情况，本研究设定'新冬 60'小麦产量为 7 500 kg/hm^2，价格为 2.4 元/kg[15]。小麦田人工除草费用约为 1 500 元/hm^2，防除效果约为 85%[16]。使用无人机喷施 24%唑草·苯磺隆可湿性粉剂 28.80 g/hm^2(安徽丰乐农化公司)防除播娘蒿的费用约为 135 元/hm^2，背负式喷雾器喷施 24%唑草·苯磺隆可湿性粉剂 28.80 g/hm^2 防除播娘蒿的费用约为 345 元/hm^2，两者的防治效果均为 95%[17]。计算经济危害允许水平，使用拟合程度最好的模型计算其经济阈值。

1.4 数据处理

数据计算使用 Microsoft Excel 2010，方差分析采用 SPSS 22.0 软件，多重比较使用 Duncan 氏新复极差法，采用 SPSS 22.0 进行皮尔逊分析变量的相关性。

利用线性函数、对数函数、幂函数、S 函数和指数函数等回归模型，分析播娘蒿密度与小麦产量损失率之间的关系。小麦田播娘蒿的经济危害允许水平(economic injury level，EIL)可以通过以下公式计算：EIL＝[C/(Y×P×E)]×100%。式中，C 为杂草控制成本(元/hm^2)，Y 为小麦产量(kg/hm^2)，P 为小麦价格(元/kg)，E 为控制效果(%)[18]。使用最佳拟合模型，计算防治小麦的经济阈值。经济危害水平被视为所选最佳模型的 y 值，随后导出对应的 x 值，代表经济阈值。

2 结果与分析

2.1 自然条件下田间播娘蒿发生动态和小麦生长情况

2.1.1 播娘蒿田间出苗动态

11 月上旬，播娘蒿出苗量达到冬季出苗高峰期，随后不断减弱，12 月中下旬，不再出苗。3 月中下旬气温升高，播娘蒿大量出苗；4 月上中旬，播娘蒿出苗数达到小麦返青期后的峰值 20.50 株/m^2。随着种内竞争及与小麦的生长竞争，部分播娘蒿死亡，使其密度降低至 9.50 株/m^2。

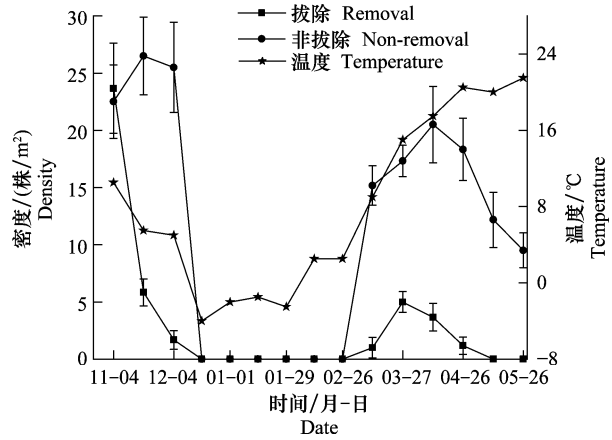


图 1 小麦田播娘蒿的发生动态

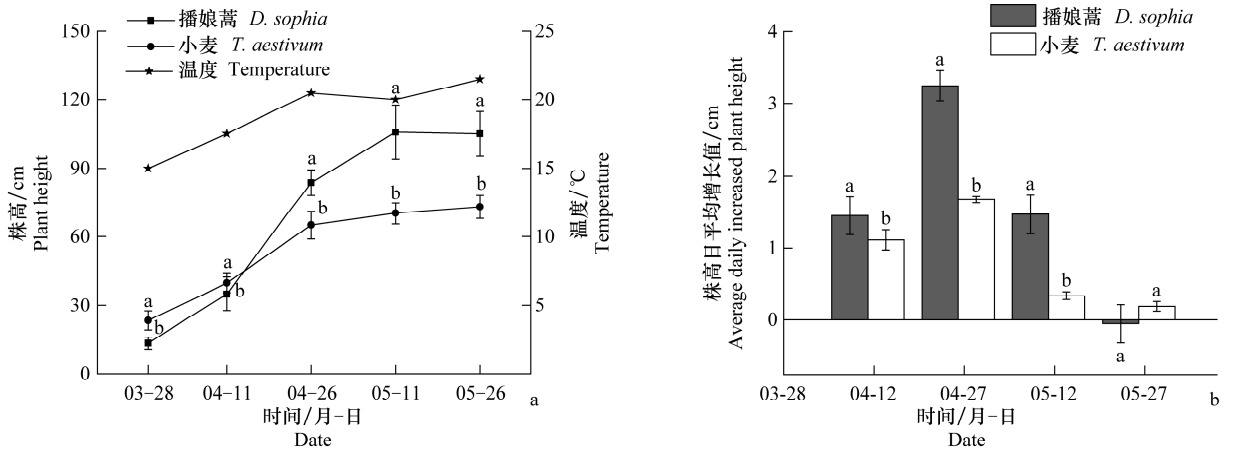
Fig. 1 Occurrence dynamic of *Descurainia sophia* in wheat fields

2.1.2 播娘蒿和小麦的株高变化动态

在生长期间，播娘蒿和小麦的植株高度变化表现出一致的趋势(图 2)。在 3 月中下旬，随着温度的升高，播娘蒿和小麦均开始快速生长，此时它们的株高分别达到了 13.26 cm 和 23.19 cm；4 月下旬，播娘蒿的平均株高达 83.78 cm，超过小麦的 65.01 cm；5 月中旬，小麦与播娘蒿的株高增长同步趋于稳定，播娘蒿因植株形态高大对小麦形成的遮蔽效应在此阶段达到峰值；5 月下旬，试验田的平均温度为 21.20℃，

播娘蒿的平均株高达到 105.02 cm,比同期小麦的平均株高高 31.99 cm(图 2a)。

4 月上旬至 5 月中旬播娘蒿每日平均增长株高显著高于小麦每日平均增长株高,4 月中下旬播娘蒿(3.25 cm)和小麦(1.68 cm)每日平均增长株高在整个生育期中均达到了最大。5 月中旬至收获期播娘蒿与小麦进入生殖生长,株高变化缓慢,播娘蒿与小麦每日平均增长株高差异不显著(图 2b)。



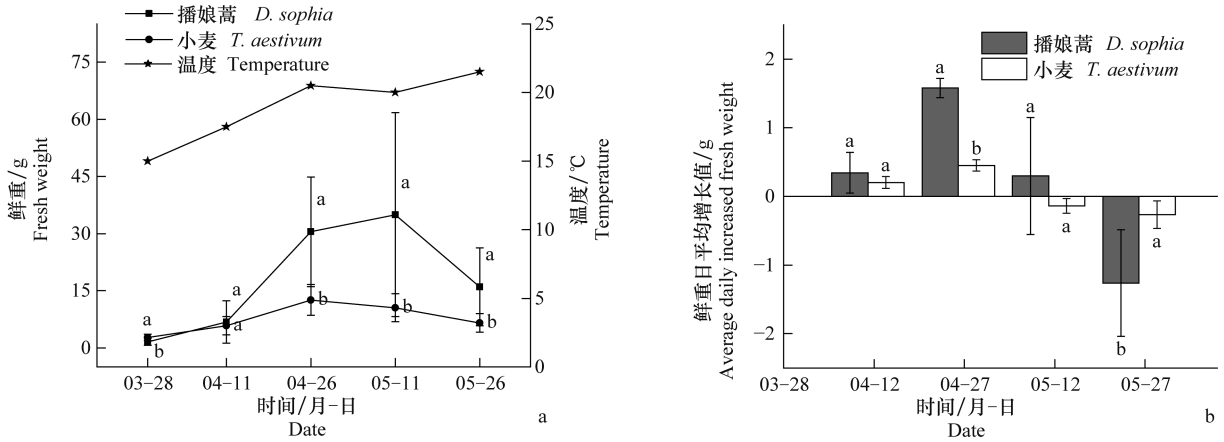
a: 播娘蒿和小麦的株高变化动态; b: 播娘蒿和小麦平均每日增长株高。不同小写字母代表经Duncan's新复极差法检验在0.05水平差异显著, 下同。
a: Dynamics of plant height changes in *D. sophia* and wheat; b: Average daily increased plant height of *D. sophia* and wheat . Different lowercase letters represent significant differences at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same applies below.

图 2　田间自然条件下播娘蒿和小麦株高变化

Fig. 2　Changes in plant height of *Descurainia sophia* and wheat under natural conditions in the field

2.1.3　播娘蒿和小麦的鲜重变化动态

3 月下旬,平均温度达到 15.00℃。3 月下旬至 4 月下旬期间,播娘蒿和小麦的平均鲜重持续上升。4 月中旬,播娘蒿和小麦之间的平均鲜重差从 0.99 g 增加至 24.43 g。5 月上中旬,播娘蒿与小麦平均单株鲜重相差达到最大,相差 2.32 倍。随后播娘蒿和小麦开始从营养生长转向生殖生长,播娘蒿和小麦的鲜重显著减少(图 3a)。



a: 播娘蒿和小麦的鲜重变化动态; b: 播娘蒿和小麦平均每日增长鲜重。
a: Dynamics of fresh weight changes in *D. sophia* and wheat; b: Average daily increased fresh weight of *D. sophia* and wheat.

图 3　田间自然条件下播娘蒿和小麦鲜重变化

Fig. 3　Changes in fresh weight of *Descurainia sophia* and wheat under natural conditions in the field

3 月中下旬至 4 月中旬播娘蒿与小麦每日平均增长鲜重差异不显著。4 月中下旬播娘蒿每日平均增长鲜重(1.58 g)显著高于小麦每日平均增长鲜重(0.08 g),期间两者每日平均增长鲜重在整个生育期中均达到了最快速度。5 月上中旬播娘蒿与小麦进入生殖生长,鲜重变化缓慢,播娘蒿与小麦每日平均增长鲜重差异不显著。5 月中下旬至收获期播娘蒿与小麦进入衰老阶段,播娘蒿大量

成熟枯萎，单株鲜重急剧下降，播娘蒿每日平均减少鲜重(1.26 g)显著高于小麦每日平均减少鲜重(0.27 g)(图 3b)。

2.2 不同密度播娘蒿对小麦产量构成因素的影响

2.2.1 不同密度播娘蒿对小麦株高的影响

小麦株高的变化规律与播娘蒿株密度呈负相关。对照组小麦株高 76.83 cm，显著高于其他密度播娘蒿处理组的小麦株高。10 株/m^2 处理组小麦株高 72.57 cm，显著高于 30、40 株/m^2 和 50 株/m^2 处理组小麦株高，与 20 株/m^2 处理组小麦株高差异不显著。20 株/m^2 处理组小麦株高 70.70 cm，显著高于 40 株/m^2 和 50 株/m^2 处理组小麦株高，但与 30 株/m^2 处理组小麦株高差异不显著。播娘蒿密度为 30 株/m^2、40 株/m^2 和 50 株/m^2 处理组小麦株高分别为 69.90、68.30 cm 和 68.07 cm，差异不显著(图 4)。

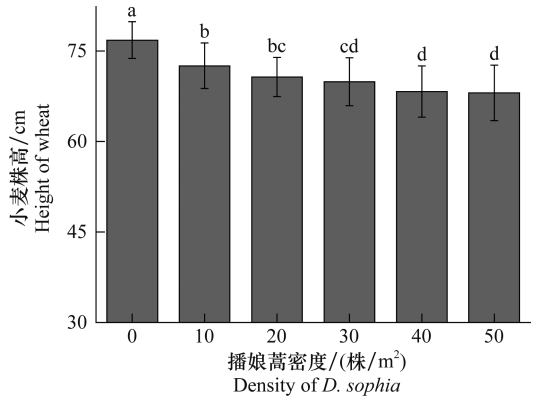


图 4 播娘蒿不同密度对小麦株高的影响

Fig. 4 Effect of different densities of *Descurainia sophia* on plant height of wheat

2.2.2 不同密度播娘蒿对小麦穗密度的影响

小麦穗密度随播娘蒿株密度升高而降低。对照组小麦穗密度 488.0 穗/m^2，显著高于其他密度播娘蒿处理组的小麦穗数。10 株/m^2 处理组小麦穗密度(362.0 穗/m^2)显著高于 20、30、40 株/m^2 和 50 株/m^2 处理组的小麦穗密度。20 株/m^2 处理组小麦穗密度(313.3 穗/m^2)显著高于 40 株/m^2 处理组(246.7 穗/m^2)和 50 株/m^2 处理组(235.3 穗/m^2)处理组的小麦穗密度，但与 30 株/m^2 处理组小麦穗密度处理组(300.7 穗/m^2)差异不显著。小麦收获时，当播娘蒿密度为 50 株/m^2，与对照组相比小麦穗密度减少了 51.78%(图 5)。

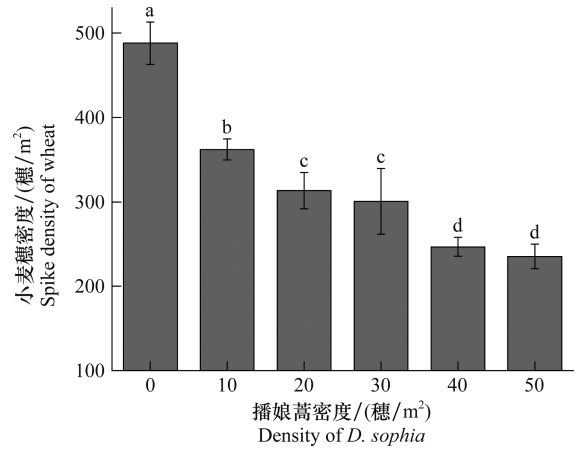


图 5 播娘蒿不同密度对小麦穗密度的影响

Fig. 5 Effect of different densities of *Descurainia sophia* on spike density of wheat

2.2.3 播娘蒿不同密度对小麦穗粒数的影响

小麦穗粒数与播娘蒿株密度呈负相关。对照组小麦穗粒数 53.7 粒/穗，显著高于其他密度播娘蒿处理组。10 株/m^2 处理组小麦穗粒数 47.3 粒/穗，显著高于 30、40 株/m^2 和 50 株/m^2 处理组的小麦穗粒数，但与 20 株/m^2 处理组小麦穗粒数(45.9 粒/穗)差异不显著。30 株/m^2 处理组(40.1 粒/穗)、40 株/m^2 处理组(39.9 粒/穗)和 50 株/m^2 处理组(37.8 粒/穗)三者之间小麦穗粒数无显著差异(图 6)。

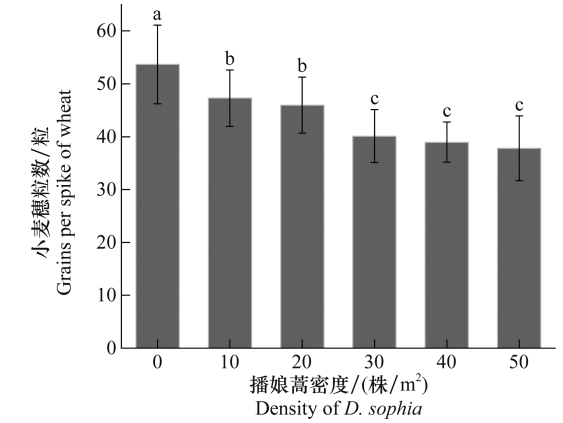


图 6 播娘蒿不同密度对小麦穗粒数的影响

Fig. 6 Effect of different densities of *Descurainia sophia* on grain number per spike of wheat

2.2.4 不同密度播娘蒿对小麦千粒重的影响

小麦千粒重随播娘蒿株密度升高而降低。对照组小麦千粒重 31.79 g，显著高于其他密度播娘蒿处理组的小麦千粒重。10 株/m^2 处理组小麦千粒重

29.27 g,显著高于 20、30、40 株/m² 和 50 株/m² 处理组的小麦千粒重。20 株/m² 处理组小麦千粒重 28.11 g,显著高于 30、40 株/m² 和 50 株/m² 处理组的小麦千粒重。30、40 株/m² 处和 50 株/m² 处理组间小麦千粒重无显著差异(图 7)。

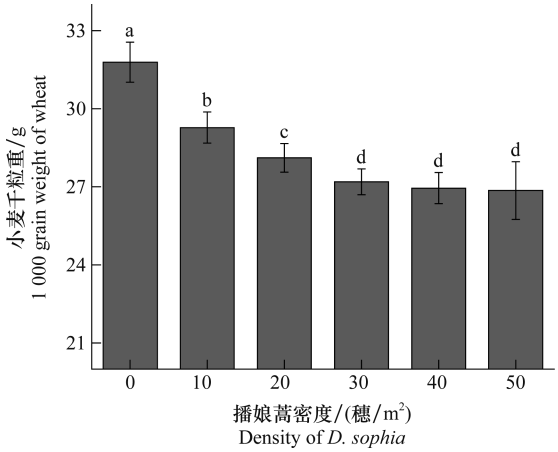


图 7　播娘蒿不同密度对小麦千粒重的影响

Fig. 7　Effect of different densities of *Descurainia sophia* on 1 000-grain weight of wheat

2.2.5　播娘蒿不同密度对小麦产量的影响

小麦产量随播娘蒿株密度升高而降低。对照组小麦产量 4 468.90 kg/hm²,显著高于其他密度播娘蒿处理组小麦产量。10 株/m² 处理组小麦产量3 535.10 kg/hm² 显著高于 20、30、40 株/m² 和 50 株/m² 处理组的小麦产量。播娘蒿密度为 20 株/m² 处理组的小麦产量为 2 868.10 kg/hm²,显著高于 40 株/m² 和 50 株/m² 处理组的小麦产量,与 30 株/m² 处理组小麦产量(2 534.60 kg/hm²)差异不显著。40 株/m² 处理组(2 134.40 kg/hm²)和 50 株/m² 处理组(2 101.05 kg/hm²)两者之间小麦产量差异不显著。小麦收获时,当播娘蒿密度为 50 株/m²,与对照相比小麦产量减少了 52.99%(图 8)。

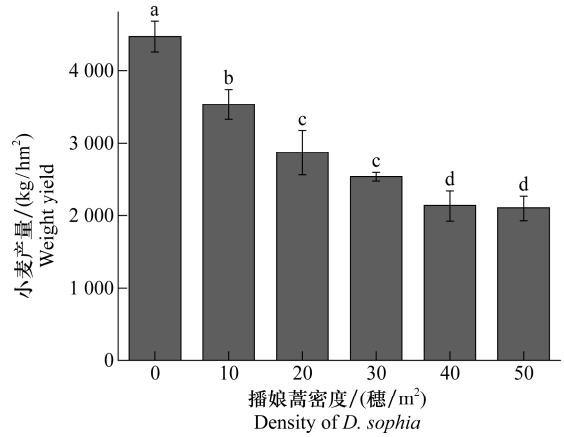


图 8　播娘蒿不同密度对小麦产量的影响

Fig. 8　Effect of different densities of *Descurainia sophia* on wheat yield

2.2.6　播娘蒿密度与小麦产量性状相关性分析

相关性分析结果表明,小麦产量与播娘蒿密度之间存在极显著负相关关系($P<0.01$)(表 1)。同时,小麦的有效穗数、穗粒数和千粒质量与产量之间均呈现极显著正相关关系($P<0.01$)。此外,小麦产量性状与产量损失率之间也呈现极显著的负相关关系。

表 1　播娘蒿密度与小麦产量性状的相关性[1)]

Table 1　Correlation between *Descurainia sophia* density and wheat yield traits

指标 Index	播娘蒿密度 *Descurainia sophia* density	有效穗数 Effective spike per plant	穗粒数 Grains per spike	千粒质量 Thousand-grain weight	产量 Yield
有效穗数　Effective spike per plant	−0.915**				
穗粒数　Grains per spike	−0.961**	0.943**			
千粒质量　Thousand-grain weight	−0.935**	0.971**	0.965**		
产量　Yield	−0.854**	0.949**	0.923**	0.960**	
产量损失率　Yield loss rate	0.947**	−0.964**	−0.971**	−0.991**	−0.937**

1) ** 表示经皮尔逊相关系数检验在 0.01 水平差异显著。
** indicates significant difference at the 0.01 level by Pearson correlation coefficient test.

2.3　不同密度播娘蒿与小麦产量损失率回归模型的筛选

我们采用 5 个回归模型来研究播娘蒿密度(x)与小麦产量损失率(y)之间的关系。结果如表 2 所示,所有回归模型均能很好地拟合播娘蒿密度与小麦产量损失率之间的关系。所有回归方程的 R^2 值均超过 0.82,而 P 值始终低于 0.05。在这些模型中,R^2 值从高到低的排名依次为:S 函数、对数函

数、幂函数、线性函数和指数函数。结合 F 检验的结果与拟合图形(图 9),我们发现 S 函数,表达式为 $y=e^{(4.199\,9-11.804\,7/x)}$,最能描述不同密度播娘蒿与小麦产量损失率的关系。

2.4 小麦田播娘蒿经济危害允许水平及经济阈值

通过播娘蒿密度与小麦产量损失率的回归模型 $y=e^{(4.199\,9-11.804\,7/x)}$ 计算不同防除措施的经济危害允许水平下播娘蒿的经济阈值。结果表明,人工防除播娘蒿的经济阈值为 6.16 株/m^2,植保无人机喷施 36%唑草·苯磺隆可湿性粉剂防除播娘蒿的经济阈值为 2.66 株/m^2,使用背负式喷雾器喷施 36%唑草·苯磺隆可湿性粉剂复配剂防除播娘蒿的经济阈值为 3.38 株/m^2。

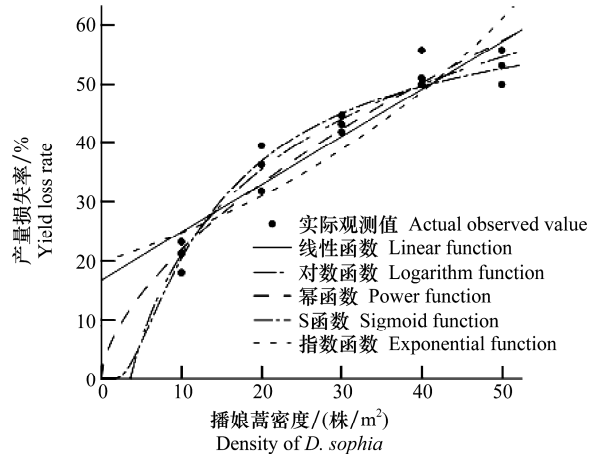


图 9 播娘蒿密度与小麦产量损失率的拟合曲线

Fig. 9 Regression analysis between *Descurainia sophia* and yield loss rate of wheat

表 2 播娘蒿密度与小麦产量损失率关系的回归分析结果[1)]

Table 2 Regression analysis between the density of *Descurainia sophia* and yield loss rate of wheat

回归模型 Regression model	回归方程 Equation of regression	R^2	F	Sig.	常数 Constant	b1
线性函数 Linear function	$y=0.805\,5x+16.910\,92$	0.885	99.596	1.84E-07	16.911	0.805
对数函数 Logarithmic function	$y=-26.653\,7+20.775\,3\lg(x)$	0.951	250.166	7.17E-10	−26.654	20.775
幂函数 Power function	$y=5.562\,4x^{0.596\,6}$	0.935	186.017	8.30E-09	5.562	0.597
S 函数 Sigmoid function	$y=e^{(4.199\,9-11.804\,7/x)}$	0.954	266.655	4.44E-09	4.200	−11.805
指数函数 Exponential function	$y=19.823\,2e^{0.022\,5x}$	0.821	59.464	4.82E-10	19.823	0.022

1) y 为小麦产量损失率;x 为播娘蒿密度。
y represents the yield loss rate of wheat; x represents the density of *D. sophia*.

表 3 播娘蒿在小麦田的经济阈值

Table 3 Economic threshold of *Descurainia sophia* in wheat fields

防除措施 Control method	防除费用/(元/hm^2) Control cost	防除效果/% Control efficacy	经济危害允许水平/% Economic injury level	经济阈值/(株/m^2) Economic threshold
人工除草 Hand weeding	1 500	85	9.80	6.16
植保无人机喷施 Spraying by plant protection drone	135	95	0.79	2.66
背负式喷雾器喷施 Spraying by knapsack sprayer	345	95	2.02	3.38

3 结论与讨论

近年来,受秸秆还田大面积推广、耕地质量下降、土壤封闭处理不到位等因素的影响,农田杂草发生日趋严重,其中麦田杂草的发生对小麦的产量与品质造成严重的影响[19]。本研究系统分析了播娘蒿发生情况及其对小麦生长和产量的影响。

播娘蒿的出苗动态与季节性温度变化密切相关。冬季出苗高峰出现在 11 月上旬,12 月中下旬后生长停滞,次年 3 月中下旬随温度升高进入春季出苗高峰,4 月上旬达到峰值 20.50 株/m^2。由于种内竞争及与小麦的资源争夺,播娘蒿密度在 4 月中旬后开始下降。这一动态与夏国军等[11]在郑州的研究结果一致,均表明播娘蒿春季出苗集中且竞争压力显著。在株高方面,播娘蒿的生长速度显著快于小麦。4 月下旬播娘蒿株高达 83.78 cm,其中日均株高增长 3.25 cm,显著高于小麦的株高(65.01 cm)及日均增长株高(1.68 cm),5 月中旬后其遮蔽效应达到峰值,最终株高在收获期达 105.02 cm,这可能是因为播娘蒿作为典型的竞争性杂草,进化出快速占领资源的策略。鲜重变化进一步揭示了资源竞争的阶段性特征。4 月中旬播娘蒿单株鲜重较小麦高 24.43 g,5 月上旬差异达 2.32 倍。然而,进入生殖生长后期,两者鲜重均显著下

降,其中播娘蒿的衰老速率更快,日均减少鲜重 1.26 g,而小麦为 0.27 g,这可能与其一年生短生命周期特性相关。

与张全力[14]和沈进松[20]等研究不同,本研究发现不同密度播娘蒿不仅减少小麦有效穗密度与千粒重,还显著降低了穗粒数,表明其竞争压力贯穿小麦整个生育期。目前,杂草对作物产量影响的回归模型主要用到线性函数、二次函数、指数函数、幂函数和对数函数等,来模拟两者之间的关系[21-22]。通过回归模型分析,播娘蒿密度与小麦产量损失率呈极显著负相关。其中,S 函数模型 $y=e^{(4.1999-11.8047/x)}$ 的拟合优度最高。

基于 S 函数计算的经济阈值显示,植保无人机喷施 36%唑草·苯磺隆可湿性粉剂防除播娘蒿的经济阈值为 2.66 株/m^2,显著低于人工防除 6.16 株/m^2。因此,当田间播娘蒿持续为害密度高于 2.66 株/m^2 时,需及时防除。

参考文献

[1] 李孟良, 高志炜. 播娘蒿不同生育期鲜草产量与营养价值[J]. 草业学报, 2004, 13(5): 66-69.

[2] DETLING I E. Geographical distribution and ecology of some North American species of *Descurainia* and their bearing on their taxonomy [J]. American Journal of Botany, 1939, 26(8): 667.

[3] 房锋, 李美, 高兴祥, 等. 麦田播娘蒿发生动态及其对小麦产量构成因素的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2559-2568.

[4] 李香菊. 近年我国农田杂草防控中的突出问题与治理对策[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 77-84.

[5] 高新菊, 王恒亮, 马毅辉, 等. 河南省小麦田杂草组成及群落特征[J]. 植物保护学报, 2016, 43(4): 697-704.

[6] 高兴祥, 张悦丽, 安传信, 等. 山东省杂草群落调查及其变化原因分析[J]. 中国农业科学, 2021, 54(24): 5230-5239.

[7] 王伟. 河北省小麦田杂草调查及防控技术研究[D]. 保定:河北农业大学, 2015.

[8] 李广阔, 高海峰, 白微微, 等. 果麦间作麦田主要杂草种类及群落特征[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(6): 1112-1118.

[9] 白微微, 高海峰, 沈煜洋, 等. 新疆北疆冬麦主产区麦田杂草种类及群落特征[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(7): 1365-1372.

[10] 李广阔, 高海峰, 白微微, 等. 新疆核桃-小麦间作麦田杂草组成及群落特征[J]. 植物保护学报, 2018, 45(5): 1137-1144.

[11] 夏国军, 胡刚元, 王文静, 等. 播娘蒿田间发生规律及其与冬小麦竞争临界期的初步研究[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(3): 220-222.

[12] 冯殿英, 任兰花, 郝伟, 等. 麦田播娘蒿危害的产量损失及防治指标的拟定[C]//面向 21 世纪中国农田杂草可持续治理-第六次全国杂草科学学术研讨会论文集. 中国植物保护学会杂草学分会, 1999.

[13] 孙广勤, 赵保祥, 杨玉真, 等. 早春播娘蒿对小麦的危害损失和经济阈值研究[J]. 植物保护, 1990, 16(3): 28-30.

[14] 张全力, 杨素芳, 谢秀月, 等. 播娘蒿对小麦产量的影响[J]. 农业信息探索, 1998, 10(2): 47.

[15] 范贵强, 黄天荣, 高永红, 等. 冬小麦新品种-新冬 60 号[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(5): 502.

[16] 郭良芝, 郭青云, 辛存岳, 等. 三甲苯草酮对春小麦田野燕麦的防效[J]. 杂草科学, 2008(2): 56-57.

[17] 龚国斌, 黄金龙, 陆广美. 唑草·苯磺隆 24%可湿性粉剂小麦田间药效试验[J]. 农药科学与管理, 2010, 31(10): 47-49.

[18] 韩睿, 张全成, 王小丽, 等. 龙葵对棉花生长的影响及其经济阈值分析[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(8): 1831-1837.

[19] 庄家文. 苏皖麦田杂草群落调查研究、抗性茵草发生规律及其绿色防控技术[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.

[20] 沈进松. 播娘蒿对小麦危害损失的通径分析[J]. 杂草科学, 1994(3): 5-7.

[21] 张绍明, 朱先敏, 彭程, 等. 稻茬冬小麦田日本看麦娘和猪殃殃混生的防除指标[J]. 杂草学报, 2021, 39(4): 29-33.

[22] 李建波. 麦田杂草生态经济阈值研究[J]. 农业灾害研究, 2017, 7(Z2): 33-34.

(责任编辑: 田　喆)

(上接 287 页)

[23] 崔丽芳. 棉田大丽轮枝菌 vd076 后代菌株的变异及其与寄主选择的关系[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.

[24] 冯自力, 李志芳, 朱荷琴, 等. 大丽轮枝菌致病力与寄主棉苗落叶的相关性[J]. 西北农业学报, 2014, 23(8): 85-91.

[25] 韩宏伟, 刘培源, 高峰, 等. 新疆北部棉区黄萎病菌种群致病性分化及变异[J]. 植物保护学报, 2011, 38(2): 121-126.

[26] 林玲, 章如意, 张昕, 等. 江苏省棉花黄萎病菌的培养特性及致病力分化监测[J]. 棉花学报, 2012, 24(3): 199-206.

[27] BALBINOTTI M, SCHNEIDER J R, FORCELINI C A, et al. Perspectives on plant nutrition and soil fertility in rhizoctonia management in soybean [J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2025, 25: 5983-6000.

[28] LU Honglin, GUO Suxia, YANG Yongbao, et al. Bikaverin as a molecular weapon: enhancing *Fusarium oxysporum* pathogenicity in bananas via rhizosphere microbiome manipulation [J/OL]. Microbiome, 2025, 13(1): 107. DOI: 10.1186/s40168-025-02109-7.

(责任编辑: 田　喆)