

## 不同种植模式对燕麦、麦蚜及天敌的影响

姬子媛<sup>1</sup>, 魏有海<sup>1</sup>, 索发东<sup>2</sup>, 马燕<sup>3</sup>, 徐淑华<sup>4</sup>, 宗燕<sup>5</sup>, 李秋荣<sup>1\*</sup>

1. 青海大学农林科学院, 青海省农业有害生物综合治理重点实验室, 农业农村部西宁作物有害生物科学观测实验站, 青海 西宁 810016
2. 西宁市湟中区种子站, 青海 西宁 811600
3. 中捷四方生物科技股份有限公司, 陕西 杨凌 712100
4. 青海省农业技术推广总站, 青海 西宁 810016
5. 海西州农牧业技术推广服务中心, 青海 海西 817000

**摘要:** 本文主要采用间作、混作和单作3种模式种植燕麦, 间作、混作的作物分别为油菜、箭筈豌豆和毛苕子, 以单作燕麦为对照。研究不同种植模式对燕麦的生育时期、营养品质、鲜草产量、籽粒产量及麦蚜天敌密度的影响, 比较对蚜虫的防治效果。取得如下结果: 3个间作处理对燕麦的生育时期没有显著影响, 而3个混作处理将燕麦的收获期推迟了1-4 d, 在燕麦田混作箭筈豌豆或毛苕子, 使燕麦的粗蛋白(CP)、酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量显著升高, 6个处理对燕麦草和籽粒的产量均未造成显著影响。在燕麦孕穗期, 混作油菜、箭筈豌豆或毛苕子的燕麦蚜口密度均显著低于单作燕麦, 3个间作处理的燕麦蚜口密度与对照间无显著差异; 混作毛苕子的燕麦田内的天敌密度最高, 混作油菜、箭筈豌豆的燕麦以及与燕麦间作的油菜天敌密度均明显高于对照燕麦; 在开花期, 6个处理燕麦的蚜口密度均低于对照, 间作毛苕子的燕麦天敌密度最大; 在灌浆期, 3个混作处理的燕麦蚜口密度均低于对照, 这三种模式对麦蚜具有较高的防效, 约达52.81%-62.23%。

**关键词:** 燕麦; 间作; 混作; 蚜虫; 天敌

中图法分类号: S433.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2026)01-0037-09

## Effect of Different Cropping Patterns on *Avena sativa*, Wheat Aphids and Natural Enemies

JI Zi-yuan<sup>1</sup>, WEI You-hai<sup>1</sup>, SUO Fa-dong<sup>2</sup>, MA Yan<sup>3</sup>, XU Shu-hua<sup>4</sup>, ZONG Yan<sup>5</sup>, LI Qiu-rong<sup>1\*</sup>

1. Key Laboratory of Integrated Pest Management of Qinghai Province, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Xining Crop Pest Scientific Observation and Experiment Station of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xining 810016, China
2. Huangzhong District Seed Station of Xining City, Xining 811600, China
3. Zhongjie Sifang Biotechnology Co., Ltd., Yangling 712100, China
4. Qinghai Provincial Agricultural Technology Extension Station, Xining 810016, China
5. Haixi Prefecture Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Service Center, Haixi 817000, China

**Abstract:** This study mainly adopts three planting patterns for oat cultivation (*Avena sativa*): intercropping, mixed cropping, and monocropping. The crops used for intercropping and mixed cropping are spring rapeseed, common vetch, and hairy vetch, oat monocropping is the control. This study investigates the effects of different cropping patterns on the growth periods, nutritional quality, fresh grass yield, grain yield, and the density of wheat aphid natural enemies, and compares their control effects against aphids. The following results are obtained: The three intercropping treatments have no significant effect on the growth periods of oat, while the three mixed cropping treatments delay the harvest period by 1-4 days. Mixed cropping with common vetch or hairy vetch in oat fields significantly increases the contents of crude protein (CP), acid detergent fiber (ADF), and neutral detergent fiber (NDF) in oat. None of the six treatments exerts a significant influence on oat grass and grain yield. During the oat booting stage, the aphid population density in oat fields mixed with spring rapeseed, common vetch, or hairy vetch is significantly lower than that in monocropped oat. The aphid population density in the three intercropping treatments shows no significant difference compared to the control. The natural enemy density is the highest in

收稿日期: 2025-02-24

修回日期: 2025-12-28

基金项目: 农业农村部现代农业技术体系建设专项(CARS-07-C-3, CARS-08-C-3)

第1作者简介: 姬子媛(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 林业害虫防治。E-mail: 1693741846@qq.com

\*通讯作者: Author for correspondence. E-mail: liqiu-rongkk@163.com

oat fields mixed with hairy vetch. The natural enemy densities in oat fields mixed with spring rapeseed or common vetch, as well as in rapeseed intercropped with oat, are all significantly higher than in the control. During the flowering stage, the aphid population densities of oat in all six treatments are lower than in the control, and the natural enemy density is the highest in oat intercropped with hairy vetch. During the filling stage, the wheat aphid population density of the three mixed cropping treatments is lower than that in the control, and these three patterns exhibit relatively high control effects against wheat aphids, reaching approximately 52.81%-62.23%.

**Keywords:** *Avena sativa*; intercropping; mixed cropping; wheat aphid; natural enemy

燕麦 *Avena sativa* Linnaeus 是禾本科、燕麦属的一年生草本植物。燕麦是我国重要的杂粮作物之一,世界第六大粮食作物,也是我国北方地区重要的粮饲兼用作物。由于燕麦抗旱、耐寒,在贫瘠的土地和极端的气候条件下也能够生长,种植分布很广,在山区、高原的高寒冷凉地带均有种植<sup>[1]</sup>。蚜虫是我国以及世界范围燕麦生产中的重要害虫之一,其分布广、发生量大,直接或间接造成燕麦严重减产<sup>[2]</sup>。在青海省东部地区燕麦田发生的蚜虫主要有 4 种,包括麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* Fabricius、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* Rondani、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* Linnaeus 和麦无网长管蚜 *Metopolophium dirhodum* Walker<sup>[3]</sup>。而关于燕麦蚜虫的防治研究主要集中在不同燕麦品种对蚜虫的抗性评价、燕麦对蚜虫生长发育的影响以及杀虫剂筛选等方面<sup>[4-6]</sup>。

在农业生产中,间作、混作是常用栽培方式。合理的间混作能促进不同生态位作物的和谐共生,提高作物对光、温、水和肥等资源的利用效率,促进作物提质增效。对株型高矮不一、生育期长短稍有参差的作物进行合理搭配和在田间配置宽窄不等的种植行距,有助于提高间作效果<sup>[7]</sup>。国内外与燕麦种植模式相关的研究主要包括:燕麦与箭筈豌豆间作<sup>[8,9]</sup>、燕麦与紫花苜蓿间作<sup>[10]</sup>、燕麦与油菜混作<sup>[11,12]</sup>、燕麦和豌豆间作及混作<sup>[13]</sup>。箭筈豌豆和毛苕子均属于豆科植物,具有固氮和改良土壤的作用,在生长期能够为土壤提供养分和有机质,被称为“绿肥作物”,在农业生产中扮演着重要角色<sup>[14]</sup>。

近半个世纪以来,由于气候温度变化、耕地面积缩减、耕种模式改革以及天敌数量减少等因素,由病虫害导致的作物产量损失一直是我国粮食生产的重要问题。麦蚜作为 r 型对策昆虫,具有自身繁殖力强等生物学特性,目前抗蚜品种资源相对缺乏,蚜虫致灾损失比例呈现逐年增加态

势<sup>[15]</sup>。当前燕麦生产中防治麦蚜主要依赖化学农药,虽然总体防效不错,但常年频繁喷施化学农药,不但会导致燕麦农药残留超标,而且致使害虫产生抗药性和再猖獗,防治难度进一步增大。

为充分发挥燕麦的生产优势,本研究筛选能有效引诱蚜虫天敌并提供营养的作物,通过间作和混作模式促进天敌定殖,从而控制蚜虫种群。改善燕麦的传统单一种植方式,减轻麦蚜的危害,为今后向“零农药”防控麦蚜提供新的方式和理论依据,促进燕麦提质增产。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

燕麦,品种为‘加燕 2 号’,由青海省畜牧兽医科学院提供;箭筈豌豆,品种为‘西牧 324’,毛苕子,品种为‘土库曼’,油菜品种为‘青杂 15 号’,均由青海省农林科学院提供。

### 1.2 试验田概况

试验地位于青海省西宁市城北区宁大路 253 号,北纬 36°71'89",东经 101°75'19",海拔 2 312 m,气温较低。高原大陆性气候,昼夜温差大。无霜期较短,约 122-168 d。年日照时数约为 2 560-2 830 h,日照时间长,辐射强,为植物生长提供了充足的光照。年平均降雨量在 350-550 mm 之间,降水主要集中在 7 月和 8 月,具有降雨量少、蒸发量大等特点。

### 1.3 试验设计

主栽作物为燕麦,间作和混作作物:箭筈豌豆、毛苕子和油菜。主栽作物及间作、混作作物均于 5 月上旬播种。试验田总面积约为 1 000 m<sup>2</sup>。单作模式下,燕麦播种量为 120 kg/hm<sup>2</sup>,行间距为 25 cm。

在燕麦栽培过程中,主要采用 3 种植方式即单作、间作和混作。本试验共设置 10 个处理,

包括:3个间作处理(燕麦/箭筈豌豆、燕麦/毛苕子、燕麦/油菜)、3个混作处理(燕麦+箭筈豌豆、燕麦+毛苕子、燕麦+油菜)、3个单作辅栽作物(箭筈豌豆、毛苕子、油菜)以及单作燕麦对照(CK),主要研究以下3个方面的内容:

(1)各处理对燕麦的生育时期、质量和产量的影响;

(2)各个处理对孕穗期、开花期和灌浆期麦蚜天敌发生消长动态的影响;

(3)各个处理对孕穗期、开花期和灌浆期麦蚜的防治效果。

**1.3.1 燕麦间混作箭筈豌豆试验设计** 间作模式下,燕麦播种量为 $120\text{ kg/hm}^2$ ,箭筈豌豆的播种量 $75\text{ kg/hm}^2$ ,每播种2行燕麦,再分别播种2行箭筈豌豆;混作模式下,将燕麦与箭筈豌豆按重量比3:1混播,即燕麦播种量为 $120\text{ kg/hm}^2$ ,箭筈豌豆的播种量为 $40\text{ kg/hm}^2$ 。各小区面积 $42\text{ m}^2$ ,长7 m,宽6 m,行间距均为25 cm,每处理设3个重复,每8行作物为1个重复,各处理、对照间均设保护行。

**1.3.2 燕麦间混作毛苕子试验设计** 间作模式下,燕麦播种量 $120\text{ kg/hm}^2$ ,毛苕子 $75\text{ kg/hm}^2$ ,每2行燕麦间作2行毛苕子,行间距为25 cm;混作模式下,将燕麦与毛苕子按重量比3:1混播,即燕麦播种量为 $120\text{ kg/hm}^2$ ,毛苕子的播种量为 $40\text{ kg/hm}^2$ 。各小区面积 $42\text{ m}^2$ ,长7 m,宽6 m,行间距均为25 cm,每处理设3个重复,每8行作物为1个重复,各处理、对照间均设保护行。

**1.3.3 燕麦间混作油菜试验设计** 间作模式下,燕麦播种量 $120\text{ kg/hm}^2$ ,油菜 $15\text{ kg/hm}^2$ ,2行燕麦间作2行油菜;混作模式下,燕麦播种量为 $120\text{ kg/hm}^2$ ,油菜的播种量为 $15\text{ kg/hm}^2$ ,燕麦与油菜按重量比8:1混播。各小区面积 $42\text{ m}^2$ ,长7 m,宽6 m,行间距均为25 cm,每处理设3个重复,每8行为1个重复,各处理、对照间均设保护行。

## 1.4 调查内容与方法

**1.4.1 生育时期观测判断方法** 播种后,每7 d观察植株长势情况,记录燕麦的各个生育时期。当50%以上植株达到某一生育时期的标准时,判断为处于相应的生育时期。

**1.4.2 燕麦品质及测定方法** 将7个处理的燕麦

刈割后,检测除根部以外的燕麦地上部分,包括秸秆、叶片和麦穗。测产后,分别从7个处理中随机取1 kg作为测定营养品质的样品,置于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱内杀青30 min, $65\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干,24 h后取出,过40目筛子,装袋后分别用于测定粗蛋白(Crude Protein, CP)、粗脂肪(Ether Extract, EE)、粗灰分(Ash, A SH)、干物质(Dry Matter, DM)、酸性洗涤纤维(Acid Detergent Fiber, ADF)和中性洗涤纤维(Neutral Detergent Fiber, NDF)。CP含量的测定采用凯氏定氮法,参照标准 GB/T6432-2018, DM测定参照标准 GB/T 6435-2014, EE测定参照标准 GB/T 6433-2006, 测定 ASH参照 GB/T 6438-2007, 中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量的测定采用滤袋法。

**1.4.3 燕麦产量测定方法** 鲜草产量测定方法:参照《草品种区域试验技术规程 禾本科牧草》(NY/T 2322-2013),在燕麦灌浆期刈割(留茬高度5 cm)后,用电子秤分别称量各小区鲜草(饲草)重量,计算单位面积内的鲜草产量,根据干鲜比,计算单位面积的燕麦干草产量。燕麦成熟后,对其理论、实际产量分别进行计算和测定。种子产量计算方法:

理论产量( $\text{kg/hm}^2$ )=公顷穗数(万穗)×穗粒数(粒/穗)×千粒重(g)÷ $100\times 0.85$ ;

实测产量( $\text{kg/hm}^2$ )=每公顷籽粒鲜重(kg)×(1-含水量%)÷(1-0.13)。

**1.4.4 麦蚜调查方法** 采用五点随机取样法,每个小区抽取5个样点,每样点调查75株燕麦,分别调查作物叶片、麦穗和茎秆共3个部位蚜虫的种群密度,以同期单作燕麦上的蚜虫密度为对照,蚜虫调查数据经过整理后,按下面公式计算蚜虫存活率和对蚜虫的校正防治效果:

虫口存活率(%)=(防治后残虫数/防治前虫口数)×100;

校正防治效果(%)=[(对照区虫口存活率-处理区虫口存活率)/对照区虫口存活率]×100。

**1.4.5 天敌调查方法** 采用五点随机取样法,每重复选取5个样点,每样点面积为 $1.0\text{ m}^2$ ,分别调查作物上不同类别天敌(主要包括瓢虫、食蚜蝇、草蛉、小花蝽、蜘蛛等捕食性天敌和茧蜂、小蜂、姬蜂、赤眼蜂、啮小蜂等寄生性天敌)的种群密度。

1.4.6 作物种植布局表 通过综合对比前期预实验结果,发现每隔2行燕麦种植2行辅栽作物对燕麦的长势和产量无明显影响,且对天敌的诱集效果更佳,因此,间作模式设为每播种2行燕麦

间作2行辅栽作物。同时,为减轻各处理相互干扰,减小试验误差,本试验在各处理之间均设保护行。主栽作物燕麦与3种辅栽作物的种植布局见图1。

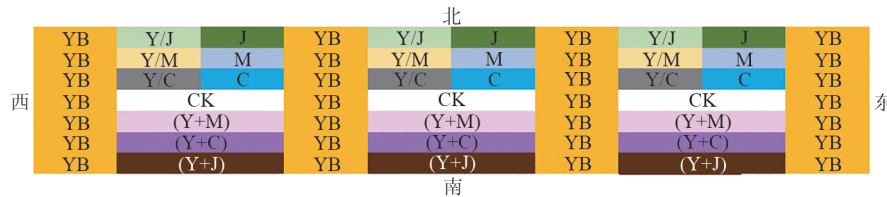


图1 燕麦与箭筈豌豆、毛苕子和油菜种植布局图

Fig. 1 Planting layouts of oat intercropped/mixed with smooth vetch, hairy vetch and spring rapeseed

注:“CK”代表对照单作燕麦,其中,“YB”代表燕麦保护行(2行),“Y/J”代表与箭筈豌豆间作的燕麦,“J”代表箭筈豌豆,“Y/M”代表与毛苕子间作的燕麦,“M”代表毛苕子,“Y/C”代表与油菜间作的燕麦,“C”代表油菜,燕麦与间作作物均为2+2行重复交替;“Y+J”代表燕麦与箭筈豌豆混作,“Y+M”代表燕麦与毛苕子混作,Y+C代表燕麦与油菜混作,这些缩写用于现场调查的标识。下文同。

Note:“CK” represents the oat monoculture (control). “YB” denotes oat border protection (two rows). “Y/J” indicates oats intercropped with common vetch, and “J” represents common vetch alone. “Y/M” denotes oats intercropped with hairy vetch, and “M” represents hairy vetch alone. “Y/C” refers to oats intercropped with rapeseed, whereas “C” represents rapeseed; in oat - rapeseed intercropping, the planting pattern follows a 2+2 alternate-row arrangement. “Y+J” denotes oats mixed with common vetch, “Y+M” denotes oats mixed with hairy vetch, and “Y+C” denotes oats mixed with rapeseed. These abbreviations were used for field survey labeling. See the text for details.

1.4.7 数据处理与分析 采用 Microsoft Excel 2010进行数据整理与图表绘制,通过SPSS 21.0数据分析软件进行差异显著性分析。数据经单因素方差分析(one-way ANOVA)检验后,若组间差异显著( $P < 0.05$ ),进一步采用LSD法与Duncan多重比较法进行各处理间的差异性检验。

同种植模式的燕麦生育时期观测记录结果(见表1)可知,间作毛苕子、油菜、箭筈豌豆与单作燕麦生育时期基本一致,间作对燕麦的发育期没有影响。混作箭筈豌豆、毛苕子和油菜对燕麦自拔节期至收获期有一定影响,混作箭筈豌豆、毛苕子的燕麦较单作燕麦的孕穗期、开花期和灌浆期推迟了1-2 d,乳熟期、蜡熟期、成熟期和收获期较单作燕麦延迟了3 d,混作油菜(Y+C)的燕麦较单作燕麦的孕穗期、开花期和灌浆期推迟了1-3 d,乳熟期、蜡熟期、成熟期和收获期较单作燕麦延迟了4 d。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植模式燕麦生长指标比较

#### 2.1.1 不同种植模式的燕麦生育时期比较 由不

表1 不同种植模式的燕麦生育时期(月/日)

Table 1 Growth stages of oats under different cropping patterns

处理代码 Treatment code	播种期 Sowing stage	出苗期 Emergence stage	分蘖期 Tillering stage	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	扬花期 Heading stage	灌浆期 Filling stage	乳熟期 Milky stage	蜡熟期 Wax-ripe stage	成熟期 Maturity stage	收获期 Harvest stage
Y/J	5/6	5/20	6/9	6/21	7/14	7/25	8/3	8/22	9/1	9/9	9/20
Y/M	5/6	5/20	6/9	6/21	7/14	7/25	8/3	8/22	9/1	9/9	9/20
Y/C	5/6	5/20	6/9	6/21	7/14	7/25	8/3	8/22	9/1	9/9	9/20
Y+J	5/6	5/20	6/9	6/22	7/16	7/27	8/5	8/25	9/4	9/12	9/23
Y+M	5/6	5/20	6/9	6/22	7/16	7/27	8/5	8/25	9/4	9/12	9/23
Y+C	5/6	5/20	6/9	6/22	7/16	7/27	8/6	8/26	9/5	9/13	9/24
CK	5/6	5/20	6/9	6/21	7/14	7/25	8/3	8/22	9/1	9/9	9/20

2.1.2 不同种植模式的燕麦营养品质比较 刈割期的6项营养指标测定值见表2,分别包括粗蛋白(Crude Protein, CP)、粗脂肪(Ether Extract, EE)、粗灰分(Ash, ASH)、干物质(Dry Matter,

DM)、酸性洗涤纤维(Acid Detergent Fiber, ADF)和中性洗涤纤维(Neutral Detergent Fiber, NDF)的含量显著高于单作燕麦和其他模式,而其余处理的CP、ADF和NDF含量相互间没有显

著差异,EE、ASH和DM这3个指标的含量在各处理间的差异不显著( $P < 0.05$ )。由此可知,混作箭筈豌豆、混作毛苕子的燕麦CP、ADF和

NDF含量均明显升高,而混作油菜、间作油菜、箭筈豌豆或毛苕子对所测6项营养指标均没有明显影响。

表2 不同种植模式的燕麦刈割期(蜡熟期)营养指标

Table 2 Nutritional indices of oats at the cutting stage (wax-ripe stage) under different cropping patterns

处理代码 Treatment code	营养成分含量/% Nutrient composition					
	粗蛋白 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 ASH	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	干物质 DM
Y/J	10.94±0.45b	1.37±0.10a	4.58±0.13a	53.17±0.77b	37.77±0.31a	36.5±0.25a
Y/M	11.57±0.29b	2.14±0.08a	4.74±0.09a	52.94±0.59b	36.40±0.43b	36.1±0.28a
Y/C	9.96±0.52bc	1.87±0.11a	4.57±0.06a	55.49±0.45b	35.47±0.73b	34.7±0.30a
Y+J	15.27±0.22a	1.59±0.08a	4.39±0.10a	60.30±0.86a	39.98±0.55a	35.9±0.31a
Y+M	14.84±0.63a	1.94±0.05a	4.50±0.22a	59.08±0.99a	40.61±0.73a	36.8±0.22a
Y+C	9.57±0.58bc	2.01±0.04a	4.39±0.18a	55.15±0.34b	37.02±0.57b	33.5±0.29b
CK	12.03±0.76b	1.88±0.14a	4.86±0.21a	53.89±0.85b	35.98±0.62b	36.9±0.26a

注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference ( $s P < 0.05$ ), The same as below.

2.1.3 不同种植模式的燕麦产量比较 在燕麦蜡熟期、收获期,经测定分别获得7个处理的鲜草、干草、干鲜比及种子的产量,结果见表3。各处理的鲜草、

干草重量无显著差异,处理间的籽粒产量也没有显著差异,因此,间、混作上述3种作物中的任何一种对燕麦草产量及种子产量并未造成明显影响。

表3 不同种植模式的燕麦产量

Table 3 Oat yield under different cropping patterns

处理代码 Treatment code	鲜草产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	干草产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	干鲜比/%	籽粒实际产量/(kg/hm <sup>2</sup> )
	Fresh forage yield	Dry matter yield	Dry matter ratio	Grain yield
Y/J	34 108.42±213.96a	11 462.31±451.48a	33.61±2.11a	3549±414a
Y/M	33 852.17±197.84a	12 057.39±395.20a	35.62±3.04a	3326±367a
Y/C	32 795.46±220.57a	11 846.40±407.35a	36.12±3.62a	3198±288a
Y+J	33 104.21±204.92a	12 004.18±397.44a	36.26±3.35a	3275±385a
Y+M	32 110.77±245.07a	11 299.46±447.01a	35.19±2.97a	3417±431a
Y+C	30 229.54±241.90ab	10 931.22±504.05a	36.16±2.63a	3379±370a
CK	32 895.49±188.45a	12 006.39±429.51a	36.50±3.58a	3437±452a

注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), The same as below.

## 2.2 种植模式对麦蚜、天敌密度及防效的影响

经前期调查鉴定,在西宁市燕麦田发生的蚜虫主要有麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* Fabricius、麦无网长管蚜 *Metopolophium dirhodum* Walker、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* Rondani 和禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* Linnaeus 这4种<sup>[3]</sup>,其中,优势蚜虫种类为麦二叉蚜、麦长管蚜,麦二叉蚜以取食叶片和茎秆为主,麦长管蚜以取食麦穗为主,禾谷缢管蚜喜欢刺吸叶片和茎秆,麦无网长管蚜主要危害叶片,在同一燕麦植株上,一般发生2种或2种以上蚜虫。

调查发现的麦蚜捕食性天敌包括瓢虫类、食蚜蝇类、草蛉类、小花蝽类、蜘蛛类等,寄生性天

敌主要为蚜茧蜂类、小蜂类等。

2.2.1 孕穗期麦蚜、天敌密度及防效分析 麦孕穗期蚜虫的虫口密度调查统计结果见图2,混作油菜(Y+C)、混作箭筈豌豆(Y+J)、混作毛苕子(Y+M)的燕麦上的蚜口密度分别为369头/百株、446头/百株、308头/百株,三者均显著低于对照燕麦田(CK Booting)的蚜口密度623头/百株,间作油菜(Y/C)、间作箭筈豌豆(Y/J)及间作毛苕子(Y/M)的燕麦蚜口密度与对照之间不存在显著差异。

燕麦孕穗期蚜虫的主要天敌数量如图3所示,在全部10个处理中,混作毛苕子的燕麦(Y+M)田内的天敌密度最高,为3.07头/m<sup>2</sup>,混作油

菜、混作箭筈豌豆的燕麦(Y+C、Y+J)以及与燕麦间作的油菜(C)上的天敌密度均明显高于对照,分别为1.74头/m<sup>2</sup>、1.68头/m<sup>2</sup>、1.99头/m<sup>2</sup>,此4个处理的天敌密度均显著高于对照燕麦上的

(1.13头/m<sup>2</sup>),间作3种作物的燕麦田内的天敌密度与对照相差明显,而在燕麦行间种植的箭筈豌豆和毛苕子上的天敌密度分别为0.40头/m<sup>2</sup>、0.69头/m<sup>2</sup>,显著低于对照。

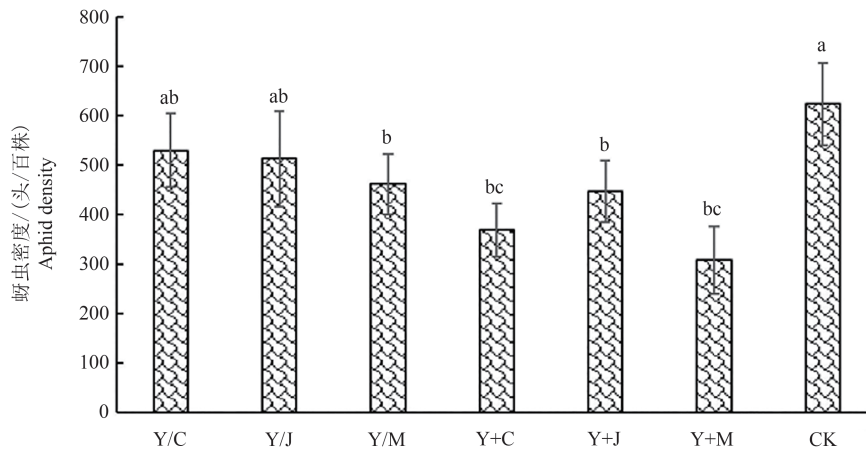


图2 燕麦孕穗期蚜虫发生量

Fig. 2 Aphid population density in oats at the booting stage

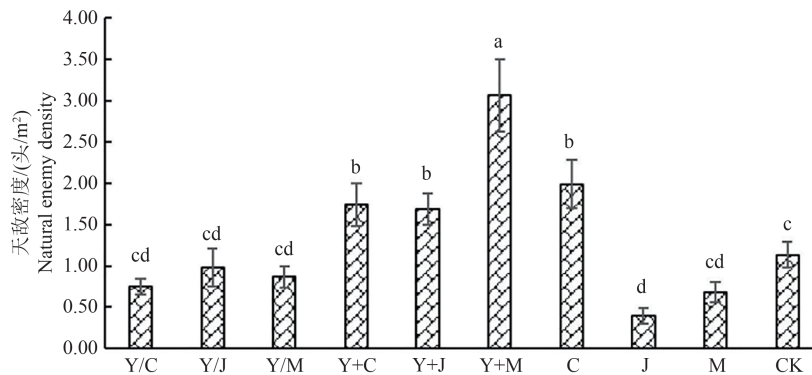


图3 燕麦孕穗期天敌数量

Fig. 3 Abundance of natural enemies in oats at the booting stage

2.2.2 开花期麦蚜、天敌密度及防效分析 燕麦开花期各处理燕麦上的蚜口密度见图4,结果显示,对照燕麦(CK)上蚜虫的虫口密度最大,为659头/百株,间作油菜(Y/C)、间作箭筈豌豆(Y/J)的燕麦蚜口密度分别为486头/百株、429头/百株,明显低于开花期对照燕麦(CK)的蚜口密度,间作毛苕子(Y/M)、混作油菜(Y+C)、混作箭筈豌豆(Y+J)以及混作毛苕子(Y+M)燕麦的蚜口密度则显著低于间作油菜(Y/C)、间作箭筈豌豆(Y/J)和对照燕麦(CK),蚜口密度约为254-304头/百株。

燕麦开花期各处理上蚜虫的主要天敌密度见图5,按照天敌密度从大到小的顺序排列,间作毛苕子燕麦(Y/M)>混作毛苕子燕麦(Y+M)>混作油

菜燕麦(Y+C)>混作箭筈豌豆燕麦(Y+J)>间作油菜燕麦(Y/C)>毛苕子(M),上述处理的天敌密度均不低于1.20头/m<sup>2</sup>,显著大于对照0.66头/m<sup>2</sup>,而油菜(C)和箭筈豌豆(J)上的天敌密度与对照无明显差异。

2.2.3 灌浆期麦蚜、天敌密度及防效分析 燕麦灌浆期各处理蚜虫的发生数量如图6所示,混作油菜(Y+C)、混作箭筈豌豆(Y+J)及混作毛苕子(Y+M)的燕麦蚜口密度较低,分别为142头/百株、176头/百株、164头/百株,三者之间无显著差异,而均显著低于对照燕麦蚜口密度;间作油菜(Y/C)、间作箭筈豌豆(Y/J)和间作毛苕子(J/M)的燕麦蚜口密度分别为275头/百株、223头/百株、244头/百

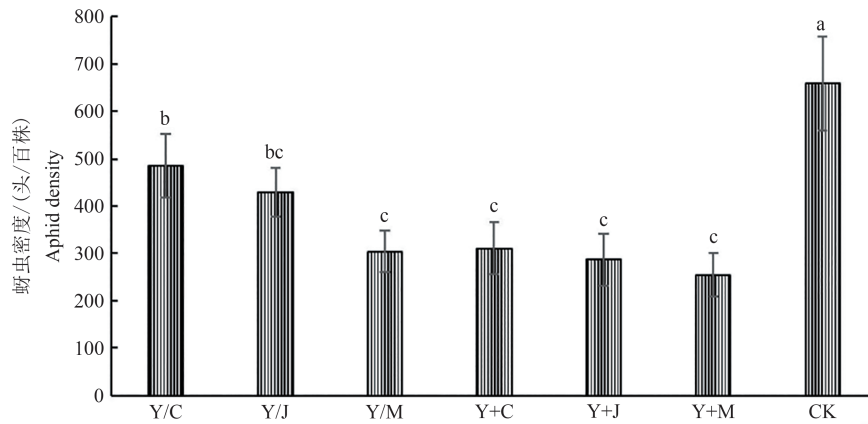


图 4 燕麦开花期蚜虫发生量

Fig. 4 Aphid population density in oats at the flowering stage

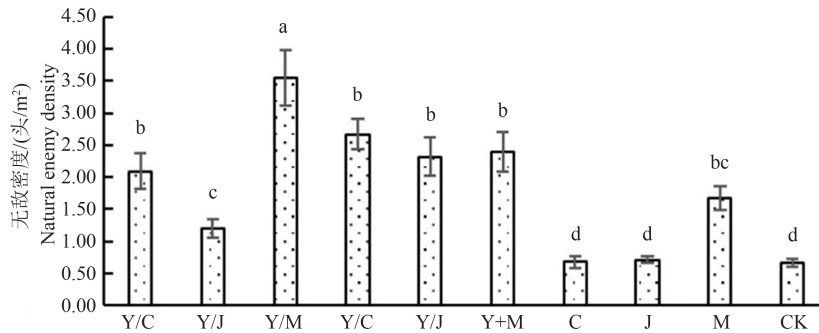


图 5 燕麦开花期天敌数量

Fig. 5 Abundance of natural enemies in oats at the flowering stage

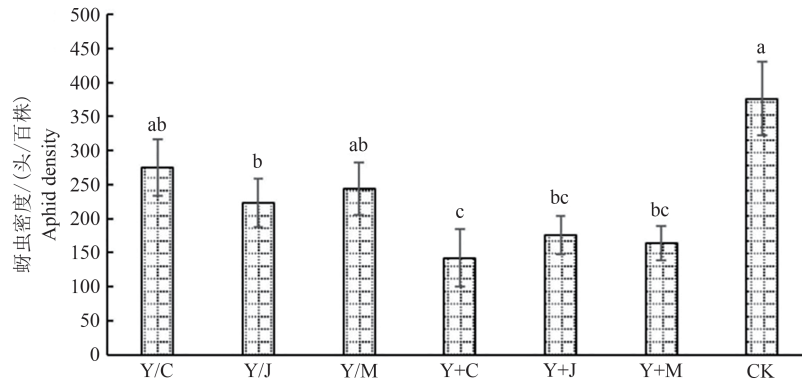


图 6 燕麦灌浆期蚜虫发生量

Fig. 6 Aphid population density in oats at the grain-filling stage

株,此三者间不存在显著差异,但均低于对照燕麦(CK)蚜口密度(376头/百株),其中,间作箭筈豌豆(Y/J)的燕麦蚜虫口密度显著低于对照。

燕麦灌浆期各处理蚜虫的天敌密度见图7,其中,以间作油菜(C)、箭筈豌豆(J)、混作毛苕子的燕麦(Y+M)上的天敌密度较大,范围为2.87头/m<sup>2</sup>-3.20头/m<sup>2</sup>,其次为混作箭筈豌豆(Y+J)、混作油菜(Y+C)的燕麦和毛苕子(M),范围

为2.25头/m<sup>2</sup>-2.43头/m<sup>2</sup>,间作油菜(Y/C)、Y/J(Y/J)和间作毛苕子(Y/M)的燕麦上的天敌密度最低,范围为0.93头/m<sup>2</sup>-1.30头/m<sup>2</sup>,但均明显大于对照燕麦(CK)上的天敌密度0.58头/m<sup>2</sup>。

2.2.4 不同种植模式对麦蚜的防效比较 在燕麦孕穗期、开花期和灌浆期,不同种植模式对麦蚜的防效见表4。在燕麦孕穗期,混作毛苕子(Y+M)对麦蚜的防效最高,为50.56%,混作油菜(Y+C)次

之,为40.82%,二者之间没有显著差异,间作毛苕子(Y/M,26.00%)与混作箭筈豌豆(Y+J,28.41%)的防效相近,均明显低于前二者,而显著高于间作油菜(Y/C,15.04%)、间作箭筈豌豆(Y/J,17.82%)对麦蚜的防效。

在燕麦开花期,仍以混作毛苕子(Y+M)对

麦蚜的防效最高,达到61.46%,混作箭筈豌豆(Y+J,56.45%)的防效仅稍低于前者,二者间无显著差异,混作油菜(Y+C,52.81%)、间作毛苕子(Y/M,53.87%)的防效显著低于混作毛苕子(Y+M,61.46%),间作油菜、箭筈豌豆的防效均显著低于前述4个处理。

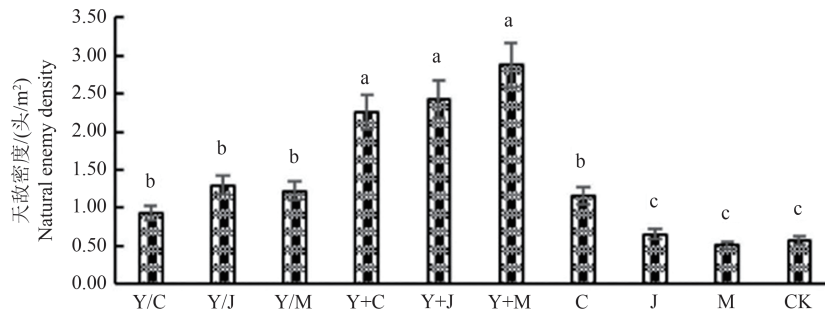


图 7 燕麦灌浆期天敌数量

Fig. 7 Abundance of natural enemies in oats at the grain-filling stage

表 4 不同种植模式对燕麦主要生育时期麦蚜的防效

Table 4 Control efficacy of different cropping patterns against wheat aphids at key growth stages of oats

处理代码 Treatment code	对主要生育期蚜虫的防效/% Control efficacy against wheat aphids		
	孕穗期 Booting stage	开花期 Flowering stage	灌浆期 Grain-filling stage
	Y/C	15.04±2.17d	26.25±3.10d
Y/J	17.82±1.94d	34.90±3.58c	40.69±5.24c
Y/M	26.00±2.85c	53.87±4.61b	35.11±4.61cd
Y+C	40.82±4.37ab	52.81±5.22b	62.23±6.17a
Y+J	28.41±3.03c	56.45±4.87ab	53.19±6.00b
Y+M	50.56±5.69a	61.46±6.61a	56.38±5.87ab
CK	--	--	--

注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), The same as below.

在燕麦灌浆期,防效最佳的种植模式是燕麦混作油菜(Y+C),高达62.23%,其次为燕麦混作毛苕子(Y+M),防效为56.38%,防效排名第三的种植模式为燕麦混作箭筈豌豆(Y+J),防效达到53.19%,其余3个处理的防效均显著低于前述3个处理。

综合上述结果,自燕麦孕穗期至灌浆期,混作毛苕子(Y+M)和混作油菜(Y+C)对麦蚜的防效均高于其他种植模式;从开花期到灌浆期,燕麦混作箭筈豌豆(Y+J)对麦蚜的防效是孕穗期的1.87-1.99倍,均高于间作模式的3个处理。因此,混作油菜、混作毛苕子或混作箭筈豌豆,对防治燕麦上的蚜虫具有一定的效果。

### 3 讨论与结论

本试验所采用的油菜、箭筈豌豆和毛苕子作为间作或混作作物,主要基于以下依据:首先,这三种作物均为显花植物,其花粉可为麦蚜的天敌提供营养,有助于吸引并维持天敌种群,从而增强对蚜虫的生物防治效果。其次,箭筈豌豆和毛苕子是典型的豆科绿肥作物,具有固氮作用,能够改善土壤肥力,为燕麦生长提供额外的氮素营养;最后,油菜作为常见的经济作物,其与燕麦混作已被证明能够提高土壤酶活性和饲草品质<sup>[11]</sup>。本研究选用的燕麦‘加燕2号’,箭筈豌豆‘西牧324’,毛苕子‘土库曼’,油菜‘青杂15号’均为青海省主栽品种,具有优良的高原适应性和稳定性。研究

结论可为同类型品种提供参考,但需根据当地品种特性调整播种比例。生育时期方面,混作模式(尤其是混作油菜)导致燕麦收获期延迟1-4 d,可能与后期油菜株高超过燕麦,形成遮荫效应,从而减缓燕麦的光合作用速率有关。值得注意的是,混作模式对燕麦生育期的影响是否会对机械化收获造成干扰,仍需进一步研究。从蚜虫防治效果来看,混作毛苕子、箭筈豌豆和油菜在燕麦孕穗期至灌浆期对麦蚜的防效达52.81%-62.23%。小麦与燕麦同属禾本科,生长习性相近,参考以小麦为主栽的研究<sup>[16]</sup>,间作玉米、油菜、黄豆均能显著减少麦蚜数量,防效优于单作,其中玉米间作效果最佳。上述混作模式的防效表现,或为禾本科作物虫害防控提供新视角。

本研究结果表明,间混作模式不仅能有效防控害虫,还能显著改善土壤健康并提高资源利用效率。与青海高原和内蒙古地区的研究一致,豆科与燕麦间作可提升土壤有机质和速效氮含量<sup>[17,18]</sup>,减少化肥需求达30%<sup>[17]</sup>。同时,混播油菜或毛苕子能进一步提高燕麦产量、饲草品质及土壤酶活性<sup>[11,19]</sup>。这种种植模式通过作物间的时空互补,如错峰吸收养分、差异化利用生长空间,显著提高了土地生产力和经济效益<sup>[20]</sup>。此外,显花植物通过提供花粉、花蜜等营养资源及适宜的栖息环境,能够显著吸引并维持天敌种群,从而提升燕麦田的生物多样性。这种生态调控策略不仅促进了天敌的定殖与繁衍,还能通过营养级联效应持续抑制害虫种群,减少对化学农药的依赖。植物多样性的增加进一步强化了生态系统的稳定性,为农业害虫的绿色防控提供了长效解决方案。

综上所述,推荐在燕麦种植中优先采用混作模式。未来研究可进一步探讨不同燕麦品种在间混作体系中的适应性,以及混作模式对机械化收获效率的影响,以优化种植技术的实际应用。

#### 参考文献

- [1] 刘宏,陈永红.我国小宗谷物分品种优势区域布局与发展思路[J].中国食物与营养,2012,18(08):21-25.
- [2] 作均祥.农业昆虫学[M].北京:中国农业出版社,2016.
- [3] 李秋荣.青海东部地区燕麦蚜虫种类及种群消长动态研究[J].青海农林科技,2022(03):32-37+41.
- [4] 吴廷娟,贺春贵,武德功,等.不同燕麦品种对蚜虫的抗性比较试验[J].草原与草坪,2007(03):38-40.
- [5] 柴继宽.轮作和连作对燕麦产量、品质、主要病虫害及土壤肥力的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2012.
- [6] 赵鑫,杨慧,杨向黎,等.5种杀虫剂对燕麦蚜虫的田间防治效果[J].山东农业大学学报(自然科学版),2020,51(06):1049-1051.
- [7] 中国大百科全书总委员会《环境科学》委员会.中国大百科全书,环境科学[M].北京:中国大百科全书出版社,2002.
- [8] 渠佳慧,王春梅,吴鹏博,等.燕麦间作箭筈豌豆对饲草产质量及土壤生物学性状的影响[J].内蒙古农业大学学报,2020,41(01):5-13.
- [9] 张筠钰,吴晓娟,吴宛萍,等.施氮对箭筈豌豆/燕麦间作系统叶性状和土壤矿质氮含量的影响[J].中国草地学报,2023,45(11):52-61.
- [10] 杨航,赵雅姣,刘晓静.紫花苜蓿/燕麦间作的光合特征及其对产量的调控效应[J].草地学报,2023,31(01):187-195.
- [11] 李学博,李立军,马乃娇.油菜燕麦混播对饲草产量品质及土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2020,51(04):897-904.
- [12] 马乃娇.盐碱地油菜燕麦混播结合施肥对饲草产量和土壤性状的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [13] Neumann A, Schmidtke K, Rauber R. Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat[J]. Field Crops Research, 2007, 100: 285-293.
- [14] Lee C H, Park K D, Jung K Y, et al. Effect of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) as a green manure on rice productivity and methane emission in paddy soil[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010, 138(3-4): 343-347.
- [15] 刘成.小麦害虫禾谷缢管蚜的鉴别与防治[J].农业灾害研究,2013,3(04):1-4.
- [16] 刘乾.甘肃省天水市麦蚜发生规律及小麦种植模式对其种群数量的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2010.
- [17] 韩梅,胥婷婷,曹卫东.青海高原长期复种绿肥毛叶苕子对土壤供氮能力的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(06):104-109.
- [18] 张春林,南金生,秦海英,等.内蒙古半干旱冷凉地区燕麦与箭筈豌豆混播生产性能及营养价值评价[J].草业科学,2024,41(05):1189-1200.
- [19] 梁高森,严清彪,李正鹏,等.毛叶苕子与不同作物混播、间作对种子生产的影响[J].青海大学学报,2023,41(03):59-64.
- [20] 冯晓敏,杨永,任长忠,等.豆科-燕麦间作对作物光合特性及籽粒产量的影响[J].作物学报,2015,41(09):1426-1434.