



李润钊, 唐庆伟, 于福兰, 于秀英, 王艳辉, 李立坤, 陈法军. 麦田肥料减施下深耕对麦叶爪螨和麦岩螨种群发生的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (4): 840–849.

## 麦田肥料减施下深耕对麦叶爪螨和麦岩螨种群发生的影响

李润钊<sup>1</sup>, 唐庆伟<sup>1,2</sup>, 于福兰<sup>3</sup>, 于秀英<sup>3</sup>, 王艳辉<sup>1</sup>, 李立坤<sup>1</sup>, 陈法军<sup>1\*</sup>

(1. 南京农业大学植物保护学院昆虫学系, 昆虫信息生态实验室, 南京 210095; 2. 江苏省南京市高淳区农业农村局, 江苏高淳 211300; 3. 山东省济南市济阳区农业农村局, 山东济阳 251400)

**摘要:** 为探究不同耕作方式和肥料水平对两种麦田害螨 (麦叶爪螨 *Pentfaleus major* 和麦岩螨 *Petrobia latens*) 种群发生的影响, 2019–2020 年研究了浅耕 (耕深 13 cm) 和深耕 (耕深 25 cm) 下标准施肥 (600 kg/hm<sup>2</sup>) 和肥料减施 (375 kg/hm<sup>2</sup>) 麦田两种害螨的若虫、成虫和种群发生动态。结果表明: 相同肥料和耕作处理中麦叶爪螨发生量都明显高于麦岩螨发生量, 麦叶爪螨是麦田主要害螨。与标准肥处理相比, 肥料减施显著降低了 2019 年浅耕和深耕下麦岩螨若虫发生量, 以及 2020 年深耕麦田麦岩螨种群发生量。另一方面, 与浅耕处理相比, 深耕显著降低了 2019 年标准肥麦田麦岩螨若虫发生量, 并显著降低了 2019 年和 2020 年标准肥麦田麦叶爪螨成虫发生量, 以及 2019 年和 2020 年标准肥麦田麦叶爪螨和麦岩螨种群发生量。可见, 肥料减施和深耕处理都可降低麦田麦叶爪螨和麦岩螨种群发生量, 有利于实现麦田害螨生态防控。

**关键词:** 麦田; 深耕和浅耕; 肥料减施; 小麦害螨; 种群发生量

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674–0858 (2021) 04–0840–10

### Effects of deep tillage on population occurrence of *Pentfaleus major* and *Petrobia latens* under reduced fertilizer application in wheat fields

LI Run-Zhao<sup>1</sup>, TANG Qing-Wei<sup>1,2</sup>, YU Fu-Lan<sup>3</sup>, YU Xiu-Ying<sup>3</sup>, WANG Yan-Hui<sup>1</sup>, LI Li-Kun<sup>1</sup>, CHEN Fa-Jun<sup>1\*</sup> (1. Laboratory of Insect Informatic Ecology, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Gaochun District Agricultural Rural Bureau of Nanjing, Gaochun 211300, Jiangsu Province, China; 3. Jiyang District Agricultural and Rural Bureau of Jinan, Jiyang 251400, Shandong Province, China)

**Abstract:** To explore the effects of different tillage methods and fertilizer levels on the population occurrences of two species of pest mites (*Pentfaleus major* and *Petrobia latens*) in wheat fields, in 2019–2020, the nymphs, adults and population dynamics were studied under shallow tillage (tillage depth of 13 cm) versus deep tillage (tillage depth of 25 cm) and standard fertilizer (600 kg/hm<sup>2</sup>) versus reduced fertilizer (375 kg/hm<sup>2</sup>). The results showed that the incidence of *P. major* was significantly higher than that of *P. latens* in the same fertilizer and tillage treatments, thus, the *P. major* was the main pest mite in wheat fields. Compared with standard fertilizer treatments, reduced fertilizer application

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0200400)

作者简介: 李润钊, 男, 1999 年生, 河南焦作人, 硕士研究生, 研究方向为害虫生态治理, E-mail: 2020102066@stu.njau.edu.cn

\* 通讯作者 Author for correspondence: 陈法军, 男, 博士, 教授, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: fajunchen@njau.edu.cn

收稿日期 Received: 2021–04–21; 接受日期 Accepted: 2021–06–06

significantly decreased the occurrence of *P. latens* nymphs under both shallow and deep tillage in 2019, while significantly reduced the population of *P. latens* only under deep tillage in 2020. On the other hand, compared with shallow tillage, deep tillage significantly reduced the occurrence of *P. latens* nymphs in 2019, the occurrence of *P. major* adult in 2019 and 2020, and the population occurrences of *P. latens* and *P. major* in 2019 and 2020, in fields with a standard fertilizer. Our results showed that both reduced fertilizer application and deep tillage treatments can decrease the population abundances of *P. latens* and *P. major* in wheat fields, which would be conducive to the ecological prevention and control of pest mites.

**Key words:** Wheat fields; shallow and deep tillage; reduced fertilizer application; wheat mites; population occurrence

我国自古就是农业大国,土壤耕作更是在农业生产中扮演着不可或缺的角色。土壤耕作是根据植物对土壤的要求和土壤特性,采用机械或者非机械方法改善土壤耕层结构和理化性状,以达到提高肥力、消灭病虫杂草等农业有害生物的目的而采取的一系列耕作措施。过硬的土壤可通过限制植物本身产生的乙烯扩散,导致乙烯在根系周围积聚,进而抑制了植物根系的生长(Pandey *et al.*, 2021)。有研究表明,耕作方式对小麦生长发育及其产量形成过程有很大的影响(Wu *et al.*, 2003)。深耕是农业生产中最常见的耕作方式,能很好地保存水分,并在一定程度上打破犁底层、降低土壤容重、增加土壤通透性及有机碳含量等,但深耕整地耗费农时过多,对作业机械要求高,经济成本相应增加(白云刚, 2019)。相对应的浅耕具有平整地面、破除板结、粉碎根茬、增加土地耕性等优点,有利于作物播种,但对深层土壤肥力影响不大(刘智炫等, 2020)。

小麦是世界上重要的粮食作物之一,其播种面积居谷类作物首位。21世纪以来,我国小麦产量记录不断刷新,一方面与土壤耕作及田间栽培管理措施改进有关,另一方面也与肥料过量投入密不可分。实际生产中肥料常常过量使用,而作物的化学肥料吸收利用率不高(张洋等, 2020),这不仅造成了化学肥料的浪费,还给农业环境带来了不可估量的破坏(Robertson *et al.*, 2009; 胡小凤, 2010)。长期盲目地大量使用化肥,不仅会造成资源浪费、土壤板结、土壤有机质含量降低等情况(Kaur *et al.*, 2007; 宋永林等, 2007),还会使土壤肥力下降、农作物品质降低等(Gong *et al.*, 2009)。因此,减少化肥用量,优化施肥管理已成为目前农业生产的重大挑战。赵亚南等(2017)研究表明,减施化肥能够在两年内维持小麦的产量,但花后功能叶会加速衰退。有较多研

究表明,适当减施化肥并没有造成产量显著变化,且改善了作物品质、提高了肥料利用率和经济效益,降低了肥料的损失和对环境的污染,从而达到了节肥增效的目的(王道中等, 2012; 董茜等, 2014; 李永胜等, 2014; 李晓波等, 2016)。

我国的小麦害螨种类主要有麦叶爪螨(即麦圆蜘蛛 *Pentfaleus major*)和麦岩螨(即麦红蜘蛛 *Petrobia latens*)两种,二者均在干旱的麦田中发生为害严重。在我国黄河中下游地区,麦叶爪螨每年繁殖2~3代,麦岩螨每年繁殖3~4代(贾士龙, 2012)。每年3月以后,随着小麦害螨越冬卵的孵化,数量急剧上升,会对小麦的幼苗叶片产生严重伤害;4月是发生第1代小麦害螨的危险期,气温回升后,其活跃度也会随之增高;5~6月,小麦害螨以雌虫产卵越冬,10月份越冬卵孵化,危害秋播麦苗(洪晓月, 2012)。近年来,小麦害螨造成小麦产量实际损失占病虫害总损失的6.38%,常年造成减产10%~20%,严重地区可减产40%以上(黄冲等, 2020)。小麦害螨以刺吸式口器取食小麦植物组织为害,植物受害严重至全部枯死,影响了小麦的产量和品质(Vaccino *et al.*, 2016)。如2011年秋,麦叶爪螨在安徽阜南县大规模发生,个别田块出现成片麦叶卷缩枯死、叶片发白等现象,全县发生面积达2.67万hm<sup>2</sup>,占播种面积的32%,危害程度达20年之最(徐一鑫等, 2012)。

目前,关于不同耕作方式及施肥处理对小麦害螨种群发生及其为害影响的研究少有报道。本试验通过设置深耕(耕深25cm)和浅耕(耕深13cm)两种耕作方式,以及标准肥(600kg/hm<sup>2</sup>)和肥料减施(375kg/hm<sup>2</sup>)两种施肥处理,开展不同耕作方式及施肥处理对两种主要麦田害螨——麦叶爪螨 *P. major* 和麦岩螨 *P. latens* 种群发生动态影响,旨在探明肥料减施结合深耕处理在麦田害螨防治中的作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于山东省济南市济阳区崔寨街道南辛村 (36°58′N, 117°13′E)。该地区位于暖温带半湿润季风气候区内, 具有北暖温带半湿润季风气候特点, 四季分明、雨热同季、光照充足, 年平均气温 12.8℃, 年平均无霜期 195 d, 年太阳辐射量 124.4 千卡/cm<sup>2</sup>, 年降水量 583.3 mm, 降水多集中在 7-9 月, 且该地区地属平原地区, 土层深厚, 土壤类型为潮土 (济阳区人民政府, 2019)。

### 1.2 试验材料

供试作物为济麦 22 (平均全生育期 231.4 d), 由山东鲁原种业有限公司提供。供试肥料为复合肥 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O: 17-20-5), 由山东临沂绿源化肥有限公司提供。

### 1.3 试验方法

试验设置两种耕作方式, 分别为浅耕 (Shallow tillage, ST) (耕深 13 cm) 和深耕 (Deep tillage, DT) (耕深 25 cm); 同时, 试验设置两个肥料水平, 分别为标准肥 (Normal fertilizer, NF) 600 kg/hm<sup>2</sup> (即 40 kg/亩) 和减肥 (Reduce fertilizer, RF) 375 kg/hm<sup>2</sup> (即 25 kg/亩)。整个试验共计 4 个处理, 分别为浅耕 + 标准肥 (ST-NF)、浅耕 + 减肥 (ST-RF)、深耕 + 标准肥 (DT-NF)、深耕 + 减肥 (DT-RF)。标准肥处理下深耕和浅耕的种植面积分别为长 100 m × 宽 15 m 即 1 500 m<sup>2</sup>, 减肥处理下深耕和浅耕的播种面积分别为长 50 m × 宽 15 m 即 750 m<sup>2</sup>, 不同处理田块之间间隔 1 m 作为隔离带。分别于 2018 年和 2019 年的 10 月 10-15 日期间播种冬小麦, 播种方式为条播, 行距为 15 cm, 亩播种量为 16 kg。小麦生长季节内采取相同的常规大田农事管理措施, 但试验期间所有小区均不喷施任何化学杀虫剂。

### 1.4 小麦害螨种群发生量调查

当地冬小麦春季发生的麦田害螨主要有两种, 即麦叶爪螨和麦岩螨。分别于 2019 年和 2020 年春季进行麦田两种小麦害螨种群发生量调查, 具体于每年的 4 月 10 日开始, 间隔 10 d 连续调查 5 次, 每次调查每处理 6 次重复, 每点查 33.3 cm 单行小麦, 将一张 33.3 cm × 13 cm 的白纸铺在取样点的两行小麦之间, 利用小麦害螨受惊后有较强的假死坠落习性, 将麦株向白纸一侧轻轻压弯拍打使

其掉落并统计发生量, 其成虫和若虫分别计数并统计总种群发生量 (姜玉英等, 2003)。

### 1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2016 处理、制图, 利用 Shapiro-Wilk test 检验数据的正态分布性, 并使用 Levene's test 检测数据的方差齐性 ( $P > 0.05$ )。采用 SPSS 20.0 软件进行四因子方差分析 (Four-way ANOVA) 以明确不同年份之间 (2019 年和 2020 年)、耕作方式 (深耕 DT 和浅耕 ST)、肥料处理 (标准肥 NF 和减施肥料 RF) 对两种小麦害螨 (*P. major* 和 *P. latens*) 若虫、成虫及总种群发生量的影响, 处理间差异显著性应用 LSD 检验检测 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作方式和施肥处理对麦叶爪螨和麦岩螨若虫发生量的影响

耕作方式显著影响了小麦害螨若虫发生动态 ( $F = 8.243, P = 0.005 < 0.01$ ), 且不同年份之间 ( $F = 48.209, P < 0.001$ ) 以及两种害螨之间 ( $F = 120.837, P < 0.001$ ) 若虫发生动态都存在极显著差异 (表 1)。此外, 调查年份与害螨种类之间 ( $F = 23.059, P < 0.001$ )、肥料水平与耕作方式之间 ( $F = 14.719, P < 0.001$ )、耕作方式与害螨种类之间 ( $F = 5.057, P = 0.027 < 0.05$ ), 以及调查年份、肥料水平与耕作方式之间 ( $F = 6.093, P = 0.016 < 0.05$ ), 调查年份、耕作方式与害螨种类之间 ( $F = 4.517, P = 0.037 < 0.05$ ), 肥料水平、耕作方式与害螨种类之间 ( $F = 8.750, P = 0.004 < 0.01$ ) 的交互作用都显著或极显著地影响了害螨若虫发生动态 (表 1)。

相同肥料和耕作处理中麦叶爪螨若虫发生量都明显高于麦岩螨若虫发生量 (图 1)。除了 2019 年标准肥和深耕处理外, 其他处理麦叶爪螨若虫发生量都显著高于麦岩螨若虫发生量 ( $P < 0.05$ ; 图 1)。耕作方式和肥料水平均未显著影响 2019 年和 2020 年调查期间麦叶爪螨若虫发生量 ( $P > 0.05$ ; 图 1), 与标准肥处理相比, 肥料减施显著降低了 2019 年浅耕和深耕下麦岩螨若虫发生量 ( $P < 0.05$ ; 图 1-A, D)。与浅耕处理相比, 深耕显著降低了 2019 年标准肥麦田麦岩螨若虫发生量 ( $P < 0.05$ ; 图 1-A, C)。

表 1 调查年份、肥料水平、耕作方式和害螨种类对两种小麦害螨 (麦叶爪螨和麦岩螨) 若虫、成虫和总种群发生动态影响的四因子方差分析 ( $F/P$  值)

Table 1 Four-way ANOVA of the effects of sampling year, fertilizer level, tillage type and mite species and their interactions on the population dynamics of the nymphs, adults and total individuals of two species of wheat mites, *Pentfaleus major* and *Petrobia latens* ( $F/P$  values)

因子 Factor	若虫发生量 (头/33.3 cm 行长) Nymph abundance	成虫发生量 (头/33.3 cm 行长) Adult abundance	种群数量 (头/33.3 cm 行长) Population abundance
年份 Years (Y)	48.209 < 0.001 ***	27.035 < 0.001 ***	36.813 < 0.001 ***
肥料 Fertilizer (F)	0.289/0.592	4.574/0.036*	2.423/0.123
耕作 Tillage (T)	8.243/0.005**	19.233 < 0.001 ***	15.275 < 0.001 ***
螨类 Mites (M)	120.837 < 0.001 ***	117.542 < 0.001 ***	126.329 < 0.001 ***
年份 × 肥料 (Y × F)	0.455/0.502	0.004/0.947	0.099/0.754
年份 × 耕作 (Y × T)	2.572/0.113	5.121/0.026*	4.270/0.042*
年份 × 螨类 (Y × M)	23.059 < 0.001 ***	20.179 < 0.001 ***	22.630 < 0.001 ***
肥料 × 耕作 (F × T)	14.719 < 0.001 ***	10.497/0.002**	12.832/0.0014**
肥料 × 螨类 (F × M)	0.077/0.783	1.498/0.225	0.428/0.515
耕作 × 螨类 (T × M)	5.057/0.027*	11.358/0.0011**	9.125/0.003**
年份 × 肥料 × 耕作 (Y × F × T)	6.093/0.016*	3.004/0.087	4.347/0.040*
年份 × 肥料 × 螨类 (Y × F × M)	0.346/0.558	0.023/0.879	0.020/0.887
年份 × 耕作 × 螨类 (Y × T × M)	4.517/0.037*	6.324/0.014*	5.930/0.017*
肥料 × 耕作 × 螨类 (F × T × M)	8.750/0.004**	8.304/0.005**	9.013/0.004**
年份 × 肥料 × 耕作 × 螨类 (Y × F × T × M)	3.111/0.082	2.023/0.159	2.576/0.112

注 “\*” ,  $P < 0.05$ ; “\*\*” ,  $P < 0.01$ ; “\*\*\*” ,  $P < 0.001$ 。Noté “\*” ,  $P < 0.05$ ; “\*\*” ,  $P < 0.01$ ; “\*\*\*” ,  $P < 0.001$ 。

## 2.2 不同耕作方式和施肥处理对麦叶爪螨和麦岩螨成虫发生量的影响

肥料水平 ( $F = 4.574$ ,  $P = 0.036 < 0.05$ ) 和耕作方式 ( $F = 19.233$ ,  $P < 0.001$ ) 都显著影响或极显著地影响了两种小麦害螨成虫发生动态, 且不同年份之间 ( $F = 27.035$ ,  $P < 0.001$ ) 以及两种小麦害螨之间 ( $F = 117.542$ ,  $P < 0.001$ ) 成虫发生动态都存在显著或极显著差异 (表 1)。此外, 调查年份与耕作方式 ( $F = 5.121$ ,  $P = 0.026 < 0.05$ )、调查年份与害螨种类之间 ( $F = 20.179$ ,  $P < 0.001$ )、肥料水平与耕作方式之间 ( $F = 10.497$ ,  $P = 0.002 < 0.01$ )、耕作方式与害螨种类之间 ( $F = 11.358$ ,  $P = 0.0011 < 0.01$ ), 以及调查年份、耕作方式与害螨种类之间 ( $F = 6.324$ ,  $P = 0.014 < 0.05$ ), 肥料水平、耕作方式与害螨种类

之间 ( $F = 8.304$ ,  $P = 0.005 < 0.01$ ) 的交互作用都显著或极显著地影响了两种小麦害螨成虫发生动态 (表 1)。

相同肥料和耕作处理中麦叶爪螨成虫发生量都明显高于麦岩螨成虫发生量 (图 2)。除了 2019 年标准肥和深耕处理外, 其他处理麦叶爪螨成虫发生量都显著高于麦岩螨成虫发生量 ( $P < 0.05$ ; 图 2)。耕作方式和肥料水平均未显著影响 2019 年和 2020 年调查期间麦岩螨成虫发生量 ( $P > 0.05$ ; 图 2)。与浅耕处理相比, 深耕显著降低了 2019 年和 2020 年标准肥麦田麦叶爪螨成虫发生量 ( $P < 0.05$ ; 图 2-A, C、图 2-E, G)。此外, 与标准肥处理相比, 肥料减施显著降低了 2019 年浅耕麦田麦叶爪螨成虫发生量 ( $P < 0.05$ ; 图 2-A, B)。

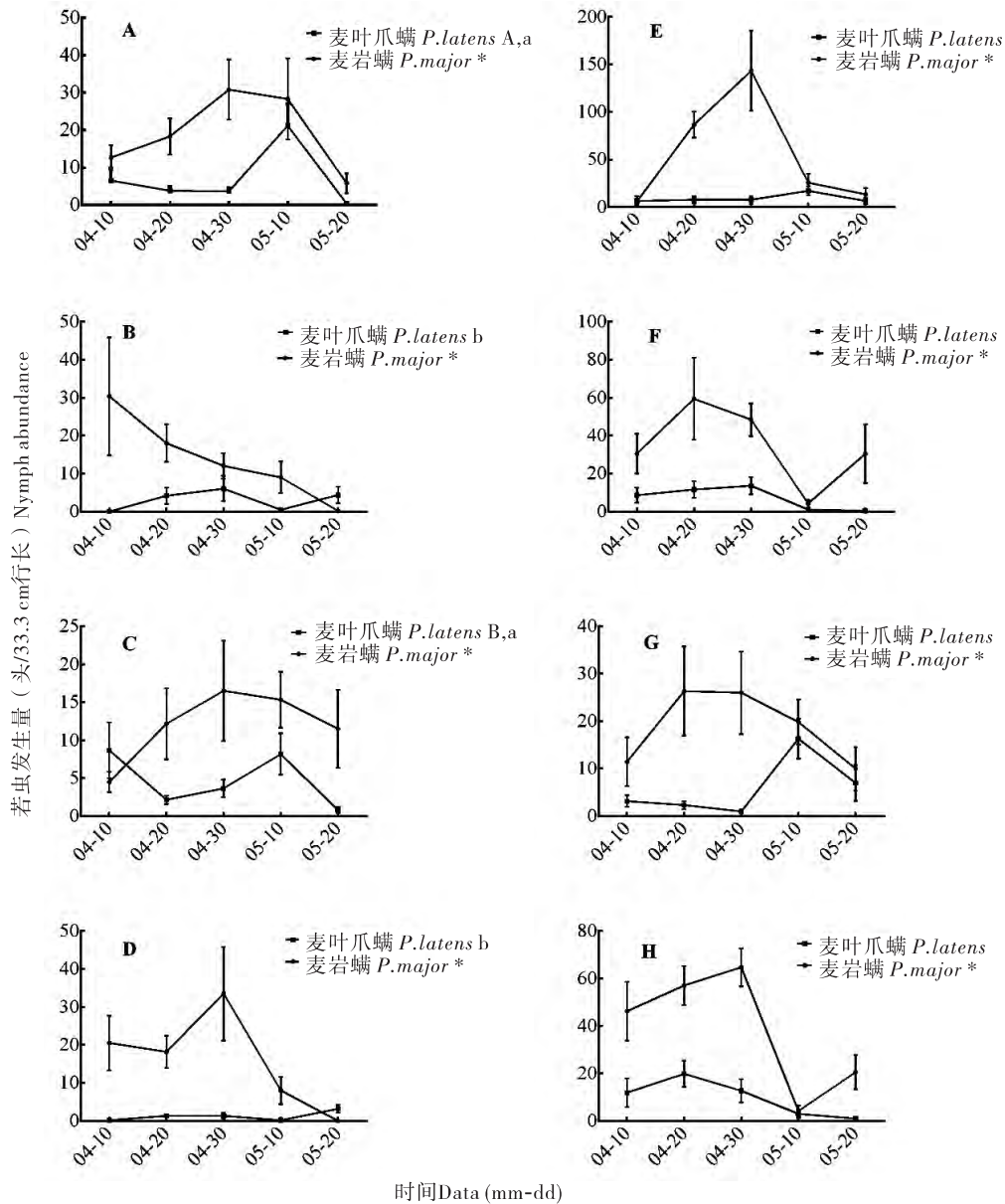


图1 浅耕 (A、B、E、F) 和深耕 (C、D、G、H) 下标准肥 (A、C、E、G) 和肥料减施 (B、D、F、H) 处理麦叶爪螨和麦岩螨若虫发生动态

Fig. 1 Population dynamics of two wheat mite nymphs, of *Pentafaleus major* and *Petrobia latens* under shallow (A, B, E, F) and deep (C, D, G, H) tillage and at normal (A, C, E, G) and reduced (B, D, F, H) fertilizer application in 2019 (A-D) and 2020 (E-H)

注: 2019, A、B、C、D; 2020, E、F、G、H “\*” , 不同小写字母和不同大写字母分别表示同一年份相同耕作和肥料处理下麦叶爪螨与麦岩螨若虫发生动态之间, 同一年份相同耕作方式下不同肥料处理之间以及同一年份相同肥料处理下不同耕作方式之间同一害螨若虫发生动态之间经 LSD 检验差异显著,  $P < 0.05$ 。Note “\*” , different lowercase and uppercase letters indicated that significant differences in the population dynamics of mite nymphs between *P. major* and *P. latens* under same tillage and fertilizer application in same year, and between different fertilizer application under same tillage treatment in same year, and between different tillage treatment under same fertilizer application in same year for same wheat mites by the LSD test at  $P < 0.05$ , respectively.

### 2.3 不同耕作方式和施肥处理对麦叶爪螨和麦岩螨种群发生量的影响

耕作方式极显著地影响了害螨种群发生动态

( $F = 15.275$ ,  $P < 0.001$ ), 且不同年份之间 ( $F = 36.813$ ,  $P < 0.001$ ) 以及两种害螨之间 ( $F = 126.329$ ,  $P < 0.001$ ) 种群发生动态都存在极显著

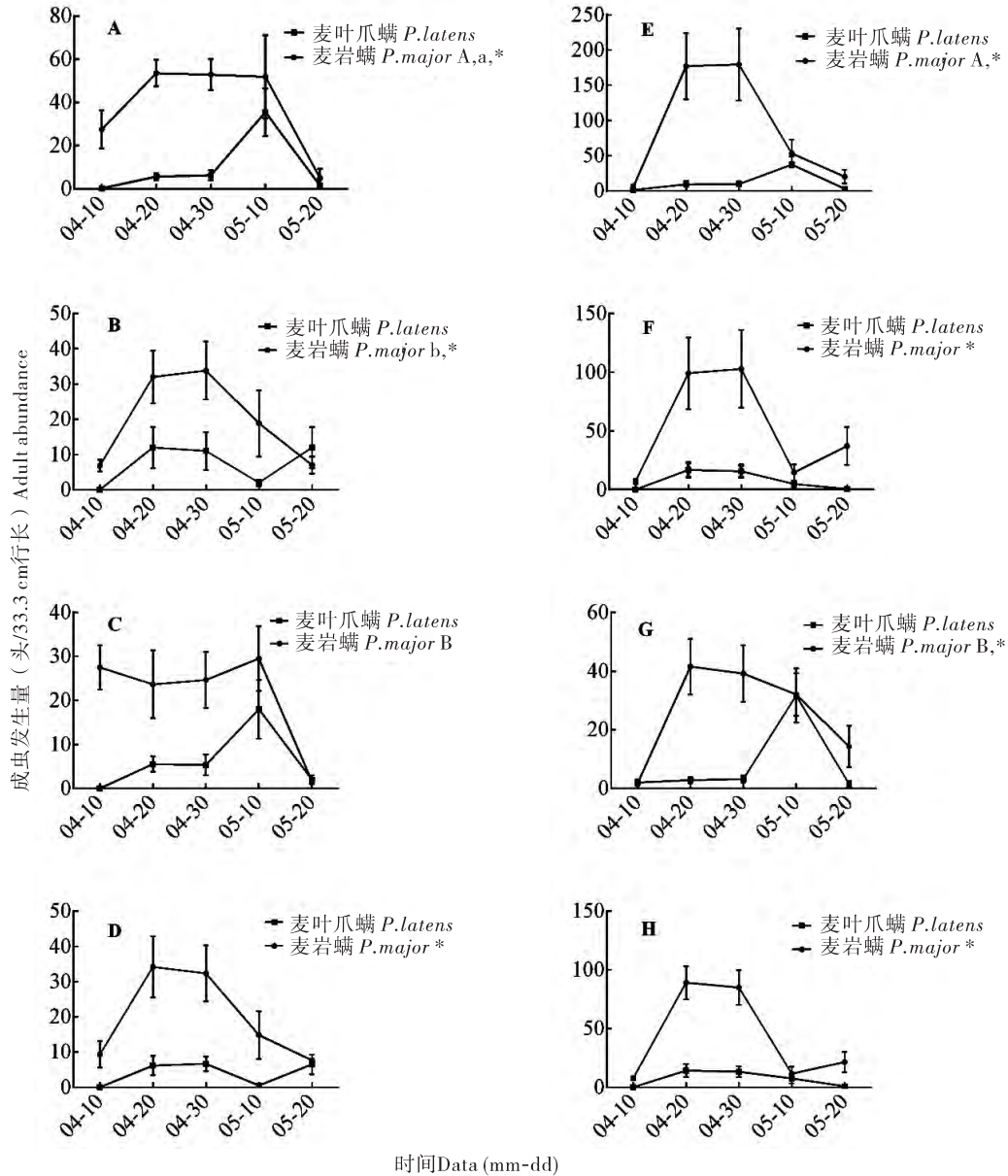


图2 浅耕 (A、B、E、F) 和深耕 (C、D、G、H) 下标准肥 (A、C、E、G) 和肥料减施 (B、D、F、H) 处理麦叶爪螨和麦岩螨成虫发生动态

Fig. 2 Population dynamics of two wheat mite adults of *Pentafaleus major* and *Petrobia latens* under shallow (A, B, E, F) and deep (C, D, G, H) tillage and at normal (A, C, E, G) and reduced (B, D, F, H) fertilizer application in 2019 (A-D) and 2020 (E-H)

注: 2019, A、B、C、D; 2020, E、F、G、H “\*” , 不同小写字母和不同大写字母分别表示同一年份相同耕作和肥料处理下麦叶爪螨与麦岩螨成虫发生动态之间, 同一年份相同耕作方式下不同肥料处理之间以及同一年份相同肥料处理下不同耕作方式之间同一害螨成虫发生动态之间经 LSD 检验差异显著,  $P < 0.05$ 。Note “\*” , different lowercase and uppercase letters indicated that significant differences in the population dynamics of mite adults between *P. major* and *P. latens* under same tillage and fertilizer application in same year, and between different fertilizer application under same tillage treatment in same year, and between different tillage treatment under same fertilizer application in same year for same wheat mites by the LSD test at  $P < 0.05$ , respectively.

差异 (表 1)。此外, 调查年份与耕作方式 ( $F = 4.270, P = 0.042 < 0.05$ )、调查年份与害螨种类之间 ( $F = 22.630, P < 0.001$ )、肥料水平与耕作方

式之间 ( $F = 12.832, P = 0.0014 < 0.01$ )、耕作方式与害螨种类之间 ( $F = 9.125, P = 0.003 < 0.01$ ), 以及调查年份、肥料水平与耕作方式之间

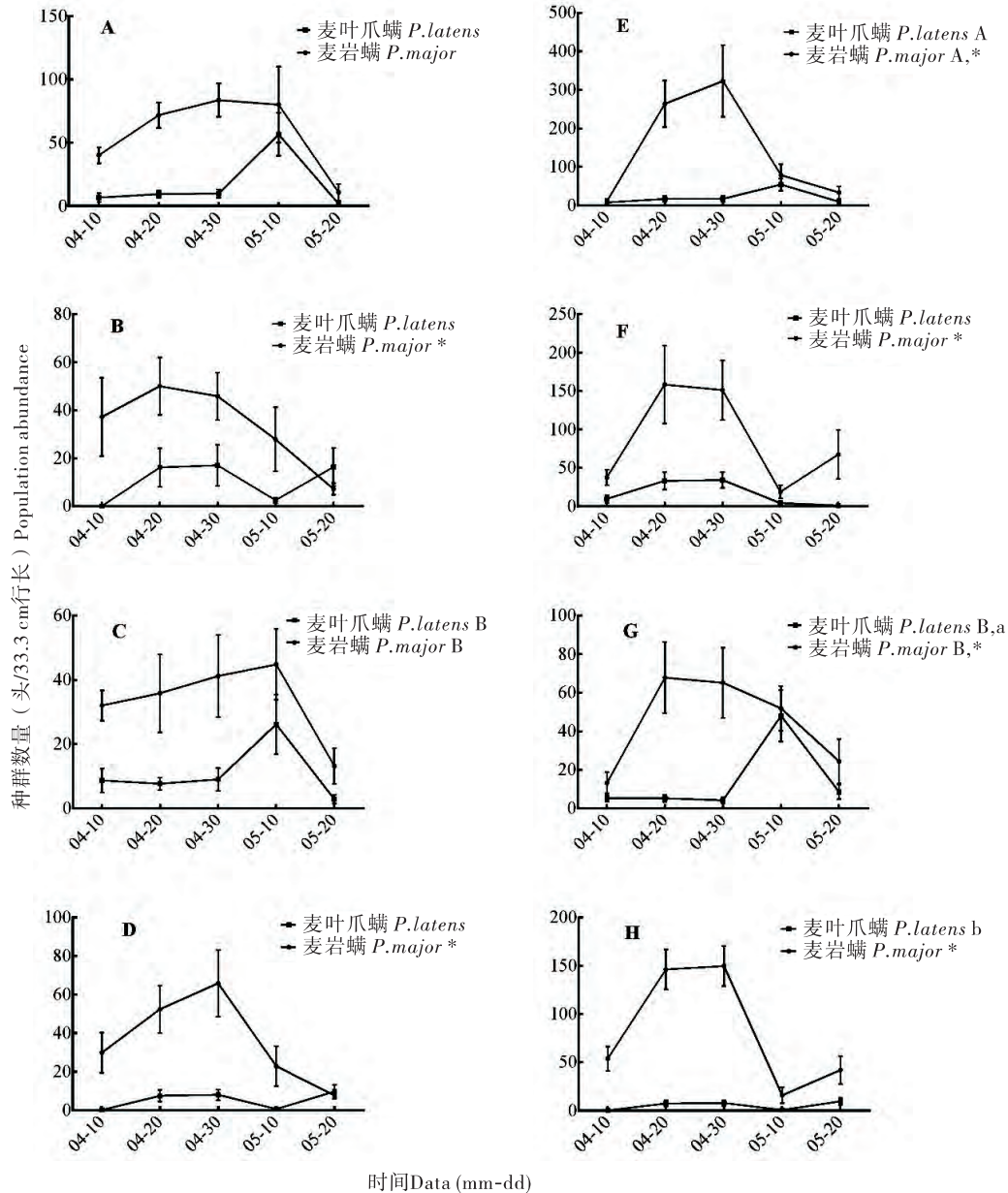


图3 浅耕 (A、B、E、F) 和深耕 (C、D、G、H) 下标准肥 (A、C、E、G) 和肥料减施 (B、D、F、H) 处理麦叶爪螨和麦岩螨种群发生动态

Fig. 3 Population dynamics of two wheat mite adults of *Pentfaleus major* and *Petrobia latens* under shallow (A, B, E, F) and deep (C, D, G, H) tillage and at normal (A, C, E, G) and reduced (B, D, F, H) fertilizer application in 2019 (A-D) and 2020 (E-H)

注: 2019, A、B、C、D; 2020, E、F、G、H “\*” , 不同小写字母和不同大写字母分别表示同一年份相同耕作和肥料处理下麦叶爪螨与麦岩螨种群发生动态之间, 同一年份相同耕作方式下不同肥料处理之间以及同一年份相同肥料处理下不同耕作方式之间同一害螨种群发生动态之间经 LSD 检验差异显著,  $P < 0.05$ 。Note “\*” , different lowercase and uppercase letters indicated that significant differences in the population dynamics of mite population between *P. major* and *P. latens* under same tillage and fertilizer application in same year, and between different fertilizer application under same tillage treatment in same year, and between different tillage treatment under same fertilizer application in same year for same wheat mites by the LSD test at  $P < 0.05$ , respectively.

( $F = 4.3473$ ,  $P = 0.040 < 0.05$ ), 调查年份、耕作方式与害螨种类之间 ( $F = 5.930$ ,  $P = 0.017 < 0.05$ ), 肥料水平、耕作方式与害螨种类之间

( $F = 9.013$ ,  $P = 0.004 < 0.01$ ) 的交互作用都显著或极显著地影响了害螨种群发生动态 (表1)。

相同肥料和耕作处理中麦叶爪螨种群发生量

都明显高于麦岩螨种群发生量(图3)。除了2019年标准肥和深耕处理外,其他处理麦叶爪螨种群发生动态都显著高于麦岩螨种群发生动态( $P < 0.05$ ;图2)。与浅耕处理相比,深耕显著降低了2019年和2020年标准肥麦田麦叶爪螨和麦岩螨种群发生量( $P < 0.05$ ;图2-A, C、图2-E, G)。此外,与标准肥处理相比,肥料减施显著降低了2020年深耕麦田麦岩螨种群发生量( $P < 0.05$ ;图3-G, H)。

### 3 结论与讨论

耕作和施肥是农业生产中提高作物产量的重要农事操作手段(Shahbaz *et al.*, 2020; 闫秋艳等, 2021)。为了减少劳动力投入,增加农民收入,国家开始倡导各种农艺措施相结合,以创造稳定的农田生态系统,达到控制病虫害发生并促进农业生产提质增效的目的(国家统计局, 2019)。施肥可以改变植物的形态、生化生理特性,进而改善以之为食的植食性昆虫的营养品质,从而进一步影响害虫的发生(Haddad *et al.*, 2000; Gall *et al.*, 2020)。相对于目前麦田施肥水平而言,肥料减施有利于降低麦田麦叶爪螨和麦岩螨种群发生量。张宝香和杜相革(2007)研究表明,高肥处理显著增加了黄瓜上叶螨的发生量;党益春等(2008)也在棉花上得到了相同的结果。另一方面,通过翻耕和处理残茬等农业耕作措施,可以清除在土壤中的害虫蛹或者卵,以达到切断虫源的目的;反之,若采用免耕等保护性耕作措施,则会有利于以蛹或者老熟幼虫在土壤中越冬的害虫的发生(Rieff *et al.*, 2020)。此外,通过不同深度的翻耕,会对田间土壤含水量、土壤物理结构,乃至土壤微生物区系组成等产生影响,进而影响植物及其植食性害虫的发生为害等(Callahan *et al.*, 2004)。可见,在当前施肥水平下,深耕有利于降低麦田麦叶爪螨和麦岩螨种群发生和为害。张智等(2012)报道,旋耕较少耕或免耕能够减少麦红吸浆虫的发生量,这与本试验结果相符。

目前,生产上主要采用小麦播前药剂拌种(王孟泉等, 2018; 李薇等, 2019),以及小麦返青后化学药剂喷雾防治(高应奇, 2019)防控麦螨等害虫为害,同时会造成害虫抗药性的产生以及污染环境等问题。杜继荣(2016)研究表明,采用农业综合措施对麦螨防治能达到很好的效果,

防治效果可达93.3%。另有研究表明,麦收后深耕整地能够消灭越夏卵,减少越夏虫源基数,降低对次年小麦的危害程度(王辅成, 1962; 高扬, 2011; 贾士龙, 2012)。目前关于耕作方式和肥料水平对作物的影响研究主要集中在对作物产量、根系形成以及土壤养分影响方面(Kaur *et al.*, 2019; 张黛静等, 2019; 聂胜委等, 2020),有关对小麦害螨种群发生和为害的研究少有报道。

本试验结果表明,肥料水平仅显著影响了小麦害螨成虫发生量,但对若虫及总种群发生量影响不显著;此外,耕作方式显著影响了小麦害螨若虫、成虫和总种群发生量,且两种害螨的若虫、成虫和总种群发生量之间存在显著差异。2019年和2020年调查期间,相同肥料和耕作处理中麦叶爪螨种群发生量都明显高于麦岩螨种群发生量,且除了2019年标准肥和深耕处理外,其他处理麦叶爪螨种群发生动态都显著高于麦岩螨种群发生动态。可见,该调查地区麦田害螨以麦叶爪螨为主要种群,当地小麦生产中应重点防控麦叶爪螨的发生为害。虽然耕作方式和肥料水平均未显著影响2019年和2020年调查期间麦叶爪螨若虫发生量和麦岩螨成虫发生量,但与标准肥处理( $600 \text{ kg/hm}^2$ )相比,肥料减施( $375 \text{ kg/hm}^2$ 减施37.5%)显著降低了2019年浅耕和深耕下麦岩螨若虫发生量,以及2020年深耕麦田麦岩螨种群发生量。另一方面,与浅耕处理(常规农事操作;耕深13 cm)相比,深耕(耕深25 cm)显著降低了2019年标准肥麦田麦岩螨若虫发生量,以及2019年和2020年标准肥麦田麦叶爪螨成虫发生量,以及2019年和2020年标准肥麦田麦叶爪螨和麦岩螨种群发生量。综合以上结果可得,肥料减施和深耕处理都可降低麦田麦叶爪螨和麦岩螨种群发生量,建议在生产中推广使用这两类农事操作措施以实现麦田虫害的生态防控。

### 参考文献 (References)

- Bai YG. Analysis on the advantages and disadvantages of deep ploughing of agricultural machinery [J]. *Yunnan Agriculture*, 2019, 10: 23-24. [白云刚. 浅析农业机械深耕的利与弊 [J]. 云南农业, 2019, 10: 23-24]
- Callahan MA, Richter DD, Coleman DC, *et al.* Long-term land-use effects on soil invertebrate communities in southern piedmont soils, USA [J]. *Eur. J. Soil. Biol.*, 2006, 42 (1): S150-S156.
- Dang YC, Zhang JP, Wang LJ. Occurrence dynamics of cotton spider mites under different nitrogen fertilizer conditions [J]. *Xinjiang*



- Agricultural Sciences*, 2008, S2: 99 – 101. [党益春, 张建萍, 王力军. 不同氮肥条件下棉叶螨的发生动态 [J]. 新疆农业科学, 2008, S2: 99 – 101]
- Dong Q, Yong TW, Liu XM, *et al.* Effect of nitrogen application methods on crop yield and grain filling characteristics of maize in maize-soybean relay strip intercropping system [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40 (8): 2018 – 2039. [董茜, 雍太文, 刘小明, 等. 施氮方式对玉米-大豆套作体系中作物产量及玉米籽粒灌浆特征的影响 [J]. 作物学报, 2014, 40 (8): 2018 – 2039]
- Du JR. Experiment on the control effect of different treatments on wheat mites [J]. *Xiandai Nongcun Keji*, 2016, 14: 50 – 51. [杜继荣. 麦蜘蛛不同处理防治效果试验 [J]. 现代农村科技, 2016, 14: 50 – 51]
- Gall ML, Word ML, Thompson N, *et al.* Nitrogen fertilizer decreases survival and reproduction of female locusts by increasing plant protein to carbohydrate ratio [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2020.
- Gao Y. The difference and control of *Pentafaleus major* and *Petrobia latens* [J]. *Pesticide Market Information*, 2011, B04: 43. [高扬. 小麦长腿蜘蛛和圆蜘蛛的区别与防治 [J]. 农药市场信息, 2011, B04: 43]
- Gao YQ. Preliminary study on the test effect of chemical control of wheat mites [J]. *South China Agriculture*, 2019, 13 (29): 23. [高应奇. 麦蜘蛛药剂防治试验效果初探 [J]. 南方农业, 2019, 13 (29): 23]
- Gong W, Yan XY, Wang JY, *et al.* Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat maize cropping system in northern China [J]. *Geoderma*, 2009, 149 (3–4): 318 – 324.
- Haddad NM, Haarstad J, Tilman D. The effects of long-term nitrogen loading on grassland insect communities [J]. *Oecologia*, 2000, 124 (1): 73 – 84.
- Hong XY. *Agricultural Miteology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012. [洪晓月. 农业螨类学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2012]
- Hu XF. Effect of fertilizer application on ecological environment [J]. *Journal of Liaoning Agricultural College*, 2010, 12 (6): 18 – 19. [胡小凤. 施用化肥对生态环境的影响及控制措施 [J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2010, 12 (6): 18 – 19]
- Huang C, Jiang YY, Li CG. Occurrence, yield loss and dynamics of wheat diseases and insect pests in China from 1987 to 2018 [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (6): 186 – 193. [黄冲, 姜玉英, 李春广. 1987年-2018年我国小麦主要病虫害发生危害及演变分析 [J]. 植物保护, 2020, 46 (6): 186 – 193]
- Jia SL. Occurrence of wheat spiders and control techniques [J]. *Hebei Agriculture*, 2012, 2: 39. [贾士龙. 麦蜘蛛的发生规律及防治技法 [J]. 河北农业, 2012, 2: 39]
- Jiang YY, Liu YQ, Liu WC, *et al.* Rules for the Investigation and Forecast of Wheat Spider [M]. Beijing: Standards Press of China, 2003. [姜玉英, 刘玉琴, 刘万才, 等. 麦蜘蛛测报调查规范 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2003]
- Kaur R, Verma VP, Shivay YS, *et al.* Nitrogen fertilizer management for enhancing productivity and nitrogen-use efficiency in *Bt* cotton [J]. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 89 (12): 2069 – 2073.
- Kaur T, Brar BS, Dhillon NS. Soil organic matter dynamics as affected by long-term use of organic and inorganic fertilizers under maize-wheat cropping system [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2007, 10: 110 – 121.
- Li W, Wang GD, Du XY. Experimental study on the control effect of several wheat seed dressing agents on wheat aphids and wheat spiders [J]. *Henan Agriculture*, 2019, 16: 33 – 34. [李薇, 王国栋, 杜学云. 几种小麦拌种剂对麦蚜、麦蜘蛛的防控效果试验研究 [J]. 河南农业, 2019, 16: 33 – 34]
- Li XB, Liu XJ, Lai YC, *et al.* Reduced fertilization application in double rice cropping in the ‘potato-rice-rice’ rotation system [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37 (10): 1877 – 1881. [李一波, 刘晓津, 赖玉嫦, 等. “薯-稻-稻”轮作模式下双季稻施肥减量研究 [J]. 热带作物学报, 2016, 37 (10): 1877 – 1881]
- Li YS, Du JJ, Zhang WC, *et al.* Effect of reducing fertilization and optimized fertilization on Chinese flowering cabbage [J]. *Northern Horticulture*, 2014, 14: 18 – 21. [李永胜, 杜建军, 张稳成, 等. 菜心减量优化施肥效应研究 [J]. 北方园艺, 2014, 14: 18 – 21]
- Liu ZX, Liu YJ, Peng SG, *et al.* Vertical distribution characteristics of soil available nutrients in tobacco-rice rotation area based on long-term shallow tillage [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2020, 41 (3): 28 – 35. [刘智炫, 刘勇军, 彭曙光, 等. 基于长期浅耕模式的烟稻轮作区土壤速效养分垂直分布特征 [J]. 中国烟草科学, 2020, 41 (3): 28 – 35]
- Nie SW, Zhang HG, Zhang QP, *et al.* Effects of reduced application rate of nitrogen on yield and economical benefit of wheat under different tillage methods [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2020, v. 49; No. 545 (6): 22 – 28. [聂胜委, 张浩光, 张巧萍, 等. 不同耕作方式和氮肥减量对小麦产量及经济效益的影响 [J]. 河南农业科学, 2020, v. 49; No. 545 (6): 22 – 28]
- Pandey BK, Huang G, Bhosale R, *et al.* Plant roots sense soil compaction through restricted ethylene diffusion [J]. *Science*, 2021, 371 (6526): 276 – 280
- People’s Government of Jiyang District. Geographical environment [EB/OL]. (2019-10-25) [2021-04-21]. <http://www.jiyang.gov.cn/col/col16638/index.html>. [济阳区人民政府. 地理环境 [EB/OL]. (2019-10-25) [2021-04-21]. <http://www.jiyang.gov.cn/col/col16638/index.html>]
- Rieff GG, Natal-da-Luz T, Renaud M, *et al.* Impact of no-tillage versus conventional maize plantation on soil mesofauna with and without the use of a lambda-cyhalothrin based insecticide: A terrestrial model ecosystem experiment [J]. *Applied Soil Ecology*, 2020, 147.
- Robertson GP, Vitousek PM. Nitrogen in agriculture: Balancing the cost of an essential resource [J]. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 2009, 34 (1).

- Shahbaz K, Sumera A, Yu SB, *et al.* Soil water consumption, water use efficiency and winter wheat production in response to nitrogen fertilizer and tillage [J]. *PeerJ*, 2020, 8.
- Song YL, Tang JH, Li XP. The effects of long-term fertilization on crop yield and aquicinnamon soil organic matter [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22 (S1): 100 - 105. [宋永林, 唐华俊, 李小平. 长期施肥对作物产量及褐潮土有机质变化的影响研究 [J]. 华北农学报, 2007, 22 (S1): 100 - 105]
- Vaccino P, Ingegno BL, Pansa MG, *et al.* Common wheat and cereal bug interactions: Kernel quality depletion and immunodetection of damage [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2016, 155 (2).
- Wang DZ, Zhang CJ, Guo XS. Effects of lower fertilizer on rice growth and nitrogen use efficiency [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43 (1): 161 - 165. [王道中, 张成军, 郭熙盛. 减量施肥对水稻生长及氮素利用率的影响 [J]. 土壤通报, 2012, 43 (1): 161 - 165]
- Wang FC. Deep tillage of wheat fields is the way to eliminate *Petrobia latens* [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1962, 6: 28 - 29. [王辅成. 麦田深耕是消灭麦长腿蜘蛛的途径 [J]. 山西农业科学, 1962, 6: 28 - 29]
- Wang MQ, Wang YQ, Dong RZ. Control effect of pesticide seed dressing on wheat diseases and insect pests [J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2018, 38 (32): 16 - 17. [王孟泉, 王玉强, 董若征. 药剂拌种对小麦病虫害的防治效果 [J]. 农业工程技术, 2018, 38 (32): 16 - 17]
- Wu TY, Schoenau JJ, Li F, *et al.* Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 77 (1): 59 - 68.
- Xu YX, Guo GY, Tao L, *et al.* Cause analysis and prevention and control of *Pentafaleus major* severe damage to autumn wheat seedlings in Funan County in 2011 [J]. *Anhui Agri. Sci. Bull.*, 2012, 18 (6): 85, 147. [徐一鑫, 郭国影, 陶玲, 等. 2011年阜南县麦圆蜘蛛严重为害小麦秋苗原因分析及防控 [J]. 安徽农学通报 (下半月刊), 2012, 18 (6): 85, 147]
- Yan QY, Dong F, Jia YQ, *et al.* Effect of tillage patterns on soil water storage and wheat yield in dryland wheat yield [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35 (1): 222 - 228. [闫秋艳, 董飞, 贾亚琴, 等. 耕作方式对旱地麦田土壤蓄水变化特征及小麦产量的影响 [J]. 水土保持学报, 2021, 35 (1): 222 - 228]
- Zhang BX, Du XG. Effects of different amount of organic fertilizer on populations of *Aphis gossypii* glover and *Tetranychus urticae* koch and the yield of cucumber [J]. *China Vegetables*, 2007, 2: 22 - 24. [张宝香, 杜相革. 有机肥不同用量对瓜蚜和叶螨种群数量及黄瓜产量的影响 [J]. 中国蔬菜, 2007, 2: 22 - 24]
- Zhang DJ, Wang YJ, Chen QQ, *et al.* Effects of different tillage methods and increased organic fertilizer application on soil organic carbon pool of wheat field and wheat yield [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47, 11: 128 - 133. [张黛静, 王艳杰, 陈倩青, 等. 不同耕作方式与增施有机肥对麦田土壤有机碳库及小麦产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47, 11: 128 - 133]
- Zhang Y, Xu TT, Zang R. Effects of reduction of nitrogen fertilizer on the yield, quality, absorption of nourishment and utilization of nitrogen of sponge gourd in greenhouse [J]. *Journal of Qinghai University*, 2020, 38 (6): 9 - 14. [张洋, 胥婷婷, 张荣. 氮肥减施对温室丝瓜产量、品质、养分吸收量及氮肥利用率的影响 [J]. 青海大学学报, 2020, 38 (6): 9 - 14]
- Zhang Z, Zhang YH, Cheng DF, *et al.* Impacts of different tillage practices on population dynamics of the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (5): 612 - 617. [张智, 张云慧, 程登发, 等. 耕作方式对麦红吸浆虫种群动态的影响 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (5): 612 - 617]
- Zhao YN, Su MM, Lü Y, *et al.* Wheat yield, nutrient use efficiencies and soil nutrient balance under reduced fertilizer rate [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23 (4): 864 - 873. [赵亚南, 宿敏敏, 吕阳, 等. 减量施肥下小麦产量、肥料利用率和土壤养分平衡 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (4): 864 - 873]