肥料减施对山东麦田麦蚜和麦螨种群发生及小麦产量的影响*

段瑞川[1**] 左传宝[2] 任 华[2] 于福兰[2] 李润钊[1]
李立坤[1] 邹 言[1] 陈法军[1***]

（1. 南京农业大学植物保护学院昆虫系，昆虫信息生态研究室，南京 210095；
2. 山东省济南市济阳区农业农村局，济阳 251400）

摘 要 **【目的】** 为探究不同肥料减施水平对麦田 3 种麦蚜（麦二叉蚜 *Schizaphis graminum*、荻草谷网蚜 *Sitobion miscanthi* 和禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi*）和 2 种麦螨（麦叶爪螨 *Penthaleus major* 和麦岩螨 *Petrobia latens*）的种群发生以及小麦产量的影响。**【方法】** 研究了标准肥（600 kg/hm^2）、减量施肥 10%（540 kg/hm^2）、减量施肥 20%（480 kg/hm^2）、减量施肥 37.5%（375 kg/hm^2）和减量施肥 50%（300 kg/hm^2）下麦田主要害虫麦蚜和麦螨种群发生动态，并调查了不同肥料减施水平下小麦产量相关指标（单穗生物量、每米行穗数、每 10 穗籽粒重、千粒重和每 667 m^2 产量）。**【结果】** 减量施肥处理不同程度地降低了麦田害虫的发生。其中，麦二叉蚜和荻草谷网蚜种群发生量与肥料减施水平呈显著负相关；不同肥料减施处理对小麦穗籽粒重以及千粒重无显著影响，但减量施肥 50%可显著降低小麦单株生物量、每米穗数以及每 667 m^2 产量。回归模型分析显示当肥料减施水平低于 23.16%时小麦产量不受影响。**【结论】** 适度的减量施肥（如<23.16%）不仅可降低麦田主要害虫的发生，且对小麦产量的不利影响较小，为麦田肥料减施提供了依据。

关键词 肥料减施；麦蚜；麦螨；种群发生量；小麦产量

Effects of reduced fertilizer application on the occurrence of wheat aphids and mites in wheat fields, and wheat yield, in Shandong province

DUAN Rui-Chuan[1**] ZUO Chuan-Bao[2] REN Hua[2] YU Fu-Lan[2]
LI Run-Zhao[1] LI Li-Kun[1] ZOU Yan[1] CHEN Fa-Jun[1***]

(1. Insect-Information Ecology Laboratary, Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Jiyang District, Jinan City, Shandong Province, Jiyang 251400, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the effects of different levels of fertilizer reduction on the occurrence of three species of wheat aphids (*Schizaphis graminum*, *Sitobion miscanthi* and *Rhopalosiphum padi*) and two species of wheat mites (*Penthaleus major* and *Petrobia latens*), and on wheat yield, in wheat fields in Shandong. **[Methods]** The population dynamics of wheat aphids and mites, which are the main crop pests in wheat fields, were studied under standard (600 kg/hm^2), 10% reduced (540 kg/hm^2), 20% reduced (480 kg/hm^2), 37.5% reduced (375 kg/hm^2) and 50% reduced (300 kg/hm^2), applications of fertilizer. Yield indices (including biomass per ear, ears per meter of wheat row, seed weight per 10 ears, weight of 1 000 seeds and yield per 667 m^2) under the above fertilizer levels were also investigated. **[Results]** The occurrence of wheat aphids and mites were reduced to different degrees by the different levels of fertilizer application. The occurrence of *S.*

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2023YFD1400800；2017YFD0200400）
**第一作者 First author，E-mail：2802720431@qq.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：fajunchen@njau.edu.cn
收稿日期 Received：2022-10-13；接受日期 Accepted：2023-04-29

graminum and *S. miscanthi* were strongly, and negatively, correlated with the level of fertilizer reduction. However, the level of fertilizer application had no significant effect on the seed weight per 10 ears or per 1 000 seeds. Reducing the amount of fertilizer by 50% significantly decreased the biomass per ear, ears per meter of wheat row and yield per 667 m^2. However, a regression model indicates that wheat yield is not affected when the amount of fertilizer is reduced by < 23.16%. **[Conclusion]** Moderate reduction in the amount of fertilizer applied to wheat fields reduces the abundance of the main wheat pests without greatly affecting wheat yield.

Key words　fertilizer reduction; wheat aphids; wheat mites; population occurrence; wheat yield

化肥对农业生产有着不可或缺的作用，化肥在提高土壤肥力、增加作物产量等方面都有重要作用。我国是一个人口大国，自给自足且充足的粮食供给为我国人民健康生活提供保障，化肥的利用对于粮食丰收至关重要。然而，近年来，盲目追求高产引起的肥料不合理施用问题的弊端逐渐暴露出来，肥料过度施用不仅会降低肥料利用率（包奇军等，2020），同时还对水体、土壤以及大气环境等造成污染（严燕等，2021）。可见，通过大量施用肥料以实现增产是不合理的。

肥料是植物生长所必需的，然而，过量施用化肥可能降低肥料利用率，并且对植物生长没有益处，减量施肥可通过影响作物籽粒的形成过程进而影响作物产量（李世清等，2003）。化肥施用从两个方面影响“作物-害虫”系统。一方面，肥料施用直接影响植食性昆虫的生长发育和繁殖（庞淑婷和董元华，2012）；另一方面，施肥量的多少影响作物生长发育及其营养物质组成，并间接影响害虫对作物的为害（Le *et al.*, 2020）。大量施用肥料使作物增产的同时，也会为某些农业害虫提供了适宜发生与为害寄主的环境条件。因此，合理的农田肥料管理对于防治农业害虫以及作物增产或保产至关重要。研究表明施肥水平影响农田害虫的种群发生，如田新湖等（2019）研究施肥量对茶小绿叶蝉 *Empoasca pirisuga* 种群的影响，结果表明施氮肥可促进茶小绿叶蝉的生长和繁殖；Chen 等（2018）研究表明大田钾肥施用量高有利于大豆尺蠖 *Chrysodeixis includens* 发育；Blazhevski 等（2018）研究表明高氮和高钾施肥下取食番茄叶片的番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 繁殖力高。Qiao 等（2021）研究表明，减施氮肥 50%以上可显著降低蚜虫种群发生密度；Nadeem 等（2022）的研究结果表明减施氮肥不会导致水稻和小麦减产，并且可以增加氮肥利用率；Tan 等（2021）也得出了类似的结果。然而也有研究表明肥料减施条件下，大麦株高以及穗长增加，但籽粒干物质含量显著降低（包奇军等，2020）。

肥料减施对农田害虫和作物生长的影响是同步的，而这二者共同影响作物产量的形成。适度的肥料减施对于农业可持续发展是有利无害的，但肥料减施对作物的具体影响往往也存在地区差异（叶优良等，2007；范明生等，2008）。山东是我国小麦主产区，关于该地区麦田减量施肥对小麦产量以及麦田主要害虫种群发生的影响尚不清楚。为此，本文在山东省济南市济阳区研究了不同水平减量施肥条件下麦田 3 种主要蚜虫（麦二叉蚜 *Schizaphis graminum*、荻草谷网蚜 *Sitobion miscanthi* 和禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi*）和 2 种害螨（麦叶爪螨 *Penthaleus major* 和麦岩螨 *Petrobia latens*）的种群发生情况及其对小麦产量的影响，旨在明确减量施肥对小麦生产及其主要害虫发生的影响，探讨该地区最佳减量施肥水平，以期为当地麦田害虫防治、小麦稳产以及指导作物高效施肥等提供依据。

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，地理位置为北纬 36°53′8.20″、东经 117°06′28.94″，海拔 24 m。该试验区域位于华北地区的鲁西北平原南部，属暖温带半湿润季风气候，年均气温 12.8 ℃，年均降水量 583.3 mm，降水主要集中在 7、8 月份。年均相对湿度 65.6%，年日照时数平均为 2 617.6 h。试验区域

土壤为潮土。

1.2 试验材料

供试小麦品种为‘济麦 22’，麦种由山东省鲁原种子有限公司（山东省济南市工业北路 198 号）提供；试验肥料采用氮磷钾三元复合肥（氮磷钾肥配比为 17%∶20%∶5%），由山东临沂绿源化肥有限公司（山东省临沂市罗庄区罗庄街道文化路西段）提供。

1.3 试验方法

不同肥料水平种植的小麦面积为160 m×50 m，即 8 000 m^2，不同肥料水平田块之间间隔 1 m。于 2020 年 10 试验设置 5 个肥料水平，分别为标准肥（Normal fertilizer，NF；600 kg/hm^2）、减量施肥 10%（ - 10% Fertilizer， - 10%F；540 kg/hm^2）、减量施肥 20%（ - 20% Fertilizer，- 20%F；480 kg/hm^2）、减量施肥 37.5%（ - 37.5% Fertilizer， - 37.5%F；375 kg/hm^2）、减量施肥 50%（ - 50% Fertilizer，- 50%F；300 kg/hm^2）。10 月 1 日-2 日期间采用机械条播播种小麦，一垄两行，行宽为 15 cm、垄距为 25 cm，每 667 m^2 小麦播种量为 16 kg。小麦生长过程中，灌溉一次（2021 年 3 月中旬）和喷洒除草剂除草 2 次（2020 年 12 月中旬和 2021 年 3 月份），小麦生长期内不使用任何化学杀虫剂和杀菌剂。

1.4 麦田主要害虫调查

试验区域麦田主要害虫有 3 种麦蚜（即麦二叉蚜、荻草谷网蚜和禾谷缢管蚜）以及 2 种麦螨（即麦叶爪螨和麦岩螨）。于 2021 年 4 月 18 日-6 月 7 日期间，每间隔 10 d 调查一次不同肥料水平下麦田 3 种麦蚜和 2 种麦螨的种群发生情况；麦蚜的调查采用目测法直接调查，麦螨的调查采用拍打法。每次调查时每个肥料水平的小麦田各随机选取 6 个取样点，每取样点各随机调查 50 株小麦，计数荻草谷网蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜数量，并转化为百株蚜量（即头/100 株小麦）；同时，每一取样点随机调查 33.3 cm 单行小麦上的麦螨数量，具体使用一块长 33.3 cm、宽 13 cm 的白纸板置于两行小麦之间（行距 15 cm），并轻拍一侧小麦使麦螨落于白板上，统计麦叶爪螨和麦岩螨数量（李润钊等，2021），并转化为每米行长小麦上的害螨量（即头/1 m 行长）。

1.5 小麦产量指标调查

试验地小麦于 2021 年 5 月下旬灌浆成熟、6 月 9-10 日收获。于 2021 年 6 月 2 日，按照五点取样法随机调查不同水平肥料减施处理各 5 个 1 m 行长的小麦麦穗数，计算每米麦穗数；同时，随机收获不同水平肥料减施处理的 10 株小麦（每个取样点随机取 2 株小麦）于 A4 型牛皮纸袋中，并置于恒温干燥箱（DHG-9030A；上海一恒科学仪器有限公司）内 180 ℃连续烘干 72 h 后用 0.01 g 精度电子天平（MTB1000D-B；深圳市沐美科技有限公司）测定小麦单株生物量；再从中随机剪取 60 个麦穗，剥离麦粒后计数每 10 个麦穗的籽粒数，同时测定 6 个千粒重。此外，通过测定不同水平肥料减施处理小麦总行长，结合每米行长小麦的穗数和 10 穗籽粒重来计算各处理的单位面积小麦产量。

1.6 数据分析

使用 Excel 2016 进行数据处理，并使用 SPSS25.0 进行数据分析，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），文中图片使用 Graphpad prism 8.3 制作。通过单因子方差分析方法（One-way ANOVAs）分析不同水平肥料减施处理对 3 种麦蚜和 2 种害螨种群发生动态以及小麦产量指标的影响。处理间差异显著性比较采用 LSD 检验（P<0.05）。此外，3 种麦蚜和 2 种害螨的种群发生量与肥料减施水平之间的相关性采用 Pearson 相关分析；结合不同水平肥料减施处理（0、 - 10%、 - 20%、 - 37.5%和 - 50%）的小麦单位面积产量，通过非线性回归分析以明确小麦保产或产量损失不显著的情况下麦田最佳的肥料减施水平，以指导麦田肥料减施。

2 结果与分析

2.1 不同肥料减施水平对麦蚜种群发生量的影响

2021 年麦蚜在试验地块整体发生较轻，本

试验调查的 3 种麦蚜（麦二叉蚜、荻草谷网蚜和禾谷缢管蚜）中，麦二叉蚜和荻草谷网蚜发生较严重。其中，不同肥料减施水平下麦二叉蚜的种群发生数量存在极显著差异（F =66.472，P<0.001；表 1，图 1：A）。与标准肥处理相比，减肥处理麦田麦二叉蚜种群发生量都显著降低，且减量施肥 10%和 20%处理麦田麦二叉蚜种群发生量也显著高于减量施肥 37.5%和 50%处理，减量施肥 37.5%处理麦田麦二叉蚜种群发生量又显著高于减量施肥 50%处理（图 1：A）。

不同肥料减施水平下荻草谷网蚜的种群发生数量存在极显著差异（F =45.337，P<0.001；表 1，图 1：B）。与标准肥处理相比，减量施肥 20%、37.5%和 50%处理麦田荻草谷网蚜种群发生量都显著降低，且减量施肥 10%处理麦田荻草谷网蚜种群发生量显著高于其他减量施肥处理，减量施肥 20%处理麦田荻草谷网蚜种群发生量又显著高于减量施肥 37.5%和 50%处理（P<0.05；图 1：B）。

不同肥料减施水平下禾谷缢管蚜的种群发生动态存在显著差异（F = 5.212，P<0.01；表 1，图 1：C）。与标准肥处理相比，减量施肥 20%和 37.5%处理麦田禾谷缢管蚜种群发生量显著降低；减量施肥 10%处理麦田禾谷缢管蚜种群发生量显著高于减量施肥 37.5%处理，减量施肥 50%处理麦田禾谷缢管蚜种群发生量又显著高于减量施肥 37.5%处理（图 1：C）。

2.2　不同肥料减施水平对麦螨种群发生量的影响

不同肥料减施水平下麦叶爪螨的种群发生动态存在极显著差异（F = 30.702，P<0.001；表 1，图 1：D）。与标准肥处理相比，减量施肥 20%、37.5%和 50%处理麦田麦叶爪螨种群发生量显著降低（P<0.05）；减量施肥 20%处理麦田麦叶爪螨种群发生量又显著高于减量施肥 37.5%和 50%处理（P<0.05；图 1：D）。

不同肥料减施水平下麦岩螨的种群发生动态存在极显著差异（F =8.655，P<0.001；表 1，图 1：E）。减量施肥 50%处理麦田麦岩螨种群发生量显著低于减量施肥 10%、20%、37.5%和 50%处理（P<0.05；图 1：E）。

2.3　不同肥料减施水平对小麦产量指标的影响

不同肥料减施处理小麦十穗籽粒重（F = 2.251，P= 0.092；表 1，图 2：C）和千粒重（F = 1.171，P= 0.347；表 1，图 2：D）无显著差异，而小麦单株生物量（F = 6.956, P<0.001；表 1，图 2：A）、每米小麦行的穗数（F = 3.611，P<0.05；表 1，图 2：B）和每 667 m^2 产量（F = 5.209，P<0.01；表 1，图 2：E）存在极显著差异；其中，减量施肥 20%处理麦田小麦单株生物量最高

表 1　麦田不同肥料减施水平下主要害虫种群发生动态及小麦产量指标的单因子方差分析（*F*/*P* 值）

Table 1　One-way ANOVAs on the population dynamics of main pests and wheat yield indexes under different levels of fertilizer reduction in wheat fields (*F*/*P* value)

测定指标 Measured indexes		不同水平减量施肥处理（F 值/P 值）Different levels of fertilizer reduction (F value/P value)
麦蚜（头/100 株）Wheat aphids (ind. per 100 plants)	麦二叉蚜 *Schizaphis graminum*	66.472/<0.001***
	荻草谷网蚜 *Sitobion miscanthi*	45.337/<0.001***
	禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi*	5.212/0.008**
麦螨（头/1 m 行长）Wheat mites (ind. per 1 m row)	麦叶爪螨 *Penthaleus major*	30.702/<0.001***
	麦岩螨 *Petrobia latens*	8.655/<0.001***
小麦产量指标 Indexes of wheat yield	十穗籽粒重（g） Seed weight per 10 ears (g)	2.251/0.092
	单株生物量（g） Biomass per plant (g)	6.956/0.0011**
	千粒重（g）1 000-seed weight (g)	1.171/0.347
	每米行穗数（个/1 m 麦行）Ears per 1 m wheat row	3.611/0.019*
	产量（kg/667 m^2）Wheat yield (kg/667 m^2)	5.209/0.004**

* P< 0.05；** P<0.01; *** P< 0.001.

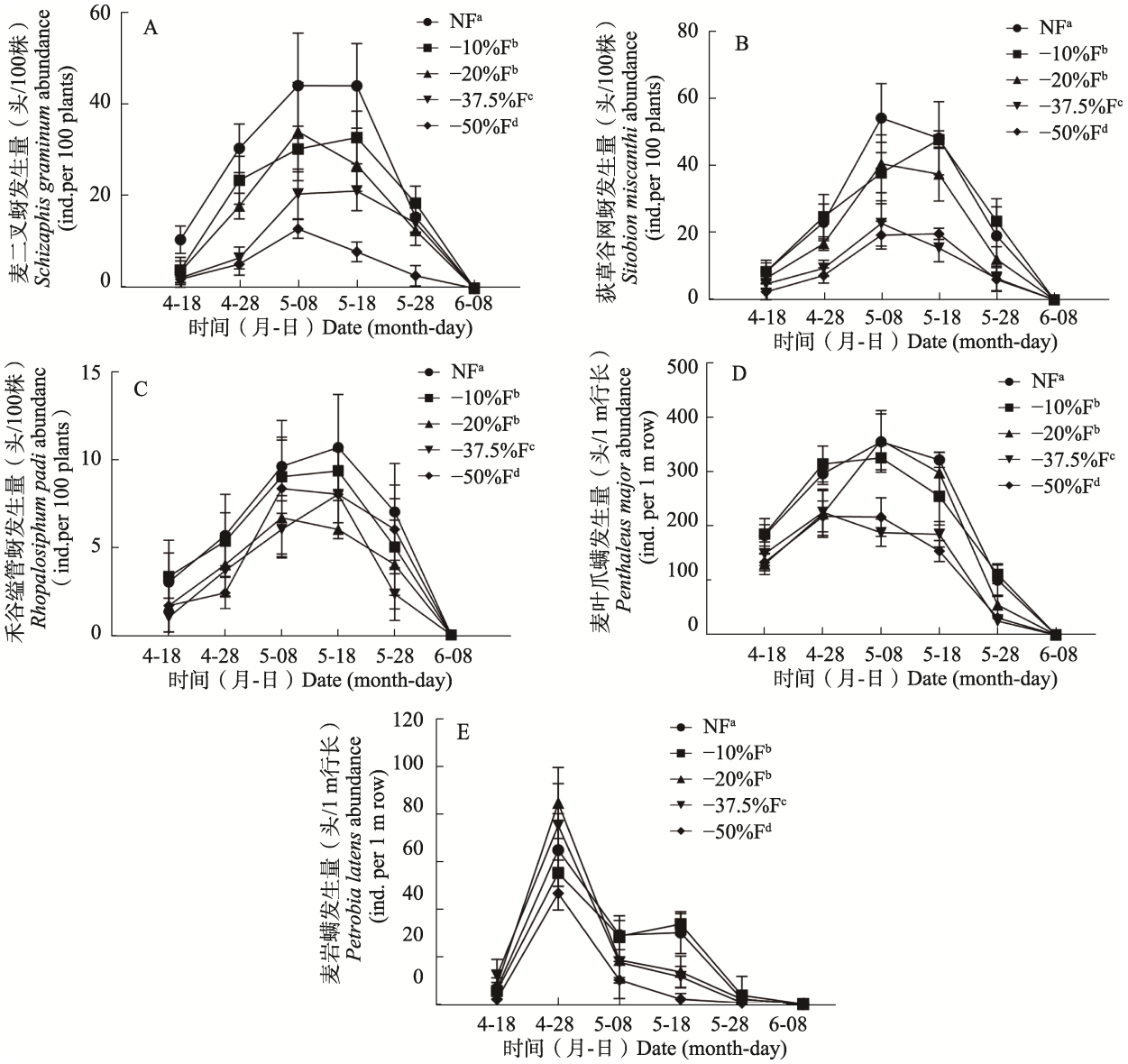

图 1　不同水平减量施肥下麦田 3 种麦蚜和 2 种麦螨种群发生动态

Fig. 1　Population dynamics of three species of aphids and two species of mites on wheat plants under different levels of fertilizer reduction in wheat fields

A. 麦二叉蚜；B. 获草谷网蚜；C. 禾谷缢管蚜；D. 麦叶爪螨；E. 麦岩螨。图例中 NF 表示标准施肥，- 10%F、- 20%F、- 37.5%F、- 50%F 分别表示减量施肥 10%、20%、37.5%以及 50%。

图例右上角的不同小写字母表示不同水平减量施肥处理之间经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。

A. *Schizaphis graminum*; B. *Sitobion miscanthi*; C. *Rhopalosiphum padi*; D. *Penthaleus major*; E. *Petrobia latens*. In the legend, NF represents standard fertilization, and - 10%F, - 20%F, - 37.5%F, - 50%F represent reduced fertilization by 10%, 20%, 37.5%, 50%, respectively. Different lowercase letters in the upper right corner of the legend indicate significant differences between the levels of fertilizer reduction in wheat fields at $P<0.05$ level by LSD test.

（4.83 g），并显著高于标准肥处理（高 0.67 g），以及减量施肥 37.5%（高 1.53 g）和 50%（高 0.94 g）处理（$P<0.05$）；此外，减量施肥 37.5%处理麦田小麦单株生物量显著低于标准肥（低 0.86 g）和减量施肥 10%处理（低 0.96 g）（$P<0.05$；图 2：A）。与标准肥处理相比，肥料减施 50%处理麦田每米小麦行的穗数最低（96.33 穗），并显著低于标准肥（低 15.83 穗），以及减量施肥 10%

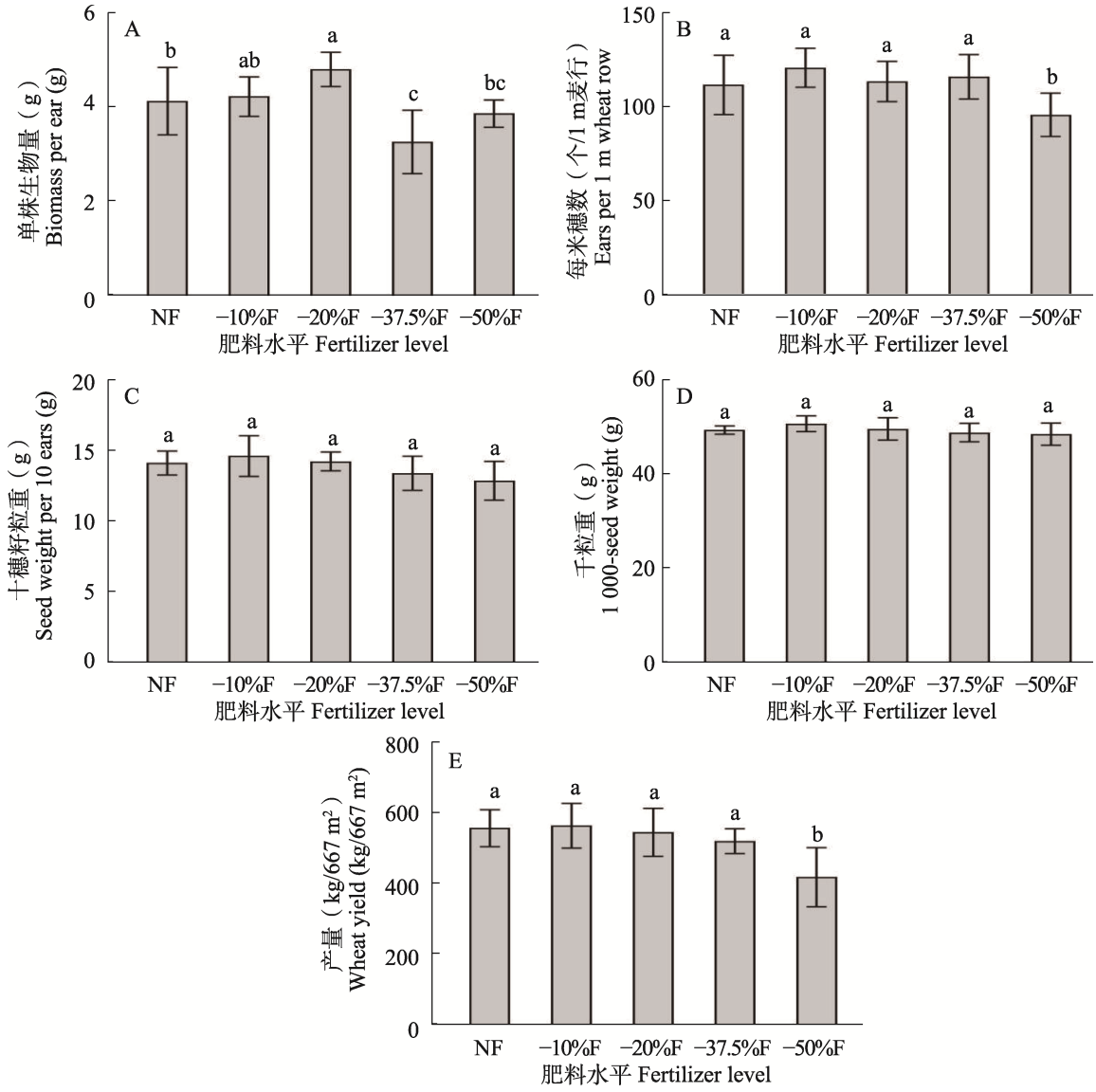

图 2　不同肥料水平下小麦产量指标的差异

Fig. 2　Difference of wheat yield index under different fertilizer levels

A. 十穗籽粒重；B. 单株生物量；C. 千粒重；D. 每米穗数；E. 每 667 m^2 产量。图例中 NF 表示标准施肥，- 10%F、- 20%F、- 37.5%F、- 50%F 分别表示减量施肥 10%、20%、37.5%以及 50%。柱上标有不同小写字母表示不同水平减量施肥处理之间经 LSD 法检验在 P<0.05 水平差异显著。

A. 10 ears of seed weight; B. Biomass per ear; C. Thousand-seed weight; D. Ears per meter；E. Yield per 667 m^2; NF represents standard fertilization, and - 10%F, - 20%F, - 37.5%F, - 50%F represent reduced fertilization by 10%, 20%, 37.5%, 50%, respectively. Histograms with different lowercase letters indicate significant differences between the level of fertilizer reduction in wheat fields at P<0.05 level by LSD test.

（低 25.00 穗）、20%（低 17.67 穗）和 37.5%（低 20.17 穗）处理（P<0.05；图 2：B）。另外，与标准肥处理相比，肥料减施 50%处理麦田每 667 m^2 产量最低（418.04 kg），并显著低于标准肥（低 138.79 kg），以及减量施肥 10%（低 145.72 kg）、20%（低 126.85 kg）和 37.5%（低 101.92 kg）处理（P<0.05；图 2：E）。

2.4　麦田主要害虫发生高峰期种群发生量与肥料减施水平之间的相关性分析

分别选取试验麦田 3 种麦蚜和 2 种麦螨发生高峰期的种群发生量与对应的肥料减施水平进

行线性拟合，结果表明麦二叉蚜（R^2=0.899 2，P=0.014 0<0.05；图 3：A）和荻草谷网蚜（R^2=0.911 1，P=0.011 6<0.05；图 3：B）发生高峰期（均为 5 月 8 日）种群发生量与对应肥料减施水平间存在显著的线性关系，麦二叉蚜高峰期种群发生量与肥料减施水平之间的线性关系为 Y = - 56.82X + 41.83（图 3：A），荻草谷网蚜高峰期种群发生量与肥料减施水平之间的线性关系为 Y = - 55.14X + 47.13（图 3：A）。而禾谷缢管蚜（R^2=0.299 7，P=0.339 5>0.05；图 3：C）、麦叶爪螨（R^2=0.741 1，P=0.061 0>0.05；图 3：D）和麦岩螨（R^2=0.051 1，P=0.714 5>0.05；

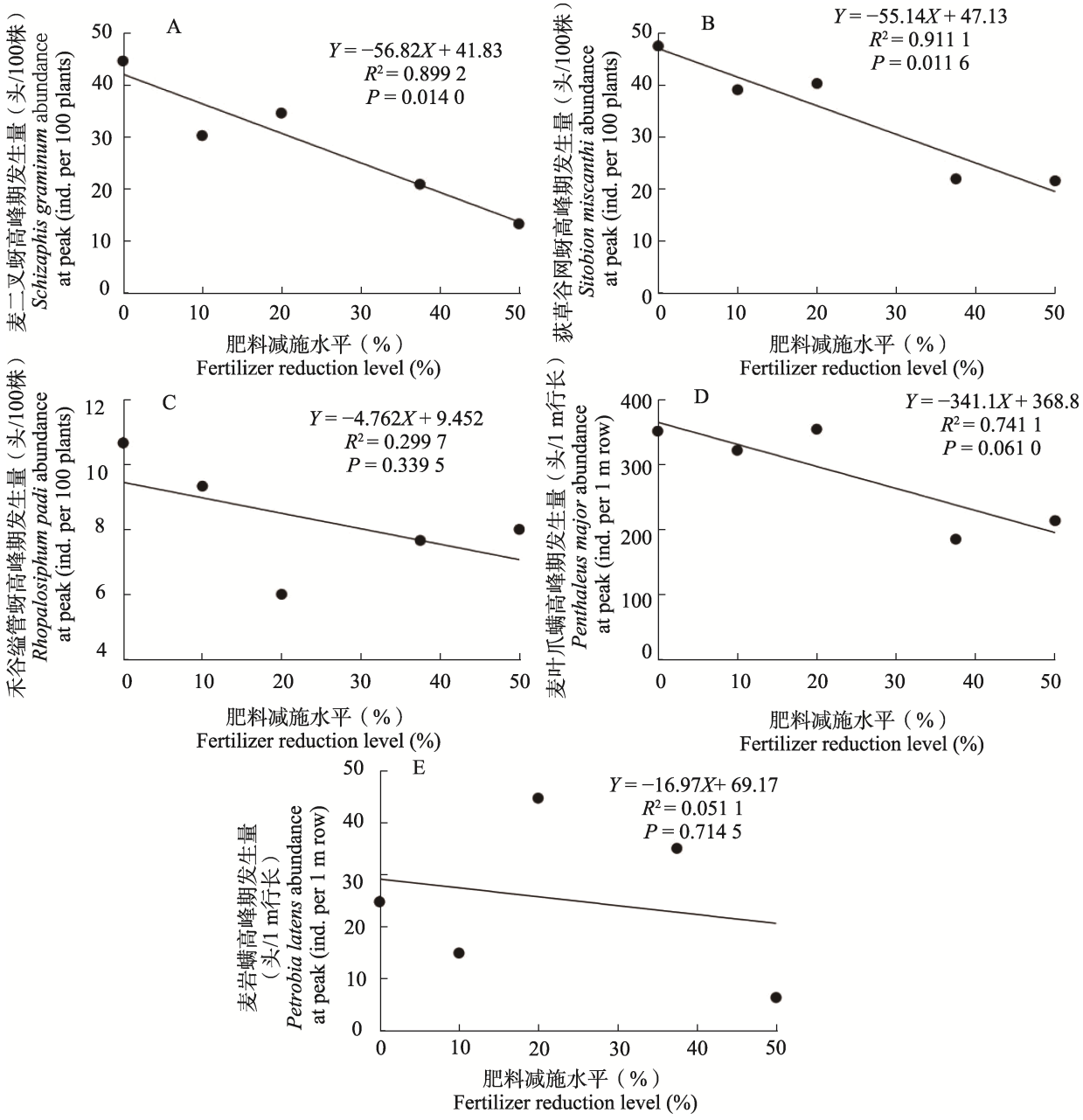

图 3　肥料减施水平与麦田 3 种麦蚜和 2 种麦螨高峰期种群发生量的相关性分析

Fig. 3　Correlation analysis between fertilizer reduction level and the peak occurrence of three species of wheat aphids and two species of wheat mites

A. 麦二叉蚜；B. 荻草谷网蚜；C. 禾谷缢管蚜；D. 麦叶爪螨；E. 麦岩螨。

A. *Schizaphis graminum*; B. *Sitobion miscanthi*; C. *Rhopalosiphum padi*; D. *Penthaleus major*.

图 3：E）发生高峰期（禾谷缢管蚜和麦叶爪螨为 5 月 8 日，麦岩螨为 4 月 28 日）种群发生量与对应肥料减施水平间没有显著的线性关系。

2.5　小麦产量与肥料减施水平之间的相关性分析

将麦田亩产量与对应的肥料减施水平进行拟合，结果表明小麦产量与对应肥料减施水平间存在显著的二次回归关系（R^2=0.958 2，P=0.042< 0.05；图 4）。小麦产量与对应肥料减施水平间的二次回归拟合模型为 Y= - 941.6X^2+218.1X +552.4。从回归模型分析可知，当肥料减施水平小于 23.16%时，可实现减量施肥但不减产的目的。

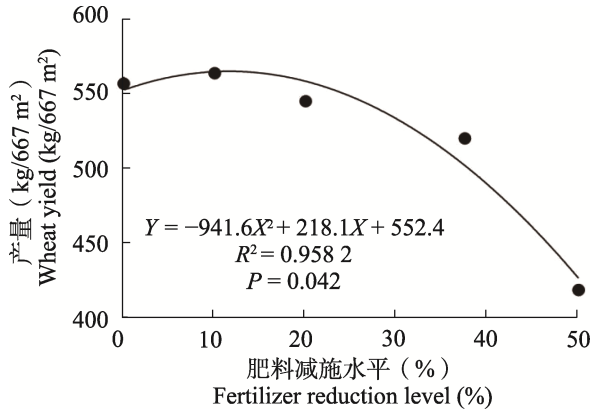

图 4　肥料减施水平与小麦产量的相关性分析

Fig. 4　Correlation analysis between the fertilizer reduction levels and wheat yields

3　结论与讨论

施肥对于作物产量提升是不可或缺的（Shahbaz *et al.*，2020），肥料在植物生长发育各阶段都发挥重要作用，并影响植物形态以及营养成分含量，进而影响植食性害虫对农作物的为害（Le *et al.*，2020）。然而，一些地区为了追求高产，过量施用化肥，由此造成了肥料利用率降低和污染环境等问题，并为农田害虫发生提供了温床（Robertson and Vitousek，2009）。诸多研究表明，肥料适度减施不仅不会影响作物产量，反而能提高肥料利用率和改善环境（杜加银等，2013；李小波等，2016）。本研究中，肥料减施对小麦产量关键指标中每十穗籽粒重和千粒重没有显著影响，但肥料减施可显著影响小麦单株生物量、每米小麦行的穗数以及小麦亩产量。本试验结果表明当减量施肥水平达到 50%时，每米小麦行的穗数以及小麦 667 ㎡产量显著降低，因此推断当肥料减施水平较高时小麦产量形成过程可能受到影响。本研究中，减量施肥水平不高于 23.16%时，产量没有降低，各地可根据麦田的施肥水平调整施肥量，实现减量施肥但不减产目标。

通常来讲，肥料减施有利于抑制农田害虫发生，而过高的肥料施用量在促进作物生长的同时，也有利于害虫发生（宋海燕等，2017）。有研究表明，氮肥施用量越高则蚜虫的存活率（Nivelle *et al.*，2018）、自然增长率（Hosseini *et al.*，2015）以及寿命（Fallahpour *et al.*，2015）都显著提高。农业害螨是一类重要的农业害虫，过量施肥对害螨发生同样有促进作用。有研究表明，草莓害虫二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 种群增长率和寿命在高氮肥投入条件下显著高于减氮处理（Alizade *et al.*，2016）；李润钊等（2021）研究标准肥和减量施肥 50%对两种麦螨（即麦叶爪螨和麦岩螨）种群发生的影响，结果表明减量施肥 50%抑制了两种麦螨种群的发生。本研究评估了标准肥与 4 个减量施肥水平下麦田主要害虫发生情况，结果表明，麦二叉蚜、获草谷网蚜和麦叶爪螨是本试验研究麦田主要害虫，而禾谷缢管蚜和麦岩螨发生较少。相较于标准肥处理，减量施肥 10%、20%、37.5%和 50%均显著降低了麦二叉蚜的种群发生；减量施肥 20%、37.5%和 50%均显著降低了获草谷网蚜和麦叶爪螨的种群发生；减量施肥 20%和 37.5%均显著降低了禾谷缢管蚜的种群发生；而只有减量施肥 50%才显著降低了麦岩螨的种群发生。

一些研究表明施肥量与害虫数量存在正相关（Stavisky *et al.*，2002；Lu *et al.*，2007）。本研究也探究了几种麦田主要害虫发生高峰期的种群发生量与减量施肥水平之间的相关性，结果表明，麦二叉蚜和获草谷网蚜发生高峰期种群发生量与减量施肥水平之间存在显著的负相关关系，即随着肥料减施水平的提升，麦二叉蚜和获草谷网蚜种群发生量降低；此外，麦叶爪螨发生

高峰期种群发生量与减量施肥水平之间也达到了较为明显的负相关关系（P=0.061 0<0.10）；而禾谷缢管蚜和麦岩螨发生高峰期种群发生量与减量施肥水平之间无显著相关性。可见，减量施肥有助于抑制农业害虫。然而，过度减量施肥对作物生长及其产量可能不利。减量施肥对于小麦产量的影响主要体现在两个方面，一方面，适当地减量施肥可以改变麦田土壤营养条件从而抑制小麦害虫发生，并有利于小麦丰产；另一方面，过度减量施肥不利于为小麦提供必要的营养，从而导致小麦减产。因此，评估不同水平的减量施肥对农田害虫以及作物产量的综合影响，并制定合理的施肥方案是必要的。

综上结果表明，不同水平减量施肥都能在不同程度上降低麦田主要害虫种群发生量，且当肥料减施水平达 50%时，小麦 667 ㎡产量显著降低，即肥料减施 10%-37.5%对小麦产量的影响不显著。小麦产量与对应肥料减施水平间的二次回归拟合模型结果表明，当肥料减施水平小于 23.16%时小麦不减产。因此，在生产上各地可根据麦田的施肥水平调整施肥量，实现减量施肥但不减产目标。

参考文献 (References)

Alizade M, Hosseini M, Awal MM, Goldani M, Hosseini A, 2016. Effects of nitrogen fertilization on population growth of two-spotted spider mite. *Sysytematic and Applied Acarology*, 21(7): 947–956.

Bao QJ, Pan YD, Zhang HY, Liu XN, Zhang DJ, Zhao F, 2020. Effect of reducing fertilizer application on dry matter accumulation, yield and fertilizer utilization efficiency of beer barely. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(8): 149–158. [包奇军, 潘永东, 张华瑜, 柳小宁, 张东佳, 赵峰, 2020. 减量施肥对啤酒大麦干物质积累、产量及肥料利用率的影响. 中国农业科技导报, 22 (8): 149–158.]

Blazhevski S, Kalaitzaki AP, Tsagkarakis AE, 2018. Impact of nitrogen and potassium fertilization regimes on the biology of the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Entomologia Generalis*, 37(2): 157–174.

Chen X, Harrell D, Cox A, Davis JA, 2018. Effects of potassium fertilizer rates on *soybean looper* (Lepidoptera: Noctuidae) development. *Journal of Economic Entomology*, 111(4): 1745–1750.

Du JY, Ru M, Ni WZ, 2013. Effects of fertilization with reducing nitrogen, controlling phosphorus and stabilizing potassium on rice yield and nutrient accumulation. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 19(3): 523–533. [杜加银, 茹美, 倪吾钟, 2013. 减氮控磷稳钾施肥对水稻产量及养分积累的影响. 植物营养与肥料学报, 19(3): 523–533.]

Fallahpour F, Gorbani R, Mahallati MN, Hosseini M, 2015. Demographic parameters of *Lipaphis erysimi* on canola cultivars under different nitrogen fertilization regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(1): 35–47.

Fan MS, Fan HZ, Lv SH, Zeng XZ, Shi XJ, Liu WZ, Jiang RF, Zhang FS, 2008. The current status of nutrient management and strategy in paddy rice upland crop rotation in southwest China. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 21(6): 1564–1568. [范明生, 樊红柱, 吕世华, 曾祥忠, 石孝均, 刘维震, 江荣风, 张福锁, 2008. 西南地区水旱轮作系统养分管理存在问题分析与管理策略建议. 西南农业学报, 21(6): 1564–1568.]

Hosseini A, Hosseini M, Goldani M, Karimi J, Madadi H, 2015. Effect of nitrogen fertilizer on biological parameters of the *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphidiae) and associated productivity losses in common globe amaranth. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(6): 1517–1528.

Le GM, Word ML, Thompson N, Beye A, Cease AJ, 2020. Nitrogen fertilizer decreases survival and reproduction of female locusts by increasing plant protein to carbohydrate ratio. *Journal of Animal Ecology*, 89(10): 2214–2221.

Li RZ, Tang QW, Yu FL, Yu XY, Wang YH, Li LK, Chen FJ, 2021. Effects of deep tillage on population occurrence of *Pentfaleus major* and *Petrobia latens* under reduced fertilizer application in wheat fields. *Journal of Environmental Entomology*, 43(4): 840–849. [李润钊, 唐庆伟, 于福兰, 于秀英, 王艳辉, 李立坤, 陈法军, 2021. 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. 环境昆虫学报, 43(4): 840–849.]

Li SQ, Shao MA, Li ZY, Wu WM, Zhang XC, 2003. Review of characteristics of wheat grain fill and factors to influence it. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 23(11): 2031–2039. [李世清，邵明安，李紫燕，伍维模, 张兴昌, 2003. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展. 西北植物学报, 23(11): 2031–2039.]

Li XB, Liu XJ, Lai YC, Suo HC, Wang L, An K, 2016. Reduced fertilizer application in double rice cropping in the 'Potato-Rice-Rice'rotation system. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 37(10):

1877–1881. [李小波, 刘晓津, 赖玉嫦, 索海翠, 王丽, 安康, 2016. “薯-稻-稻”轮作模式下双季稻施肥减量研究. 热带作物学报, 37(10): 1877–1881.]

Lu ZX, Yu XP, Heong K, Hu C, 2007. Effect of nitrogen fertilizer on herbivores and its stimulation to major insect pests in rice. *Rice Science*, 14(1): 56–66.

Nadeem MY, Zhang JW, Zhou Y, Ahmad S, Ding Y, Li G, 2022. Quantifying the impact of reduced nitrogen rates on grain yield and nitrogen use efficiency in the wheat and rice rotation system of the Yangtze river region. *Agronomy*, 12(4): 920.

Nivelle E, Verzeaux J, Chabot A, Roger D, Chesnais Q, Ameline A, Lacoux J, Nava-Saucedo J, T é tu T, Catterou M, 2018. Effects of glyphosate application and nitrogen fertilization on the soil and the consequences on aboveground and belowground interactions. *Geoderma*, 311(2): 45–57.

Pang ST, Dong YH, 2012. Effects of soil fertilization on herbivores infestation. *Soils*, 44(5): 719–726. [庞淑婷, 董元华, 2012. 土壤施肥与植食性害虫发生为害的关系. 土壤, 44(5): 719–726.]

Qiao F, Yang QF, Hou RX, Zhang KN, Li J, Ge F, Ouyang F, 2021. Moderately decreasing fertilizer in fields does not reduce populations of cereal aphids but maximizes fitness of parasitoids. *Scientific Reports*, 11(1): 1–10.

Robertson GP, Vitousek PM, 2009. Nitrogen in agriculture: Balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1): 97–125.

Shahbaz K, Sumera A, Yu SB, Gao ZQ, Sun M, Ashraf MY, Ren A, Yang Z, 2020. Soil water consumption, water use efficiency and winter wheat production in response to nitrogen fertilizer and tillage. *PeerJ*, 8(3): 1–24.

Song HY, Li LL, Yu Y, Lu ZB, Zhang AS, Zhou XH, Li WQ, Men XY, 2017. The effect of water and nitrogen fertilizer on the food preference of *Bemisia tabaci* adults. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(1): 135–140. [宋海燕, 李丽莉, 于毅, 卢增斌, 张安盛, 周仙红, 李文强, 门兴元, 2017. 浇水与施氮肥对烟粉虱成虫趋性的影响. 应用昆虫学报, 54(1): 135–140.]

Stavisky J, Funderburk J, Brodbeck BV, Olson SM, Andersen PC, 2002. Population dynamics of *Frankliniella* spp. and tomato spotted wilt incidence as influenced by cultural management tactics in tomato. *Journal of Economic Entomology*, 95(6): 1216–1221.

Tan Y, Chai Q, Li G, Zhao C, Yu AZ, Fan ZL, Yin W, Hu FL, Fan H, Wang QM, Guo Y, Tian XM, 2021. Improving wheat grain yield via promotion of water and nitrogen utilization in arid areas. *Scientific Reports*, 11(1): 1–12.

Tian XH, Chen YS, Lin LQ, Xie JX, 2019. Effect of fertilization on increasing the number of oriental beauty tea leafhopper. *Tea in Fujian*, 41(2): 1–2. [田新湖, 陈益生, 林乐全, 谢锦秀, 2019. 施肥对促进东方美人茶小绿叶蝉发生数量增长效果. 福建茶叶, 41(2): 1–2.]

Yan Y, Sun ZJ, Li ZY, Zhu YY, Lin GH, 2021. Problems and implementation of fertilizer reduction in rural ecological protection-Taking phosphate fertilizer reduction construction in Taihu Basin as an example. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 49(13): 207–211. [严燕, 孙子杰, 李震宇, 朱毅勇, 林光华, 2021. 农村生态保护中的肥料减施问题与落实–以太湖流域磷肥减施工作为例. 江苏农业科学, 49(13): 207–211.]

Ye YL, Han YL, Tan JF, Cui ZL, 2007. Wheat production and fertilizer application in China. *Journal of Triticeae Crops*, 27(1): 127–133. [叶优良, 韩燕来, 谭金芳, 崔振岭, 2007. 中国小麦生产与化肥施用状况研究. 麦类作物学报, 27(1): 127–133.]