

CO₂浓度和种群密度对两种色型豌豆蚜生长发育和繁殖的影响

林春燕,张祥,郝亚楠,刘长仲

(甘肃农业大学 植物保护学院,甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室,甘肃 兰州 730070)

摘要:为探究红、绿两种色型豌豆蚜的生长发育和繁殖在不同 CO₂浓度和初始种群密度下的差异,以紫花苜蓿为寄主植物,在二氧化碳气候箱中设置高浓度(750 μL/L)和低浓度(380 μL/L)两个 CO₂浓度梯度,饲养不同初始密度的豌豆蚜,观察记录其产蚜前历期、产蚜期、产蚜量和寿命等。结果表明:随着初始密度的增加,两种色型豌豆蚜的产蚜期均延长,初始密度为 32 头/皿时,在低浓度和高浓度 CO₂下红色型豌豆蚜的产蚜期分别达到 20.53 和 27.63 d,绿色型豌豆蚜分别为 22.00 和 29.38 d;产蚜量下降,繁殖力显著降低,初始密度为 32 头/皿时,在低浓度和高浓度 CO₂下红色型豌豆蚜的产蚜量分别为 7.75 和 8.51 头,绿色型豌豆蚜分别为 6.46 和 8.76 头。CO₂浓度上升对两种色型豌豆蚜产蚜前历期无明显影响,但对其产蚜期、寿命和平均产蚜量有显著影响,高浓度 CO₂能显著抑制两种色型豌豆蚜的繁殖力。

关键词:豌豆蚜;CO₂浓度;种群密度;生长发育;繁殖力

中图分类号:S435.24;Q696.36 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)06-0046-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.06.007

豌豆蚜(*Acyrtosiphon pisum*)属于半翅目(Hemiptera)蚜科(Aphididae),全球各地均有发生,可危害豌豆、蚕豆和苜蓿等多种植物^[1]。豌豆蚜主要刺吸危害植物的幼嫩部位,使植物叶色变黄、卷缩,严重时可导致植物死亡^[2]。由于豌豆蚜具有世代周期短、繁殖力强、迁飞能力强等特点,易在短期内增长爆发,对豆科作物及牧草造成巨大的损失^[2-3],据统计,在我国豌豆蚜对牧草每年造成的产量损失高达 10%~30%,是苜蓿生产中最具有威胁的害虫之一^[2]。另外豌豆蚜除了其自身对植物的损伤外,还能够通过吸食植物韧皮部来传播病毒,豌豆蚜可以传播包括苜蓿花叶病毒在内的 25 种植物病毒^[4]。

气候变化是一个世界性的研究问题,温室气体在

全球气候变暖的过程中扮演着极其重要的角色。根据联合国给出的数据,19 世纪初大气中的 CO₂浓度为 280 μL/L,短短 200 年的时间已升高到现阶段的 380 μL/L,根据持续上涨的现状推测,22 世纪初大气中 CO₂浓度可能达到 700 μL/L^[5-7]。在生态系统中,CO₂不仅是绿色植物光合作用的基本原料,也间接地影响着各种植食性昆虫的生活^[8-9]。Samira 等^[10]研究发现 CO₂浓度升高,会对植物产生影响,进而影响植食性昆虫的生命参数和种群动态。研究发现有些昆虫种群会依据 CO₂浓度定位巢穴^[11];CO₂浓度的变化,会引起自然界各个组分的改变,使昆虫的生存环境和竞争者发生改变,从而间接影响昆虫生长发育的过程以及生活习性^[12-13]。自然界中,很多植食性昆虫有强大的迁飞能力,这是由种间密度调节引起的昆虫行为^[13]。冯丽凯等^[15]在研究中发现种群密度对蚜虫的生命参数均有显著影响^[15]。另外植物被昆虫取食后体内产生的防御体系会对昆虫的繁殖能力产生影响^[16]。本研究通过测定不同 CO₂浓度和种群初始密度条件下两种色型豌豆蚜的生命参数的变化,探究豌豆蚜对环境气候变化的响应,以期对豌豆蚜的监测预

收稿日期:2019-03-07;修回日期:2020-04-09

基金项目:国家自然科学基金项目(31660522)

作者简介:林春燕(1993-),女,甘肃渭源人,硕士研究生。

E-mail:linchunyan0905@163.com

刘长仲为通讯作者。

E-mail:liuchzhz@gsau.edu.cn

报和防治提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试昆虫:供试的红色型和绿色型豌豆蚜采集于田间苜蓿地,在人工气候培养箱中自然繁殖 1 代以上作为供试虫源。培养箱条件:温度(23 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度(70 ± 5)%,光周期 16 L:8 D。

供试寄主植物:实验室内以紫花苜蓿品种“阿尔冈金”(甘肃省农业科学院提供)作为寄主植物。二氧化碳气候箱分别设置 380、750 $\mu\text{L/L}$ 的 CO_2 浓度,将紫花苜蓿种子种植在方形花盆(长 \times 宽 \times 高=18 cm \times 12 cm \times 12 cm)的沙土中,分别置于以上两个 CO_2 浓度的气候箱中,待其发芽后,继续培养 35 d 以上,株高达到 25~40 cm 时备用。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 CO_2 浓度:低浓度 380 $\mu\text{L/L}$,高浓度 750 $\mu\text{L/L}$;初始种群密度:2、4、8、16、32 头/皿。

1.2.2 试虫饲养 离体叶片饲养法。为确保试验过程中培养皿和培养箱内的 CO_2 浓度一致,在直径为 9 cm 塑料培养皿盖上打若干小孔,然后在皿内铺打湿(保湿)滤纸。将不同 CO_2 浓度的气候箱中培育备用的紫花苜蓿叶片用脱脂棉包裹叶柄,用蒸馏水蘸湿,叶背朝上放在上述培养皿中。挑取供试的两种色型豌豆蚜成蚜分别接在培养皿中苜蓿叶片上,待其产蚜后根据不同的初始种群密度剔除成蚜和多余的若蚜,分别留 2、4、8、16 和 32 头豌豆蚜若蚜在每个培养皿,置于两个浓度的二氧化碳气候箱中饲养,每隔 2 d 更换 1 次新鲜叶片,每个初始种群密度设置 3 次重复。每天观察统计各处理两种色型豌豆蚜的发育历期和寿命,待开始产蚜后,记录产蚜数,并剔除新产若蚜,直到死亡。

1.2.3 数据处理 采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行数据整理与分析,采用 Duncan's 检验进行差异显著性分析($P = 0.05$),组间两两对比采用 LSD-t 检验。

2 结果与分析

2.1 CO_2 浓度和种群密度对红色型豌豆蚜生长发育和寿命的影响

在 2 个浓度的 CO_2 下,随着初始密度的增加,红色型豌豆蚜的产蚜前历期无显著差异($P > 0.05$)。在同

一初始种群密度下,不同 CO_2 浓度间,红色型豌豆蚜的产蚜前历期也无显著差异($P > 0.05$)。

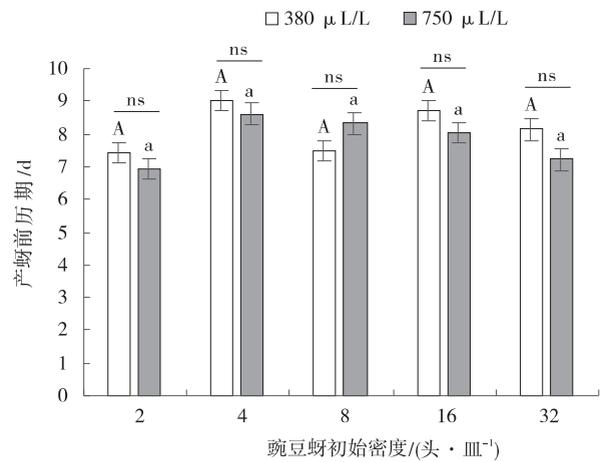


图 1 不同 CO_2 浓度和种群密度下红色型豌豆蚜的产蚜前期

Fig. 1 Earlier stage of aphid production of red pea aphid under different CO_2 concentration and population density

注:不同大写字母表示 380 $\mu\text{L/L}$ 下,不同密度间差异显著($P < 0.05$);不同小写字母表示 750 $\mu\text{L/L}$ 下,不同密度间差异显著($P < 0.05$);* 表示同一密度下,两个 CO_2 浓度间差异显著($P < 0.05$);ns 表示差异不显著,下同

低 CO_2 浓度处理中,初始种群密度增加,红色型豌豆蚜的产蚜期有延长的趋势,但除 2 头/皿以外,其余种群密度之间没有显著差异($P > 0.05$);在高浓度 CO_2 处理中随着初始密度的增加,红色型豌豆蚜的产蚜期呈现先延长再缩短的趋势,初始种群密度为 16 头/皿时达到最长,为 31.59 d,且和其他密度间存在显

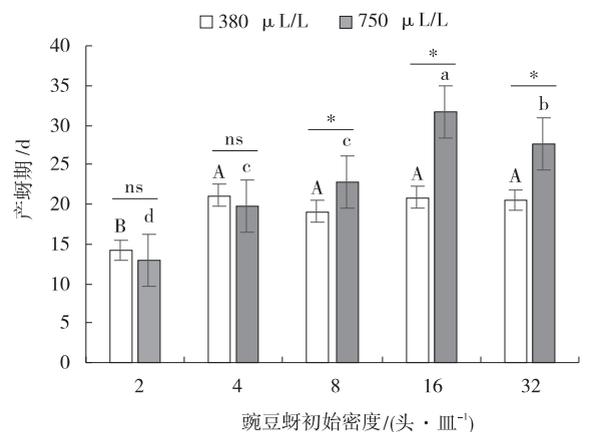


图 2 不同 CO_2 浓度和种群密度下红色型豌豆蚜的产蚜期

Fig. 2 Aphid production stage of red pea aphid under different CO_2 concentration and population density

著差异($P < 0.05$)。红色豌豆蚜的产蚜期在高初始密度下随 CO_2 浓度升高显著延长,而在低初始密度下没有显著差异(图 2)。

在 2 个 CO_2 浓度中,红色型豌豆蚜的平均寿命均随着初始密度的增加先延长后缩短,在初始密度为 16 头/皿时出现最大值,分别为 41.46 d 和 48.14 d;在 2、4 和 8 头/皿的初始种群密度时红色型豌豆蚜的平均寿命无明显变化;在 16 和 32 头/皿的高初始密度下,随 CO_2 浓度升高红色型豌豆蚜的寿命均显著延长(图 3)。

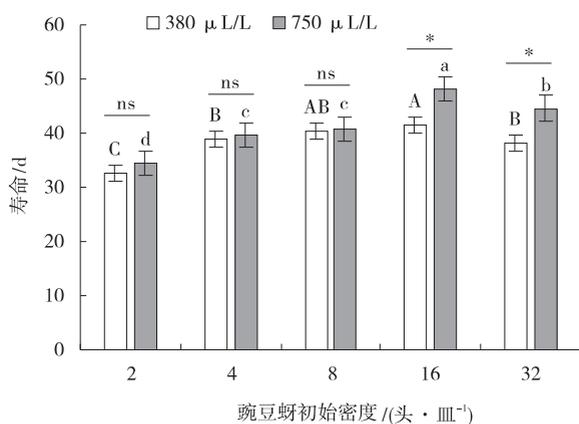


图 3 不同 CO_2 浓度和种群密度下红色型豌豆蚜的寿命
Fig. 3 Longevity of red pea aphid under different CO_2 concentration and population density

2.2 CO_2 浓度和种群密度对绿色型豌豆蚜生长发育和寿命的影响

在低 CO_2 浓度下,绿色型豌豆蚜产蚜前历期随着初始密度的增加表现为先延长后缩短的变化,在 8 头/皿时达到最大值,为 9.85 d;在高浓度 CO_2 下,各密度之间均不存在显著差异;在同一初始种群密度下, CO_2 浓度升高对产蚜前历期也没有显著影响(图 4)。

低 CO_2 浓度处理中,绿色型豌豆蚜的产蚜期随着初始密度的增加呈现延长的趋势,初始密度为 32 头/皿时产蚜期最长(22.00 d),与初始密度为 2、4 和 8 头/皿时的产蚜期均差异显著($P < 0.05$);在高浓度 CO_2 处理中,随着初始密度的增加产蚜期先延长后缩短,在初始密度为 16 头/皿时达到最大值 31.77 d。在高初始种群密度下,绿色豌豆蚜的产蚜期随 CO_2 浓度升高显著延长,而在低初始种群密度下没有显著差异(图 5)。

在 2 个 CO_2 浓度下,绿色型豌豆蚜的平均寿命总

体均呈现延长的趋势,当初始密度从 16 头/皿增加到 32 头/皿时二者差异较显著($P < 0.05$)。除了 32 头/皿的高密度,其他初始种群密度下,随着 CO_2 浓度升高,绿色型豌豆蚜的平均寿命均显著延长(图 6)。

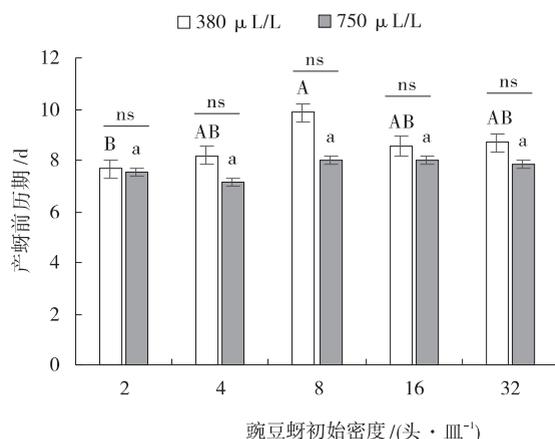


图 4 不同 CO_2 浓度和种群密度下绿色型豌豆蚜的产蚜前期

Fig. 4 Prophase of aphid production of green pea aphid under different CO_2 concentration and population density

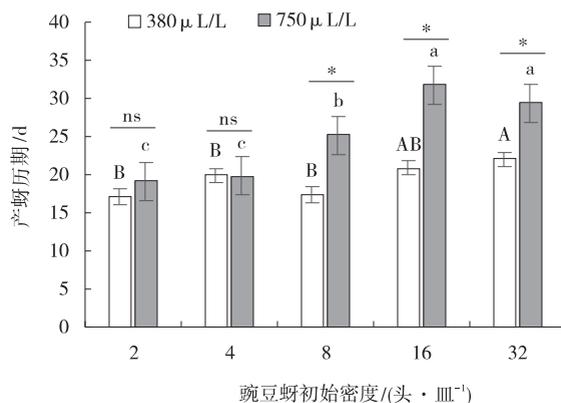


图 5 不同 CO_2 浓度和种群密度下绿色型豌豆蚜的产蚜期

Fig. 5 Aphid production stage of green pea aphid under different CO_2 concentration and population density

2.3 CO_2 浓度和种群密度对 2 种色型豌豆蚜繁殖力的影响

2.3.1 CO_2 浓度和种群密度对红色型豌豆蚜繁殖力的影响 在 2 种 CO_2 浓度下,红色型豌豆蚜的平均产蚜量均随着初始种群密度的增加显著降低($P < 0.05$);在 2 头/皿时,低和高 CO_2 浓度下红色型豌豆蚜的平均产蚜量分别为 40.09 头和 26.76 头,密度上升到 32 头/皿时平均产蚜量分别下降到 7.75 头和 8.51 头。在同一初始种群密度条件下,除了 16 和 32 头/皿

的高密度外,其他密度下,红色型豌豆蚜种群的繁殖力随着 CO₂ 浓度升高显著降低(图 7)。

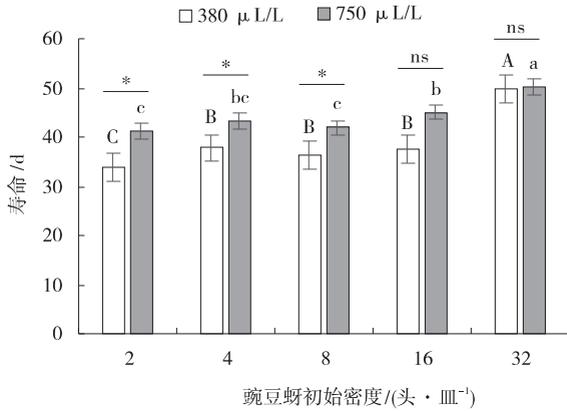


图 6 不同 CO₂ 浓度和种群密度下绿色型豌豆蚜的寿命

Fig. 6 Longevity of green pea aphid under different CO₂ concentration and population density

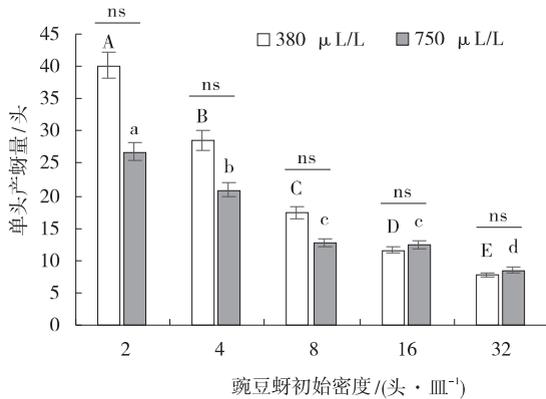


图 7 CO₂ 浓度和种群密度对红色型豌豆蚜繁殖的影响

Fig. 7 Effect of CO₂ concentration and population density on the fecundity of red pea aphid

2.3.2 CO₂ 浓度和种群密度对绿色型豌豆蚜繁殖力的影响 在 2 种 CO₂ 浓度下,绿色型豌豆蚜的单头平均产蚜量与红色型豌豆蚜变化趋势一致。在 2 头/皿时,低和高 CO₂ 浓度下绿色型豌豆蚜的平均产蚜量分别为 39.71 头和 35.85 头,密度上升到 32 头/皿时平均产蚜量分别下降到 6.46 头和 8.76 头。在同一初始种群密度条件下,CO₂ 浓度对绿色型豌豆蚜的繁殖力没有显著影响(图 8)。

3 讨论

CO₂ 是绿色植物光合作用的基础物质,其浓度变化会引起植物体内营养物质和次生代谢物质成分和数量的改变,间接影响植食性昆虫的生长发育^[16-18]。有

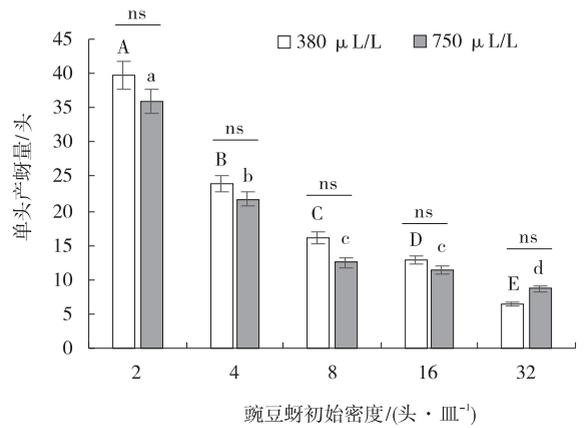


图 8 CO₂ 浓度和种群密度对绿色型豌豆蚜繁殖的影响

Fig. 8 Effect of CO₂ concentration and population density on the fecundity of green pea aphid

报道称当 CO₂ 浓度升高时,绿色植物的光合作用会提高,导致其体内的化学防御物质含量发生改变,C/N 比升高^[6,17,19]。本试验中,当 CO₂ 浓度升高,红色和绿色型豌豆蚜的生命参数均发生了变化,使豌豆蚜生长发育受到抑制,且对产蚜期、平均寿命和单头平均产蚜量的影响较大。这可能与高浓度 CO₂ 下,紫花苜蓿体内的化学防御物质含量发生了改变有关,从而影响了豌豆蚜的取食,进一步影响其发育历期。李润红等^[20]探究不同 CO₂ 浓度下绿色型豌豆蚜的生长发育研究与本试验结论相同,即高浓度 CO₂ 对绿色型豌豆蚜生长发育有明显的抑制作用。同样,吴刚等^[18]发现高浓度 CO₂ 能延缓棉铃虫幼虫和种群的发育,赵文杰等^[21]研究发现高浓度 CO₂ 能显著缩短草地贪夜蛾各发育历期,吴珊珊等^[6]研究发现 CO₂ 浓度升高对褐飞虱发育和生殖具有不利影响,另外赵磊等^[15]研究发现高浓度的 CO₂ 能延缓亚洲玉米螟的生长发育。Awmack 等^[4]也发现高 CO₂ 浓度会影响麦长管蚜的产卵前期和繁殖能力。但 Diaz 等^[22]人在探究 CO₂ 浓度升高对植物一植食性动物相互作用的影响时发现,在不同寄主上麦长管蚜的生长发育并没有发生明显变化。这可能是由于在不同植物上取食的昆虫,对不同浓度的 CO₂ 会产生不同的响应。

在生态系统中,初始种群密度和种间密度效应对包括植食性昆虫在内的动物种群数量动态有着极大的影响,但其差异不同^[10,12]。本试验发现,在相同 CO₂ 浓度、低初始种群密度下,两种色型豌豆蚜的产蚜期和

平均寿命随密度增加均有所延长,但单头平均产蚜量却显著下降,这表明种群初始密度增加会减缓其种群扩增。冯丽凯等^[15]在研究棉蚜种内竞争对其种群数量的影响时,发现棉蚜种内密度明显抑制其种群扩增。

本试验在室内条件下完成,与大田试验的环境条件有差别,缺乏各种自然环境下的影响因素,如竞争者和天敌,其结果只能为豌豆蚜的监测预报和防治提供理论支持。另外,昆虫对 CO₂ 的响应机制需要长远积累,所以豌豆蚜对 CO₂ 浓度变化的响应机制还有待进一步研究。

4 结论

CO₂ 浓度和种群密度能影响两种色型豌豆蚜的生长发育和繁殖。在相同的 CO₂ 浓度下,两种色型豌豆蚜的种群初始密度越小,越有利于其个体发育和繁殖;当 CO₂ 浓度和种群初始密度升高时,豌豆蚜生长发育受到抑制,不利于种群的增长。两种色型豌豆蚜均存在种内竞争,说明未来气候的变化可能会对豌豆蚜的发育和繁殖产生较大影响。

参考文献:

- [1] 王小强,刘长仲,邢亚田. 吡虫啉、阿维菌素和高效氯氟菊酯亚致死剂量对绿色型豌豆蚜发育及繁殖的影响[J]. 草业学报,2014,23(5):279-286.
- [2] 张祥,刘长仲,宋维虎. 不同 CO₂ 浓度条件下两种色型豌豆蚜的种群密度效应[J]. 甘肃农业大学学报,2019,54(3):78-83.
- [3] 武德功,杜军利,贺春贵. 4 个苜蓿品种对两种体色豌豆蚜的抗性[J]. 植物保护,2015,41(1):49-54.
- [4] Awmack C, Harrington R, Leather S. Host plant effects on the performance of the aphid *Aulacorthum solani* (Kalt.) (Homoptera: Aphididae) at ambient and elevated CO₂ [J]. *Global Change Biol*,2010,3(6):545-549.
- [5] 张祥. 不同 CO₂ 浓度对红色型和绿色型豌豆蚜种内竞争的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2019.
- [6] 吴珊珊,孟玲,李保平. 高 CO₂ 浓度和施氮量对褐飞虱生长发育及繁殖的影响[J]. 南京农业大学学报,2013,36(1):59-64.
- [7] 孙玉诚,郭慧娟,戈峰. 昆虫对全球气候变化的响应与适应性[J]. 应用昆虫学报,2017,54(4):539-552.
- [8] Kemal Kazan. Plant-biotic interactions under elevated CO₂: A molecular perspective[J]. *Environmental and Experimen-*

tal Botany,2018,(153):249-261.

- [9] Moshe C, Lesley H. Effects of elevated CO₂ on an insect omnivore: A test for nutritional effects mediated by host plants and prey[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,2008,123(4):271-279.
- [10] Samira S, Hussein S N, Lida F. Effects of elevated CO₂ and water stress on population growth of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), on sweet pepper under ironmentally controlled conditions[J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*,2019,(22):96-102.
- [11] Seeley TD. Atmospheric carbon dioxide regulation in honey-bee (*Apis mellifera*) colonies[J]. *Journal of Insect Physiology*,1974,(20):2301-2305.
- [12] 庞佩. 持续高 CO₂ 浓度胁迫对棉铃虫生长发育的影响及 *Bacillus safensis* AN1 功能作用研究[D]. 武汉:华中农业大学,2019.
- [13] 刘晓丽,窦莉,孙涛,等. CO₂ 浓度和气候变暖对昆虫的影响[J]. 淮北师范大学学报(自然科学版),2019,40(4):49-53.
- [14] Denno RF, Rodellock GK. Density-related dispersal in planthoppers: Effects of interspecific crowding[J]. *Ecology*,1992,(73):1323-1334.
- [15] 冯丽凯,高桂珍,吕昭智,等. 不同温度条件对棉蚜、棉长管蚜种间竞争关系的影响[J]. 应用昆虫学报,2015,52(3):557-565.
- [16] 赵磊,杨群芳,解海翠,等. 大气 CO₂ 浓度升高对亚洲玉米螟生长发育及繁殖的影响[J]. 生态学报,2015,35(3):885-891.
- [17] Guo HG, Wan SF, Ge F. Effect of elevated CO₂ and O₃ on phytohormone-mediated plant resistance to vector insects and insect-borne plant viruses [J]. *Science China Life Sciences*,2017(60):816-825.
- [18] 吴刚,陈法军,戈峰. CO₂ 浓度升高对棉铃虫生长发育和繁殖的直接影响[J]. 生态学报,2006,26(6):1732-1738.
- [19] Li L K, Wang M F, Pokharel S S, *et al.* Effects of elevated CO₂ on foliar soluble nutrients and functional components of tea, and population dynamics of tea aphid, *Toxoptera aurantii* [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*,2019,(145):84-94.
- [20] 李润红,刘长仲. 大气 CO₂ 浓度升高对绿色型豌豆蚜生

- 长发育和繁殖的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(3): 111—120.
- [21] 赵文杰, 和淑琪, 鲁智慧, 等. CO₂浓度升高对草地贪夜蛾生长发育的直接影响[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 736—741.
- [22] Diaz S, Fraser L H, Grime J P. The impact of elevated CO₂ on plant-herbivore interactions: experimental evidence of moderating effects at the community level[J]. *Oecologia*, 1998, 117(1): 177—186.

Effects of CO₂ concentration and population density on the growth and fecundity of two color morphs of pea aphid

LIN Chun-yan, ZHANG Xiang, HAO Ya-nan, LIU Chang-zhong

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University/Engineering Laboratory for Biological Control of Crop Diseases and Insect Pests of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to explore the differences of growth, development, and reproduction of red and green color morphs of pea aphids (*Acyrtosiphon pisum* Harris) under different CO₂ concentration and initial population density, we conducted the experiment under a CO₂ control chamber involved in two levels of CO₂ concentrations (380 μL/L, and 750 μL/L). The pea aphids with different initial density were reared on alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants, and the earlier stage of aphid production, aphid production stage, aphid production and longevity were observed and recorded. The results revealed that with the increase of initial density, the aphid production stage of two color morphs were prolonged, when the initial density was 32 heads / dish, the aphid production stage of red color morph reached 20.53 and 27.63 d under the control and high concentration of CO₂, and that of green color morph reached 22.00 and 29.38 d respectively; the aphid production decreased and the fecundity decreased significantly, when the initial density was 32 heads/dish, the aphid production of the red color morph were 7.75 and 8.51 heads under the control and high concentration CO₂, while that of the green color morph were 6.46 and 8.76 heads respectively. The increase of CO₂ concentration had no significant effect on the earlier stage of aphid production between the two color morphs, but had significant effect on the aphid production stage, longevity, and aphid production. High CO₂ concentration could significantly inhibit the fecundity of two color morphs of pea aphid.

Key words: *Acyrtosiphon pisum*; CO₂ concentration; population density; growth; fecundity