

不同氮水平对麦二叉蚜生长发育和繁殖的影响^{*}

栗 治^{**} 刘小侠 张青文^{***}

(中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘 要 【目的】 探究施肥量与蚜虫生长发育和繁殖的关系。【方法】 对小麦进行不同氮水平处理, 观察并检测麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani) 发育历期、生殖力和小麦叶片可溶性糖、可溶性蛋白含量的变化。【结果】 随着氮水平增加, 麦二叉蚜发育历期缩短; 高氮水平 (600 mg/L) 处理的麦二叉蚜生殖力明显高于其他氮水平 (60、150、300 mg/L) 处理, 其中 150 mg/L 氮水平处理, 蚜虫的内禀增长率、净增殖率、周限增长率等最低, 种群数量增加最小; 不同氮水平处理小麦叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量有明显变化, 随着氮水平的增加, 可溶性糖含量降低、可溶性蛋白含量增加; 蚜虫内禀增长率与叶片可溶性糖含量呈负相关, 与可溶性蛋白含量呈正相关, 且均达到显著水平。【结论】 不同氮水平可通过改变叶片内可溶性糖和可溶性蛋白的含量影响蚜虫的繁殖和种群的增长。

关键词 氮, 麦二叉蚜, 发育历期, 内禀增长率, 可溶性糖, 可溶性蛋白

Effect of nitrogen fertilizer on the development and fecundity of *Schizaphis graminum* (Rondani)

LI Zhi^{**} LIU Xiao-Xia ZHANG Qing-Wen^{***}

(College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract [Objectives] To explore the relationships between nitrogen fertilizer application and wheat aphid developmental duration and fecundity. [Methods] The developmental duration and fecundity of the aphid *Schizaphis graminum* (Rondani) and the amount of foliar soluble protein and soluble sugar in wheat were measured on wheat plants treated with different amounts of nitrogen fertilizer. [Results] The developmental duration of aphids decreased with increasing nitrogen levels and fecundity was significantly higher at 600 mg/L nitrogen than at 60 mg/L, 150 mg/L and 300 mg/L nitrogen. The intrinsic rate of increase, net value-added rate, finite rate of increase and the amount of population increase were lowest at 150 mg/L nitrogen. Foliar soluble sugar increased, and foliar soluble protein decreased, with increasing of nitrogen. Wheat aphids' intrinsic rate of population increase was significantly, negatively correlated with the amount of foliar soluble sugar but significantly, positively correlated with the amount of foliar soluble protein. [Conclusion] Different nitrogen levels affected wheat aphids' fecundity and population growth by changing the amount of foliar soluble sugar and soluble protein in wheat plants.

Key words nitrogen fertilizer, *Schizaphis graminum*, intrinsic rate of increase, soluble sugar, soluble protein

麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani) 是小麦的主要害虫之一, 苗期到乳熟期均可危

^{*} 资助项目: 农业公益性行业科研专项 (201103022)

^{**} E-mail: lizhi8802@163.com

^{***} 通讯作者, E-mail: zhangqingwen @263.net

收稿日期: 2013-01-20, 接受日期: 2013-02-16

害,刺吸小麦汁液,造成严重减产,还能传播小麦黄矮病等多种病毒病。氮营养是昆虫主要的营养物质,对植食性昆虫的生长发育影响尤为突出,大多数植物的平均含氮量为2%,而昆虫体内含氮量高达7%(William and Mattson, 1980)。因此,氮是植食性昆虫正常生长发育必不可缺的一种营养元素。大多研究表明,增施氮肥对植食性昆虫的寄主选择、存活和生长发育、生殖和种群动态等均有促进作用(Jauset *et al.*, 1998; Fischer and Fiedler, 2000; Nevo and Coll, 2001)。

昆虫的繁殖能力多采用内禀增长率等指标表示,是评价植株对植食性昆虫抗性的重要方面之一(李朝阳和吴坤君, 1997; 于洋等, 2006)。目前,关于不同施氮量对昆虫生长繁殖的影响及其机制有一些相关研究报道,如通过改变植物的生长速率,延迟或加速其生育期,改变表皮厚度或硬度,从而影响昆虫对植物的取食(Klostermeyer, 1950);通过植物体内的C/N比随其可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量变化,影响昆虫的食物质量(Bryant *et al.*, 1978);通过植物体内的次生代谢物质含量变化,降低或增强植物对植食性昆虫的抗性等(Dejader *et al.*, 1996)。

本研究对不同氮水平对麦二叉蚜生长发育和繁殖的影响,探讨不同氮水平下蚜虫的种群增长与小麦体内营养物质(可溶性糖、可溶性蛋白)含量的变化,初步揭示氮营养对麦二叉蚜生长发育的营养机制,为田间麦蚜的生态调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小麦:小麦在温室种植培养,土壤由蛭

石(60%)、草炭(40%)混合配置而成。同期播种于花盆(直径19 cm、高15 cm)中,每盆10株。然后用100 mg/L $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (磷肥),300 mg/L KCl(钾肥)灌溉小麦,浇灌量以溶液刚刚渗出盆底为准。试验用尿素作氮肥,配置4种不同的氮浓度:60、150、300、600 mg/L。氮肥每周施用一次,每次灌溉量为200 mL/盆,直到试验结束。在小麦3叶期,取叶片用于蚜虫生命表试验和叶片全氮含量、可溶性糖、可溶性蛋白含量的测定。

供试蚜虫:供试麦二叉蚜采自河北石家庄赵县麦田,带回实验室转移到麦苗,饲养一代后将1龄若蚜转移至水培法培育的麦苗(鲁艳辉和高希武, 2007),饲养置于人工气候箱内,经10多代繁殖后进行试验。人工气候箱温度(20 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度60% $\pm$ 5%、光周期16L:8D。

1.2 小麦叶片全氮含量的测定

采用浓硫酸-双氧水消煮,凯氏定氮法测定小麦叶片全氮含量(李玲, 2009)。

1.3 麦二叉蚜实验种群生命表的建立

参照贾彦霞等(2004)的方法,先将直径为35 mm的培养皿洗净,置于60 $^{\circ}\text{C}$ 温箱中24 h备用。然后将新鲜的小麦叶片剪成小段,放在培养皿中,接头处用脱脂棉浸水覆盖,以保持小麦叶片的新鲜。并在每个培养皿中倒少量琼脂,保持一定的湿度。挑取无翅胎生雌蚜饲喂在不同处理小麦3叶期的叶片上,24 h后待产若蚜后移去成蚜,每培养皿只保留1头若蚜,每日8:00, 16:00观察,并记录每头若蚜蜕皮及存活情况,每次观察后及时移去蚜蜕。若蚜发育为成蚜后,每日调查成蚜产仔量,并剔除所产若蚜,及时更换新鲜叶片,直到成蚜死亡。每个处理10头蚜虫,重

复 3 次。

根据郅军锐等 (2010) 方法, 计算麦二叉蚜的净增殖率(R_0)、平均世代周期(T)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)等参数。净增值率 $R_0 = \sum l_x m_x$; 平均世代周期 $T = \sum x l_x m_x / R_0$; 内禀增长率 $r_m = \ln R_0 / T$; 周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$; 种群加倍时间 $DT = \ln 2 / r_m$ 。其中 x 为以天为单位的时间间隔; l_x 为任何个体在 x 期间得以存活概率; m_x 为在 x 期间内平均每雌产若蚜数。

1.4 可溶性糖和可溶性蛋白含量的测定

不同氮水平的未接虫小麦植株网罩内接种蚜虫, 每株 10 头, 对照为未经麦二叉蚜取食的无虫植株。于接种蚜虫后的第 10 天分别进行小麦叶片的取样, 测定接虫株和对照组叶片的可溶性糖及可溶性蛋白含量。

可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定; 可溶性蛋白含量采用考马斯亮兰 G-250 染色法测定(李玲等, 2009)。

1.5 数据分析方法

本实验所得数据用平均值 $\pm$ 标准误 (SE) 来表示, 采用 SPSS17.0 软件中 ANOVA 法进行方差分析, Duncan's 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同氮水平小麦叶片全氮含量的测定

不同浓度氮肥溶液处理的小麦叶片含氮量差异显著 ($P < 0.05$) (图 1)。4 个氮肥处理的小麦叶片含氮量依次为 54.04、57.88、59.83、63.05 g/kg, 随着氮水平的升高, 小麦叶片的全氮含量也显著增加 ($P < 0.05$)。

2.2 不同氮水平小麦对麦二叉蚜发育历期的影响

随着氮水平的增加麦二叉蚜若蚜的发育历期缩短, 其中 600 mg/L 氮水平处理的蚜虫发育历期与其他氮水平 (60、150、300 mg/L) 处理的相比显著缩短 ($P < 0.05$), 其他氮水平之间差异不显著 ($P \geq 0.05$) (表 1)。表明随着施氮量的增加, 麦二叉蚜的发育历期呈缩短趋势。

2.3 不同氮水平小麦对麦二叉蚜繁殖力的影响

氮水平 600 mg/L 与低氮水平 (60、150 mg/L) 相比, 小麦上麦二叉蚜的内禀增长率、净增殖率及周限增长率均明显升高 (表 2), 种群加倍时间显著降低, 差异达显著水平 ($P < 0.05$); 4 个氮水平处理的麦二叉蚜世代周期差异不显著 ($P \geq 0.05$)。高氮水平 (300、600 mg/L) (净增殖率除外) 之间差异不显著 ($P \geq 0.05$), 低氮水平之间差异不显著 ($P \geq 0.05$), 其中 150 mg/L 氮水平处理的蚜虫内禀增长率、净增殖率和周限增长率均最小, 种群加倍时间最长。表明麦二叉蚜在高氮水平处理的小麦上繁殖能力强, 低氮水平繁殖能力弱, 且 150 mg/L 氮水平处理的蚜虫 r_m 最低, 最不利于蚜虫的繁殖。

2.4 不同氮水平小麦叶片可溶性糖含量的变化

不同氮水平下小麦可溶性糖的测定结果表明 (表 3), 随着氮水平的增加, 无论是否接虫, 各处理条件下小麦体内可溶性糖的含量都显著

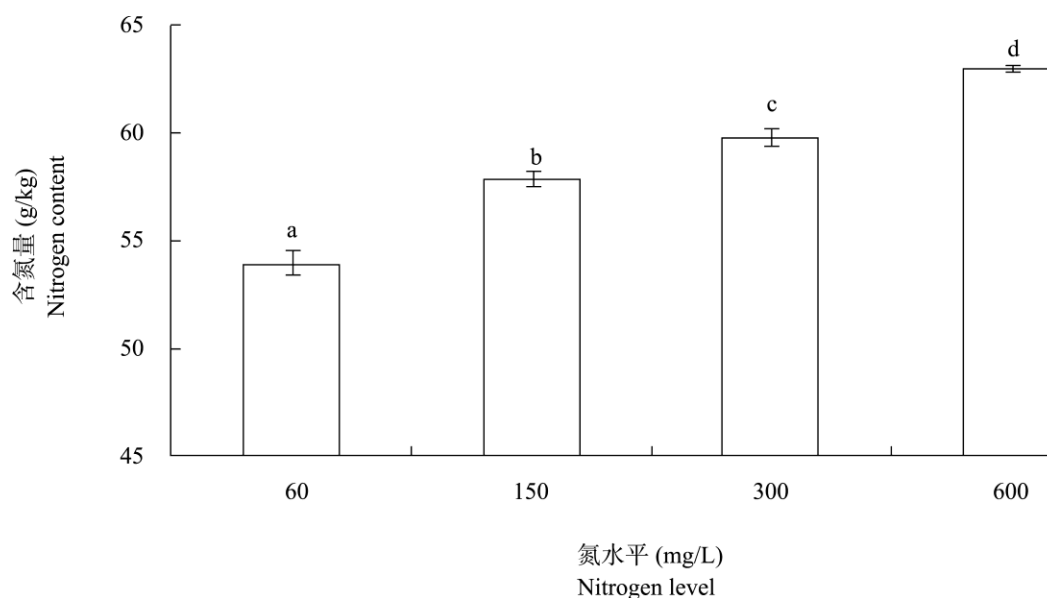


图 1 不同氮水平小麦叶片含氮量

Fig. 1 Foliar nitrogen content of wheat by different nitrogen levels

图中数据为平均数 $\pm$ 标准差。柱上标有不同字母表示在 0.05 水平上的差异显著 (Duncan's 多重比较)。
Data in the table are mean $\pm$ SE. Histograms with different letters indicate significant difference at the 0.05 level by Duanacan's multiple range test.

表 1 不同氮水平小麦植株上麦二叉蚜的发育历期

Table 1 Development duration of *Schizaphis graminum* on wheat plants by different nitrogen levels

氮水平 (mg/L) Nitrogen level	发育历期 (d) Development duration					
	1 龄 1 st instar	2 龄 2 nd instar	3 龄 3 rd instar	4 龄 4 th instar	5 龄 5 th instar	若蚜历期 Nymphal instar
60	2.47 $\pm$ 0.44a	2.03 $\pm$ 0.39a	1.92 $\pm$ 0.24a	2.00 $\pm$ 0.21a	0.63 $\pm$ 0.29a	9.10 $\pm$ 0.63a
150	2.33 $\pm$ 0.50ab	1.69 $\pm$ 0.31b	1.72 $\pm$ 0.31ab	2.00 $\pm$ 0.32a	0.76 $\pm$ 0.32a	8.75 $\pm$ 0.48a
300	2.12 $\pm$ 0.45b	1.80 $\pm$ 0.52ab	1.57 $\pm$ 0.39b	1.95 $\pm$ 0.38a	1.07 $\pm$ 0.64b	8.68 $\pm$ 0.88a
600	1.77 $\pm$ 0.39c	1.40 $\pm$ 0.37c	1.68 $\pm$ 0.45ab	1.91 $\pm$ 0.33a	0.72 $\pm$ 0.30a	8.00 $\pm$ 0.51b

表中数据为平均数 $\pm$ 标准差。同列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平上的差异显著 ((Duncan's 多重比较))。
下表同。

Data in the table are mean $\pm$ SE, and followed by different letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level by Duanacan's multiple range test . The same below.

* 资助项目：农业公益性行业科研专项 (201103022)

**E-mail: lizhi8802@163.com

***通讯作者，E-mail: zhangqingwen @263.net

收稿日期：2013-01-20，接受日期：2013-02-16

表 2 不同氮水平小麦植株上麦二叉蚜的生命表参数
Table 2 The life table parameters of *Schizaphis graminum* on wheat plants by different nitrogen levels

氮水平 (mg/L) Nitrogen level	生命表参数 Life table parameters				
	世代周期(d) <i>T</i>	内禀增长率 <i>r_m</i>	净增殖率 <i>R₀</i>	周限增长率 <i>λ</i>	种群加倍时间 <i>DT</i>
60	14.67±0.389a	0.254±0.006a	41.37±1.31a	1.289±0.008a	2.73±0.060a
150	14.19±0.926a	0.251±0.009a	35.41±4.32a	1.286±0.010a	2.76±0.096a
300	15.32±0.713a	0.262±0.007ab	55.05±4.33b	1.299±0.009ab	2.65±0.068ab
600	15.52±0.711a	0.273±0.008b	69.03±5.10c	1.313±0.010b	2.54±0.073b

表 3 不同氮水平小麦叶片可溶性糖含量的变化
Table 3 The amount change of foliar soluble sugar of wheat

氮水平 (mg/L) Nitrogen level	可溶性糖含量 (mg/g) A amount of soluble sugar	
	接虫 Inoculation	未接虫 Control
60	16.20±0.27a	10.45±0.24a
150	16.28±0.19a	10.24±0.32a
300	13.55±0.44b	8.09±0.64b
600	12.72±0.48c	7.22±0.30c

减少 ($P<0.05$), 低氮水平下 (60、150 mg/L) 小麦体内的可溶性糖含量明显高于高氮水平 (300、600 mg/L) ($P<0.05$)。接虫后所有的氮水平可溶性糖含量均高于对照, 分别上升了 54.90%、58.97%、67.47%和 76.04%, 说明蚜虫危害可以诱导小麦体内可溶性糖的积累。

分析小麦体内可溶性糖含量与蚜虫内禀增长率的关系发现, 麦二叉蚜的繁殖力与小麦可溶性糖含量具有一定的负相关性, 且达到显著水平 ($P<0.05$), 相关系数为 - 0.952, 说明小麦可溶性糖含量越低, 越有利于麦二叉蚜的繁殖。

2.5 不同氮水平小麦叶片可溶性蛋白含量的变化

不同氮水平下小麦可溶性蛋白的测定结果

表明 (表 4), 随着氮水平的增加, 无论是否接虫, 各处理条件下小麦体内可溶性蛋白的含量都显著增加 ($P<0.05$), 低氮水平下 (60、150 mg/L) 小麦体内的可溶性蛋白含量明显低于高氮水平 (300、600 mg/L)。接虫后所有的氮水平可溶性蛋白含量均低于对照, 分别下降了 10.00%、10.44%、13.57%和 14.92%。

分析小麦体内可溶性蛋白含量与蚜虫内禀增长率的关系发现, 麦二叉蚜的繁殖力与小麦可溶性蛋白含量具有一定的正相关性, 且达到显著水平 ($P<0.05$), 相关系数为 0.951, 说明小麦可溶性蛋白含量越高, 越有利于麦二叉蚜的繁殖。

3 讨 论

随着绿色农业的发展,通过调控植物营养抑制病虫害的发生再次成了研究的热点。营养调控中最关键的环节是施肥措施,植物对氮肥的需求量最大,同时又关系到植食性昆虫的生长发育和繁殖。因此,合理施肥既能减少化肥施用,又能有效控制农药的使用,对发展绿色农业具有重要意义。

本试验结果表明,氮水平影响蚜虫的发育历期,随着氮水平的升高发育历期缩短,与前人的研究相吻合。刘顺和王益之(1990)报道随施氮量的增加,棉株体内可溶性蛋白的含量相应提

高,棉铃虫幼虫和蛹的发育历期缩短。White (1984)认为寄主植物含氮量相对短缺对昆虫生长发育的严重影响主要在幼虫发育前期,故其含氮量在一定范围内波动,不会成为幼虫发育后期生长的限制因子,这就解释了本试验中取食不同氮水平小麦对麦二叉蚜发育的影响主要表现在低龄期(1~2龄)。

另外,随着氮水平的升高,蚜虫的内禀增长率、净增殖率和周限增长率增加,种群加倍时间缩短,说明一定范围内的氮水平能促进麦二叉蚜的种群增长。门兴元等(2004)研究发现一定氮水平下,田间棉蚜、棉叶蝉的数量与施氮肥量成正相关关系;而160 mg/L氮水平下,既能满足

表4 不同氮水平小麦叶片可溶性蛋白含量的变化
Table 4 The amount change of foliar soluble protein of wheat

氮水平 (mg/L) Nitrogen level	可溶性蛋白 (mg/g) Amount of soluble protein	
	接虫 Inoculation	未接虫 Control
60	50.98±0.84a	56.64±1.06a
150	50.74±0.61a	56.66±0.37a
300	56.77±0.86b	65.68±0.69b
600	58.53±1.40c	68.80±1.36c

小麦营养需求,又能有效抑制蚜虫的繁殖,说明该氮水平是抑制蚜虫生长发育的临界水平。同样,辛苗等(2010)发现黄瓜在140 mg/L的氮水平是抑制瓜蚜生长发育的临界水平。

小麦叶片可溶性糖含量随着氮水平升高而降低,且与内禀增长率之间呈显著负相关,表明氮水平的变化,改变了小麦体内的碳氮比,供氮量低时有利于叶片可溶性糖的积累,不利于蚜虫的生长发育。李进步等(2008)认为棉

蚜的生长发育和繁殖与棉花叶片中的可溶性糖含量呈显著相关,可溶性糖与棉蚜若蚜历期呈正相关,与内禀增长率呈负相关。其原因可能为蚜虫在吸取植物汁液过程中,获取了大量的糖类物质,大大超出体内新陈代谢需要的糖类物质,必须随体液排出,才能维持其生长发育的内环境。植物体内可溶性糖含量越高,蚜虫排出糖类物质的代谢压力越大,对其越不利,从而对棉蚜产生了一定的抗性。而周福才

等 (1990) 认为小麦品种对禾谷缢管蚜的抗性与叶片中的可溶性糖含量呈负相关。因此, 单方面说是可溶性糖含量变化所造成的结果可能是不准确的。

Scott 等 (2002) 研究发现, 温室蓟马繁殖力与寄主叶片可溶性蛋白含量存在正相关关系, 这与本试验的结果小麦可溶性蛋白含量越高, 越有利于麦二叉蚜的繁殖相一致。可以说, 不同氮水平通过小麦叶片内的可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化影响蚜虫的生长发育。但昆虫的繁殖力不仅只受营养物质的影响, 比如 Rong 等 (2005) 发现异丁胺和次生物质在蓟马-植物关系中起到主要作用。因此, 昆虫在不同氮水平下的繁殖力的差异, 应该是多种因素共同作用的结果, 植株的物理性状、营养物质、次生物质等都可以影响其生长发育。

本研究证实了不同氮水平通过影响小麦叶片内的可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化而影响蚜虫的生长发育, 初步揭示了氮水平与蚜虫发育的关系和营养调控机制, 有关小麦体内次生代谢物质影响机制有待进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Bryant JP, Chapin FS, Reichardt PB, Clausen TP, 1987. Response of winter chemical defense in Alaska paper birch and green alder to manipulation of plant carbon/nutrient balance. *Oecologia*, 72: 510–514.
- Castle SJ, Berger PH, 1993. Rates of growth and increase of *Myzus persicae* on virus-infected potatoes according to type of virus-vector relationship. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 69: 51–60.
- Dejager CM, Butot RPT, Meijden EVD, 1996. The role of primary and secondary metabolites in chrysanthemum to *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 22(11): 1987–1999.
- Fischer K, Fiedler K, 2000. Response of the copper butterfly *Lycaena tityus* to increased leaf nitrogen in natural food plants: evidence against the nitrogen limitation hypothesis. *Oecologia*, 124: 211–214.
- Jauset AM, Sarasua MJ, Avilla J, Albajes R, 1998. The impact of nitrogen fertilization of tomato on feeding site selection and oviposition by *Trialeurodes vaporarioru*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 86: 175–182.
- Klostermeyer EC, 1950. The phloroglucinol test for the diagnosis of leaf roll in Netted Gem potatoes. *Plant Disease Reporter*, 34: 36–38.
- Nevo E, Coll M, 2001. Effect of nitrogen fertilization on *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae): variation in size, color, and reproduction. *Journal of Economic Entomology*, 94(1): 27–32.
- Rong T, Chris M, Bruce B, Martina F, Wayne A, Brian M, 2005. Evidence for an isobutylamide associated with host-plant resistance to western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, in chrysanthemum. *Journal of Chemical Ecology*, 31(1): 103–110.
- Scott B, Simmonds SJ, Walter MB, 2002. Relationship between nutritional composition of plant species and infestation levels of thrips. *Journal of Chemical Ecology*, 28: 2399–2409.
- White TCR, 1984. The abundance of invertebrate herbivores in relation to availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia*, 63: 90–105.
- William J, Mattson, 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11: 119–161.
- 贾彦霞, 贺达汉, 哈学娟, 韩树立, 2004. 麻黄蚜实验种群的生命表. 昆虫知识, 41(5): 434–436. [JIA YX, HE DH, HA XJ, HAN SL, 2004. Life table of *Ephedraphis gobica* population in laboratory. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(5): 434–436.]
- 李朝阳, 吴坤君, 1997. 菊小长管蚜的实验种群生命表. 昆虫知识, 34(6): 333–335. [LI CY, WU KJ, 1997. A life table of experimental population of the aphid, *Macrosiphoniella sanborni* (Gillette). *Chinese Bulletin of Entomology*, 34(6): 333–335.]
- 李进步, 方丽平, 吕昭智, 张铮, 2008. 棉花抗蚜性与可溶性糖含量的关系. 植物保护, 34(2): 26–30. [LI JB, FANG LP, LV ZZ, ZHANG Z, 2008. Relationships between the cotton resistance to the cotton aphid (*Aphis gossypii*) and the content of soluble sugars. *Plant Protection*, 34(2): 26–30.]
- 李玲, 2009. 植物生理学模块实验指导. 科学出版社. 13–17, 48–57. [LI L, 2009. Plant physiology experiment module guide. Science Press, 13–17, 48–57.]
- 刘顺, 王益之, 1990. 施氮量对棉花和棉蚜的影响. 河北农业大学学报, 13(3): 55–58. [LIU S, WANG YZ, 1990. THE effects of applications of nitrogen fertilizer on cotton and cotton aphid. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 13(3): 55–58.]
- 鲁艳辉, 高希武, 2007. 一种室内饲养麦蚜的方法. 昆虫知识, 44(2): 289–290. [LU YH, GAO XW, 2007. A method for mass

- culture of wheat aphids . *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(2) :289-290.]
- 门兴元, 戈峰, 尹新明, 刘东坡, 2004. 施肥与摘蕾对棉蚜、棉叶蝉种群数量及棉花产量的影响. 应用生态学报, 15(8): 1440-1442. [MEN XY, GE F, YIN XM, LIU DP, 2004. Effect of nitrogen fertilization and square loss on cotton aphid population, cotton leafhopper population and cotton yield . *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(8) :1440-1442.]
- 辛苗, 杜相革, 朱晓清, 2010. 不同氮水平对黄瓜蚜虫生长发育的影响. 植物保护学报, 37(5): 408-412. [XIN M, DU XG, ZHU XQ, 2010. Influence of variable nitrogen fertilization on growth and development of aphid *Aphis gossypii* . *Acta Phytophylacica Sinica*, 37(5) :408-412.]
- 于洋, 庞保平, 高书晶, 夏春颖, 2006. 春小麦品种对麦长管蚜生长发育和繁殖的影响. 应用生态学报, 17(2): 354-356. [YU Y, PANG BP, GAO SJ, 2006. Effects of spring wheat varieties on growth, development and fecundity of *Sitobion avenae* (F) (Homoptera: Aphididae) . *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(2) :354-356.]
- 郅军锐, 李景柱, 盖海涛, 2010. 西花蓟马取食不同豆科蔬菜的实验种群生命表. 昆虫知识, 47(2): 313-317. [ZHI JR, LI JZ, GAI HT, 2010. Life table for experimental population of *Frankliniella occidentalis* feeding on leguminous vegetables. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(2) :313-317.]
- 周福才, 陆自强, 陈丽芳, 祝树德, 陈国庆, 徐勇惠, 李祥, 肖维香, 1999. 小麦麦株内可溶性糖与抗禾谷缢管蚜的关系. 江苏农业研究, 20(2): 60-63. [ZHOU CF, LU ZQ, CHEN LF, ZHU SD, CHEN GQ, XU YH, LI X, XIAO WX, 1999. The correlativity between soluble sugars of wheat and resistance to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* L. *Jiang Su Agricultural Research*, 20(2) :60-63.]