

# 不同三叶草对二斑叶螨生长发育和繁殖的影响<sup>\*</sup>

张廷伟<sup>\*\*</sup> 孙玺文 刘长仲 沈慧敏<sup>\*\*\*</sup>

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 兰州 730070)

**摘 要** 【目的】明确红三叶、白三叶和杂三叶 3 种寄主对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 生长发育和繁殖的影响, 以及 3 种寄主间二斑叶螨的生物学差异。【方法】在室内 (25±1) °C 条件下, 采用离体叶片法研究了 3 种三叶草对二斑叶螨种群参数的影响。【结果】3 种三叶草对二斑叶螨生长发育、雌成螨寿命以及繁殖力有显著影响 ( $P<0.05$ )。在杂三叶上, 二斑叶螨发育历期、产卵前期明显比红三叶和白三叶上要长, 而且雌成螨寿命和产卵期也明显缩短。每雌产卵量在红三叶上最高 (150.87 粒), 白三叶次之 (139.43 粒), 而杂三叶上最低 (86.95 粒)。二斑叶螨在 3 种三叶草上的存活曲线均为 I 型, 存活率高低依次为红三叶、白三叶和杂三叶。净增殖率 ( $R_0$ )、内禀增长率 ( $r_m$ ) 和周限增长率 ( $\lambda$ ) 在红三叶上最高、杂三叶上最低, 而平均世代周期 ( $T$ ) 和种群加倍时间 ( $D_t$ ) 在杂三叶上最长、红三叶上最短。【结论】3 种三叶草对二斑叶螨的适合度具有一定差异, 红三叶和白三叶对二斑叶螨具有更高的适合度。

**关键词** 二斑叶螨, 红三叶, 白三叶, 杂三叶, 生长发育, 繁殖

## Effects of different clover species on the development and fecundity of *Tetranychus urticae* Koch

ZHANG Ting-Wei<sup>\*\*</sup> SUN Xi-Wen LIU Chang-Zhong SHEN Hui-Min<sup>\*\*\*</sup>

(Key Laboratory of Grassland Ecosystem Ministry of Education, College of Pratacultural Science,  
Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** [Objectives] The two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch is one of the most economically important pests of a wide range of crops and pastoral grasses worldwide. To clarify the biological characteristics of *T. urticae*, the effects of different clover species on its development and fecundity were investigated. [Methods] Three treatment groups of two-spotted spider mites were fed either red clover, white clover, or alsike clover, under laboratory conditions at a constant temperature (25±1)°C. [Results] The three clover species had significant effects on the developmental time, adult female longevity and fecundity ( $P<0.05$ ). The developmental time and pre-oviposition period of mites fed on alsike clover were longer than in those fed on red or white clover, and adult female longevity and the duration of oviposition were markedly shorter. Mites fed on red clover laid the highest average number of eggs per female (150.87), followed by those fed on white clover (139.43), whereas those fed on alsike clover laid the lowest (86.95). The survival curves of all three treatment groups were Deevey type I. Survival was highest on red clover, followed by white clover, and lowest in mites fed on alsike clover. The net reproductive rate ( $R_0$ ), intrinsic rate of increase ( $r_m$ ) and finite rate of increase ( $\lambda$ ) were highest on red clover and lowest on alsike clover, and mean generation time ( $T$ ) and population doubling time ( $D_t$ ) were longest on alsike clover and lowest on red clover. [Conclusion] Clover species had a strong effect on the development and fecundity of the two-spotted spider mite which had higher fitness on red and white clover than on alsike clover.

**Key words** *Tetranychus urticae*, red clover, white clover, alsike clover, development, fecundity

\* 资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31260442); 甘肃农业大学盛彤笙基金项目 (GSAU-ST-1419)

\*\*第一作者 First author, E-mail: zhangtw@gsau.edu.cn

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: ndshm@gsau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-10-23, 接受日期 Accepted: 2015-11-30

三叶草也称车轴草,属于豆科(Leguminosae)、蝶形花亚科(Faboideae)、三叶草属(*Trifolium*)多年生草本植物。三叶草属种类繁多,全球约250余种,其中红三叶 *Trifolium pratense* L.、白三叶 *Trifolium repens* L.和杂三叶 *Trifolium hybridum* L.是分布和应用较多的3个种(贾慎修和陈默君,2002;梁哲等,2009;李润芳等,2010)。三叶草因具有生态适宜性强、侵占性强、耐践踏、利用年限长、营养丰富、产量高、耐粗放栽培管理等特点,在国内外被广泛栽培种植,在畜牧业生产、土壤改良和生态环境保护方面发挥重要作用。此外,红三叶和白三叶不仅是重要的优质栽培牧草,而且在镇痛、止咳以及提高免疫力方面具有重要的药用功能(江苏新医学院,1992;中国科学院中国植物志编委,1996;赵卫星等,2010)。但是,随着全球气候变暖和三叶草栽培面积的不断扩大,三叶草上虫害问题尤其是螨害问题日益突出。赵娜(2011)研究发现叶螨危害造成红三叶鲜草产量降低、品质下降、适口性降低,影响家畜采食。张廷伟等(2013)研究发现二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 为害导致城市绿地植物白三叶叶绿素含量降低从而影响园林绿地的观赏价值。

二斑叶螨是世界性的多食性害螨,寄主植物达240科1100多种(岳秀利等,2013)。前人对二斑叶螨在果树和蔬菜上生物学特性(马俐等,2005;刘学辉等,2007)、发生规律(刘长仲等,2002)、防治方法以及抗药性方面(相建业等,2003;高新菊和沈慧敏,2011;周兴隆等,2015)已经做了大量的研究,尤其对二斑叶螨的抗药性机理方面更是深入到了基因分子水平(袁明龙和王进军,2012;岳秀利等,2013)。但是国内外关于寄主三叶草对二斑叶螨生物学特性的影响研究甚少。为进一步了解二斑叶螨在三叶草上的种群数量变动规律以及致害机理,作者在实验室内组建了二斑叶螨在3种三叶草寄主上的生殖力生命表,以及了解不同三叶草种类对二斑叶螨生长发育、繁殖和种群增长的影响,为今后三叶草上二斑叶螨的持续控制和培育抗螨品种提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验所用植物为红三叶(品种为‘瑞丽’)、白三叶(品种为‘瑞文德’)、杂三叶(品种为‘极光’),种子购于甘肃省农科院种子市场;试验所用二斑叶螨于2012年7月中旬从甘肃农业大学校园白三叶上采集,在室内豇豆 *Vigna unguiculata* L.上扩大繁殖3代后备用。

### 1.2 试验方法

试验参照庞保平等(2005)的离体叶片饲养法。在培养皿( $\Phi$  9 cm)内放一层约1 cm厚的海绵,其上平铺一张滤纸。将新鲜干净的三叶草叶片完全展开置于滤纸上,叶背朝上,叶柄及叶缘周围用湿润的脱脂棉包围,皿内注水适量,以确保叶片新鲜,试验期间定期更换叶片。每皿接入2 h内初产的卵1枚,每种寄主植物不少于90头。将各培养皿置于温度为 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、光周期L:D=16:8的RH-250-G型光照培养箱中进行饲养。每12 h(每天8:00和20:00)观察1次,记载各螨态发育历期及存活情况。当供试雌若螨发育至第3静止期时,每叶片转接1头刚羽化(2 h内)未交尾的雄螨与之配对,每日观察记载产卵量,直至雌成螨全部自然死亡为止。

### 1.3 数据处理

根据试验数据,采用Carey(1993)和刘长仲等(2012)的方法组建二斑叶螨生殖力生命表,并计算净增值率( $R_0$ )、内禀增长率( $r_m$ )、周限增长率( $\lambda$ )、平均世代周期( $T$ )、种群加倍时间( $D_t$ )等种群生命表参数;存活曲线应用Pinder(1978)提出的Weibull分布进行拟合,公式为:存活率  $S_p(t) = \exp[-(t/b)^c]$ ,  $t, b, c > 0$ , 其中  $b$  为尺度参数,  $c$  为形状参数。当  $c > 1$  时,存活曲线为I型;当  $c = 1$  时,存活曲线为II型;当  $c < 1$  时存活曲线为III型。如果  $c$  值相同,  $b$  值越大,存活率越高。试验所得的所有数据,均利用Excel 2003和SPSS 16.0软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同三叶草对二斑叶螨生长发育的影响

二斑叶螨各螨态发育历期在红三叶上均显著短于其它两种三叶草 ( $P<0.05$ , 表 1)。幼螨期在红三叶和白三叶上均无显著差异 ( $P>0.05$ ), 但均显著短于杂三叶 ( $P<0.05$ ); 前若螨期和后若螨期在 3 种三叶草上均差异显著 ( $P<0.05$ ); 世代历期在红三叶上最短 (10.51 d)、白三叶次之 (11.5 d), 而杂三叶上发育历期最长 (12.82 d), 3 种寄主间差异显著 ( $P<0.05$ ); 二斑叶螨全世代在白三叶 (30.49 d) 和杂三叶 (27.24 d) 上均显著短于红三叶 (32.63 d)。

### 2.2 不同三叶草对二斑叶螨雌成螨寿命和生殖力的影响

由表 2 可知, 二斑叶螨雌成螨寿命在不同三叶草上有显著差异 ( $P<0.05$ ), 在杂三叶上雌成螨寿命最短, 仅为 16.05 d, 而在红三叶和白三叶上雌成螨寿命最长, 分别达到 23.13 d 和 20.57 d, 但雌成螨寿命在红三叶和白三叶之间无显著差异 ( $P>0.05$ ); 而且不同三叶草对二斑叶螨产卵前期、产卵期、平均产卵量和日均产卵量也有显著影响 ( $P<0.05$ )。在杂三叶上产卵前期明显比红三叶和白三叶上长, 但产卵期在杂三叶为 14.42 d, 明显短于红三叶和白三叶上 20.44 d 和 19.64 d。单雌产卵量在红三叶上最高 (150.87

表 1 不同三叶草对二斑叶螨生长发育的影响  
Table 1 Effect of different clover species on growth of *Tetranychus urticae*

| 生物学指标 Biological indexes     | 红三叶 Red clover | 白三叶 White clover | 杂三叶 Alsike clover |
|------------------------------|----------------|------------------|-------------------|
| 卵期 Egg duration (d)          | 4.35±0.05a     | 4.44±0.09a       | 4.50±0.10a        |
| 幼螨期 Larva duration (d)       | 1.00±0.03a     | 1.03±0.02a       | 1.66±0.11b        |
| 第 1 静止期 Protochrysalis       | 0.79±0.04a     | 0.87±0.04ab      | 0.95±0.07b        |
| 前若螨期 Protonymph duration (d) | 0.85±0.04a     | 0.93±0.06ab      | 1.05±0.07b        |
| 第 2 静止期 Deutochrysalis       | 0.67±0.04a     | 0.87±0.05b       | 0.92±0.04b        |
| 后若螨期 Deutonymph duration (d) | 0.90±0.03a     | 0.91±0.03ab      | 1.03±0.07b        |
| 第 3 静止期 Teliophrysalis       | 0.95±0.03a     | 1.01±0.04a       | 1.08±0.08a        |
| 世代历期 Generation duration (d) | 10.51±0.09a    | 11.15±0.17b      | 12.82±0.20c       |
| 全世代 Generation period (d)    | 32.63±1.39b    | 30.49±1.07ab     | 27.24±1.74a       |

表中数据为平均值±标准误, 同行数据后标有不同小写字母表示在 Duncan's 多重比较显著性测验中  $P<0.05$  水平上差异显著。下表同。

Data in the table are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level by Dunca's multiple range test. The same below.

表 2 不同三叶草对二斑叶螨雌成螨寿命和生殖力的影响  
Table 2 Effect of different clover species on female adult longevity and fecundity of *Tetranychus urticae*

| 生物学指标 Biological indexes                          | 红三叶 Red clover | 白三叶 White clover | 杂三叶 Alsike clover |
|---------------------------------------------------|----------------|------------------|-------------------|
| 产卵前期 Preoviposition (d)                           | 1.09±0.03a     | 1.10±0.03a       | 1.63±0.05b        |
| 产卵期 Spawning period (d)                           | 20.44±1.33b    | 19.64±1.16b      | 14.42±1.73a       |
| 平均产卵量 (粒/♀) Average number of egg laid per female | 150.87±10.26b  | 139.43±8.51b     | 86.95±8.84a       |
| 日均产卵量 (粒/♀/日) Eggs laid per female per day        | 7.56±0.37b     | 7.28±0.25ab      | 6.28±0.24a        |
| 雌成螨寿命 Adult longevity (d)                         | 23.13±1.38b    | 20.57±1.14b      | 16.05±1.70a       |

粒), 白三叶次之 (139.43 粒), 而杂三叶上最低 (86.95 粒)。

### 2.3 二斑叶螨在不同三叶草上的存活曲线类型

二斑叶螨在不同三叶草寄主上的存活曲线见图 1, 该存活曲线能应用 Weibull 分布模型很好地拟合 (表 3)。由表 3 可知, 二斑叶螨在 3 种三叶草上的形状参数  $c$  值均大于 1, 其存活曲线为 I 型, 其死亡率是年龄的增函数, 表明二斑叶螨的死亡主要发生在生长发育后期。对  $c$  值差异性检验表明, 杂三叶上的  $c$  值最小 (4.31), 并且与白三叶和红三叶有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 而白三叶和红三叶上的  $c$  值之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。此外, 二斑叶螨在不同三叶草上的尺度参数  $b$  值差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 大小顺序依次为红三叶 (35.96)、白三叶 (33.76)、杂三叶 (30.26), 说明二斑叶螨的存活率在红三叶上

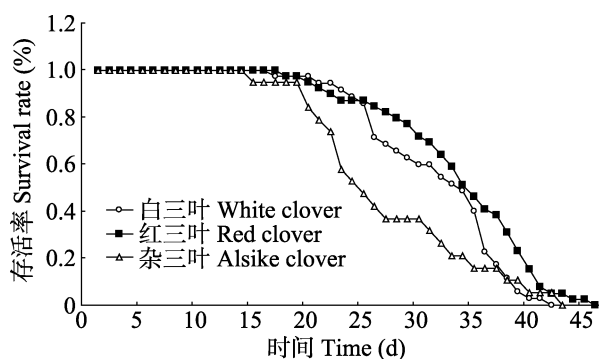


图 1 不同三叶草寄主上二斑叶螨存活率曲线  
Fig.1 Survival curves of *Tetranychus urticae* on different clover species

表 3 二斑叶螨在不同三叶草上的存活曲线模型参数估计

Table 3 Estimation of parameters of the survival curve models for *Tetranychus urticae* on different clover species

| 参数<br>Parameter | 白三叶<br>White clover | 红三叶<br>Red clover | 杂三叶<br>Alsike clover |
|-----------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| $b$             | 33.76±0.25          | 35.96±0.34        | 30.26±0.31           |
| $c$             | 5.90±0.27           | 5.26±0.18         | 4.31±0.12            |
| $R^2$           | 0.9746**            | 0.9818**          | 0.9305**             |

$b$  为尺度参数,  $c$  为形状参数。

The parameter  $b$  and  $c$  are scale parameter and shape parameter, respectively. The survival curve of *T. urticae* follows Pinder's survival curve model. \*\*:  $P < 0.01$ .

最高, 在杂三叶上最低。

### 2.4 不同三叶草对二斑叶螨种群生命参数的影响

由表 4 可知, 二斑叶螨净增殖率 ( $R_0$ ) 在红三叶上最大, 为 113.15, 即二斑叶螨在红三叶上每世代种群增长 113.15 倍, 而在杂三叶上最低, 仅为 65.21 倍。平均世代周期 ( $T$ ) 在杂三叶上最大 (20.28 d), 其次为白三叶 (20.15 d), 在红三叶上最小 (19.73 d)。周限增长率 ( $\lambda$ ) 和内禀增长率 ( $r_m$ ) 大小顺序相同, 依次为红三叶、白三叶和杂三叶, 这主要是由于红三叶和白三叶上净增殖率高、平均世代周期短的缘故。种群加倍时间与内禀增长率刚好相反, 在杂三叶最大, 为 3.36 d。上述分析表明, 在三种三叶草寄主中, 红三叶和白三叶对二斑叶螨生长发育和繁殖最为有利, 而杂三叶相对较差。

表 4 不同三叶草对二斑叶螨种群生命参数的影响

Table 4 Effect of different clover species on the population table parameters of *Tetranychus urticae*

| 寄主植物 Host plant   | 净增殖率 $R_0$<br>Net reproductive rate | 世代平均周期 $T$ (d)<br>Mean generation time | 内禀增长率 $r_m$<br>Intrinsic rate of increase | 周限增长率 $\lambda$<br>Finite rate of increase | 种群加倍时间 $D_t$<br>Doubling time |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
| 红三叶 Red clover    | 113.15                              | 19.73                                  | 0.2397                                    | 1.2709                                     | 2.89                          |
| 白三叶 White clover  | 104.16                              | 20.15                                  | 0.2306                                    | 1.2594                                     | 3.01                          |
| 杂三叶 Alsike clover | 65.21                               | 20.28                                  | 0.2060                                    | 1.2287                                     | 3.36                          |

## 3 结论与讨论

自然界没有哪一种植物不受食草动物的危

害, 同时也不是哪一种食草动物都能为害所有的寄主植物。寄主植物是食草动物赖以生存的物质基础, 寄主植物自身的特性如寄主植物外在性

状、物候期、营养状况以及防御机制,不仅影响食草动物的取食选择,而且还影响食草动物的生长发育速度和种群繁殖力(Awmack and Leather, 2002; 张廷伟等, 2014)。庞保平等(2004; 2005)对截形叶螨 *T. truncatus* Ehara 研究表明,不同寄主种类和不同玉米品种对叶螨的适合性或抗性都有显著影响。王西存等(2012)对苹果棉蚜 *Eriosoma lanigerum* Hausmann 研究发现,即使是同一品种的不同生长期,或同一生长期不同部位的叶片对蚜虫的适合性也有显著差异。

本研究结果表明,3种三叶草对二斑叶螨存活率、生长发育、雌成螨寿命以及繁殖力有显著影响( $P < 0.05$ )。在杂三叶上,二斑叶螨发育历期、产卵前期明显比红三叶和白三叶上要长,而且雌成螨寿命和产卵期也明显缩短。每雌产卵量在红三叶上最高(150.87粒),白三叶次之(139.43粒),而杂三叶上最低(86.95粒)。净增殖率( $R_0$ )、周限增长率( $\lambda$ )和内禀增长率( $r_m$ )大小依次为红三叶、白三叶和杂三叶,而平均世代周期( $T$ )和种群加倍时间( $D_t$ )在杂三叶上最长、红三叶上最短。二斑叶螨在3种三叶草上的存活曲线均为I型,说明二斑叶螨的死亡多发生于成螨阶段,但是由于不同寄主对二斑叶螨生长发育和繁殖有显著影响,因而其尺度参数 $b$ 和形状参数 $c$ 在不同三叶草间存在一定差异,其结果与前人在其他昆虫上的研究结果相似(庞保平等, 2005; 王小强等, 2013)。Wermelinger等(1985)研究表明,寄主植物N、水、氨基酸和糖含量与二斑叶螨体重和产卵量成明显正相关而与发育历期和产卵前期呈负相关。Heagle等(2002)研究发现白三叶叶片中非结构性碳水化合物含量与大气 $CO_2$ 浓度升高呈直线正相关,而且与二斑叶螨种群增长也呈正相关,但是其对红三叶和杂三叶没有研究。胡迪先等(1994)和李雄(2015)对不同三叶草营养测定结果表明,红三叶和白三叶干物质中无氮浸出物、粗蛋白和粗脂肪等营养成分明显高于杂三叶,而且红三叶无论是鲜草产量还是其营养价值在3种三叶草中均表现最好。本文研究表明二斑叶螨在红三叶和白三叶上发育历期较杂三叶上短、繁殖力较杂三叶上高的原

因,可能与红三叶和白三叶的营养水平较杂三叶高有关。

植物次生代谢产物是植物抗虫的重要生化基础,抗性在植物抗虫三机制中占主导地位(张廷伟等, 2014)。总酚和黄酮类化合物在豆科植物中分布广泛,在苜蓿抗蚜和抗蓟马为害中是重要的抗虫防御物质(秦秋菊和高希武, 2005; 胡桂馨等, 2007)。除此之外,在豆科植物中,还发现影响反刍动物采食的L-刀豆氨酸、香豆素等有毒次生代谢化合物(郝赤, 1995; 乌云等, 1998),但是这些次生化合物是否与杂三叶抑制二斑叶螨生长、发育和繁殖有关还有待研究。另外, Hoffmann等(2009)指出陆生植物的内共生体丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi)对食草动物有重要影响,研究发现二斑叶螨在丛枝菌根真菌处理过的菜豆 *Phaseolus vulgaris* L.叶片上卵期明显缩短,而且产卵量升高、雌性比增大。因此,次生代谢化合物在杂三叶中的抗螨作用以及丛枝菌根真菌是否促使红三叶和白三叶更容易接受二斑叶螨的寄生为害都有待进一步的研究。

## 参考文献 (References)

- Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47: 817–844.
- Carey JR, 1993. Applied demography for diologists with special emphasis on Insects. Oxford: Oxford University Press. 108.
- China flora editors of Chinese academy of sciences, 1996. Flora of China. Beijing: Science Press. 42: 329.[中国科学院中国植物志编委, 1996.中国植物志. 北京: 科学出版社. 329.]
- Gao XJ, Shen HM, 2011. Resistance selection with fenprothrin and the change of detoxification enzyme activities in *Tetranychus urticae*. *Acta Entomologica Sinica*, 54(1): 64–69.[高新菊, 沈慧敏, 2011. 二斑叶螨对甲氰菊酯的抗性选育及解毒酶活力变化. 昆虫学报, 54(1): 64–69.]
- Hao C, 1995. L-canavanine and interaction between it and insects. *J. Shanxi Agric Univ.*, 15(4): 394–398. [郝赤, 1995. L-刀豆氨酸及其与昆虫的相互作用. 山西农业大学学报, 15(4): 394–398.]
- Heagle AS, Burns JC, Fisher DS, Miller JE, 2002. Effects of carbon dioxide enrichment on leaf chemistry and reproduction by *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on white clover. *Environmental Entomology*, 31(4): 594–601.

- Hoffmann D, Vierheilig H, Riegler P, Schausberger P, 2009. Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases host plant acceptance and population growth rates of the *Tetranychus urticae*. *Oecologia*, 158(4): 663–671.
- Hu DX, Feng CB, Zhu BC, 1994. The study on nutrition development of white clover. *Acta Prataculture Sinica*, 3(2): 44–50. [胡迪先, 封朝壁, 朱邦长, 1994. 白三叶草营养动态的研究. 草业学报, 3(2): 44–50.]
- Hu GX, He CG, Wang SS, Du WH, 2007. Study on resistance mechanism of *Medicago sativa* to *Odontothrips loti*. *Pratacultural Science*, 24(9): 86–89. [胡桂馨, 贺春贵, 王森山, 杜文华, 2007. 不同苜蓿品种对牛角花齿蓟马的抗性机制初步研究. 草业科学, 24(9): 86–89.]
- Jia ZX, Chen MJ, 2002. Pastures and Forages Flora of China. Beijing: Chinese Agricultural Press. 654–655. [贾慎修, 陈默君, 2002. 中国饲用植物. 北京: 中国农业出版社. 654–655.]
- Jiangsu New Medical College, 1992. The dictionary of medicinal plants. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 1012–1013. [江苏新医学院, 1992. 中药大辞典. 上海: 上海科学技术出版社. 1012–1013.]
- Li RF, Hui RK, Deng RN, Cai ML, Liu Y, 2010. Genetic diversity of clover by SRAP. *Pratacultural Science*, 27(12): 53–57. [李润芳, 惠荣奎, 邓瑞宁, 蔡明历, 刘焰, 2010. 三叶草遗传多样性的 SRAP 分析. 草业科学, 27(12): 53–57.]
- Li X, 2015. Comparison of agronomic and nutritional characteristics among different clover cultivars. *Animals Breeding and Feed*, (6): 38–40. [李雄, 2015. 不同三叶草品种的农艺性状及营养价值差异. 养殖与饲料, (6): 38–40.]
- Liang Z, Jiang SJ, Wei L, Tang YX, Wu YM, 2009. Progress in research on *Trifolium* genetic engineering. *Acta Prataculture Sinica*, 18(2): 205–211. [梁哲, 姜三杰, 未丽, 唐益雄, 吴燕民, 2009. 三叶草基因工程研究进展. 草业学报, 18(2): 205–211.]
- Liu CZ, Du JL, Zhang TW, Qian XJ, Chen YW, 2012. Effects of temperature on population parameters of *Therioaphis trifolii*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(7): 1927–1932. [刘长仲, 杜军利, 张廷伟, 钱秀娟, 陈应武, 2012. 温度对三叶草彩斑蚜种群参数的影响. 应用生态学报, 23(7): 1927–1932.]
- Liu CZ, Wang G, Wang WX, 2002. Spatial pattern of *Tetranychus urticae* population in apple tree garden. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(8): 993–996. [刘长仲, 王刚, 王万雄, 2002. 苹果园二斑叶螨种群的空间格局. 应用生态学报, 13(8): 993–996.]
- Liu XH, Han RD, Pei YH, Meng QY, Sun XG, 2007. Host preference and development of *Tetranychus urticae* on six plant species. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(4): 520–523. [刘学辉, 韩瑞东, 裴元慧, 孟庆英, 孙绪良, 2007. 二斑叶螨对六种植物的选择性及生长发育. 昆虫知识, 44(4): 520–523.]
- Ma L, Jia W, Hong XY, Wang DS, 2005. Influences of different host plants on the development duration and egg deposition of *Tetranychus urticae* Koch and *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 28 (4): 60–64. [马俐, 贾伟, 洪晓月, 王冬生, 2005. 不同寄主植物对二斑叶螨和朱砂叶螨发育历期和产卵量的影响. 南京农业大学学报, 28 (4): 60–64.]
- Pang BP, Liu JX, Zhou XR, Zhang RF, 2005. Effects of corn cultivar on *Tetranychus truncatus* Ehara (Acarina: Tetranychidae) population parameters. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(7): 1313–1316. [庞保平, 刘家骧, 周晓榕, 张瑞峰, 2005. 不同玉米品种对截形叶螨种群参数的影响. 应用生态学报, 16(7): 1313–1316.]
- Pang BP, Zhou XR, Shi L, Mu HB, 2004. Performance of *Tetranychus truncatus* Ehara (Acarina: Tetranychidae) reared with different host plants. *Acta Entomologica Sinica*, 47(1): 55–58. [庞保平, 周晓榕, 史丽, 穆洪波, 2004. 不同寄主植物对截形叶螨生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 47(1): 55–58.]
- Pinder JE, 1978. The Weibull distribution: A new method of summarizing survivorship data. *Ecology*, 59(5): 175–179.
- Qin QJ, Gao XW, 2005. Plant defense responses induced by insect herbivory. *Acta Entomologica Sinica*, 48 (1): 125–134. [秦秋菊, 高希武, 2005. 昆虫取食诱导的植物防御反应. 昆虫学报, 48 (1): 125–134.]
- Wang XC, Yu Y, Zhou HX, Chen ZQ, Zhang AS, Men XY, Li LL, 2012. Effects of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars. *Acta Ecologica Sinica*, 32(7): 2075–2081. [王西存, 于毅, 周洪旭, 程在全, 张安盛, 门兴元, 李丽莉, 2012. 苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响. 生态学报, 32(7): 2075–2081.]
- Wang XQ, Han XN, Cao XY, Zhang TW, Liu CZ, 2013. Effects of different garden pea cultivars on population parameters of green morph of pea aphid (*Acyrtosiphon pisum*). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21(8): 1004–1008. [王小强, 韩秀楠, 曹馨月, 张廷伟, 刘长仲, 2013. 豌豆品种对绿色型豌豆蚜种群参数的影响. 中国生态农业学报, 21(8): 1004–1008.]
- Wermelinger B, Oertli JJ, Delucchi V, 1985. Effect of host plant nitrogen fertilization on the biology of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Entomol. Exp. Appl.*, 38(1): 23–28.
- Wu Y, Han XS, Zhang JH, Yan FL, Jia WJ, 1998. Analysis of coumarin and dicoumarin in sweet clover seeds. *Chinese Journal of Grassland*, (1): 36–38. [乌云, 韩雪松, 张建华, 阎福林, 贾维杰, 1998. 草木樨种籽中香豆素、双香豆素含量的分析. 中国草地学报, (1): 36–38.]
- Xiang JY, Xie FQ, Shi WD, 2003. Studies on the aeavicides control

- of *Tetranychus urticae* in apple orchards. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 12(3): 100–102. [相建业, 谢芳芹, 时卫东, 2003. 苹果园二斑叶螨药剂防治研究. 西北农业学报, 12(3): 100–102.]
- Yuan ML, Wang JJ, 2012. Progress in the complete mitochondrial genomes of the *Acari*. *Acta Entomologica Sinica*, 55(4): 472–481. [袁明龙, 王进军, 2012. 蜱螨线粒体基因组研究进展. 昆虫学报, 55(4): 472–481.]
- Yue XL, Gao XJ, Wang JJ, Lu JJ, Shen HM, 2013. Selection of reference genes and study of the expression levels of detoxifying enzymes of *Tetranychus urticae*. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(21): 4542–4549. [岳秀利, 高新菊, 王进军, 吕娟娟, 沈慧敏, 2013. 二斑叶螨内参基因的筛选及解毒酶基因的表达水平. 中国农业科学, 46(21): 4542–4549.]
- Zhang TW, Liao JY, Qian XJ, Liu CZ, 2014. Effects of different resistance wheat varieties on population parameters of *Rhopalosiphum padi*. *Journal of Gansu Agricultural University*, 49(6): 91–95. [张廷伟, 廖金莹, 钱秀娟, 刘长仲, 2014. 不同抗蚜性小麦品种对禾谷缢管蚜实验种群参数的影响. 甘肃农业大学学报, 49(6): 91–95.]
- Zhang TW, Shen HM, Qian XJ, Liu CZ, 2013. Effects of *Tetranychus urticae* feeding on the chlorophyll content and two kinds of protective enzyme of white clover. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 373–378. [张廷伟, 沈慧敏, 钱秀娟, 刘长仲, 2013. 二斑叶螨刺吸胁迫对白三叶叶绿素含量和两种保护酶的影响. 应用昆虫学报, 50(2): 373–378.]
- Zhao N, 2011. Production performance and pests and diseases characteristics of red clover varieties. Master thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural university. [赵娜, 2011. 不同品种红三叶生产性能及病虫害抗性研究. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.]
- Zhao WX, Jiang HB, Wen PH, Zhang YH, 2010. Chemical constituents and pharmacological actions of *Trifolium pratense*. *Chemistry & Bioengineering*, 27(10): 6–9. [赵卫星, 姜红波, 温普红, 张育花, 2010. 红车轴草的化学成分及药理作用. 化学与生物工程, 27(10): 6–9.]
- Zhou XL, Yang SY, Shen HM, 2015. Relative fitness of *Tetranychus urticae* with multiple resistance. *Plant Protection*, 4(2): 55–57. [周兴隆, 杨顺义, 沈慧敏, 2015. 二斑叶螨混合抗性种群相对适合度的研究. 植物保护, 4(2): 55–57.]