

DOI:10.12403/j.1001-1498.20230346

# 两种核桃蚜虫危害对核桃光合特征的影响

张文佳<sup>1</sup>, 马贵龙<sup>1</sup>, 高桂珍<sup>1\*</sup>

(1. 新疆农业大学 林学与风景园林学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** [目的] 明确核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜危害对不同生长期核桃叶片光合作用的影响。[方法] 在核桃的速生长期、硬核期和脂化期, 利用便携式叶绿素测定仪 (SPAD-502plus) 和 LI-6400 便携式光合作用系统测定了核桃不同生长时期受到不同密度的两种核桃蚜虫危害不同时长后叶片的 SPAD 值、光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 等光合特性指标, 并测定了受不同核桃蚜虫危害后的核桃果实质量、出仁率等。[结果] 在速生长期受到核桃黑斑蚜或核桃全斑蚜短期危害 1~5 d, 核桃叶片 SPAD 值无显著差异, 而在硬核期和脂化期受核桃黑斑蚜、核桃全斑蚜和混合蚜虫危害均导致叶片 SPAD 值呈下降趋势。两种核桃蚜虫危害后核桃叶片的光合速率 ( $P_n$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ ) 均显著下降, 且蚜虫密度不同下降程度不同。受核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜危害后核桃单果质量 (青皮) 和干果质量均呈下降趋势; 受不同种类蚜虫危害后的核桃出仁率均出现下降。[结论] 蚜虫危害对核桃叶片光合作用产生负面影响, 导致核桃果实出仁率下降。因此, 对两种核桃蚜虫的防治应该采取紧急措施, 以保护核桃产量和质量。

**关键词:** 核桃; 核桃黑斑蚜; 核桃全斑蚜; SPAD 值; 光合特征

**中图分类号:** S433.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2024)01-0130-10

核桃 (*Juglans regia* L.) 又称胡桃、羌桃, 为胡桃科 (*Juglandaceae*) 胡桃属 (*Juglans*) 植物<sup>[1]</sup>, 是中国重要的生态与经济林树种, 同时也是新疆林果产业的重要支柱。核桃黑斑蚜 (*Chromaphis juglandicola* Kalténbach) 和核桃全斑蚜 (*Panaphis juglandis* Goetze) 是危害新疆地区核桃树的主要刺吸式害虫<sup>[2]</sup>, 占据着不同的空间生态位<sup>[3]</sup>。核桃全斑蚜属于全斑蚜属 (*Panaphis*)<sup>[4]</sup>, 单食性蚜虫, 常以成虫及若虫在核桃叶的正面危害, 多集中分布于叶片主脉两侧, 首尾相接成排, 身体与主脉呈一定角度 (呈典型的鲱鱼骨状)。核桃黑斑蚜属于黑斑蚜属 (*Chromaphis*)<sup>[5]</sup>, 也是一种单食性蚜虫, 但通常会在核桃叶片的背面出现<sup>[6]</sup>。这两种核桃蚜虫主要在叶片刺吸危害, 当它们严重危害时, 蚜虫蜜露所形成的霉污会严重影响核桃叶片的光合作用, 导致核桃叶片失绿焦枯, 同时还会导致核桃

仁干缩<sup>[7]</sup>。目前的研究表明虫害对植物光合作用的影响因植物和害虫种类不同, 研究结果存在差异。一些研究发现, 虫害的攻击直接导致寄主植物的光合能力下降, 从而抑制了光合碳同化能力。例如, 针对云南松 (*Pinus yunnanensis* Franch) 的研究发现, 当受到云杉大小蠹 (*Dendroctonus micans* Kugelann) 的蛀梢和蛀干攻击后, 针叶片中的叶绿素会发生降解, 气孔导度下降, 进而导致光合速率的降低<sup>[8]</sup>; 悬铃木 (*Platanus acerifolia* Willd) 叶片在受到方翅网蝽 (*Corythucha ciliata* Say) 刺吸危害后叶片呈现黄白色褪绿斑点, 叶片内叶绿素含量减少, 叶片同化胞间  $CO_2$  的能力降低, 导致叶片光合速率下降<sup>[9]</sup>。然而, 部分研究也显示出一些耐虫害植物在受到虫害攻击后可能会出现明显的补偿效应, 表现为光合速率的提高。例如, 李杨等研究发现当角倍蚜 (*Schlechtendalia chinensis*

收稿日期: 2023-09-06 修回日期: 2023-10-19

基金项目: 国家自然科学基金 (31670656, 31960317); 新疆维吾尔自治区天山英才计划

\* 通讯作者: 高桂珍, 博士, 教授。主要研究方向: 昆虫生态学研究, Email: gaoguizhen1984@163.com

Bell) 危害盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill) 后形成虫瘿, 反而提高了有虫瘿盐肤木复叶的最大光合速率、光饱和点、光补偿点以及暗呼吸速率等<sup>[10]</sup>; 这种生理现象同样被发现在茶尺蠖 (*Ectropis oblique hypulina* Wehrli) 危害后的同株茶树未受损叶片<sup>[11]</sup>和被蚧壳虫 (*Dactylopius coccus* Costa) 危害的冬青树上<sup>[12]</sup>。光合作用产生的营养物质不仅为植物提供所需, 也是影响果树产量和果品品质的重要因素, 同时也是作物干物质积累的重要来源。前人的研究表明, 核桃全斑蚜和核桃黑斑蚜的分泌物蜜露会引起霉污病的发生, 这会导致核桃树正常生长受阻, 同时导致核桃仁干缩, 出仁率下降 20% 左右<sup>[13]</sup>。其他研究表明辣椒常常受棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover) 危害, 当全株棉蚜数量达到 50 头以上时, 即可导致设施辣椒产量和品质相关指标明显下降, 且随着蚜害等级增加, 下降越显著<sup>[14]</sup>。而核桃受到两种核桃蚜虫危害后的光合作用如何变化尚不清楚, 对核桃蚜虫危害后核桃果实的影响报道较少。因此本研究设置受核桃黑斑蚜危害、受核桃全斑蚜危害和受两种蚜虫混合危害 3 个处理, 比较分析了在核桃不同生长时期受以上不同蚜虫危害后核桃叶片的光合特性, 探讨两种核桃蚜虫危害对核桃叶片光合作用和果实干物质积累的影响, 以期揭示核桃对虫害的适应机制。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

本研究地点位于新疆伊犁州巩留县库尔德宁镇阔克塔勒村核桃园 (43°14'53" N, 82°49'40" E)。该果园均为七年生的‘温 185’核桃树, 树体健康, 无其他病虫害, 并且水肥管理方式一致。在整个试验期间, 试验地点未使用任何杀虫剂。

### 1.2 供试虫源

核桃黑斑蚜及核桃全斑蚜均采自巩留县核桃园内, 田间套袋饲养, 选取 3~4 龄若蚜备用。

### 1.3 试验设计与方案

1.3.1 核桃蚜虫危害对核桃叶片 SPAD 值和光合参数影响 针对核桃生长不同时期, 该试验被划分为 3 个阶段: 速生生长期、硬核期、脂化期。在试验前, 选择果园内长势相似的 3 块样地, 每块样地随机选择长势一致的 10 棵核桃树, 随机选择大小相近、自然朝向一致、健康的叶片作为试验材料,

进行虫害危害处理。虫害处理分为 3 组: 核桃全斑蚜危害、核桃黑斑蚜危害及两种蚜虫混合危害。健康未受害叶片为对照。其中, 核桃黑斑蚜组和核桃全斑蚜组的初始密度均分别为 50、100 和 200 头·叶<sup>-1</sup> 蚜虫; 混合组的虫害密度为: 两种蚜虫各 50 头·叶<sup>-1</sup> 以及各 100 头·叶<sup>-1</sup>。试验过程中, 使用湿润的毛笔将不同密度的两种蚜虫转移到植物叶片上, 24 h 后检查确定蚜虫在最初接蚜叶片上, 如发现数量减少适量补充蚜虫至设置密度。

1.3.2 核桃蚜虫危害对核桃果实出仁率影响 于 2021、2022 年每年从 5 月中旬开始, 在新疆伊犁州巩留县核桃园 (43°23'47" N, 82°15'52" E) 选取 3 个标准样地, 每个样地面积不少于 1 ha, 采用五点法进行调查。每个点选择 5 棵树 (树龄一致, 生长状态基本一致, 距离样地边缘至少 3 m, 以避免边缘效应)。在每个方向 (东、南、西、北) 选择生长状态相似的小枝, 选取小枝上的 7 片叶 (枝条长均为 50 cm), 每 5 d 调查一次。观察并记录每个方向叶片上核桃全斑蚜或核桃黑斑蚜的数量。

至 9 月中上旬待 1/3 青皮开裂时 (2021 年 9 月 8 日、2022 年 9 月 12 日), 记录每株核桃树的青皮产量, 带回实验室备用。测定带青皮果实 (青果) 指标; 然后去除青皮 (坚果), 清洗, 晾干, 编号, 测定核桃果实出仁率。

## 1.4 试验方法

1.4.1 核桃叶片 SPAD 值数据收集 在每个试验阶段处理后的第 1、3、5 和 7 d (具体取样时间见表 1), 使用便携式叶绿素测定仪 (SPAD-502plus), 测定核桃叶片 SPAD 值, 各选 3 片受害叶, 每叶取 10~12 个点, 测量时避开叶脉部位, 取平均值。

1.4.2 光合参数的测定 在每个试验阶段处理后的第 1、3、5 和 7 d (具体取样时间见表 1), 采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用系统测定光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ), 测

表 1 光合参数测量日期

Table 1 Date of measurement of photosynthetic parameters

果实生育时期 Phenological period of fruit development	叶片 SPAD 值测量日期 Date of measurement of SPAD value	光合参数测量日期 Date of measurement of photosynthetic parameters
速生生长期	6月28日—7月4日	6月28日—7月4日
硬核期	8月1日—8月8日	7月29日—8月4日
脂化期	8月31日—9月5日	8月31日—9月5日

定光强为  $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。每个叶片测定 3 次，取平均值，每处理重复 3~5 次。

1.4.3 两种核桃蚜虫蚜害等级划分标准及危害后果  
果实出仁率计算 根据两种核桃蚜虫年发生量监测

结果，将核桃树蚜虫的虫量按蚜害等级划分标准（表 2，参考棉蚜蚜害分级<sup>[14]</sup>）进行分级记录，单株挂牌、标记。

表 2 核桃蚜虫蚜害等级划分标准

Table 2 Classification criteria of walnut aphid damage levels

危害蚜虫种类 Stressed aphid species	蚜虫量及症状 The number of aphid and harm symptom
对照 CK	全株有少量蚜虫（蚜虫种群数量 $500 \text{头}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{年}^{-1}$ 以下）
核桃黑斑蚜危害 <i>Chromaphis juglandicola</i>	全株有大量核桃黑斑蚜，核桃全斑蚜年发生量明显少于核桃黑斑蚜年发生量（蚜虫年发生量 $2000 \text{头}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{年}^{-1}$ 以上，核桃黑斑蚜占 $2/3$ 以上）
核桃全斑蚜危害 <i>Panaphis juglandis</i>	全株有大量核桃全斑蚜，核桃黑斑蚜年发生量明显少于核桃全斑蚜年发生量（蚜虫年发生量 $2000 \text{头}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{年}^{-1}$ 以上，核桃全斑蚜占 $2/3$ 以上）
两种蚜虫混合危害 Mixed aphids	全株有大量虫害发生，两种核桃蚜虫年发生量均在 $1000 \text{头}\cdot\text{株}^{-1}\cdot\text{年}^{-1}$ 以上

使用千分之一电子天平（梅特勒-托利多 PL 303），将试验涉及的每株核桃树果实收集、标号并称量单果质量（青皮）、干果质量和核桃果仁质量等果实指标。根据下式计算出仁率。

$$\text{出仁率} = \text{核桃果仁质量} / \text{干果质量} \times 100\% \quad (1)$$

## 1.5 数据处理与分析

所有数据经 Excel 整理后，采用 SPSS statistics 26.0 软件进行单因素方差分析，以 Duncan's 新复极差法进行多重比较显著差异性。其中所有原始数据均经正态转换后进行分析，图形

绘制采用 Origin 8.0 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同蚜虫危害叶片 SPAD 值的比较

2.1.1 核桃黑斑蚜危害对核桃叶片 SPAD 值影响  
由表 3 可知，在核桃速生长期，受到  $100 \text{头}\cdot\text{叶}^{-1}$  和  $200 \text{头}\cdot\text{叶}^{-1}$  核桃黑斑蚜危害 7 d 后叶片 SPAD 值显著下降（ $F=10.654$ ， $P<0.01$ ）。在核桃硬核期和脂化期，受不同密度核桃黑斑蚜危害 5 d 后叶片 SPAD 值均显著下降（ $F=6.488$ ，

表 3 核桃黑斑蚜危害对核桃叶片 SPAD 值影响

Table 3 Effect of *Chromaphis juglandicola* infestation on SPAD values of walnut leaves

实验时期 Experimental period	蚜虫处理/（头·叶 <sup>-1</sup> ） Aphid treatment	受不同危害天数后叶片 SPAD 值			
		1 d	3 d	5 d	7 d
速生长期	对照组	34.37 ± 0.41 a	37.17 ± 3.79 a	38.14 ± 1.01 a	37.04 ± 0.74 a
	50	29.04 ± 3.01 b	30.86 ± 3.60 a	33.22 ± 3.68 a	32.28 ± 5.18 a
	100	35.07 ± 3.94 a	33.89 ± 4.01 a	35.77 ± 0.54 a	27.97 ± 2.63 b
	200	33.48 ± 1.17 a	32.43 ± 2.96 a	33.71 ± 3.51 a	29.44 ± 0.58 b
硬核期	对照组	37.75 ± 2.01 a	37.34 ± 2.41 a	38.90 ± 0.45 a	40.06 ± 0.76 a
	50	29.43 ± 3.84 ab	30.54 ± 4.26 a	34.84 ± 1.27 b	34.52 ± 2.92 a
	100	29.14 ± 2.96 ab	31.91 ± 3.37 a	35.32 ± 0.78 b	33.66 ± 3.56 a
	200	27.18 ± 4.34 b	32.21 ± 5.24 a	36.01 ± 1.29 b	33.76 ± 2.61 a
脂化期	对照组	44.83 ± 2.95 a	44.38 ± 3.05 a	44.71 ± 2.42 a	42.98 ± 0.32 a
	50	38.89 ± 2.58 ab	34.13 ± 4.52 b	38.33 ± 1.57 b	39.57 ± 4.14 a
	100	38.41 ± 2.14 ab	37.34 ± 2.79 ab	38.32 ± 1.47 b	40.19 ± 0.75 a
	200	37.91 ± 2.21 b	37.06 ± 3.34 ab	39.14 ± 0.49 b	40.80 ± 2.10 a

注：表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后不同小写字母表示显著差异（ $P<0.05$ ），下同

Note: Data in the table are mean ± standard error, and different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences ( $p<0.05$ )

$P<0.05$ ;  $F=7.079$ ,  $P<0.05$ )。

### 2.1.2 核桃全斑蚜危害对核桃叶片 SPAD 值影响

由表 4 可知, 在核桃速生长期, 受 100 头·叶<sup>-1</sup>核桃全斑蚜危害 7 d 后的叶片 SPAD 值为 27.97 和 32.12, 显著低于未受害叶片 SPAD 值 ( $F=3.041$ ,  $P<0.05$ )。在核桃硬核期, 受 100

头·叶<sup>-1</sup>和 200 头·叶<sup>-1</sup>核桃全斑蚜危害 5 d 后叶片 SPAD 值显著低于未受害叶片 SPAD 值 ( $F=6.843$ ,  $P<0.05$ )。在核桃脂化期, 受不同密度核桃全斑蚜危害 1~5 d 后叶片 SPAD 值均显著下降 ( $F=4.247$ ,  $P<0.05$ ;  $F=3.621$ ,  $P<0.05$ ;  $F=5.488$ ,  $P<0.05$ )。

表 4 核桃全斑蚜危害对核桃叶片 SPAD 值影响

Table 4 Effect of *Panaphis juglandis* infestation on SPAD values of walnut leaves

实验时期 Experimental period	蚜虫处理/(头·叶 <sup>-1</sup> ) Aphid treatment	受不同危害天数后叶片SPAD值			
		1 d	3 d	5 d	7 d
速生长期	对照组	34.37 ± 0.41 a	37.17 ± 3.79 a	38.14 ± 1.01 a	37.04 ± 0.74 a
	50	29.04 ± 3.01 a	30.86 ± 3.60 a	33.22 ± 3.68 a	32.28 ± 5.18 ab
	100	35.07 ± 3.94 a	33.89 ± 4.01 a	35.77 ± 0.54 a	27.97 ± 2.63 b
	200	33.07 ± 4.99 a	32.61 ± 3.35 a	37.48 ± 0.54 a	32.12 ± 1.38 ab
硬核期	对照组	37.75 ± 2.01 a	37.34 ± 2.41 a	38.90 ± 0.45 a	40.06 ± 0.76 a
	50	29.50 ± 5.18 a	32.62 ± 2.81 a	34.84 ± 0.67 ab	37.02 ± 1.39 ab
	100	30.62 ± 2.67 a	30.44 ± 3.45 a	30.23 ± 2.07 b	36.36 ± 1.20 b
	200	30.16 ± 4.46 a	33.92 ± 3.82 a	29.69 ± 4.11 b	35.21 ± 2.32 b
脂化期	对照组	44.83 ± 2.95 a	44.38 ± 3.05 a	44.71 ± 2.42 a	42.98 ± 0.32 a
	50	37.69 ± 2.32 b	37.17 ± 2.29 b	38.60 ± 2.14 b	40.03 ± 0.89 ab
	100	37.52 ± 1.33 b	36.37 ± 2.84 b	37.72 ± 1.80 b	39.01 ± 2.72 b
	200	38.75 ± 2.59 b	38.26 ± 2.48 b	39.41 ± 0.88 b	46.69 ± 0.47 ab

2.1.3 混合蚜虫危害对核桃叶片 SPAD 值影响 由表 5 可见, 受混合蚜虫危害后核桃叶片 SPAD 值呈下降趋势。在核桃硬核期, 受 200 头·叶<sup>-1</sup>混合蚜虫危害 3 d 后受害叶片 SPAD 值显著低于未受害叶片 ( $F=4.204$ ,  $P<0.05$ ); 受 100 头·叶<sup>-1</sup>混合蚜虫危害 5 d 后受害叶片 SPAD 值显著低于未

受害叶片 ( $F=4.209$ ,  $P<0.05$ )。在核桃脂化期, 受不同密度混合蚜虫危害 1 d 后叶片 SPAD 值均显著下降 ( $F=5.273$ ,  $P<0.05$ )。

## 2.2 不同蚜虫危害叶片光响应特征值的比较

2.2.1 核桃黑斑蚜危害对核桃叶片光合速率的影响 由图 1 可见, 在核桃速生长期、硬核期、脂

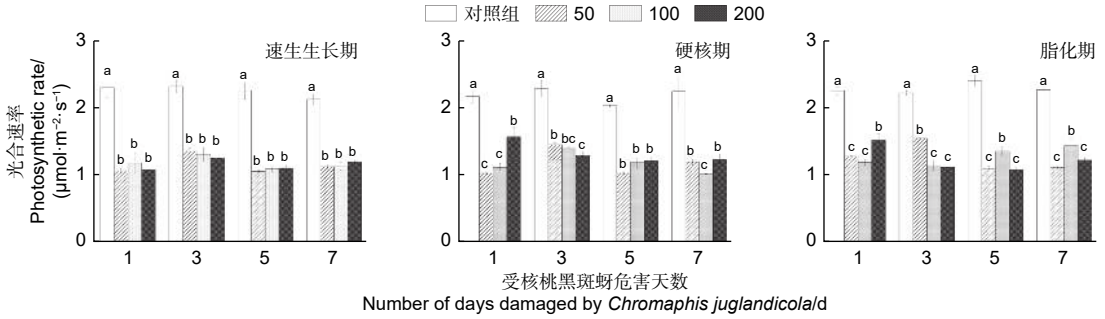
表 5 混合蚜虫危害对核桃叶片 SPAD 值影响

Table 5 Effect of mixed aphids infestation on SPAD values of walnut leaves

实验时期 Experimental period	蚜虫处理/(头·叶 <sup>-1</sup> ) Aphid treatment	受不同危害天数后叶片SPAD值			
		1 d	3 d	5 d	7 d
硬核期	对照组	37.75 ± 2.01 a	37.34 ± 2.41 a	38.90 ± 0.45 a	40.06 ± 0.76 a
	100 (50 : 50)	29.19 ± 5.74 a	33.49 ± 1.41 ab	31.67 ± 3.59 b	34.28 ± 2.29 b
	200 (100 : 100)	29.37 ± 7.04 a	32.36 ± 1.39 b	33.56 ± 2.64 ab	36.71 ± 0.34 ab
脂化期	对照组	44.83 ± 2.95 a	44.38 ± 3.05 a	44.71 ± 2.42 a	42.98 ± 0.32 a
	100 (50:50)	38.84 ± 1.80 b	38.70 ± 3.31 a	39.97 ± 0.44 b	40.23 ± 0.68 b
	200 (100:100)	37.76 ± 2.13 b	38.93 ± 2.35 a	40.36 ± 0.62 b	39.94 ± 1.09 b

化期,受核桃黑斑蚜危害后核桃叶片光合速率均呈显著下降趋势。受不同密度核桃黑斑蚜危害后,在速生长期核桃叶片光合速率差异不显著,在硬核

期和脂化期叶片光合速率变化不一致。因此,核桃黑斑蚜危害导致核桃叶片的光合速率下降,影响叶片的正常生理活动。



注:图中不同小写字母表示相同危害时长下不同密度蚜虫危害差异显著( $P < 0.05$ )。下同

Note: Different lowercase letters in the figure indicate significant differences in aphid damage at different densities under the same duration of infestation ( $P < 0.05$ ). The same applies to the following

图1 核桃黑斑蚜危害对核桃叶片光合速率的影响

Fig. 1 Effect of *Chromaphis juglandicola* on photosynthetic rate of walnut leaves

2.2.2 核桃全斑蚜危害对核桃叶片光合速率的影响 由图2可知,在核桃速生长期、硬核期、脂化期,核桃全斑蚜危害后核桃叶片光合速率均呈显著下降趋势。在3个不同时期,受200头·叶<sup>-1</sup>核桃全斑蚜危害3d后叶片光合速率最低,最低值分

别为  $0.594 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.304 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.459 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $F=10.644$ ,  $P < 0.05$ ;  $F=11.346$ ,  $P < 0.01$ ;  $F=35.002$ ,  $P < 0.01$ )。综上,核桃全斑蚜短时危害严重影响叶片光合速率,且随着虫害密度的增加光合速率下降得越快。

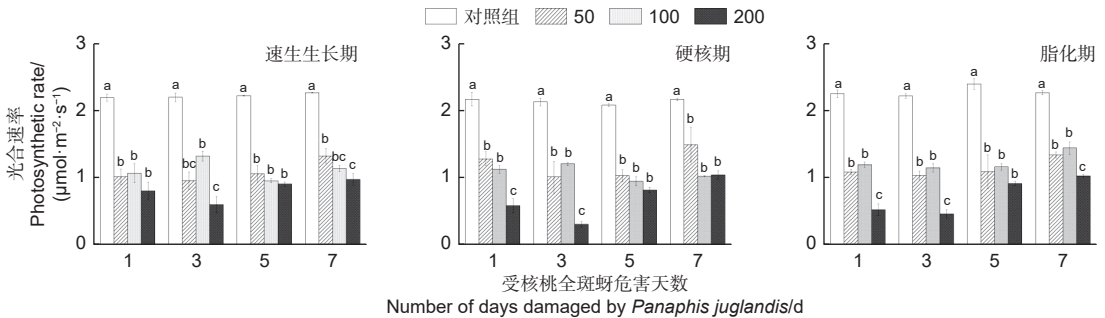


图2 核桃全斑蚜危害对核桃叶片光合速率的影响

Fig. 2 Effect of *Panaphis juglandis* on photosynthetic rate of walnut leaves

2.2.3 混合蚜虫危害对核桃叶片光合速率的影响 由图3可知,在核桃硬核期和脂化期,受到两种混合蚜虫危害后叶片光合速率均呈先下降后上升趋势。在核桃硬核期,受不同密度混合蚜虫危害3d后受害叶片光合速率均为同密度危害最低值,最低值分别为  $0.490 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $0.652 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $F=53.539$ ,  $P < 0.01$ )。在核桃脂化期,受200头·叶<sup>-1</sup>混合蚜虫危害3d后和100头·叶<sup>-1</sup>混合蚜虫危害5d后受害叶片光合速率分别是同密度不同天数处理的最低值,最低值分别为0.536

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $0.359 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $F=251.326$ ,  $P < 0.01$ ;  $F=100.030$ ,  $P < 0.01$ )。综上,混合蚜虫危害对核桃叶片光合速率影响受危害时长和虫害密度影响。

2.2.4 核桃黑斑蚜危害对核桃叶片蒸腾速率的影响 如图4所示,在核桃速生长期、硬核期、脂化期,核桃黑斑蚜危害后核桃叶片蒸腾速率均呈显著下降趋势。在核桃速生长期,受3种密度核桃黑斑蚜危害3d后较其他危害天数下的蒸腾速率处于最低值,分别为  $0.00027 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.000$

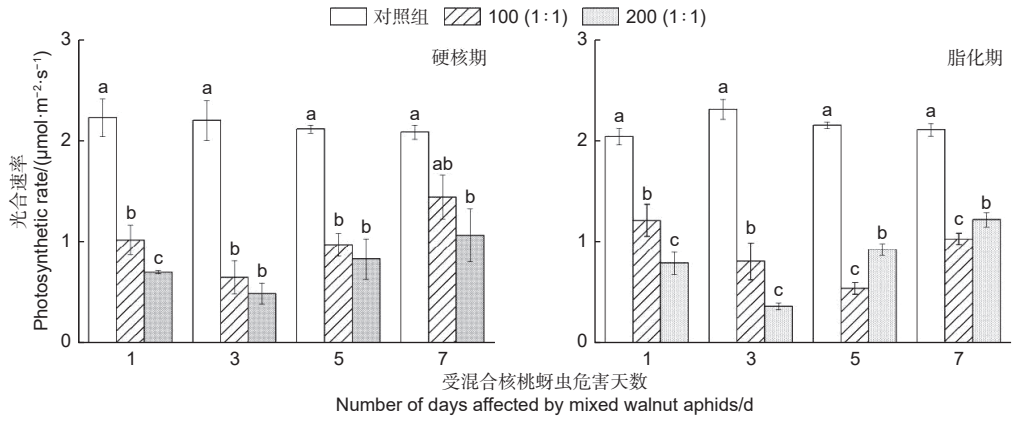


图 3 混合蚜虫危害对核桃叶片光合速率的影响

Fig. 3 Effect of mixed aphids on photosynthetic rate of walnut leaves

$43 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.00036 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，与健康叶片蒸腾速率比呈现显著差异 ( $F=19.676$ ,  $P<0.05$ )。综上所述，核桃黑斑蚜危害对受害叶片的

蒸腾速率有显著影响，且受短时危害后叶片蒸腾速率降低较显著。

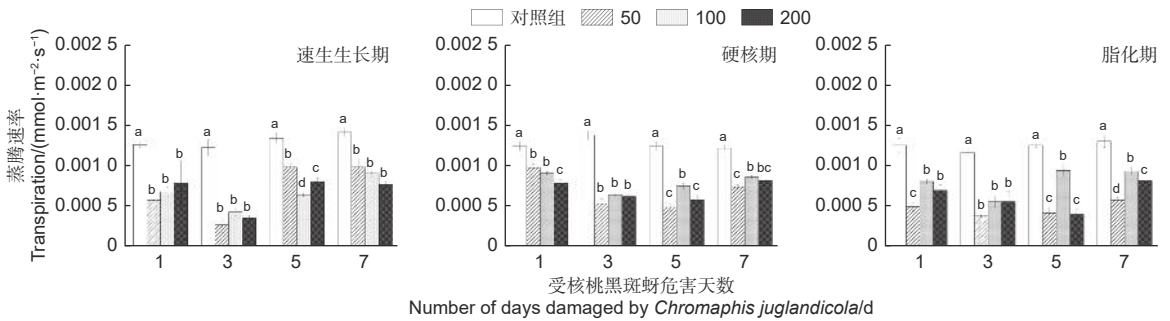


图 4 核桃黑斑蚜危害对核桃叶片蒸腾速率的影响

Fig. 4 Effect of *Chromaphis juglandicola* on transpiration of walnut leaves

2.2.5 核桃全斑蚜危害对核桃叶片蒸腾速率的影响 如图 5 所示，在核桃速生生长期、硬核期、脂化期，核桃全斑蚜危害后核桃叶片蒸腾速率均呈显著下降趋势。在核桃速生生长期和硬核期，受  $100 \text{头}\cdot\text{叶}^{-1}$  和  $200 \text{头}\cdot\text{叶}^{-1}$  核桃全斑蚜危害 3 d 后较其他危害天数下的蒸腾速率下降最显著 ( $F=33.236$ ,  $P<0.05$ ;  $F=280.297$ ,  $P<0.01$ )。综上所述，核桃全斑蚜危害对受害叶片的蒸腾速率有显著影响。

2.2.6 混合蚜虫危害对核桃叶片蒸腾速率的影响

由图 6 可以看到，在核桃硬核期、脂化期，混合蚜虫危害后核桃叶片蒸腾速率均呈显著下降趋势，且蚜虫密度越高，下降越明显；同时随危害时长增加呈现先下降后上升的趋势，受不同密度混合蚜虫危害 3 d 后叶片蒸腾速率最低 ( $P<0.05$ )。综上，混合蚜虫危害对核桃叶片蒸腾速率影响受危害时长和蚜虫密度影响。

2.3 不同核桃蚜虫危害对核桃果实干物质积累的影响

由表 6 中可知，在 2021 年核桃果实数据中，核桃黑斑蚜、核桃全斑蚜和混合蚜虫危害后的干果的出仁率显著下降，分别下降 15.57%、17.86%、20.09% ( $P<0.05$ )。在 2022 年果实数据中，受核桃全斑蚜和混合蚜虫危害后干果的出仁率同样显著下降，分别下降了 18.13% 和 17.34% ( $P<0.05$ )；受到核桃黑斑蚜、核桃全斑蚜、混合蚜虫危害后单果质量（青皮）均显著降低，分别为  $50.59 \pm 3.18 \text{ g}$ 、 $63.42 \pm 0.64 \text{ g}$  和  $62.76 \pm 5.06 \text{ g}$  ( $P<0.05$ )，方差分析结果表明核桃黑斑蚜危害后的单果质量最低；在 2022 年干果质量数据中，受核桃全斑蚜危害和核桃黑斑蚜危害后的干果质量分别为  $7.35 \pm 0.21 \text{ g}$ 、 $9.48 \pm 1.18 \text{ g}$  ( $P<0.05$ )，明显低于对照组干果质量。综上所述，核

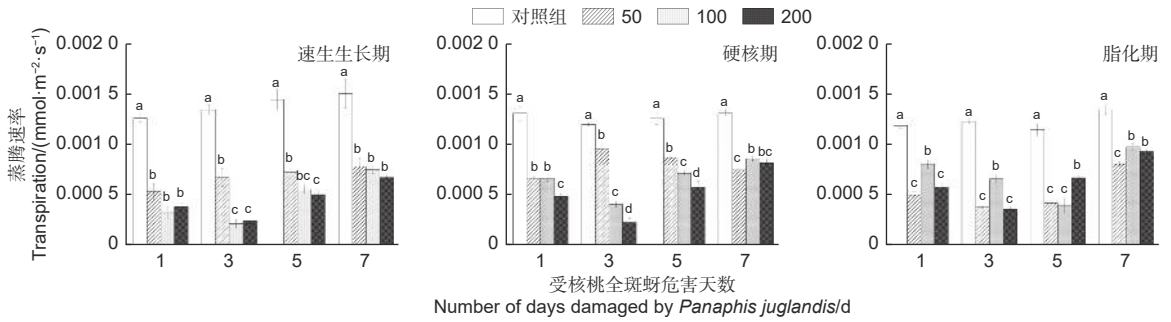


图 5 核桃全斑蚜危害对核桃叶片蒸腾速率的影响  
Fig. 5 Effect of *Panaphis juglandis* on transpiration of walnut leaves

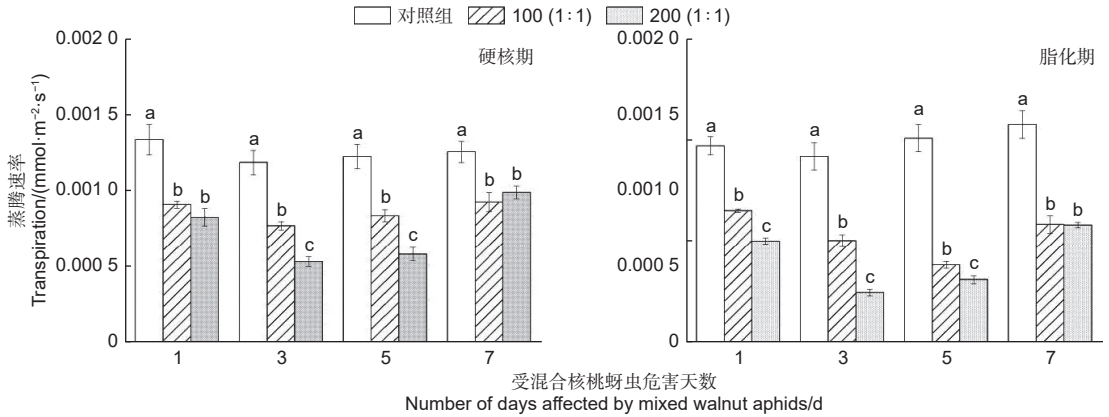


图 6 混合蚜虫危害对核桃叶片蒸腾速率的影响  
Fig. 6 Effect of mixed aphids on transpiration of walnut leaves

表 6 不同蚜虫危害对核桃果实的影响

Table 6 Effect of different aphid damage on walnut fruit

危害蚜虫种类 Stressed Aphid Species	年发生量 (核桃黑斑蚜: 核桃全斑蚜) Annual occurrence of two aphid species		单果质量(青皮)/g Fresh fruit weight		干果质量/g Dried fruit mass		出仁率/% Kernel percentage	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
	对照组	241 : 189	487 : 405	49.31 ± 4.25 a	76.42 ± 1.23 a	9.88 ± 0.64 a	12.71 ± 0.08 a	47.09 ± 0.07 a
核桃黑斑蚜	1187 : 72	2336 : 229	39.59 ± 8.08 a	50.59 ± 3.18 c	9.22 ± 0.80 a	9.48 ± 1.18 b	39.76 ± 2.99 b	47.83 ± 2.05 a
核桃全斑蚜	101 : 940	911 : 2 031	38.27 ± 2.01 a	63.42 ± 0.64 b	9.85 ± 1.07 a	7.35 ± 0.21 c	38.68 ± 1.82 b	40.51 ± 0.92 b
混合蚜虫	665 : 710	1 133 : 867	44.41 ± 10.17 a	62.76 ± 5.06 b	9.86 ± 1.98 a	11.59 ± 1.97 a	37.63 ± 0.90 b	40.90 ± 1.20 b

桃果实干物质积累受核桃蚜虫年发生量的影响, 说明核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜危害会对核桃果实(青皮)质量、干果质量和出仁率造成影响。

### 3 讨论

本研究表明, 两种核桃蚜虫危害核桃叶片导致叶片 SPAD 值下降, 这可能是因为叶片中叶绿体结构受到破坏, 叶片组织脱水, 叶绿素合成、分解代谢及信号调控受到影响, 进而影响光合作用, 严重时造成叶片失绿卷曲。斑点夜蛾 (*Spodoptera litura* Fabricius) [15]、桃蚜 (*Myzus persicae*

*Sulzer*) [16]、茶黄蓟马 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) [17] 等危害叶片后叶绿素严重破坏和流失, 植物的光合作用受到严重的干扰, 植物免疫力降低。烟草花叶病毒 (cucumber mosaic virus, CMV) 通过感染烟草植株而导致叶绿素降解, 会显著增加烟蚜 (*Myzus persicae* Sulzer) 的寄生率和繁殖率, 从而导致烟草叶片的大量凋萎和死亡 [18]。本研究结果与这些研究结果一致。

由于叶绿素含量与植物抗虫性密切相关, 因此研究叶绿素含量的变化可以为植物的虫害防治提供重要依据 [19-20]。前人研究表明, B 型烟粉虱

(*Bemisia tabaci* Gennadius) 危害南瓜造成较为明显的银叶反应, 同时随着危害时间的增加叶绿素含量降低, 导致南瓜叶片光合速率降低<sup>[21]</sup>; 松材线虫 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 危害马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb)<sup>[22]</sup>、鸭脚树星室木虱 (*Pseudophacopteron alstonium* Yang and Li) 危害糖胶树 (*Alstoniascholaris* L.)<sup>[23]</sup> 和南方根结线虫 (*Meloidogyne incongnita* Kofold and White) 危害乌桕 (*Sapium sebiferum* Roxb)<sup>[24]</sup> 等研究结果均表明害虫危害导致叶绿素含量下降, 光合速率下降。与本研究在受到两种核桃蚜虫危害后, SPAD 值明显降低且与危害天数相关的结果一致; 同时, 在本研究中发现相同时期相同危害天数受核桃全斑蚜危害后叶片 SPAD 值明显低于受另两组蚜虫危害后的叶片 SPAD 值。因此, 保持叶绿素的含量, 对于提高植物的免疫力和抗虫能力具有重要的意义。

光合速率和蒸腾速率是光合作用中两个重要的生理过程。其中光合速率是植物生长的重要基础, 也是评价植物生长和光合效率的指标之一。光合速率高的植物能够快速合成有机物质, 从而有利于植物的生长、发育和抵御各种环境胁迫的能力<sup>[25-27]</sup>。研究显示, 玉米蚜 (*Rhopalosiphum maidis* Fitch) 刺吸不同抗性玉米品种均对玉米叶片结构造成不同程度破坏, 降低了光合速率<sup>[28]</sup>。并且一些研究结果显示, 害虫刺吸会破坏叶绿素结构使寄主植物叶片表型变化, 导致光合速率降低, 例如 B 型烟粉虱危害会造成寄主植物表型变化<sup>[21]</sup>, 如番茄的不均匀成熟、西葫芦银叶、莴苣叶莲变白以及部分观赏植物叶片失绿等现象, 从而导致光合速率下降。本研究中, 核桃黑斑蚜危害、核桃全斑蚜危害和混合蚜虫危害均对叶片光合速率造成显著影响, 并且随着核桃生长不同时期发生不同变化; 同时研究发现受核桃全斑蚜危害和混合蚜虫危害后叶片光合速率下降程度高于受核桃黑斑蚜危害。这可能与刺吸式口器蚜虫刺吸叶片后对叶片结构造成破坏, 导致叶绿素结构受损并引发了表型的改变, 进而影响了叶片的光合速率相关, 同时这可能也与两种核桃蚜虫的生态位不同相关。

蒸腾速率是指植物蒸腾作用中单位时间内水分从植物体内散发出去的速率。它是植物体内水分平衡的关键调节因素, 同时也是植物生长和生理代谢

的重要基础。在本研究中, 受到蚜虫危害后叶片蒸腾速率显著降低, 这可能与蚜虫危害导致叶片气孔组织被破坏有关, 也可能与蚜虫分泌蜜露堵塞叶片气孔组织相关。相关研究表明多毛小蠹 (*Scolytus seulensis* Murayama) 危害赛买提杏树 (*Armeniaca vulgaris* Lam) 后杏树叶片蒸腾速率下降, 气孔限制值增加<sup>[29]</sup>; 二斑叶螨 (*Tetranychus urticae* Koch) 危害麻疯树 (*Jatropha curcas* L.) 后同样导致麻疯树叶片蒸腾速率下降<sup>[30]</sup>, 与本研究结果一致。

在本研究中, 核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜危害主要造成核桃单果 (青皮) 质量减小、出仁率下降等。在前人研究中, 蚜虫在危害后进一步会造成植物果实干物质积累受影响, 与本研究结果一致。例如, 当每果枝桃蚜数量达到 20~60 头时会造成果实产量明显减少<sup>[16]</sup>; 抗压性较弱小麦品种受到蚜虫危害后产量、千粒重等产量数据明显下降, 同时小麦出粉率、小麦籽粒蛋白质含量、硬度、面粉沉降值、面筋含量等指标也出现显著下降<sup>[31]</sup>。因此, 蚜虫虫害是危害果实的重要影响因子, 对核桃蚜虫防控来说, 需要在核桃生长发育各个时期早期对两种核桃蚜虫及时持续监测, 并选择合适时期利用天敌或化学药剂对核桃蚜虫种群实施有效控制。

## 4 结论

两种核桃蚜虫的危害会影响核桃叶片的 SPAD 值、光合速率和蒸腾速率等光合特性, 并且两种核桃蚜虫危害还导致核桃果实出仁率显著下降。在核桃生长不同时期, 受 100 头·叶<sup>-1</sup> 以上核桃黑斑蚜和核桃全斑蚜危害 5~7 d 后叶片 SPAD 值下降较为显著, 在脂化期叶片 SPAD 值受核桃全斑蚜危害较速生长期和硬核期更为显著。核桃叶片的光合速率 ( $P_n$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ ) 受两种核桃蚜虫危害后均出现明显下降, 在不同时期受不同种类、不同密度核桃蚜虫危害不同时长呈不同变化趋势。

## 参考文献:

- [1] 王慧强. 中国坚果资源与坚果产业研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [2] 王 婷, 马德英, 刘孝贤, 等. 基于 CLIMEX 的 2 种核桃蚜虫潜在适生区分析[J]. 生物安全学报, 2020, 29 (2): 115-122.
- [3] WANG T, ZHANG P, AHMED Z, et al. Settling preference of two coexisting aphid species on the adaxial and abaxial sur-



- faces of walnut leaves[J]. *Environmental Entomology*, 2022, 51(6): 1069-1076.
- [4] GOEZE J A E. Entomologische beitrage zu des ritter linne zwolften ausgabe des natursystems[M]. Leipzig: Weidmanns Erben and Reich, 1778: 352.
- [5] NOWIERSKI R M, GUTIERREZ A P. Microhabitat distribution and spatial dispersion patterns of the walnut aphid, *Chromaphis juglandicola* (Homoptera: Aphididae), in California[J]. *Environmental Entomology*, 1986(3): 555-561.
- [6] 李建平. 核桃黑斑蚜形态、生物学特性及防治[J]. *昆虫知识*, 1992, 6: 345-347.
- [7] 邢海超. 两种核桃蚜虫的叶面选择、种群空间分布及其潜在分布风险[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2019.
- [8] 梁军生, 陈晓鸣, 王健敏, 等. 受小蠹虫不同阶段为害的云南松光合生理反应分析[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(3): 407-412.
- [9] 赵德斌, 刘桂华, 唐燕平, 等. 方翅网蝽对两种类型悬铃木光合作用的影响[J]. *林业科技开发*, 2011, 25(3): 36-40.
- [10] 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等. 角倍蚜虫瘦对盐肤木光合特性和总氮含量的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(21): 6876-6884.
- [11] 韦朝领, 童 鑫, 高香凤, 等. 茶树对茶尺蠖取食危害的补偿光合生理反应研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2007, 34(3): 355-359.
- [12] RETUERTO R, FERNANDEZ B, RODRIGUEZ R, et al. Increased photosynthetic performance in holly trees infested by scale insects[J]. *Functional Ecology*, 2004, 18(5): 664-669.
- [13] MICHELbacher A E, HITCHCOCK S. Walnut aphid investigations in northern California[J]. *Entomological Society of America*, 1958, 51(4): 527-532.
- [14] 金 玲, 戴 莹, 张海波, 等. 蚜虫对设施辣椒产量和品质的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2021, 30(3): 355-359.
- [15] SPIRIDON M, CHRISTOS C, GEORGE G. Effects of three endophytic entomopathogens on sweet sorghum and on the larvae of the stalk borer *Sesamia nonagrioides*[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2015, 154(1): 78-87.
- [16] 王艳辉. 桃蚜对桃树枝叶的为害及对果品产量糖度影响的研究[J]. *中国植保导刊*, 2007, 27(12): 26-27.
- [17] 曲若轶, 韩国华, 孙绪良, 等. 茶黄蓟马危害对银杏叶片生理指标的影响[J]. *中国森林病虫*, 2009, 28(4): 14-16.
- [18] 陈 茜, 刘英杰, 董勇浩, 等. 黄瓜花叶病毒侵染烟草对烟蚜生长发育、取食和选择行为的影响[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(8): 1673-1683.
- [19] FRANZEN L D, GUTSCHE A R, HENG-MOSS T M, et al. Physiological responses of wheat and barley to Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia*(Mordvilko) and bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (L.) (Hemiptera: Aphididae)[J]. *Arthropod Plant Interactions*, 2008, 2(4): 227-235.
- [20] LU C K, VONSHAK A. Characterization of PS II photochemistry in salt-adapted cells of cyanobacterium *Spirulina platensis*[J]. *New Phytologist*, 1999, 141(2): 231-239.
- [21] 蔡 冲, 徐盈盈, 崔旭红. 番茄不同抗性品种响应B型烟粉虱胁迫的生理特性[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(13): 2524-2533.
- [22] 高瑞贺, 骆有庆, 石 娟. 松材线虫入侵对马尾松树光合特性的影响[J]. *林业科学研究*, 2019, 32(1): 65-73.
- [23] 张文英, 吕文玲, 杨振德, 等. 鸭脚树星室木虱为害对糖胶树叶绿素含量及光合参数的影响[J]. *中国植保导刊*, 2011, 31(1): 7-9.
- [24] 刘亚珍, 项 瑶, 郭文锋, 等. 乌桕对南方根结线虫与地上不同食性昆虫互作的光合生理响应[J]. *植物保护*, 2019, 45(6): 222-228.
- [25] MACEDO T B, BASTOS C S, HIGLEY L G, et al. Photosynthetic responses of soybean to soybean aphid (Homoptera: Aphididae) injury[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2003, 96(1): 188-193.
- [26] TANG J Y, ZIELINSKI R E, ZANGERL A R, et al. The differential effects of herbivory by first and fourth instars of *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) on photosynthesis in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(3): 527-536.
- [27] NI X Z, SHARRON S Q, TIFFANY H M, et al. Dynamic change in photosynthetic pigments and chlorophyll degradation elicited by cereal aphid feeding[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2020, 105: 43-53.
- [28] 杜军利, 梁 岳, 卢福岗, 等. 玉米蚜刺吸对不同抗性玉米品种光合性能及生物量的影响[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(4): 735-740.
- [29] 刘 娟, 朱晓峰, 徐兵强, 等. 杏树光合特性与小蠹虫为害关系的分析[J]. *新疆农业科学*, 2011, 48(2): 301-305.
- [30] HSU M H, CHEN C C, LIN K H, et al. Photosynthetic responses of *Jatropha curcas* to spider mite injury[J]. *Photosynthetica*, 2015, 53: 349-355.
- [31] 王美芳, 杨会民, 刘进前, 等. 黄淮冬麦区小麦品种抗蚜性鉴定及蚜虫对小麦产量和品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2010, 4: 16-20.

# Effects of Two Walnut Aphids on Photosynthetic Characteristics of Walnut

ZHANG Wen-jia<sup>1</sup>, MA Gui-long<sup>1</sup>, GAO Gui-zhen<sup>1</sup>

(1. College of forestry and landscape architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xingjiang, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the impacts of two aphid species, *Chromaphis juglandicola* Kaltentbach and *Panaphis juglandis* Goetze on photosynthesis of walnut. [Method] During the rapid growth, hard core, and fatty stages of walnuts, the portable chlorophyll analyzer (SPAD-502plus) and LI-6400 portable photosynthesis system were used to measure the SPAD value, photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), and other photosynthetic characteristics of the leaves of walnuts that were damaged by different walnut aphids. The fruit weight and kernel yield of walnuts were also measured after being damaged by different walnut aphids. [Result] There was no significant difference in the SPAD value of walnut leaves when exposed to short-term damage by *P. juglandis* or *C. juglandicola* for 1-5 days. However, during the hard core and lipid stage, exposure to the *P. juglandis*, *C. juglandicola*, and mixed aphid led to a downward trend in the SPAD value of leaves. The photosynthetic rate ( $P_n$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) of walnut leaves significantly decreased after being damaged by two types of walnut aphids, and the degree of decline varied with different density of aphids. The fresh fruit weight and dried fruit weight of walnuts showed a decreasing trend after being damaged by *P. juglandis* and *C. juglandicola*. The walnut kernel yield decreased after being affected by different types of aphids. [Conclusion] The walnut aphids has a negative impact on the normal photosynthetic process of the leaves, leading to a decline in the kernel percentage of walnut fruits. Therefore, urgent measures should be taken to control both walnut aphid species in order to protect walnut yield and quality.

**Keywords:** walnut; *Chromaphis juglandicola*; *Panaphis juglandis*; SPAD value; photosynthetic characteristics

(责任编辑: 崔 贝)