

DOI:10.12403/j.1001-1498.20250266

杏鬃球蚧危害对天山野杏营养物质 物质的影响

樊碧玉¹, 李翠红^{1,2}, 罗陈涛¹, 高桂珍⁴, 崔志军⁵,
张 苹^{3,6*}, 吕昭智^{1,6*}

(1. 青岛农业大学植物医学学院, 山东 青岛 266109; 2. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 3. 新疆农业大学草业学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 4. 新疆农业大学林学与风景园林学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 5. 新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州巩留县林业和草原局, 新疆 巩留 835400; 6. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: [目的] 新疆野杏是世界栽培杏的祖先, 也是天山野果林的主要建群种之一, 具有重要的种质资源保育价值和生态服务功能。近年来, 杏鬃球蚧 (*Sphaerolecanium prunastri*) 的入侵导致野杏种群大面积衰退, 但针对其种群衰退背后的生理养分相关研究仍较为缺乏。[方法] 通过测定野杏不同受害时间 (2 龄若虫越冬前期、越冬 2 龄若虫取食期、雌虫最大取食期)、受害程度 (未受害、轻度、中度、重度) 及其不同枝龄 (新梢、2 和 3 龄枝) 韧皮部的营养物质, 并结合各营养器官 (新梢、枝条、主干、细根) 的养分差异分析, 明确该害虫对野杏造成的生理性损害。[结果] 在枝条主要受害部位, 韧皮部总糖 (TS) 升高 10.6%~33.8%、可溶性蛋白 (SP) 升高 24.4%~61.1%, 可溶性糖 (SS) 在 7 月重度危害时显著降低 30.9%, 氨基酸 (AA) 降低 13.4%~66.5%; 在野杏的各枝龄间韧皮部主要营养物质普遍降低, 其中 2、3 龄枝的可溶性糖降低 26.7%~30.8%, 新梢与 2 龄枝的可溶性蛋白降低 33.1%~37.1%, 而氨基酸在各枝龄普遍降低 22.0%~66.5%。不同营养器官的养分指标未呈现一致的变化规律, 但长期受害后部分营养器官出现特异性响应: 细根全碳与新梢可溶性糖分别升高 10.7% 和 63.1%, 而细根全氮降低 17.9%。[结论] 杏鬃球蚧危害致使野杏碳氮代谢失衡, 主要表现为光合产物的运输受阻与氮素的吸收同化受限。本研究揭示了该害虫对野杏营养运输的干扰过程, 为野杏种群保育提供了理论依据。

关键词: 杏鬃球蚧; 野杏; 营养物质; 韧皮部

中图分类号: S763.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2026)03-0107-11

韧皮部作为植物长距离运输营养物质的核心通道, 承担着“源-库”器官间养分运输的重要功能^[1-2]。当受刺吸式害虫危害时, 植物的养分运输会受到严重干扰, 直接影响寄主植物的生存。介壳虫是刺吸式害虫, 可以利用口针在韧皮部持续吸食筛管汁液中的可溶性糖、氨基酸等营养物质, 形成竞争性“汇”效应, 导致植物受害部位出现组织褐变、干枯直至整株死亡^[3]。如木薯绵粉蚧 (*Phenacoccus*

manihoti Matile-Ferrero) 的取食导致韧皮部主要成分蔗糖被大量消耗, 引发木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 叶片卷曲和植株萎蔫^[4]; 柑橘红蜡蚧 (*Ceroplastes rubens* Maskell) 群集危害柑橘 (*Citrus* spp.) 枝干, 致使柑橘叶片大量黄化脱落^[5]。桑盾蚧 (*Pseudaulacaspis pentagona* Targioni Tozzetti) 引发了苹果 (*Malus domestica* (Suckow) Borkh.)、梨 (*Pyrus* spp.) 树皮层木栓

收稿日期: 2025-09-13 修回日期: 2025-11-15

基金项目: 中央财政林草科技推广示范项目 (新 [2024]TG02); 新疆维吾尔自治区天山英才计划 (2023TSYCCX0029)。

* 通讯作者: 张苹, 博士。主要研究方向: 昆虫生态学。E-mail: 2684387044@qq.com 吕昭智, 教授。主要研究方向: 昆虫生态学。

E-mail: zhaozhi@qau.edu.cn

化,铁杉单蛻盾蚧 (*Fiorinia externa* Ferris) 的危害导致铁杉叶片含氮量的显著下降^[6-7]。

杏鬃球蚧 (*Sphaerolecanium prunastri* Boyer de Fonscolombe) (又名杏球蚧、圆球蜡蚧) 原产于古北区的亚热带地区^[8-9],分布在以色列、土耳其^[10]、俄罗斯、乌克兰^[11]、美国等国家,主要危害李属 (*Prunus*)、鼠李属 (*Rhamnus*) 和苹果属 (*Malus*) 植物^[12]。一年发生一代,以 2 龄若虫越冬,主要危害幼嫩枝条,繁殖量大,扩散潜力大^[13-14]。该害虫于 2019 年在天山野杏林暴发成灾,野果林受害面积超过 80%,使野杏 (*Armeniaca vulgaris* Lamarck.) 生长衰弱,导致 25% 野杏种群死亡^[15],是目前威胁野杏种群生存的主要生物因素之一^[16-17]。

杏鬃球蚧主要引起野杏水分传输效率降低、非结构性碳水化合物 (Non-structural carbohydrate, NSC) 储备耗竭,最终致使野杏树势衰弱死亡^[18]。尽管已有研究从 NSC 角度阐明了害虫致衰机制,但其累积危害引发的营养物质系统响应仍缺乏深入研究,尤其枝条局部营养物质的变化是否影响野杏全株营养的储存与利用尚不清楚。为明确杏鬃球蚧对野杏营养的影响,本研究基于杏鬃球蚧的生活史^[14],选取关键取食阶段,通过测定不同危害程度

和不同枝龄韧皮部主要营养物质 (可溶性糖、可溶性蛋白和氨基酸) 的动态变化,旨在探究该害虫危害下野杏枝条部位主要营养物质的内在规律,另外,通过测定野杏不同营养器官间营养物质的变化,以揭示该害虫对野杏整株营养代谢的影响。基于枝条与整株营养物质的响应变化,阐释杏鬃球蚧对野杏的生理危害机制,近年来,杏鬃球蚧在伊犁河谷野杏林中爆发成灾,其危害程度在空间上存在显著差异,形成了从未受害、轻度、中度至重度的完整自然危害梯度。本研究即基于此梯度,通过系统比较不同受害程度下野杏的营养物质变化,旨在解析杏鬃球蚧入侵的生理生态效应,为新疆野杏资源的科学保育提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

新疆野杏是世界杏属植物的起源种之一^[19],主要分布于中国新疆伊犁河谷的天山野果林^[20-21],面积达 660 hm²,分布区西起霍城县,向东延伸至新源县、巩留县及察布查尔县^[22]。本研究区域位于新疆伊犁河谷天山野果林核心区的巩留县和霍城县。该区域属温带大陆性气候,两地气候特征相似,月均温与降水量年际变化趋势高度一致 (图 1,数据

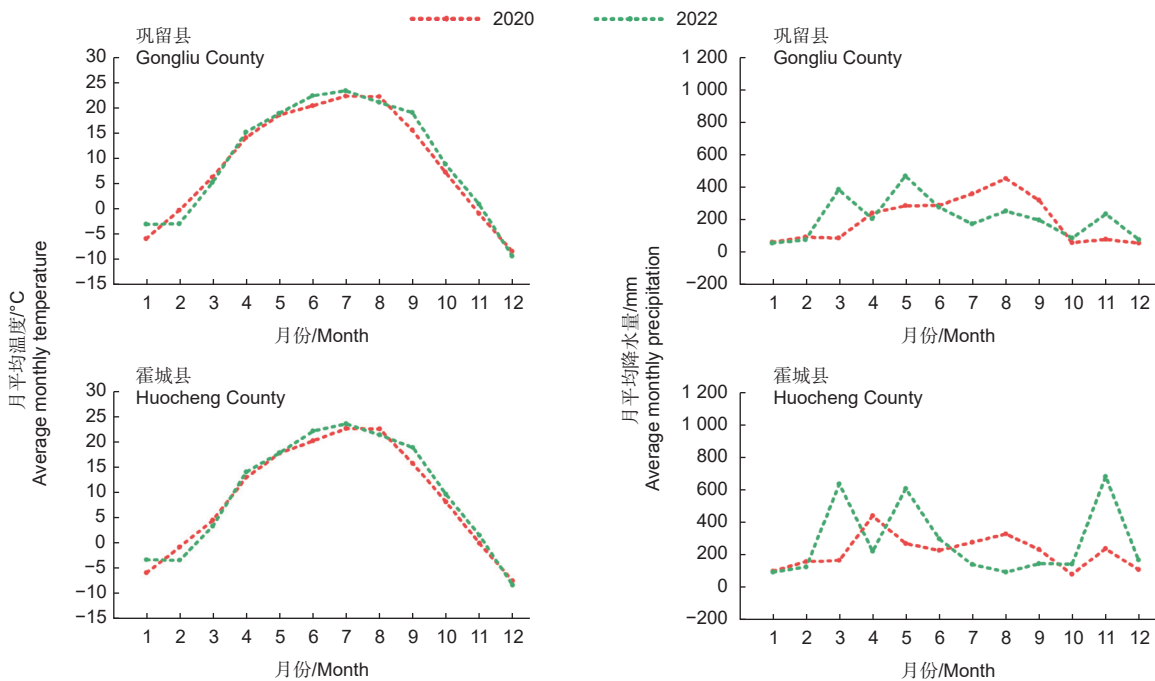


图 1 巩留县库尔德宁与霍城县大西沟月平均温度与降水量

Fig. 1 Monthly average temperature and precipitation in Kurduing of Gongliu County and Daxigou of Huocheng County in Xinjiang

来源国家青藏高原科学数据中心);此外,两地土壤类型均为灰钙土,基础肥力(有机质、氮、磷、钾)无显著差异,同属野杏生长的“最适宜”水平^[23-24]。林中伴生有野苹果(*Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem.)、准噶尔鼠李(*Rhamnus songorica* Gontsch.)、准噶尔山楂(*Crataegus songorica* K. Koch)等树种^[25-26],构成了生态背景均一的野杏栖息地。本研究区域即基于该地区存在的杏鬃球蚧自然危害梯度,系统选取了不同受害程度的野杏个体进行研究。

1.2 试验设计

为系统阐明杏鬃球蚧对野杏营养代谢的影响,本研究采用栽培园与野杏林样本相结合的研究策略,以兼顾控制条件下的生理机制解析与自然生境中的生态响应评估。选择栽培园野杏研究韧皮部营养物质,旨在利用其立地条件与管理措施均一,可有效控制环境变异,从而精准揭示害虫取食直接引发的植株内部生理变化;选择野杏林野杏研究全碳、全氮等整株营养指标,因自然环境条件下能真实反映害虫入侵压力下野杏的系统响应与碳氮分配策略,研究结论有助于深化理解野杏对杏鬃球蚧危害的生态适应性。试验根据杏鬃球蚧的生活史和取食规律,选取3个主要阶段测定营养物质的响应变化。3个阶段分别为:2龄若虫越冬前期,此时虫体表面覆盖白色蜡丝;越冬2龄若虫取食阶段,此阶段若虫虫体呈膨大状;雌虫最大取食阶段,该阶段雌虫会产生大量蜜露。试验分为2个内容,分别为(1)不同枝龄间营养物质的变化:以栽培果园中不同危害程度的野杏树为研究对象,分析不同枝龄间(新梢、2、3龄枝)的营养物质变化;(2)整株营养物质的响应研究:以野杏林中的野杏树为研究对象,分析不同营养器官(根系、主干、枝条、新梢)间营养物质的变化。

1.2.1 供试样树 果园供试野杏:在巩留县库尔德宁镇阔克塔勒村选取邻近的2个栽培果园作为样本采集点。园内为种植的野生杏树,均遭杏鬃球蚧不同程度危害,危害持续时间超过5 a。按照植株生长势态一致性原则,从每个果园中分别选取未受害、轻度及重度受害样树各10株,累计30株作为供试样树。

野果林供试野杏:在巩留县主要野杏林区域选择3个样方,各样方内选取不同受害程度(轻度、

中度和重度)野杏作为不同受害处理组。以霍城县的健康野杏为未受害处理组。各样方选择生长势相对一致的野杏各5棵,作为供试样树。共计不同受害程度供试样树各15棵。危害等级分类依据为每棵野杏受杏鬃球蚧危害的枝条比例,分别为未受害、轻度(1%~10%)、中度(30%~50%)和重度(70%~100%)^[15]。

1.2.2 种植野杏树不同龄枝韧皮部的采集 样本采集时期,选择园内各危害等级样树(轻度、重度和未受害)5棵作为样品采集的标准样树。采集树冠中部同一方向3龄枝条3枝,随后依据枝龄分段截取3龄枝,2龄枝以及新梢10 cm。带回实验室用一次性刀片采集受害韧皮部,将同一棵树3份不同枝龄的样品等量混合,形成1个混合样品,共计5个重复,装入牛皮纸袋置于烘干箱杀青处理。所有样品在105℃条件下杀青15 min后,在85℃条件下烘干至恒质量备用。

1.2.3 野杏林野杏树营养器官的采集 于2020年7月15日,在各样方内,采集各危害等级样树的根、主干、枝条和新梢等部位。采集根系时在样树根系部位的东南西北方向各采集细根(直径≤5 mm)0.5 g左右,混装为1份备用;于胸径以上部位处采集主干韧皮部2块混装在密封袋中保存;枝条分为新梢和3龄枝采集,采集时在树冠中部位位置的东南西北方向分别剪取1枝受害枝,收集新梢和3龄枝条,混合分封装于密封袋中保存。

另外,在2022年7月26日,采集巩留县受害样方和霍城县未受害样方内各危害等级样树的新梢与细根样品。所有样品均放置在装有冰袋的储存箱内,带回实验室后置于烘干箱内,在105℃条件下高温杀青处理15 min,终止酶活性;随后转移至85℃恒温干燥箱中持续烘干至恒质量,用于主要营养物质的测定。

各危害等级的样品每5株样树混装合为1个独立重复样品,即各样地轻度、中度、重度和未受害组各有3个重复待测样品。

1.3 测试指标及方法

所有枝条韧皮部和新梢样品主要测定总糖(Total sugar, TS)、可溶性糖(Soluble sugar, SS)^[27]、可溶性蛋白(Soluble protein, SP)^[28]、氨基酸含量(Animo acid, AA)。野杏不同器官样品主要测定全碳(C)、全氮(N)^[29]、淀粉

(Starch content, SC)、SS 和 SP 含量。

所有样品称取 2.0 g, 在苏州科铭生物技术有限公司(中国, 江苏)进行测定。除全氮含量测定采用凯氏定氮法外, 其他测试指标均采用试剂盒微量法检测。

1.4 数据处理与分析

不同危害程度间枝条韧皮部的营养物质采用 GLM 模型中的可重复测量的方差分析(Repeated measures ANOVA), 分析以 3 个采集时间为组内重复次数, 危害等级为组间变量, 各营养物质为因变量。各枝龄中未受害和重度受害的营养物质差异分析采用两独立样本的 *t* 检验(Two-sample *t*-test)进行分析。双因素方差分析(Two-way ANOVA)用于分析营养器官和危害等级间各营养物质含量的差异, 分析时以危害等级与营养器官为自变量, 各营养物质为因变量。多重比较采用 Tukey 比较法。数据统计分析均在 SPSS.20 (IBM Corp., Armonk, NY)中完成, 图形均在 Origin 2021 (OriginLab Corp, USA)中绘制完成。

2 结果与分析

2.1 栽培园野杏不同受害程度与枝龄对野杏韧皮部营养物质的影响

2.1.1 危害等级间韧皮部的营养物质含量 危害等级和危害时间对 TS、SP、SS 和 AA 含量具有显著的交互影响(表 1)。如图 2 所示, 相比未受

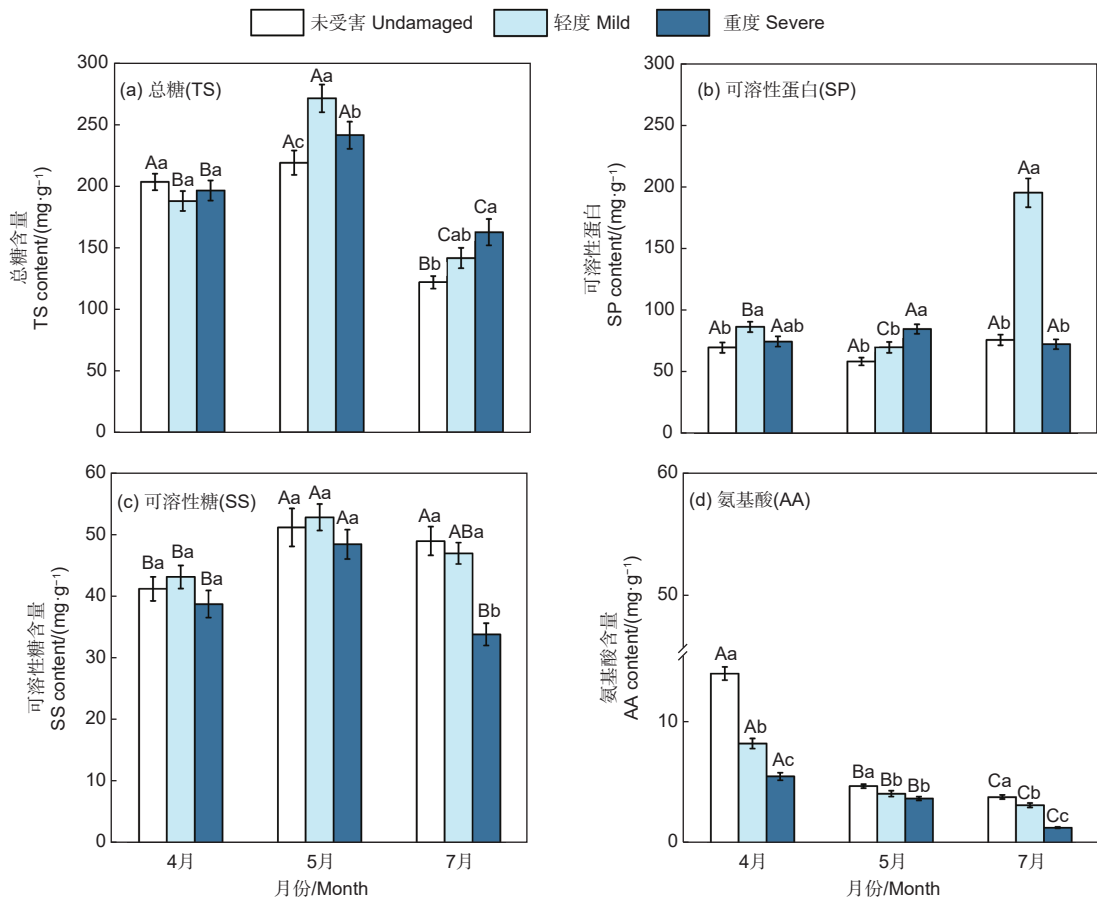
害, 轻度和重度危害等级的 TS 和 SP 含量在不同危害时间显著升高。TS 含量在 5 月的轻度危害下为 270.9 mg·g⁻¹, 显著高于未受害 23.9%, 在 5 月和 7 月时重度危害的含量分别为 241.0 mg·g⁻¹、162.4 mg·g⁻¹, 显著高于未受害 10.6%、33.8% (图 2a); SP 在 4 月和 7 月时轻度危害的含量分别为 86.5 mg·g⁻¹、195.4 mg·g⁻¹, 高于未受害 24.0% 和 61.1%, 在 5 月则为重度危害含量更高, 高于未受害 44.7% (图 2b); 与之相反, SS 含量仅在 7 月显示重度危害时显著低于未受害 30.9% (图 2c); AA 含量随危害时间的延长和危害等级的加重而持续降低, 在重度危害下最高降幅达 66.5% (图 2d)。上述结果表明, 危害初期韧皮部出现了 TS 和 SP 的积累, 而随危害加剧, SS 和 AA 被显著消耗。

2.1.2 枝龄间韧皮部的营养物质含量 由图 3 可知, 不同枝龄对重度危害的响应存在差异。在 7 月, 2、3 龄枝的 SS 含量在重度危害下分别为 32.5 mg·g⁻¹、33.9 mg·g⁻¹, 显著低于未受害 26.7% 和 30.8% (2 龄枝: *t*=-4.47, *df*=8, *p*<0.01; 3 龄枝: *t*=-5.1, *df*=8, *p*<0.01) (图 3a); SP 含量在 4 月新梢中显著高于未受害 (*t*=7.67, *df*=8, *p*<0.01), 含量为 131.5 mg·g⁻¹, 高于未受害约 67.7%, 但在 7 月的新梢和 2 枝龄中则显著低于未受害(新梢: *t*=7.67, *df*=8, *p*<0.01; 2 龄枝: *t*=-4.96, *df*=8, *p*<0.01), 分别降低 33.1% 和 37.1%

表 1 危害等级与危害时间对韧皮部营养物质含量的交互效应方差分析结果表

Table 1 Analysis of variance results of interaction effects of hazard grade and hazard time on phloem nutrient content

营养物质 Nutrient	方差来源 Source of variation	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	<i>F</i> <i>F</i> -value	<i>P</i> <i>P</i> -value
总糖TS	月份	73 324.488	2	36 662.244	88.719	0.000
	月份 × 组别	9 388.035	4	2 347.009	5.680	0.002
	误差	9 917.753	24	413.240	—	—
可溶性糖SS	月份	790.804	2	395.402	16.229	0.000
	月份 × 组别	276.795	4	69.199	2.84	0.046
	误差	584.729	24	24.364	—	—
可溶性蛋白SP	月份	16 669.294	2	8 334.647	47.877	0.000
	月份 × 组别	30 924.518	4	7 731.130	44.410	0.000
	误差	4 178.072	24	174.086	—	—
氨基酸AA	月份	348.250	2	174.125	549.490	0.000
	月份 × 组别	84.775	4	21.194	66.882	0.000
	误差	7.605	24	0.317	—	—



注: 大写字母表示月份间的差异, 小写字母表示危害等级之间的差异。

Note: Capital letters indicate the difference between months, and lowercase letters indicate the difference between hazard levels.

图 2 栽培园野杏不同危害等级间韧皮部养分含量

Fig. 2 Phloem nutrient content among different damage ranking of wild apricots in domesticated orchards

(图 3b)。AA 含量在各枝龄的重度危害下均显著低于未受害, 其中新梢降幅为 48.4%~77.3%, 2 龄枝为 46.9%~58.6%, 3 龄枝为 22.0%~66.5% (图 3c)。综上表明杏鬃球蚧的累积危害对枝条部位的主要营养物质具有系统性地降低作用。

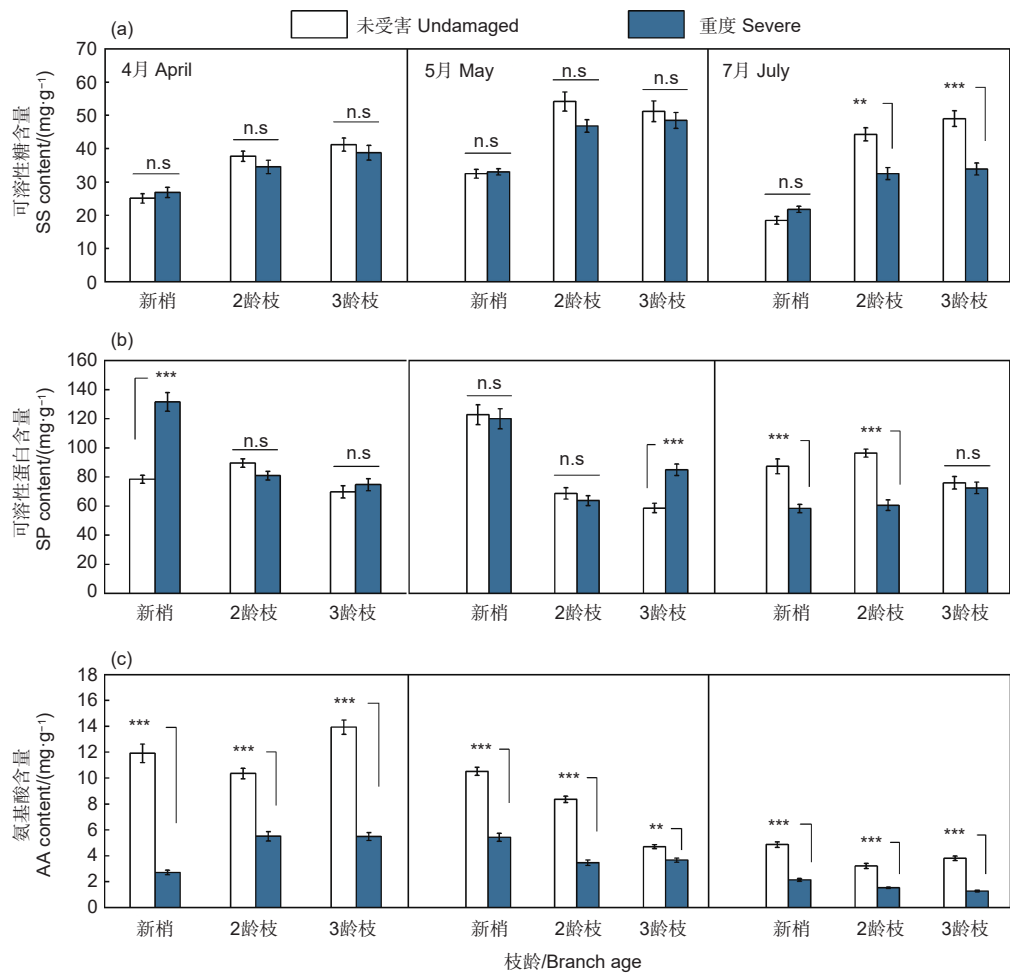
2.2 野杏林野杏不同营养器官对危害的响应

2.2.1 营养器官间全碳和全氮含量 2020 年各器官与危害等级间对全碳 (C) 含量交互影响显著 ($F_{(6,24)}=3.24, p=0.01$) (图 4a)。其含量表现为重度危害在主干部分显著高于中度危害, 全 C 含量约升高 9.5%; 中度危害在细根部分显著高于其他危害等级, 相比轻度危害约升高 10.7%、相比重度危害约升高 7.4%。在 2022 年, 新梢与细根中全 C 含量均无显著变化 (新梢: $F_{(2,124)}=0.38, p=0.68$; 细根: $F_{(2,124)}=1.10, p=0.38$) (图 4b)。表明杏鬃球蚧的危害提高了野杏整株 C 含量在主干和细根中的储存, 但受年际变化的影响, 这种影

响并不总是显著。

2020 和 2022 年各器官与危害等级间对全氮 (N) 含量无显著交互影响 (2020: $F_{(6,24)}=1.61, p=0.17$; 2022: $F_{(2,24)}=4.11, p=0.03$) (图 5)。危害等级间, 仅在 2022 年细根差异显著 ($F_{(2,12)}=5.55, p=0.02$), 其中, 轻度受害的细根中全 N 含量为 0.64%, 显著低于未受害含量 (0.78%), 降低约 17.9%。这表明中度受害的野杏, 在根系中 N 含量的降低响应更明显。

2.2.2 营养器官间可溶性糖含量 2020 年可溶性糖含量 (SS) 在危害等级和营养器官间无显著交互作用 ($F_{(6,24)}=0.25, p=0.96$) (图 6a)。然而, 在 2022 年, 新梢部位的 SS 含量在危害等级间差异显著 ($F_{(2,12)}=19.87, p<0.01$), 其含量由高到低依次为: 轻度 (34.9 mg·g⁻¹) > 重度 (31.4 mg·g⁻¹) > 未受害 (21.4 mg·g⁻¹), 分别升高了 63.1%、46.7% (图 6b)。根系中的 SS 含量



注：n.s 表示未受害和重度等级之间的差异不显著，**表示两等级在 0.01 水平下存在显著差异，***表示两等级在 0.001 水平下存在显著差异。
Notes: n.s indicates that the difference between the control and the severe grade is not significant, ** indicates that there is a significant difference between the two grades at the 0.01 level, and *** indicates that there is a significant difference between the two grades at the 0.001 level.

图 3 栽培园野杏不同枝龄间营养物质含量

Fig. 3 Nutrient content within different branch ages of wild apricots in domesticated orchards

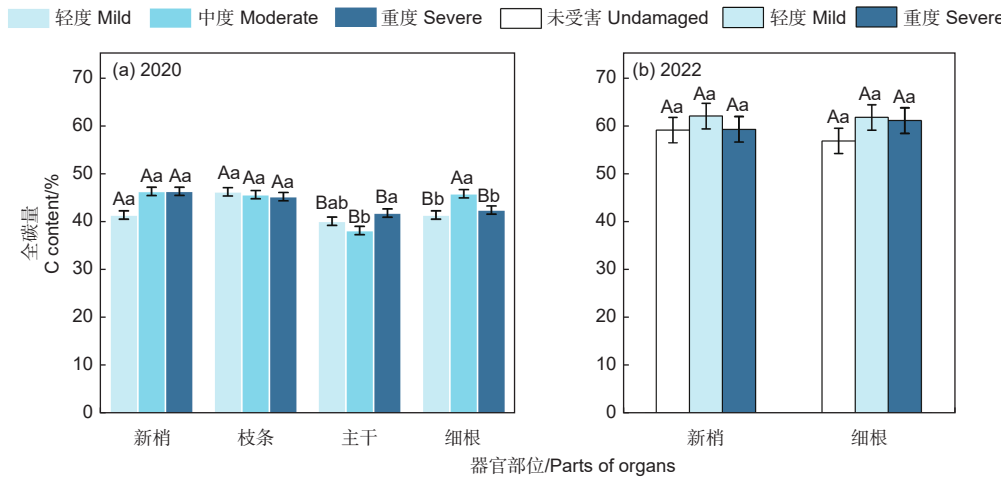
则无显著变化 ($F_{(2,12)}=0.75$, $p=0.5$)。这表明受害后新梢更容易表现出 SS 含量升高的响应,但受年际影响,这种响应并不总是显著存在。

2.2.3 营养器官间淀粉含量 2020 年淀粉 (TP) 含量在危害等级和营养器官间无显著的交互影响 ($F_{(6,24)}=0.88$, $p=0.57$), 各营养器官间 (轻度: $F_{(3,28)}=3.48$, $p=0.05$; 中度: $F_{(3,28)}=2.17$, $p=0.14$; 重度: $F_{(3,28)}=0.94$, $p=0.45$) 与危害等级间 (新梢: $F_{(2,21)}=1.31$, $p=0.31$; 枝条: $F_{(2,21)}=0.24$, $p=0.79$; 主干: $F_{(2,21)}=0.46$, $p=0.64$; 细根: $F_{(2,21)}=1.71$, $p=0.22$) 差异也不显著 (图 7a)。2022 年, 新梢和细根的淀粉含量在危害等级间差异也不显著 (新梢: $F_{(2,12)}=1.49$, $p=0.26$; 细根: $F_{(2,12)}=1.71$, $p=0.22$) (图 7b)。这表明杏鬃球蚧危害不会引起整株野杏淀粉含量的显著变化。

3 讨论

杏鬃球蚧危害改变了野杏局部营养物质的动态变化^[27], 导致不同枝龄之间营养普遍下降并存在显著性, 但对整株层面的大多数营养指标未产生显著的影响。这一特征与刺吸式害虫通过局部取食干扰植物营养分配、同时受植物整体调控机制缓冲的作用规律高度吻合^[30]。本研究结果与前人在介壳虫、蚜虫等刺吸式害虫中的发现一致^[31-34], 进一步证实了“局部营养掠夺-系统运输干扰-整株缓冲调控”是这类害虫与寄主互作的核心。

在枝条水平上, 杏鬃球蚧危害导致野杏韧皮部总糖 (TS) 和可溶性蛋白 (SP) 含量显著升高, 而可溶性糖 (SS) 在后期重度危害时显著降低, 这一动态深刻反映了野杏的库源调节策略。TS 在轻



注: 大写字母表示器官间的差异, 小写字母表示危害等级间的差异性。下同。

Note: Capital letters indicate the difference between organs, and lowercase letters indicate the difference between hazard levels. The same below.

图 4 野杏林野杏不同器官危害等级间全碳含量

Fig. 4 Total carbon content among organs with different damage ranking of wild apricots

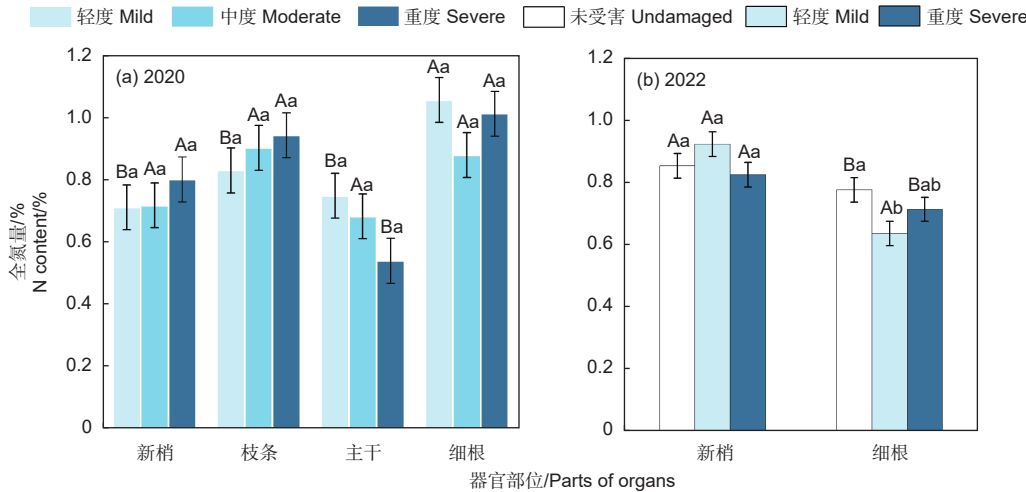


图 5 野杏林野杏不同器官危害等级间全氮含量

Fig. 5 Total nitrogen content among organs with different damage ranking of wild apricots

度危害 5 月及重度危害 5 月、7 月升幅达 10.6% ~ 33.8%; SP 在轻度危害 4 月、7 月及重度危害 5 月升高约 24.4%~61.1%。这可能是野杏在虫害压力下启动防御响应的体现——通过增强糖类合成或调动储备营养, 为防御相关物质 (如次生代谢物、蛋白酶抑制剂) 的合成提供原料^[35]。这与油松受赤松毛虫 (*Dendrolimus spectabilis* Butler) 危害后通过次生代谢物积累增强抗性的机制相似^[36]。与之相反, 可溶性糖 SS 仅在 7 月重度危害时显著降低 30.9%, 与危害后期杏髯球蚧大量取食造成的韧皮部筛管损伤密切相关, 同时叶面积减少引发的光合作用下降进一步加剧了光合同化产物供应不足^[37], 类似茶黄蓟马 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) 危害

银杏后可溶性糖随危害加剧而降低的现象^[38]。本研究观察到的 SS 下降, 正是野杏个体水平光合面积与效率受损、导致有机物积累减少的直接体现。害虫取食点成为异常强大的“库”, 竞争了有限的同化产物, 从而破坏了植物正常的“源-库”平衡关系, 使得整株营养分配格局趋于复杂。这种个体水平的碳匮乏与分配紊乱, 最终将野杏生长和发育的衰退。氨基酸 (AA) 含量的持续降低是最显著的营养变化指标之一, 其变化幅度随危害时间延长和等级加重逐渐扩大 (轻度降低 13.4%~41.2%, 重度最高达 66.5%), 这一现象符合“双重胁迫机制”。一方面, 光合作用减弱导致 AA 合成的碳骨架原料匮乏, 另一方面, 杏髯球蚧通过堵塞筛管和诱发

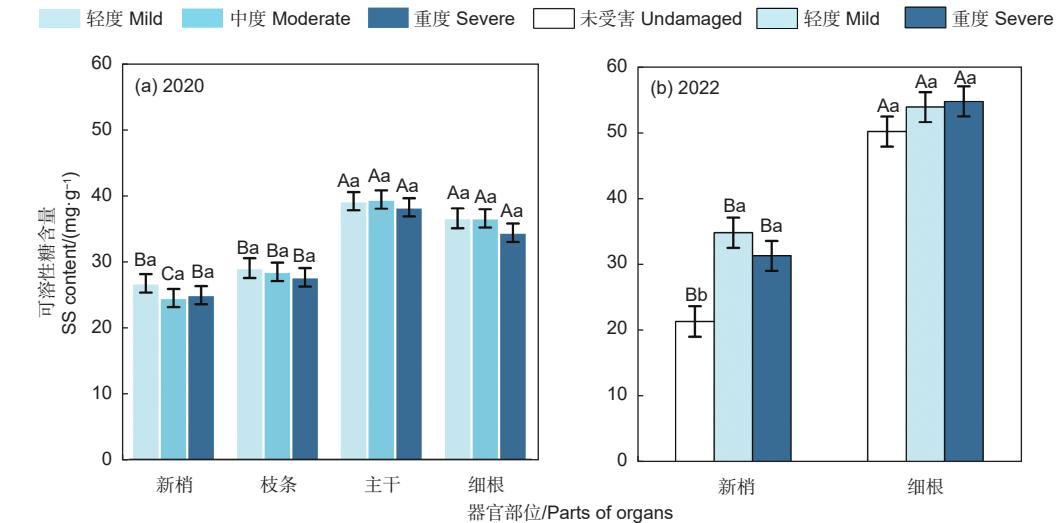


图 6 野杏林野杏营养器官间危害等级的可溶性糖含量

Fig. 6 Soluble sugar content among organs with different damage ranking of wild apricots

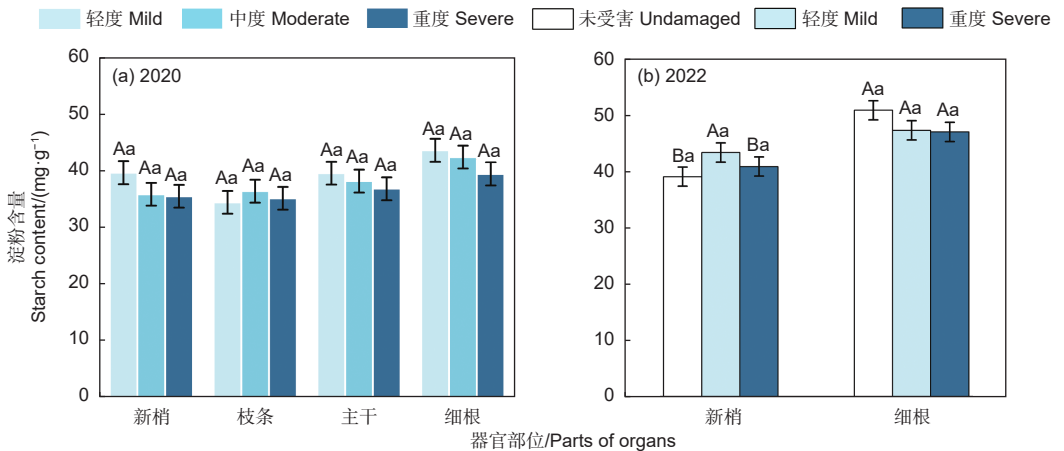


图 7 野杏林野杏营养器官间危害等级的淀粉含量

Fig. 7 Starch content among organs with different damage ranking of wild apricots

栓塞显著限制水分运输^[39]，而水分胁迫会进一步抑制根系对氮素的吸收与向冠层的转运^[22]，形成“水分受限→氮吸收受阻→AA合成不足”的连锁反应。这与松突圆蚧（*Hemiberlesia pitysophila* Takagi）危害马尾松后氨基酸含量随危害加重而降低的结果一致^[40]，但本研究中AA降幅更大且贯穿各危害阶段，表明了氮限制已成为野杏生理衰退的核心驱动因素。在不同枝龄中，营养变化呈现明显的枝龄差异性，这本质上是野杏库源关系失衡的体现。新梢作为活跃生长库，初期通过调集营养维持防御（4月新梢SP较未受害升高67.7%），但随危害持续，营养消耗加剧导致后期供应不足（7月新梢SP降低33.1%）；2、3龄枝作为营养运输通道，其7月SS含量分别降低26.7%和30.8%，反映

了韧皮部运输功能的受损^[41]。同时，氨基酸AA在各枝龄中均显著降低（新梢48.4%~77.3%、2龄枝46.9%~58.6%、3龄枝22.0%~66.5%），表明氮限制已从局部扩展至系统层面，印证了刺吸式害虫通过干扰筛管功能引发系统性营养失衡的理论^[30,42]。

尽管杏鬃球蚧危害对不同枝龄间营养变化显著，但对野杏整株营养指标未产生一致性显著影响。全碳、全氮在各器官与危害等级间无显著交互作用，仅2022年轻度受害细根全氮降低17.9%，且受年际波动影响；新梢可溶性糖升高未在根系体现，淀粉含量无显著差异。这可能因野杏作为多年生木本植物，具有较强营养缓冲能力，通过器官间再分配维持核心功能^[43-44]。其他指标变化不大，可

能与“局部枝条枯死导致库源关系集中”有关——营养优先向存活关键部位运输, 减少非关键器官消耗^[45]。且营养变化对野杏个体与群体的影响具有渐进性和累积性。短期来看, AA 持续降低削弱了新梢的光合酶 (如 Rubisco) 合成能力, 2~3 龄枝 SS 下降阻碍碳运输, 二者共同导致“光合减弱→同化物不足”的恶性循环; 长期危害后根系因氮吸收受限和碳供应不足出现功能退化, 其水分与矿质营养的上行运输能力也随之减弱, 栓塞修复能力因非结构性碳水化合物枯竭而丧失^[46], 可能触发整株木质部栓塞超过阈值, 最终导致死亡^[41]。氨基酸 AA 和 2~3 龄枝可溶性糖 SS 的变化可作为早期预警指标, 预示着氮限制和碳运输障碍的累积。在保护实践中, 需加强对杏鬃球蚧的早期防控, 通过减少虫害胁迫阻断“水分-氮素-碳代谢”的连锁失衡; 同时关注受害植株的库源关系调节, 避免局部营养消耗过度引发整株衰退。

4 结论

本研究揭示了杏鬃球蚧对新疆野杏营养物质的影响, 其危害主要干扰了野杏的碳氮代谢。在受害的不同枝龄间, 杏鬃球蚧导致野杏韧皮部营养物质呈现明显的变化, 氨基酸 AA 在危害后期显著降低, TS 和 SP 在不同阶段表现出与防御响应相关的动态变化, AA 含量则随累积危害持续下降; 在整株野杏层面, 多数营养指标未表现出显著一致的变化, 仅长期危害下部分器官的碳、氮及可溶性糖含量出现差异, 且年际之间波动明显, 显示野杏应对生物胁迫具有一定的营养调节与适应能力。本研究探索了杏鬃球蚧通过干扰野杏营养代谢导致树势衰弱的生理过程, 为理解外来入侵害虫与寄主植物的互作关系提供了依据, 也为野果林新发害虫杏鬃球蚧的综合防治策略提供了重要的理论依据。

致谢: 感谢伊犁哈萨克自治州农业科学研究所园艺研究室张学超团队为本研究提供的实验室支持; 感谢巩留县林业和草原局崔志军提供的实验器材支持; 感谢马怀亮站长在野外试验采样过程中给予的帮助。

参考文献:

[1] JAMES A, KELLY D. An episodic model of honeydew production in scale insects[J]. *Austral Ecology*, 2012, 37(3): 308-312.
[2] CHEN L Q, QU X Q, HOU B H, *et al*. Sucrose efflux mediated by SWEET proteins as a key step for phloem transport[J]. *Sci-*

ence, 2012, 335(6065): 207-211.
[3] 闫凤鸣. 植物病原-媒介昆虫互作: 研究进展与展望 [J]. *昆虫学报*, 2020, 63(2): 123-130.
[4] LERÜ B, CALATAYUD P A. Interactions between cassava and arthropod pests[J]. *African Crop Science Journal*, 1994, 2(4): 385-390.
[5] 李素芹, 刘学元, 廖贵新, 等. 柑橘红蜡蚧的发生特点与防控对策 [J]. *湖北植保*, 2019(6): 42-43.
[6] MCCLURE M S. Foliar nitrogen: a basis for host suitability for Elongate hemlock scale, *Fiorinia externa* (Homoptera: Diaspididae)[J]. *Ecology*, 1980, 61(1): 72-79.
[7] MORALES M G, DENNO B D, MILLER D R, *et al*. ScaleNet: a literature-based model of scale insect biology and systematics[J]. *Database*, 2016, 2016: bav118.
[8] WEI L H, LU Z Z, WANG Y L, *et al*. The effects of globose scale (*Sphaerolecanium prunastri*) infestation on the growth of wild apricot (*Prunus armeniaca*) trees[J]. *Forests*, 2023, 14(10): 2032.
[9] BATSANKALASHVILI M, KAYDAN M B, KIRKITADZE G, *et al*. Updated checklist of scale insects (Hemiptera: Coccoomorpha) in Sakartvelo (Georgia)[J]. *Annals of Agrarian Science*, 2017, 15(2): 252-268.
[10] KARACA I, JAPOSHVILI G, DEMIROZER O. The chalcid parasitoid complex (Hymenoptera: Chalcidoidea) associated with the globose scale (*Sphaerolecanium prunastri* Fonscolombe) (Hemiptera: Coccoidea) in Isparta Province, Turkey and some east European countries[J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2003, 110(5): 505-511.
[11] KFIR R, ROSEN D. Biological studies of *Microterys flavus* (Howard)(Hymenoptera: Encyrtidae), a primary parasite of soft scales[J]. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 1981, 43(2): 223-238.
[12] 王玉丽, 吕昭智, 令狐伟, 等. 新疆野果林杏树鬃球蚧的发生及危害 [J]. *新疆农业科学*, 2022, 59(7): 1741-1747.
[13] 郭发城, 马贵龙, 高桂珍. 基于 Biomod2 组合模型对入侵害虫杏鬃球蚧的潜在适生区预测 [J]. *林业科学研究*, 2024, 37(4): 136-147.
[14] 王玉丽, 吕昭智, 令狐伟, 等. 新疆野果林的新害虫——杏树鬃球蚧 (半翅目: 蚧总科: 蚧科)[J]. *林业科学研究*, 2021, 34(5): 152-158.
[15] ZHANG P, LI Y F, LI C H, *et al*. The post-invasion population dynamics and damage caused by globose scale in central Eurasia: destiny of wild apricot still at stake[J]. *Insects*, 2025, 16(4): 409.
[16] 令狐伟, 吕昭智, 王玉丽, 等. 杏树鬃球蚧防治药剂的筛选及田间防效 [J]. *西北林学院学报 (自然科学版)*, 2021, 36(6): 173-180.
[17] 邓秉东. 杏树鬃球蚧生物防治及化学防治技术研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.
[18] 罗晓雨, 韩爱芝, 丁 杰, 等. 新疆伊犁野生杏种仁矿质元素及氮

- 基酸含量分析[J]. [果树学报](#), 2024, 41(4): 638-650.
- [19] 王 磊, 崔大方, 林培钧, 等. 新疆野生杏的种下类型[J]. [新疆师范大学学报\(自然科学版\)](#), 1997, 16(3): 31-36.
- [20] 徐德源, 郭擎宇, 喻树龙. 新疆杏的生态气候适应性[J]. [新疆气象](#), 2003, 26(3): 37-39.
- [21] 侯 博, 许 正. 中国伊犁野生果树及近缘种研究[J]. [干旱区研究](#), 2006, 23(3): 453-458.
- [22] 石 荡, 郭传超, 蒋南林, 等. 新疆野杏天然更新幼株的个体特征及空间分布格局[J]. [植物生态学报](#), 2023, 47(4): 515-529.
- [23] 刘秋琼. 伊犁河流域干旱土的形成及肥力特征[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- [24] 杨 霞, 崔 东, 刘海军, 等. 伊犁地区苹果园主产区土壤有机质氮磷钾养分含量与分布特征[J]. [北方园艺](#), 2020(4): 102-107.
- [25] 李利平, 海 鹰, 安尼瓦尔·买买提, 等. 新疆伊犁地区野果林的群落特征及保护[J]. [干旱区研究](#), 2011, 28(1): 60-66.
- [26] 吴明江, 邱 娟, 郑 凤, 等. 新疆野果林灌木物种多样性与生态位研究[J]. [干旱区研究](#), 2024, 41(12): 2094-2109.
- [27] 刘德帅, 袁 苗, 冯 美, 等. 不同采收期宁夏枸杞果实品质差异及抗氧化特性分析[J]. [植物生理学报](#), 2024, 60(5): 837-849.
- [28] 徐冬颖, 张 静, 姜爱丽, 等. 1-MCP 熏蒸处理对软枣猕猴桃的保鲜效果[J]. [包装工程](#), 2019, 40(11): 26-32.
- [29] 杨亚丽, 蔡顺林. 流动分析法与凯氏定氮法测定植物全氮的比较[J]. [玉溪师范学院学报\(自然科学版\)](#), 2016, 32(8): 51-54.
- [30] 陈志成, 万贤崇. 虫害叶损失造成的树木非结构性碳减少与树木生长、死亡的关系研究进展[J]. [植物生态学报](#), 2016, 40(9): 958-968.
- [31] 顾小辉, 魏建和, 王国全, 等. 虫害诱导植物合成防御性次生代谢产物的研究进展[J]. [生命科学研究](#), 2017, 21(5): 458-465 + 470.
- [32] TSCHOEP H, GIBON Y, CARILLO P, *et al.* Adjustment of growth and central metabolism to a mild but sustained nitrogen - limitation in Arabidopsis[J]. [Plant, Cell & Environment](#), 2009, 32(3): 300-318.
- [33] 许正. 伊犁野果林生态修复技术推广示范. 新疆维吾尔自治区, 伊犁哈萨克自治州林业科学研究院, 2016-03-15.
- [34] 朱苗苗. 多毛小蠹危害后杏树内含物的变化规律研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [35] WILL T, TJALLINGII W F, THÖNNESSEN A, *et al.* Molecular sabotage of plant defense by aphid saliva[J]. [Proceedings of the National Academy of Sciences](#), 2007, 104(25): 10536-10541.
- [36] 李镇宇, 王 燕, 陈华盛, 等. 赤松毛虫的危害对小油松针叶内物质含量的影响[J]. [北京林业大学学报\(自然科学版\)](#), 1999, 21(5): 41-45.
- [37] 刘 勇, 孙玉诚, 王国红. 植物和刺吸式口器昆虫的诱导防御与反防御研究进展[J]. [应用昆虫学报](#), 2011, 48(4): 1052-1059.
- [38] 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.
- [39] 欧阳艺蕾, 龚雪伟, 段春阳, 等. 新疆伊犁地区野杏树衰退的水碳生理机制[J]. [植物生态学报](#), 2024, 48(9): 1192-1201.
- [40] 戴沿海. 松突圆蚧危害对马尾松针叶主要营养物质的影响[J]. [福建林业科技](#), 2007, 34(1): 56-58 + 66.
- [41] MCDOWELL N, POCKMAN W T, ALLEN C D, *et al.* Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?[J]. [New Phytologist](#), 2008, 178(4): 719-739.
- [42] TOMASELLA M, HÄBERLE K H, NARDINI A, *et al.* Post-drought hydraulic recovery is accompanied by non-structural carbohydrate depletion in the stem wood of Norway spruce saplings[J]. [Scientific Reports](#), 2017, 7(1): 14308.
- [43] 陈亚鹏, 周洪华, 朱成刚. 塔里木河下游胡杨水分传输过程研究综述[J]. [干旱区地理](#), 2021, 44(3): 612-619.
- [44] 孙文泰, 马 明, 董 铁, 等. 西北旱地苹果细根分布及水力特征对长期覆膜的响应[J]. [生态环境学报](#), 2021, 30(7): 1375-1385.
- [45] MCDOWELL N G. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality[J]. [Plant Physiology](#), 2011, 155(3): 1051-1059.
- [46] BUCCI S J, SCHOLZ F G, GOLDSTEIN G, *et al.* Dynamic changes in hydraulic conductivity in petioles of two savanna tree species: factors and mechanisms contributing to the re-filling of embolized vessels[J]. [Plant, Cell & Environment](#), 2003, 26(10): 1633-1645.

Effects of *Sphaerolecanium prunastri* Damage on Nutrient Content of Tianshan Wild Apricot

FAN Bi-yu¹, LI Cui-hong^{1,2}, LUO Chen-tao¹, GAO Gui-zhen⁴, CUI Zhi-jun⁵,
ZHANG Ping^{3,6}, LYU Zhao-zhi^{1,6}

(1. College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China; 2. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 3. College of Grassland, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 4. College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 5. Forestry and Grassland Bureau of Gongliu County, Ili Kazakh Autonomous Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Gongliu 835400, Xinjiang, China; 6. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: [Objective] *Armeniaca vulgaris* is the ancestor of cultivated apricots globally and one of the dominant tree species in the Tianshan wild fruit forests, where it plays a critical role in germplasm conservation and ecosystem services. In recent years, the invasion of *Sphaerolecanium prunastri* led to a large scale decline of wild apricot population, but there is still a lack of research on the physiological nutrients behind its population decline. [Method] Physiological damage caused by *S. prunastri* was assessed by measuring the phloem nutrients of different damage time (early overwintering stage of 2nd instar nymphs, feeding period of 2nd instar nymphs and maximum feeding period of female insects), damage degree (undamaged, mild, moderate and severe) and different branch ages new shoots, 2nd and 3rd instar branches) of wild apricot, and combining with the nutrient difference analysis of various vegetative organs (new shoots, branches, trunks and fine roots). [Results] In the primary damaged branch tissues, phloem total sugar (TS) increased by 10.6%~33.8%, and soluble protein (SP) increased by 24.4%~61.1%, whereas soluble sugar (SS) and amino acid (AA) decreased by 30.9%, and 13.4%~66.5%, respectively. The main nutrients in the phloem of *A. vulgaris* were generally reduced at different branch ages. The soluble sugar of the 2nd and 3rd branches decreased by 26.7%~30.8%, the soluble protein of the new shoots and 2nd branches decreased by 33.1%~37.1%, and the amino acid decreased by 22.0%~66.5% at each branch age. Nutrient responses varied among vegetative organs and did not follow a uniform pattern; however, certain organs exhibited specific long-term response to infestation. Notably, total carbon of fine roots and soluble sugar of new shoots increased by 10.7% and 63.1%, respectively, while total nitrogen of fine roots decreased by 17.9%. [Conclusion] Infested by *S. prunastri* disrupts carbon and nitrogen metabolism in wild apricot, primarily through impaired transport of photosynthetic assimilates and constraints on nitrogen absorption and assimilation. These findings reveal the disruption of nutrient transport caused by this pest in wild apricot and provide a theoretical basis for the conservation of wild apricot populations.

Keywords: scale pest; wild apricot; nutrients; phloem

(责任编辑: 崔 贝)