



不同紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性评价及其与营养物质的相关性分析

姜鑫 李忠意 李舟 董瑞 古欣瑶

Evaluation of the resistance of alfalfa varieties to *Aphis craccivora* and correlation with plant nutrients

JIANG Xin, LI Zhongyi, LI Zhou, DONG Rui, GU Xinyao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0288>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

抗、感紫花苜蓿品种对豌豆蚜游离氨基酸的影响

Effect of resistant and susceptible alfalfa varieties on free amino acids in *Acyrtosiphon pisum*

草业科学. 2024, 41(7): 1702 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0225>

80份紫花苜蓿品种苗期耐盐性筛选与评价

Screening and evaluation of salt tolerance of 80 alfalfa varieties at the seedling stage

草业科学. 2024, 41(3): 684 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0423>

66个紫花苜蓿品种无性系苗期抗旱性评价

Evaluation of the drought resistance of 66 alfalfa clones at the seedling stage

草业科学. 2024, 41(4): 908 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0483>

河西地区苜蓿苗期除草剂的筛选及安全性评价

Screening and safety evaluation of herbicides in the alfalfa seedling stage in the Hexi area

草业科学. 2023, 40(6): 1608 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0327>

基于产量及越冬特性对40个紫花苜蓿品种在科尔沁地区综合评价

A comprehensive evaluation of 40 alfalfa varieties in the Horqin region based on yield and overwintering characteristics

草业科学. 2024, 41(3): 664 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2023-0326>

河北沧州地区优良高产抗病苜蓿品种的筛选

Screening of excellent alfalfa varieties with high-yield and disease resistance in Cangzhou, Hebei Province

草业科学. 2023, 40(3): 702 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0741>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0288

姜鑫, 李忠意, 李舟, 董瑞, 古欣瑶. 不同紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性评价及其与营养物质相关性分析. 草业科学, 2025, 42(2): 443-454.

JIANG X, LI Z Y, LI Z, DONG R, GU X Y. Evaluation of the resistance of alfalfa varieties to *Aphis craccivora* and correlation with plant nutrients. Pratacultural Science, 2025, 42(2): 443-454.

不同紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性评价及其与营养物质相关性分析

姜 鑫, 李忠意, 李 舟, 董 瑞, 古欣瑶

(贵州大学动物科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为明确不同品种紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 对苜蓿蚜 (*Aphis craccivora*) 的抗性差异及其与营养物质相关性, 本研究采用蚜量比值法对不同品种紫花苜蓿的抗蚜性进行评价, 并测定苜蓿营养物质含量, 分析其抗蚜性与营养物质的关系。结果表明: 不同品种紫花苜蓿间苜蓿蚜的抗性水平差异较大, 其中‘阿尔冈金’为抗性品种, 蚜量比值为 0.49; ‘WL363’‘WL525’‘WL343’‘西部之星’及‘中苜 1 号’为中抗品种, 蚜量比值分别为 0.68、0.71、0.72、0.73、0.75; ‘WL358’和‘雷霆’为高感品种, 蚜量比值分别为 1.41 和 1.75, 而其余品种均为感性品种; 不同品种苜蓿营养物质含量存在差异且苜蓿蚜量比值与其酸性洗涤纤维含量 ($r = 0.544$) 呈显著正相关关系, 与钙 ($r = -0.653$) 和干物质 ($r = -0.674$) 含量呈显著负相关关系, 即苜蓿抗蚜性与酸性洗涤纤维含量呈负相关关系, 与钙含量及干物质含量呈正相关关系。本研究结果可为苜蓿蚜的防治及抗蚜苜蓿品种的筛选提供一定理论基础与依据。

关键词: 苜蓿; 苗期; 蚜虫; 抗蚜性评价; 取食选择; 品种筛选; 营养成分

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2025)02-0443-12

Evaluation of the resistance of alfalfa varieties to *Aphis craccivora* and correlation with plant nutrients

JIANG Xin, LI Zhongyi, LI Zhou, DONG Rui, GU Xinyao

(College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: In this study, to clarify the differences in resistance to *Aphis craccivora* among different varieties of alfalfa and their correlation with plant nutritional constituents, we evaluated the resistance of alfalfa to *A. craccivora* based on the aphid ratio, and measured the contents of different nutritional constituents in alfalfa to determine the relationships between aphid resistance and these nutrients. The results revealed that different alfalfa varieties are characterized by differing levels of resistance to clover aphids. Specifically, ‘Algomquin’ was identified as a resistant variety with an aphid number ratio of 0.49, whereas ‘WL363’ ‘WL525’ ‘WL343’ ‘Western Star’, and ‘Zhongmu 1’ are moderately resistant varieties, with aphid number ratios of 0.68, 0.71, 0.72, 0.73, and 0.75, respectively, and ‘WL358’ and ‘Thunder’ are highly susceptible varieties, with respective aphid number ratios of 1.41 and 1.75. All other assessed varieties were found to be susceptible. In addition, we detected differences in nutrient contents among the different alfalfa varieties, with the aphid number ratio being significantly positively correlated with acid detergent fiber content ($r = 0.544$) and significantly negatively correlated with calcium ($r = -0.653$) and dry matter ($r = -0.674$) contents. Accordingly, the resistance of alfalfa to aphids was established to be negatively

收稿日期: 2024-05-13 接受日期: 2024-08-05

基金项目: 贵州省科学技术协会青年科技人才托举工程项目 (GASTYESS202411)

第一作者: 姜鑫 (1997-), 女, 贵州大方人, 在读硕士生, 研究方向为草地保护。E-mail: 1966341243@qq.com

通信作者: 古欣瑶 (1993-), 女, 贵州遵义人, 副教授, 博士, 主要从事经济牧草病虫害防治研究。E-mail: guxy@gzu.edu.cn

<http://cykx.lzu.edu.cn>

correlated with acid detergent fiber content and positively correlated with calcium and dry matter contents. Our findings in this study can provide a theoretical and practical basis for the prevention and control of aphids and the screening of aphid-resistant alfalfa varieties.

Keywords: alfalfa; seedling stage; aphid; evaluation of aphid resistance; food selection; variety screening; nutritional component

Corresponding author: GU Xinyao E-mail: guxy@gzu.edu.cn

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 隶属于豆科苜蓿属, 是一种国内外广泛种植的多年生优质牧草^[1], 是牲畜主要的蛋白质来源^[2]。同时, 紫花苜蓿还以产量高、适口性好、易消化、适应性强等优良特性而著称^[3]。随着畜牧业的不断发展, 紫花苜蓿种植规模不断扩大, 现我国苜蓿种植面积已超过 200 万 hm^2 ^[4]。然而, 随着苜蓿种植规模扩张, 导致苜蓿地景观同质化严重、苜蓿连作障碍明显, 进而导致害虫 (尤其是蚜虫) 频发, 严重降低了苜蓿的品质及产量^[5-6]。

苜蓿蚜 (*Aphis craccivora*) 又名花生蚜、豆蚜、槐蚜, 隶属于半翅目蚜科, 主要为害紫花苜蓿、红豆草 (*Onobrychis viciifolia*)、紫云英 (*Astragalus sinicus*)、豌豆 (*Pisum sativum*) 等豆科植物, 广泛分布于我国甘肃、新疆、内蒙古、宁夏、湖北、湖南、四川、广西等地, 是苜蓿的主要害虫之一^[7-8]。苜蓿蚜多聚集于苜蓿嫩枝、幼芽、幼叶、花器等部位, 以刺吸式口器吸食其汁液, 导致苜蓿叶片卷缩、变黄、落蕾, 豆荚停滞发育, 植株矮小等状况^[9-10]; 同时, 蚜虫分泌的蜜露可致苜蓿叶片发生霉变, 影响其光合作用; 且苜蓿蚜可传播苜蓿花叶病、苜蓿褐斑病等多种病毒, 导致苜蓿发生病变, 严重时可能造成苜蓿成片死亡, 从而降低苜蓿产量与品质^[11-14]。

目前, 苜蓿蚜的防治仍以化学防治为主, 但由于其个体微小 (体长 1.5~1.8 mm), 繁殖能力强、世代重叠严重, 极易产生抗药性, 尤其对有机磷和合成菊酯类农药已产生明显抗药性, 因此利用化学药剂进行防治极其困难^[9, 15]。同时, 长期和大量使用化学药剂会产生一系列生态问题 (如杀死天敌昆虫、造成农药残留等), 对环境生态安全构成潜在威胁^[16-19]。因此, 针对苜蓿蚜的防治应以“预防为主, 综合治理”的植保方针为指导, 结合苜蓿蚜的为害特性, 在苜蓿蚜为害早期及时开展苜蓿蚜防控工作; 同时结合农业防治、生物防治、物理防治等多种防治方法进行综合防控, 可有效减少苜蓿蚜对紫花

苜蓿的危害。

培育和利用抗虫品种是减少或避免植物遭受虫害的关键措施之一, 已成为国内外公认的一种经济、简便、有效的虫害绿色防控策略^[20]。近年来, 随着苜蓿害蚜频发, 危害严重, 研究者们针对不同品种苜蓿的抗蚜性开展了一系列研究。有学者通过观测苜蓿蚜、豌豆蚜 (*Acyrtosiphon pisum*)、苜蓿斑蚜 (*Therioaphis trifolii*) 在不同品种苜蓿上的取食行为, 鉴定出‘赛迪 7’‘甘农 4 号’‘中苜 3 号’和‘新苜 4 号’均为抗性较高的品种^[21-23]; 魏江文等^[24]和 Yu 等^[25]研究豌豆蚜和苜蓿斑蚜在取食抗感紫花苜蓿后对其生长发育、存活率及体内酶活性等指标的影响, 结果表明抗性品种‘甘农 5 号’‘Hunter River’可通过抑制蚜虫存活率、生长及繁殖以抵御蚜虫为害; 此外, Silva 等^[26]在田间研究了不同品种苜蓿对蚜虫的影响, 结果表明在抗性品种‘CUF 101’中观察到蚜虫的丰度较其他抗性较弱的品种低。因此, 可通过选用抗性品种减少蚜虫在田间的种群数量, 降低蚜虫危害。

综上可知, 不同品种紫花苜蓿对蚜虫的抗性能力有所差异, 针对不同品种紫花苜蓿的抗蚜性研究, 对培育和利用抗虫品种进行苜蓿害虫绿色防控具有重要的指导作用。为明确不同品种紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性差异, 本研究通过蚜量比值法^[27]对不同品种苜蓿进行了室内抗苜蓿蚜能力评价, 并测定了苜蓿蚜对不同品种苜蓿的取食选择性; 同时分析了不同抗性苜蓿的营养物质含量与其抗蚜性的关系, 以期筛选出抗蚜性强、品质优的苜蓿品种, 为紫花苜蓿的生产及苜蓿蚜的综合防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试紫花苜蓿品种

本研究选用紫花苜蓿品种分别为‘阿尔冈金’

‘三得利’‘中苜 1 号’‘维多利亚’‘西部之星’‘WL440’‘WL354’‘WL525’‘WL343’‘WL656’‘WL363’‘WL358’‘四季旺’‘前景’和‘雷霆’, 具体信息如表 1 所列。

表 1 紫花苜蓿品种的基本信息
Table 1 Information on the assessed alfalfa varieties

编号 Number	品种 Variety	材料来源 Source of material	原产地 Source area
1	阿尔冈金 Algomquin	甘肃创绿 Gansu Chuanglv	加拿大 Canada
2	三得利 Sanditi	甘肃创绿 Gansu Chuanglv	法国 France
3	中苜1号 Zhongmu 1	甘肃创绿 Gansu Chuanglv	中国 China
4	维多利亚 Victoria	贵州众智恒 Guizhou Zhongzhiheng	美国 America
5	西部之星 Xibuzhixing	贵州众智恒 Guizhou Zhongzhiheng	中国 China
6	WL440	北京正道 Beijing Rytway	美国 America
7	WL354	北京正道 Beijing Rytway	美国 America
8	WL525	北京正道 Beijing Rytway	美国 America
9	WL343	北京正道 Beijing Rytway	美国 America
10	WL656	北京正道 Beijing Rytway	美国 America
11	WL363	北京正道 Beijing Rytway	美国 America
12	WL358	北京正道 Beijing Rytway	美国 America
13	四季旺 Siriver	北京百斯特 Beijing Best	美国 America
14	前景 Qianjing	北京百斯特 Beijing Best	美国 America
15	雷霆 Leiting	北京百斯特 Beijing Best	美国 America

1.1.2 供试虫源

供试蚜虫为苜蓿蚜, 采集于贵州大学西校区试验地自然种群, 置于贵州大学动物科学学院草业系实验室的人工气候箱(贵州科创瑞诚电子科技有限公司生产, 型号: CFQ-400A, 下同)内饲养, 以蚕豆苗为食, 饲养条件为温度(23±1)℃, 相对湿度65%±5%, 光周期14 h/10 h(光/暗), 光照强度6 000 lx, 已完成12代繁殖。

1.2 试验设计

本试验采用室内盆栽种植方法, 选用口径×高

为15.5 cm×17.5 cm的塑料花盆进行苜蓿培养。将营养土: 草炭土: 蛭石按2: 1: 1比例混匀装盆, 每盆0.75 kg混合土壤。紫花苜蓿种子用1% NaClO溶液进行表面消毒5 min, 并用去离子水反复洗涤5次, 挑选饱满且大小均匀的种子, 每盆10粒以穴播方式播种, 深度为1 cm, 苜蓿生长期按照田间最大饱和含水量60%补充水分。每个品种设置8个重复, 每个重复为1盆。盆栽置于温室内网室中进行培植[温度为(23±3)℃, 相对湿度为60%±5%, 光照为自然光]。各盆栽间相隔10 cm, 每隔7 d随机调换花盆位置1次。待苜蓿长至四叶期间苗, 每盆保留长势一致的苜蓿4株, 并于六叶期进行试验。

1.3 试验方法

1.3.1 不同品种紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性评价

于苜蓿六叶期, 用0号细毛笔挑取1~2日龄苜蓿蚜无翅成蚜3头接种于苜蓿最新长出完全展开叶片上, 并用白色透明纱袋笼罩。取食24 h后查看蚜虫的存活情况, 未成活的及时补接。同时, 分别于接虫后7、14、21 d观察统计苜蓿植株上的蚜虫数量, 采用蚜量比值法^[27]对苜蓿抗蚜性进行评价, 蚜量比值=某材料蚜量/全部观察材料的平均蚜量。

根据紫花苜蓿抗蚜性等级划分标准, 将苜蓿抗蚜性分为5个等级: 高抗(HR)(蚜量比值为0~0.25)、抗(R)(蚜量比值为0.26~0.50)、中抗(MR)(蚜量比值为0.51~0.75)、感(S)(蚜量比值为0.76~1.25)和高感(HS)(蚜量比值>1.25)。

1.3.2 苜蓿蚜对不同品种紫花苜蓿的取食选择性试验

采用叶碟法^[28], 取各品种苜蓿的倒三叶(六叶期)进行试验。用记号笔将直径24 cm的无色透明塑料圆盆底部平均分为15个等面积扇形, 于圆盘底部放一层滤纸并用蒸馏水保湿。用直径为1 cm的打孔器将苜蓿叶片剪切成面积一致的小圆片, 采用随机顺序将其置于距圆盆中心4~6 cm处, 各品种3片叶片。随后于圆盆中心位置接种30头饥饿处理6 h的无翅成蚜(1~2日龄), 用保鲜膜封住圆盆顶部, 并用昆虫针扎数个小孔以保持透气性(图1)。将圆盆置于气候箱, 分别待蚜虫取食选择2、3、6和12 h后统计各品种苜蓿叶片上的蚜虫数量, 计算苜蓿蚜对不同品种苜蓿的取食选择率, 取食选择率=(各品种苜蓿叶片上的蚜虫数/总蚜虫数)×100%, 以进一步验证不同品种苜蓿对苜蓿蚜的抗性差异。

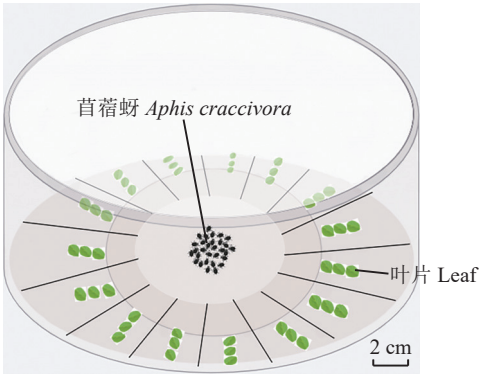


图 1 蚜虫对紫花苜蓿的取食选择试验
Figure 1 Feeding selection of aphids on alfalfa

1.3.3 不同品种紫花苜蓿营养物质含量测定

于苜蓿受蚜害 21 d 后剪取距离地面 2 cm 处的苜蓿植株，将其装入纸袋烘干并研磨成粉末，然后采用 SupNIP-2700 近红外光谱分析仪和 DUMATHERM N Pro 杜马森燃烧法定氮仪测定其营养物质含量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 24.0 和 Excel 2019 对数据进行统计分析，采用 Person 相关系数法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性评价

采用蚜量比值法对不同品种紫花苜蓿的抗蚜性进行评价，所得结果如表 2 所列。供试紫花苜蓿品种间蚜量比值范围在 0.49~1.75，其中‘阿尔冈金’的蚜量比值为 0.49，为抗性品种；‘WL363’‘WL525’‘WL343’‘西部之星’‘中苜 1 号’的蚜量比值分别为 0.68、0.71、0.72、0.73、0.75，为中抗品种；‘四季旺’‘维多利亚’‘WL440’‘WL656’‘前景’‘三得利’及‘WL354’的蚜量比值分别为 0.77、0.81、0.84、0.90、0.98、0.99、1.00，为感虫品种；‘WL358’和‘雷霆’两个品种分别为 1.41 和 1.75，为高感品种。

2.2 不同品种紫花苜蓿上苜蓿蚜的种群数量

苜蓿蚜取食不同品种紫花苜蓿 7、14 及 21 d 后其种群数量变化如表 3 所列。苜蓿蚜种群数量均随受害时间增长不断增加，抗性较弱的苜蓿植株上蚜虫种群的增长相对较快，而抗性较强的植株上蚜虫种群增长较慢。不同苜蓿品种间苜蓿蚜种群数量变化明显差异，其中‘雷霆’苜蓿蚜种群数量在不同受害时间均较高（分别约为 60、130 和 254 头），在受害

表 2 紫花苜蓿品种抗蚜性评价等级
Table 2 Levels of aphid resistance among different alfalfa varieties

品种 Variety	蚜量比值 Aphid number ratio	抗性级别 Degree of resistance
阿尔冈金 Algomquin	0.49	抗 Resistant
WL363	0.68	中抗 Moderately resistant
WL525	0.71	中抗 Moderately resistant
WL343	0.72	中抗 Moderately resistant
西部之星 Xibuzhixing	0.73	中抗 Moderately resistant
中苜1号 Zhongmu 1	0.75	中抗 Moderately resistant
四季旺 Siriver	0.77	感虫 Sensitive
维多利亚 Victoria	0.81	感虫 Sensitive
WL440	0.84	感虫 Sensitive
WL656	0.90	感虫 Sensitive
前景 Qianjing	0.98	感虫 Sensitive
三得利 Sanditi	0.99	感虫 Sensitive
WL354	1.00	感虫 Sensitive
WL358	1.41	高感 Highly sensitive
雷霆 Leiting	1.75	高感 Highly sensitive

时间为 7 d 时，‘WL525’蚜虫数量最低（约 29 头），而在受害时间为 14 和 21 d 时，‘阿尔冈金’苜蓿蚜种群数量均是最低（分别约为 47 和 72 头）。在不同受害时间，抗性苜蓿品种‘阿尔冈金’与高感品种‘雷霆’间蚜虫种群数量变化存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.3 苜蓿蚜对不同品种紫花苜蓿的取食选择

苜蓿蚜对不同品种紫花苜蓿的取食选择存在差异（表 4）。在不同取食时间，各品种苜蓿间也存在差异。取食 2 h 时，除‘阿尔冈金’外，其余品种均有苜蓿蚜取食为害，其中表现对‘WL358’‘雷霆’‘WL525’‘WL354’‘三得利’存在较高的选择性，而对其余几个品种的选择率相对较低，取食率较低的为‘WL656’，取食率为 1.11%。取食 3 和 6 h，每个品种均有蚜虫

表 3 不同品种苜蓿上苜蓿蚜种群数量变化
Table 3 Changes in the population size of *Aphis craccivora* on different alfalfa varieties

品种 Variety	接种天数 Vaccination days			head
	7 d	14 d	21 d	
阿尔冈金 Algomquin	29.50 ± 1.89de	47.25 ± 8.88d	71.50 ± 4.65c	
WL363	34.60 ± 4.93de	49.40 ± 10.78d	98.00 ± 13.04c	
WL525	28.75 ± 3.45e	52.75 ± 9.91d	103.00 ± 33.53c	
WL343	34.43 ± 3.34de	59.14 ± 17.17d	104.86 ± 26.87c	
西部之星 Xibuzhixing	33.00 ± 4.32de	56.17 ± 19.90d	106.50 ± 25.37c	
中苜1号 Zhongmu 1	35.00 ± 7.47de	61.00 ± 16.55cd	109.00 ± 30.01c	
四季旺 Siriver	40.25 ± 2.87cde	57.00 ± 14.54d	111.50 ± 13.00c	
维多利亚 Victoria	45.17 ± 5.61abcde	67.83 ± 19.24bcd	116.83 ± 12.67c	
WL440	38.20 ± 8.40cde	80.80 ± 38.22bcd	121.20 ± 47.52c	
WL656	52.60 ± 7.64abcde	87.60 ± 24.88abcd	130.00 ± 22.66c	
前景 Qianjing	53.43 ± 8.68abcd	88.86 ± 23.38abcd	142.00 ± 39.16bc	
三得利 Sanditi	44.30 ± 3.56bcde	82.40 ± 17.65bcd	143.10 ± 35.45bc	
WL354	65.25 ± 16.06ab	104.00 ± 37.37abc	145.75 ± 29.15bc	
WL358	68.13 ± 9.01a	111.13 ± 38.78ab	204.75 ± 90.44ab	
雷霆 Leiting	59.62 ± 5.06abc	129.92 ± 57.16a	253.92 ± 96.26a	

同列不同小写字母表示不同品种间差异显著($P < 0.05$)。表4和表6同。
Different lowercase letters within the same column indicate significant differences among the different varieties at the 0.05 level. This is applicable for Table 4 and Table 6 as well.

选择取食, 其中取食率最低的均为‘阿尔冈金’, 取食率为 1.11%, 而取食率最高的均为‘雷霆’, 取食率分别为 12.78% 和 11.67%。取食 12 h 时, ‘阿尔冈金’品种没有蚜虫选择取食, ‘雷霆’依然是取食率最高的品种, 取食率为 12.22%。综上可知, 苜蓿蚜取食选择率较高的苜蓿品种为‘雷霆’‘WL358’‘三得利’‘WL525’‘WL354’‘前景’及‘WL440’, 取食选择率较低的为‘西部之星’‘WL343’‘维多利亚’‘WL656’‘四季旺’和‘阿尔冈金’。

2.4 不同品种紫花苜蓿的抗蚜性与蚜虫取食选择性的相关性

对各品种苜蓿的蚜量比值和取食选择性的相关性分析(表 5)表明, 不同品种苜蓿的蚜量比值和蚜虫取食选择性呈极显著正相关关系, 即苜蓿蚜对抗性品种的取食选择性较低, 而对感性品种的取食选择性相对较高。因而, 苜蓿蚜对不同品种苜蓿的取食偏向性可进一步验证苜蓿的抗蚜性。

2.5 不同品种紫花苜蓿的营养物质含量分析

不同品种紫花苜蓿的营养物质含量存在差异(表 6)。其中粗蛋白含量为 16.67~22.85 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘WL358’, 最低为‘三得利’。粗灰分含量为 3.56~6.17 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘WL354’, 最低为‘中苜 1 号’。中性洗涤纤维含量为 13.50~17.70 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘WL354’, 最低为‘WL343’。酸性洗涤纤维含量为 3.63~9.48 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘WL354’, 最低为‘中苜 1 号’。钙含量为 2.81~3.52 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘WL656’, 最低为‘雷霆’。脂肪含量为 1.91~2.09 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘WL525’, 最低为‘中苜 1 号’。木质素含量为 0.86~2.12 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘WL525’, 最低为‘中苜 1 号’。干物质含量为 0.17~0.25 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 含量最高为‘中苜 1 号’‘维多利亚’和‘四季旺’, 最低为‘三得利’。不同品种苜蓿的各营养指标间存在一定差异, 其中抗性品种‘阿尔冈金’及中抗品种‘WL363’‘WL525’‘WL343’的钙含量

表 4 苜蓿蚜对各品种紫花苜蓿的取食选择率
Table 4 Feeding selection rate of *Aphis craccivora* on different alfalfa varieties

品种 Variety	取食时间 Feeding time				%
	2 h	3 h	6 h	12 h	
阿尔冈金 Algomquin	0.00 ± 0.00h	1.11 ± 1.92e	1.11 ± 1.92g	0.00 ± 0.00h	
WL363	6.67 ± 2.98bcde	6.11 ± 2.51bcd	7.22 ± 1.36bcde	7.78 ± 2.72bcd	
WL525	8.33 ± 1.83ab	8.33 ± 1.83b	9.44 ± 1.36ab	9.58 ± 1.18b	
WL343	3.33 ± 0.00fg	2.50 ± 1.67de	3.33 ± 0.00fg	5.33 ± 1.83defg	
西部之星 Xibuzhixing	3.33 ± 0.00fg	3.33 ± 0.00cde	4.44 ± 1.92ef	4.67 ± 1.83fg	
中苜1号 Zhongmu 1	4.76 ± 1.78cdef	7.62 ± 3.17b	6.67 ± 2.72bcde	6.00 ± 2.11cdef	
四季旺 Siriver	3.33 ± 2.11fg	4.44 ± 1.72bcd	5.00 ± 1.83def	4.76 ± 1.78efg	
维多利亚 Victoria	4.17 ± 1.67ef	5.83 ± 1.67bcd	5.83 ± 1.67cdef	4.44 ± 1.72fg	
WL440	5.00 ± 1.92cdef	5.83 ± 3.19bcd	5.00 ± 1.92def	5.33 ± 2.98defg	
WL656	1.11 ± 1.92gh	0.83 ± 1.67e	5.56 ± 1.92cdef	2.67 ± 1.49g	
前景 Qianjing	4.44 ± 1.92def	6.67 ± 0.00bc	7.78 ± 1.92bcd	6.67 ± 3.33cdef	
三得利 Sanditi	7.41 ± 1.47bcd	8.15 ± 3.77b	8.15 ± 2.94bc	8.15 ± 2.42bc	
WL354	7.62 ± 2.52bc	6.19 ± 2.30bcd	6.67 ± 0.00bcde	5.24 ± 1.78defg	
WL358	11.11 ± 1.92a	6.67 ± 0.00bcde	6.67 ± 0.00bcde	7.33 ± 2.79bcde	
雷霆 Leiting	10.56 ± 2.51a	12.78 ± 3.28a	11.67 ± 1.83a	12.22 ± 1.72a	

表 5 紫花苜蓿蚜量比值与蚜虫取食选择性的相关性
Table 5 Correlations between the aphid number ratio and aphid feeding selectivity

不同参数 Different parameter	蚜量比值 Aphid number ratio	取食选择率 Feeding selection rate				
		2 h	3 h	6 h	12 h	
蚜量比值 Aphid number ratio	1.000					
	2 h	0.733**	1.000			
取食选择率 Feeding selection rate	3 h	0.670*	0.834**	1.000		
	6 h	0.678*	0.784**	0.894**	1.000	
	12 h	0.634*	0.810**	0.885**	0.931**	1.000

**、*分别表示在0.01和0.05水平上显著相关。表7同。
** and * indicate significant correlations at 0.01 and 0.05 levels, respectively. This is applicable for Table 7 as well.

与高感品种‘WL358’和‘雷霆’之间存在明显差异。

2.6 紫花苜蓿抗蚜性与营养物质的相关性分析

采用 Person 相关系数法对苜蓿抗蚜性与营养物质间的相关性进行分析 (表 7), 结果表明: 各苜蓿植株上蚜量比值与酸性洗涤纤维 ($r = 0.544$) 含量显著正相关 ($P < 0.05$), 而与钙 ($r = -0.653$) 和干物质 ($r = -0.674$) 含量极显著负相关 ($P < 0.01$), 即苜蓿抗蚜性

与酸性洗涤纤维含量呈负相关关系, 与钙含量及干物质含量呈正相关关系。

3 讨论与结论

3.1 不同品种紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性评价

在植物与害虫长期互作过程中, 植物为减少自身损失, 会改变自身特性来抵御害虫侵害, 形成一

表 6 不同品种紫花苜蓿的营养成分含量
Table 6 Nutrient contents of different alfalfa varieties

品种 Variety	粗蛋白 CP	粗灰分 ASH	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	钙 Ca	脂肪 Fat	木质素 Lignin	干物质 DM
mg·g ⁻¹								
阿尔冈金 Algomquin	19.49 ± 0.60ab	4.45 ± 1.15cde	16.97 ± 3.72ab	6.96 ± 3.27bc	3.17 ± 0.22bc	2.03 ± 0.13abc	1.45 ± 0.45cd	0.20 ± 0.03c
WL363	21.41 ± 3.99ab	3.88 ± 1.31ef	14.74 ± 1.81cde	5.44 ± 1.54def	3.11 ± 0.28cd	2.06 ± 0.08ab	1.73 ± 0.47bc	0.23 ± 0.02abc
WL525	19.01 ± 1.74ab	4.31 ± 1.79def	14.79 ± 1.67cde	6.29 ± 1.82bcde	3.15 ± 0.36bc	2.09 ± 0.08a	2.12 ± 0.62a	0.23 ± 0.02abc
WL343	19.66 ± 1.78ab	4.73 ± 1.81cd	13.50 ± 1.33e	4.15 ± 1.72gh	3.31 ± 0.25b	2.04 ± 0.10abc	1.01 ± 0.29e	0.21 ± 0.02bc
西部之星 Xibuzhixing	20.00 ± 0.27ab	4.81 ± 1.17cd	13.55 ± 1.80e	5.17 ± 1.57efg	3.16 ± 0.33bc	2.04 ± 0.05abc	1.88 ± 0.80ab	0.22 ± 0.03abc
中苜1号 Zhongmu 1	19.68 ± 2.57ab	3.56 ± 1.38f	14.33 ± 1.64de	3.63 ± 2.00h	3.17 ± 0.19bc	1.91 ± 0.07e	0.86 ± 0.47e	0.25 ± 0.02a
四季旺 Siriver	18.91 ± 2.22ab	5.83 ± 1.07ab	15.42 ± 1.93cd	7.04 ± 1.76bc	3.12 ± 0.31cd	1.99 ± 0.10cd	1.63 ± 0.24bcd	0.25 ± 0.02a
维多利亚 Victoria	19.95 ± 3.34ab	5.03 ± 1.19cd	15.85 ± 1.56bc	5.60 ± 1.53def	2.92 ± 0.24efg	1.95 ± 0.10de	1.06 ± 0.37e	0.25 ± 0.01a
WL440	18.03 ± 1.24b	4.82 ± 1.38cd	14.57 ± 2.38cde	6.10 ± 2.66cde	3.05 ± 0.34cde	1.96 ± 0.05de	1.87 ± 0.66ab	0.24 ± 0.02a
WL656	17.42 ± 2.03b	3.63 ± 1.43f	14.74 ± 1.13cde	4.48 ± 1.89fgh	3.52 ± 0.24a	1.95 ± 0.12de	0.88 ± 0.58e	0.24 ± 0.03a
前景 Qianjing	21.12 ± 3.29ab	4.98 ± 0.82cd	16.75 ± 1.51ab	7.45 ± 0.91b	2.94 ± 0.22efg	1.92 ± 0.10e	1.34 ± 0.41d	0.24 ± 0.02ab
三得利 Sanditi	16.67 ± 2.77b	4.57 ± 1.14cde	15.53 ± 1.32cd	6.48 ± 1.49bcd	3.05 ± 0.21cde	2.02 ± 0.12bc	1.68 ± 0.69bc	0.17 ± 0.07d
WL354	19.59 ± 1.27ab	6.17 ± 0.95a	17.70 ± 3.26a	9.48 ± 2.19a	2.98 ± 0.20def	1.92 ± 0.13e	1.63 ± 0.29bcd	0.24 ± 0.02a
WL358	22.85 ± 3.44a	5.18 ± 0.65bc	14.98 ± 1.36cd	6.39 ± 1.58bcde	2.88 ± 0.26fg	2.04 ± 0.09abc	1.75 ± 0.26bc	0.24 ± 0.02a
雷霆 Leiting	18.59 ± 1.86ab	5.24 ± 1.30bc	17.68 ± 2.69a	9.28 ± 2.02a	2.81 ± 0.19g	2.02 ± 0.13bc	1.70 ± 0.42bc	0.24 ± 0.02a

CP, crude protein; ASH, crude ash; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; Ca, calcium; DM, dry matter.

种自我防御机制,最终表现为抗虫性^[29]。通常不同植物或同一植物的不同品种在面对同一害虫时,表现出的抗性水平往往差异较大,抗虫品种在降低或避免虫害方面表现出明显优势^[30-32]。因而,选择抗虫性较强的品种种植,可有效降低农业生产中害虫造成的损失,提高作物产量与品质。

本研究采用蚜量比值法对不同品种紫花苜蓿的抗蚜性进行评价,结果表明:不同品种紫花苜蓿对苜蓿蚜的抗性不同,初步明确‘阿尔冈金’为抗性品种,‘中苜1号’‘西部之星’‘WL525’‘WL343’及‘WL363’为中抗品种,而其余品种均表现为感性,其中‘WL358’和‘雷霆’为高感品种。本研究结果与努尔比叶·吐尔洪等^[33]、潘凡^[34]、武德功等^[35]研究表明‘WL343’‘WL363’‘阿尔冈金’和‘中苜1号’为抗性品种的研究结果一致,但与王森山等^[36]对‘中苜1号’鉴定为感虫品种、‘三得利’为高抗品种及刘兆良等^[37]

对‘WL525’鉴定为感虫品种、‘三得利’为中抗品种的评价结果有所差异,这可能是环境条件、供试虫源等差异所致。

同时,本研究还发现,不同抗性苜蓿上的苜蓿蚜种群动态变化存在明显差异,抗性弱的苜蓿上苜蓿蚜种群增长迅速,而抗性强的苜蓿上苜蓿蚜种群增长缓慢。这种差异可能是不同抗性苜蓿被取食后,产生了不同的生理生化变化,从而激发了不同程度的防御反应。例如抗性苜蓿‘HA-3’在遭受豌豆蚜危害时,单宁含量均高于低抗和感性品种^[38]。而单宁作为一种防御物质,可能抑制蚜虫的生长发育,从而有效控制蚜虫种群数量^[39]。此外,姚路等^[20]的研究发现,豌豆蚜在取食抗虫苜蓿‘甘农5号’后,体内氨基酸含量显著低于取食感虫苜蓿‘猎人河’的含量。由于昆虫无法合成生长过程所有必需氨基酸,必须依赖食物供应,植物韧皮部氨基酸成为蚜

表 7 紫花苜蓿蚜量比值与其营养物质的相关性
Table 7 Correlations between the aphid number ratio and alfalfa nutrients

指标Parameter	蚜量比值 Aphid number ratio	粗蛋白 CP	粗灰分 ASH	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	钙 Ca	脂肪 Fat	木质素 Lignin	干物质 DM
蚜量比值 Aphid number ratio	1.000								
粗蛋白 CP	-0.382	1.000							
粗灰分 ASH	0.366	-0.020	1.000						
中性洗涤纤维 NDF	0.462	0.040	0.578*	1.000					
酸性洗涤纤维 ADF	0.544*	-0.068	0.792**	0.889**	1.000				
钙 Ca	-0.653**	0.020	-0.502	-0.576*	-0.636*	1.000			
脂肪 Fat	-0.055	0.113	-0.100	-0.408	-0.156	0.208	1.000		
木质 Lignin	0.180	-0.084	0.422	0.186	0.541*	-0.372	0.507	1.000	
干物质 DM	-0.674**	0.186	-0.528*	-0.661**	-0.720**	0.573*	0.145	-0.317	1.000

CP, crude protein; ASH, crude ash; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; Ca, calcium; DM, dry matter; ** and * indicate significant correlations at the 0.01 and 0.05 levels, respectively.

虫生长过程的关键限制因素^[40]。因而，感虫苜蓿由于缺乏有效防御，其氨基酸含量满足蚜虫需求，促进了蚜虫的繁殖；而抗虫苜蓿则通过限制氨基酸供应，减缓了蚜虫种群的增长。

此外，苜蓿蚜对不同品种苜蓿的取食偏好存在显著差异。本研究发现，苜蓿蚜更倾向于选择感性品种如‘雷霆’和‘WL358’取食，而对于具有抗性的‘阿尔冈金’‘西部之星’和‘WL343’品种则表现出较低的取食偏好。这一现象与徐丹丹等^[41]对瓜蚜(*Aphis gossypii*)取食甜瓜(*Cucumis melo*)叶片选择性的研究结果相吻合。有研究表明，寄主植物的叶片颜色、气孔密度、茸毛密度等物理特性，萜类化合物、生物碱、黄酮类、酚类等挥发物成分及可溶性蛋白、游离氨基酸、无机盐和可溶性糖等营养物质均会通过引诱和驱避作用影响害虫的取食选择性^[42-44]。Radonjić等^[45]证实苜蓿气味能够影响豌豆蚜、苜蓿蚜和苜蓿斑蚜对紫花苜蓿的取食选择行为。因此，苜蓿的物理特性和体内化学物质是决定苜蓿蚜取食选择的关键因素。深入研究苜蓿抗蚜机制，不仅能增强对苜蓿与蚜虫相互作用的认识，而且对于筛选和培育抗性苜蓿品种具有重要指导意义。

3.2 不同品种紫花苜蓿抗蚜性与营养物质的相关性

营养物质是寄主植物和植食性昆虫生命活动中不可或缺的能源物质。昆虫通过取食寄主植物来获

取能量，以满足其生长发育，而植物被取食后会调整自身营养物质含量以适应逆境^[46]。本研究发现，不同苜蓿品种的营养物质含量虽有差异，但不同抗性营养差异并不显著。苜蓿抗蚜性与其酸性洗涤纤维含量呈负相关关系，而与钙和干物质含量呈正相关关系。这表明苜蓿的营养物质含量对其抗蚜性有一定的影响。

钙是植物生长发育中的关键营养元素，参与植物细胞的生理代谢过程，在植物系统防御中扮演着信号因子的角色^[47-48]。研究表明钙能激发植物次生代谢物(如酯氧合酶、过氧化物酶和多酚氧化酶等)积累以增强植物的防御能力，减少害虫为害^[49-52]。进一步研究发现，钙含量还能通过影响害虫在寄主植物上的生长发育和繁殖来提高植物抗虫性。Zeng等^[53]的研究表明，钙能降低西花蓟马(*Frankliniella occidentalis*)在芸豆(*Phaseolus vulgaris*)植株上的存活率、寿命及繁殖率，从而减少其对芸豆的损害。因此，钙在激发植物抗性以及提升植物应对虫害能力方面发挥着至关重要的作用。

植物的酸性洗涤纤维主要由纤维素、木质素等成分构成，其中纤维素在植物细胞壁中扮演着重要的角色，不仅可维持植物结构，还影响其硬度和生长^[54-56]。尽管苜蓿为高纤维植物，但本研究供试苜蓿为幼苗，苜蓿纤维含量可能暂时不足以支撑蚜虫刺吸式口器有效摄食其幼嫩叶茎，影响蚜虫取食，因此在本研究中酸性洗涤纤维含量高的苜蓿抗蚜

性反而较弱。苜蓿的干物质含量可反映其含水量大小,干物质含量越高其含水量越低。而苜蓿蚜偏好吸食含水量高的幼嫩部位,因此含水量高的苜蓿可能更受蚜虫青睐。综上所述,苜蓿在遭受蚜虫取食后,会通过调节体内营养成分含量来应对蚜虫的威胁,显示出植物对逆境的适应性和防御机制。

本研究在温室内严格控制条件下进行,有效排除了外部因素对结果的干扰。通过蚜量比值法较为准确地筛选出‘阿尔冈金’为抗蚜性的苜蓿品种。本

研究为评估苜蓿的抗蚜性提供了一定的理论依据,但需注意,目前的结果仅反映了室内条件下紫花苜蓿对蚜虫的抗性。为了确保研究结果的准确性和适用性,未来需通过大田试验来综合评估苜蓿的抗蚜性。此外,本研究专注于不同品种紫花苜蓿的抗蚜性差异及其与营养物质的相关性,但尚未深入探讨其抗性机制。因此,进一步的研究将聚焦于揭示苜蓿抗蚜性的深层机制,以促进抗蚜苜蓿品种的培育和应用。

参考文献 References:

- [1] LI X H, WEI Y L, ACHARYA A, HANSEN J L, CRAWFORD J L, VIANDS D R, MICHAUD R, CLAESSENS A, BRUMMER E C. Genomic prediction of biomass yield in two selection cycles of a tetraploid alfalfa breeding population. *Plant Genome*, 2015, 8: 1-10.
- [2] 孙启忠, 玉柱, 徐春城. 我国苜蓿亟待振兴. *草业科学*, 2012, 29(2): 314-319.
SUN Q Z, Yuzhu, XU C C. Urgency of further developing alfalfa industry in China. *Pratacultural Science*, 2012, 29(2): 314-319.
- [3] 马金星, 王铁梅, 卢欣石, 王照兰. 20 份新疆紫花苜蓿种质的形态特征与农艺性状研究. *中国草地学报*, 2018, 40(3): 20-26.
MA J X, WANG T M, LU X S, WANG Z L. Study on the morphological and agronomical characteristics of 20 alfalfa (*Medicago sativa* L.) germplasm resources of Xinjiang. *Chinese Journal of Grassland*, 2018, 40(3): 20-26.
- [4] 王亨, 刘思琦, 白高娃, 李懿洲, 叶鹏, 张晓英. 紫花苜蓿种子生产技术要点. *内蒙古林业*, 2024(5): 35-37.
WANG T, LIU S Q, BAI G W, LI Y Z, YE P, ZHANG X Y. Key points of seed production technology for alfalfa. *Inner Mongolia Forestry*, 2024(5): 35-37.
- [5] 晁遵淇, 周雪飞, 张祥, 贺奇, 吴琼, 慕嘉宁, 穆楠, 王新谱, 吕昭智. 苜蓿田灌溉模式对蚜虫及其天敌种群的影响. *农业科学研究*, 2022, 43(3): 50-54.
CHAO Z Q, ZHOU X F, ZHANG X, HE Q, WU Q, MU J N, MU N, WANG X P, LYU Z Z. Effects of irrigation patterns on populations of aphids and natural enemies in alfalfa fields. *Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 43(3): 50-54.
- [6] 张静怡, 韩海斌, 尹强, 徐林波, 张玉, 王联德, 林克剑. 紫花苜蓿连作障碍研究进展. *中国草地学报*, 2024, 46(6): 135-143.
ZHANG J Y, HAN H B, YIN Q, XU L B, ZHANG Y, WANG L D, LIN K J. Research progress on continuous cropping obstacles of alfalfa. *Chinese Journal of Grassland*, 2024, 46(6): 135-143.
- [7] DESCAMPS R L, SANCHEZ-CHOPA C, BIZET-TUROVSKY J. Resistance in alfalfa to *Aphis craccivora* Koch. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2015, 75(4): 451-456.
- [8] 刘爱萍, 高书晶, 韩海斌, 林克剑, 张礼生. 北方草地主要害虫绿色防控技术. 北京: 科学出版社, 2021: 72-73.
LIU A P, GAO S J, HAN H B, LIN K J, ZHANG L S. Green prevention and control techniques for major pests in northern grasslands. Beijing: Science Press, 2021: 72-73.
- [9] 孙程鹏, 刘爱萍, 李钢铁. 不同寄主植物对苜蓿蚜生长发育的影响. *中国植保导刊*, 2017, 37(12): 12-15, 20.
SUN C P, LIU A P, LI G T. Effects of different host plants on the developments of *Aphis craccivora* (Koch). *China Plant Protection*, 2017, 37(12): 12-15, 20.
- [10] 张海波, 周福才, 顾爱祥, 张芳, 郭亚红, 韩杜斌. 种植茼蒿对蚕豆苜蓿蚜的田间控制作用. *生物安全学报*, 2019, 28(4): 254-258.
ZHANG H B, ZHOU F C, GU A X, ZHANG F, WU Y H, HAN D B. The control effect of planting *Chrysanthemum coronarium* around broad bean on *Aphis craccivora*. *Journal of Biosafety*, 2019, 28(4): 254-258.
- [11] 贺春贵, 曹致中, 吴劲锋, 王森山. 我国苜蓿害虫研究的历史、成就及展望. *草业科学*, 2005(4): 75-78.
HE C G, CAO Z Z, WU J F, WANG S S. History, achievement and prospect of alfalfa insect pest research in China. *Pratacultural*

- [Science](#), 2005(4): 75-78.
- [12] GIORDANENGO P, BRUNISSEN L, RUSTERUCCI C, VINCENT C, VAN BEL A, DINANT S, CIROUSSE C, FAUCHER M, BONNEMAIN J L. Compatible plant-aphid interactions: How aphids manipulate plant responses. *Comptes Rendus-Biologies*, 2010, 333(6/7): 516-523.
- [13] HE C G, ZHANG X G. Field evaluation of lucerne (*Medicago sativa* L.) for resistance to aphids in northern China. [Australian Journal of Agricultural Research](#), 2006, 57(4): 471-475.
- [14] TU X B, FAN Y L, MCNEILL M, ZHANG Z H. Including predator presence in a refined model for assessing resistance of alfalfa cultivar to aphids. [Journal of Integrative Agriculture](#), 2018, 17(2): 397-405.
- [15] 张育霞, 张廷伟, 史历, 袁月, 刘长仲. 外源褪黑素对苜蓿蚜生长发育和繁殖的影响. *生态学杂志*, 2023, 42(5): 1150-1154.
- ZHANG Y X, ZHANG T W, SHI L, YUAN Y, LIU C Z. Effects of exogenous melatonin on the growth and reproduction of *Aphis craccivora*. *Chinese Journal of Ecology*, 2023, 42(5): 1150-1154.
- [16] 马亚玲, 刘长仲. 蚜虫的生态学特性及其防治. [草业科学](#), 2014, 31(3): 519-525.
- MA Y L, LIU C Z. Review on ecological characteristics and control of aphids. [Pratacultural Science](#), 2014, 31(3): 519-525.
- [17] 张丽阳, 刘承兰. 昆虫抗药性机制及抗性治理研究进展. *环境昆虫学报*, 2016, 38(3): 640-647.
- ZHANG L Y, LIU C L. Research progress on mechanism of insect resistance to insecticides and its management. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38(3): 640-647.
- [18] NATWICK E T, LOPEZ M L. Alfalfa worm pest insecticide efficacy trial. [Arthropod Management Tests](#), 2017, 42(1): 1-2.
- [19] 宋丽丽, 丛林, 张燕如, 赵婷婷, 金树磊, 王雁群, 韩杰, 李资聪. 豆科种实害虫生物防治研究进展. [中国农学通报](#), 2021, 37(10): 113-120.
- SONG L L, CONG L, ZHANG Y R, ZHAO T T, JIN S L, WANG Y Q, HAN J, LI Z C. Advances in biological control of leguminous insect pests. [Chinese Agricultural Science Bulletin](#), 2021, 37(10): 113-120.
- [20] 姚路, 王森山, 马瑞, 魏江文, 王文军, 宋丽雯, 刘磊, 蒋琼. 抗感紫花苜蓿品种对豌豆蚜游离氨基酸的影响. [草业科学](#), 2024, 41(7): 1702-1709.
- YAO L, WANG S S, MA R, WEI J W, WANG W J, SONG L W, LIU L, JIANG Q. Effect of resistant and susceptible alfalfa varieties on free aminoacids of *Acyrtosiphon pisum*. *Prataculmal Science*, 2024, 41(7): 1702-1709.
- [21] 周雪飞, 张祥, 何云川, 吴琼, 郭建超, 王新谱, 吕昭智. 不同苜蓿品种对苜蓿斑蚜的抗性. [草业科学](#), 2020, 37(8): 1620-1626.
- ZHOU X F, ZHANG X, HE Y C, WU Q, GUO J C, WANG X P, LYU Z Z. An evaluation on resistance of spotted alfalfa aphid to different *Medicago sativa* cultivars. [Pratacultural Science](#), 2020, 37(8): 1620-1626.
- [22] 于良斌, 徐林波, 王予彤, 王丹阳, 韩海斌, 康爱国, 庞红岩. 基于 EPG 技术分析苜蓿品种对苜蓿蚜的抗性. *植物保护学报*, 2021, 48(4): 814-821.
- YU L B, XU L B, WANG Y T, WANG D Y, HAN H B, KANG A G, PANG H Y. Analysis of the resistance of alfalfa varieties to groundnut aphid *Aphis craccivora* using electrical penetration graph technique. *Journal of Plant Protection*, 2021, 48(4): 814-821.
- [23] YU L B, CUI J, WANG D Y, ZHANG Q Y, XU L B. Comparison of *Acyrtosiphon pisum* probing behaviors on different alfalfa cultivars. [Journal of Asia-Pacific Entomology](#), 2023, 26(1): 102034.
- [24] 魏江文, 刘磊, 王森山, 陈丽霞, 蒋明君, 王庚浩, 徐亨昊. “抗”“感”苜蓿品种对豌豆蚜适应性及体内酶活的影响. *草地学报*, 2022, 30(5): 1171-1177.
- WEI J W, LIU L, WANG S S, CHEN L X, JIANG M J, WANG G H, XU H H. Effects of resistant and susceptible alfalfa varieties on adaptability and enzyme activity of pea aphid. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(5): 1171-1177.
- [25] YU L B, LIN K J, XU L B, WANG H, GUI J, ZHANG Q Y, WANG Y P. Effect of different alfalfa cultivars on growth and development of the spotted alfalfa aphid, *Therioaphis trifolii* (Monell). [Entomological Research](#), 2022, 52(3): 118-126.
- [26] SILVA A D A, VARANDA E M, RASSINI J B. Weather, cultivar and density-dependent processes influence on aphid in alfalfa. *Bragantia*, 2007, 66: 285-290.
- [27] 慕嘉宁. 苜蓿品种抗蚜性与天敌联合控制效应评估. 银川: 宁夏大学硕士研究生论文, 2021.
- MU J N. Evaluation of the joint control effect of aphid resistance and natural enemies in alfalfa varieties. Master Thesis. Yinchuan:

- Ningxia University, 2021.
- [28] 汤清波, 王琛柱. 一种测定鳞翅目幼虫取食选择的方法: 叶碟法及其改进和注意事项. 昆虫知识, 2007(6): 912-915.
TANG Q B, WANG C Z. Leaf disc test used in caterpillar feeding preference study. Chinese Bulletin of Entomology, 2007(6): 912-915.
- [29] POWELL G, TOSH C R, HARDIE J. Host plant selection by aphids: Behavioral, evolutionary, and applied perspectives. *Annual Review of Entomology*, 2006, 51: 309-330.
- [30] CHEN M F, WANG X J, GE H, MIAO Y, WANG K H, GU C Y. Plant resistance to pest and research progress of its genetic improvement. *Plant Diseases and Pests*, 2015, 6(1): 7-12.
- [31] 王小珊, 杨成霖, 王森山, 胡桂馨. 牛角花齿蓟马为害后苜蓿叶酚类物质和木质素含量的变化. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1688-1692.
WANG X S, YANG C L, WANG S S, HU G X. Changes of phenols and lignin contents in alfalfa leaf damaged by *Odontothrips loti*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(6): 1688-1692.
- [32] 贾彦霞, 庞洪翠, 姜灵, 王新谱. 辣椒叶片中单宁和总酚含量与其对西花蓟马抗性的关系. 植物保护学报, 2018, 45(5): 1183-1184.
JIA Y X, PANG H C, JIANG L, WANG X P. Relationships between the tannin and total phenolic contents in leaves of different pepper varieties and the resistance to *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Journal of Plant Protection, 2018, 45(5): 1183-1184.
- [33] 努尔比叶·吐尔洪, 梁维维, 薛丽, 布汉千姆·帕尔哈提, 赵莉, 涂雄兵. 32 个苜蓿品种对蚜虫的田间自然抗性比较. 新疆农业大学学报, 2023, 46(1): 30-35.
Nuerbiye·Tuerhong, LIANG W W, XUE L, Buhanqianmu·Paerhati, ZHAO L, TU X B. Comparison of field resistance of 32 alfalfa varieties to aphid. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2023, 46(1): 30-35.
- [34] 潘凡, 杜桂林, 赵莉, 王卓谦, 乔茗瑛, 李金星, 綦家欣, 涂雄兵, 张泽华. 不同方法对 14 个苜蓿品种抗蚜评价分析. 植物保护, 2021, 47(1): 153-159.
PAN F, DU G L, ZHAO L, WANG Z Q, QIAO M Y, LI J X, QI J X, TU X B, ZHANG Z H. Effects of different methods on resistance evaluation of 14 alfalfa cultivars to aphid. Plant Protection, 2021, 47(1): 153-159.
- [35] 武德功, 贺春贵, 吴廷娟, 唐守嵘, 贾彪. 不同紫花苜蓿品种对蚜虫抗性的比较试验. 草原与草坪, 2007(4): 54-57.
WU G D, HE C G, WU T J, TANG S R, JIA B. Resistance comparison of eleven alfalfa varieties to aphid. *Grassland and Turf*, 2007(4): 54-57.
- [36] 王森山, 朱亚灵, 宋丽雯, 达丽婷. 不同苜蓿品种对豌豆蚜田间抗性评价. 草地学报, 2014, 22(5): 1139-1142.
WANG S S, ZHU Y L, SONG L W, DA L T. Field evaluation of resistance of different alfalfa varieties to *Acyrtosiphon pisum* Harris. Acta Agrestia Sinica, 2014, 22(5): 1139-1142.
- [37] 刘兆良, 臧爱梅, 袁忠林, 孙娟, 姜洪, 罗兰. 青岛地区不同紫花苜蓿品种对蚜虫的田间抗性评价. 安徽农业科学, 2017, 45(30): 140-142.
LIU Z L, ZANG A M, YUAN Z L, SUN J, JIANG H, LUO L. Evaluation of resistance of *Medicago sativa* varieties to aphids in Qingdao. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(30): 140-142.
- [38] 王明春. 豌豆蚜危害对四种苜蓿品种 (系) 可溶性蛋白和单宁含量变化的影响. 现代农业, 2020(8): 24-25.
WANG M C. The effect of *Acyrtosiphon pisum* Harris damage on changes in soluble protein and tannin content in four alfalfa varieties (lines). Modern Agriculture, 2020(8): 24-25.
- [39] 路慧, 王利娜, 王治刚. 植物抗虫防御研究概述. 农业灾害研究, 2024, 14(1): 1-3.
LU H, WANG L N, WANG Z G. Overview of plant insect defense research. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2024, 14(1): 1-3.
- [40] DOUGLAS A E. The nutritional physiology of aphids. *Advances in Insect Physiology*, 2003, 31(2): 73-140.
- [41] 徐丹丹, 张友军, 王怀松, 王少丽. 瓜蚜对不同甜瓜品种的取食选择性. 中国蔬菜, 2018(7): 60-63.
XU D D, ZHANG Y J, WANG H S, WANG S L. Feeding preference of *Aphis gossypii* glover on different melon varieties. China

- Vegetables, 2018(7): 60-63.
- [42] 祝愿, 王梦馨, 崔林, 沈子尧, 周建松, 韩宝瑜. 基于 EPG 技术分析杭菊两主栽品种对三种菊蚜抗性及其相关抗性物质. 植物保护学报, 2019, 46(2): 425-433.
- ZHU Y, WANG M X, CUI L, SHEN Z Y, ZHOU J S, HAN B Y. Analysis of resistance of two elite *Chrysanthemum morifolium* cultivars to three species of aphids using EPG techniques and their potential resistant substances. Journal of Plant Protection, 2019, 46(2): 425-433.
- [43] WINK M. Plant secondary metabolites modulate insect behavior-steps toward addiction. *Frontiers In Physiology*, 2018, 9: 364.
- [44] KORADA R R. Plant volatiles and insect herbivore interaction: An overview. Journal of Applied Zoological Researches, 2017, 28(2): 122-137.
- [45] RADONJIĆ A, JOVIČIĆ I, LALIĆEVIĆ I, PETROVIĆ-OBRADOVIĆ O. Factors affecting host plant selection in alfalfa aphids. *Bulletin of Entomological Research*, 2023, 113(4): 439-448.
- [46] 杨金睿, 肖关丽. 植物抗虫生理研究进展. *中国农学通报*, 2021, 37(6): 130-136.
- YANG J R, XIAO G L. The insect-resistance physiology of plants: A review. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(6): 130-136.
- [47] VINCENT T R, AVRAMOVA M, CANHAM J, HIGGINS P, BILKEY N, MUGFORD S T, SANDERS D. Interplay of plasma membrane and vacuolar ion channels, together with BAK1, elicits rapid cytosolic calcium elevations in *Arabidopsis* during aphid feeding. *The Plant Cell*, 2017, 29(6): 1460-1479.
- [48] XU G Y, MOEDER W, YOSHIOKA K, SHAN L B. A tale of many families: Calcium channels in plant immunity. *The Plant Cell*, 2022, 34(5): 1551-1567.
- [49] WANG J, SONG J, WU X B, DENG Q Q, ZHU Z Y, REN M J, YE M, ZENG R S. Seed priming with calcium chloride enhances wheat resistance against wheat aphid *Schizaphis graminum* Rondani. *Pest Management Science*, 2021, 77(10): 4709-4718.
- [50] CHEN H, HU Y, LIANG X X, XIE J K, XU H L, LUO Q F, YANG Z Q. Roles of hormones, calcium and PmWRKY31 in the defense of *Pinus massoniana* Lamb. against *Dendrolimus punctatus* Walker. *Forestry Research*, 2021(1): 1-14.
- [51] 吴小保, 邓倩倩, 宋佳, 王骏, 叶茂. 不同浓度氯化钙浸种处理对水稻防御酶活性和抗褐飞虱的影响. 昆虫学报, 2022, 65(1): 84-93.
- WU X B, DENG Q Q, SONG J, WANG J, YE M. Effects of seed soaking with different concentrations of calcium chloride on rice defense enzyme activities and resistance to *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Acta Entomologica Sinica*, 2022, 65(1): 84-93.
- [52] 邱馨月, 郅军锐, 张涛, 曾广. 钙离子和茉莉酸灌根对菜豆叶片防御酶活性和西花蓟马取食偏好性的影响. 植物保护, 2023, 49(2): 192-200.
- QIU X Y, ZHI J R, ZHANG T, ZENG G. Effects of root irrigation with calcium ions and jasmonic acid on the activities of defense enzymes in kidney bean leaves and the feeding preference of *Frankliniella occidentalis*. *Plant Protection*, 2023, 49(2): 192-200.
- [53] ZENG G, ZHI J R, YE M, XIE W, ZHANG T, LI D L, LIU L, WU X B, CAO Y. Life table and preference choice of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) for kidney bean plants treated by exogenous calcium. *Insects*, 2021, 12(9): 838.
- [54] 张凤娟, 陈凤新, 徐东生, 霍志梅. 植物组织结构与抗虫性的关系 (综述). *河北科技师范学院学报*, 2006(2): 71-76.
- ZHANG F J, CHEN F X, XU D S, HUO Z M. The relationship between plant tissue structure and insect resistance (review). *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*, 2006(2): 71-76.
- [55] MCFARLANE H E, DÖRING A, PERSSON S. The cell biology of cellulose synthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 2014, 65: 69-94.
- [56] TROVATTI E. The future of bacterial cellulose and other microbial polysaccharides. *Journal of Renewable Materials*, 2013(1): 28-41.

(责任编辑 魏晓燕)