黑龙江常种芸豆品种抗蚜性评价

祝宇轩[1]，邱洋洋[1]，李乐馨[1]，赵 虹[1]，冯 鹏[2]，金永玲[1*]，王丽艳[1]

(1. 黑龙江八一农垦大学，黑龙江省作物-有害生物互作生物学及生态防控重点实验室，国家杂粮工程技术研究中心，大庆 163319；2. 北大荒集团黑龙江八五五农场有限公司，密山 158300)

摘要 为了明确黑龙江常规种植芸豆品种抗蚜性，本文利用室内盆栽接虫法，调查芸豆不同品种上豆蚜发生数量，并分析芸豆形态指标与抗蚜性的相关性。结果表明，接豆蚜10 d后，不同品种芸豆上豆蚜虫口密度在26.0～178.7头/株之间，蚜量比值在0.27～1.89之间。蚜量比值低于0.50的高抗品种有'海军白''塔吉克斯坦''柱红'，蚜量比值高于1.70的高感品种为'柱紫'。芸豆不同品种叶片面积、叶色、叶片厚度、叶片含水量、叶毛着生方式和数量均存在一定差异，其中蚜量比值与芸豆叶片正、反面叶毛数均呈极显著负相关，与叶片厚度呈现显著正相关，可以将这3个指标作为评价芸豆抗蚜性的形态指标。本研究为豆科作物抗蚜性的形态学评价提供了方法参考，明确了抗蚜芸豆新品种的选育方向，可为生产实践推荐高抗蚜性芸豆品种以减轻豆蚜造成的产量损失，降低农药使用量，加快抗蚜种质资源的创新与推广。

关键词 芸豆； 豆蚜； 形态指标； 虫口密度； 蚜量比值； 抗蚜性

中图分类号： S 433.1 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2025047

Evaluation of aphid resistance of commonly planted kidney bean varieties in Heilongjiang

ZHU Yuxuan[1]， QIU Yangyang[1]， LI Lexin[1]， ZHAO Hong[1]， FENG Peng[2]， JIN Yongling[1*]， WANG Liyan[1]

(1. *Heilongjiang Bayi Agricultural University*, *Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Crop-Pest Interaction Biology and Ecological Control*, *National Coarse Cereals Engineering Research Center*, *Daqing* 163319, *China*; 2. *Beidahuang Group Heilongjiang* 855 *Farm Co.*, *Ltd.*, *Mishan* 158300, *China*)

Abstract To evaluate the resistance of commonly cultivated kidney bean varieties in Heilongjiang province to bean aphids, this study employed an indoor pot-based infestation method to assess bean aphid population development on different varieties and analyzed the correlation between morphological characteristics of kidney beans and their aphids resistance. The results showed that 10 days after inoculation with bean aphids, the aphid population density on different kidney bean varieties ranged from 26.0 to 178.7 aphids per plant, and the aphid number ratio ranged from 0.27 to 1.89. The highly aphid-resistant varieties exhibiting an aphid number ratio of less than 0.50 were 'Navy White' 'Tajikistan' and 'Zhuhong', while the highly aphid-susceptible variety with an aphid number ratio exceeding 1.70 was 'Zhuzi'. There were some differences in leaf area, leaf color, leaf thickness, leaf water content, leaf hair growth status and number among different kidney bean varieties. Among them, the aphid number ratio was extremely significantly negatively correlated with the number of adaxial and abaxial leaf hairs, and significantly positively correlated with leaf thickness. These three indicators can be used as morphological indicators to measure the aphid resistance of kidney beans. This study provides a methodological reference for the morphological evaluation of bean aphid resistance in leguminous crops clarifies, the breeding of new aphid-resistant kidney bean varieties and can facilitate the screening and popularization of highly aphid-resistant kidney bean varieties in production practice to mitigate yield losses induced by bean aphids, reduce pesticide application rates, accelerate the innovation and extension of aphid-resistant germplasm resources.

Key words kidney bean; bean aphid; morphological indicator; density of insect population; aphid number ratio; aphid resistance

收稿日期： 2025-01-23 **修订日期：** 2025-08-10
基金项目： 国家重点研发计划(2020YFD1001402)；黑龙江八一农垦大学科研启动计划(XDB201701)
* 通信作者 E-mail:gygjyl08@163.com

芸豆 *Phaseolus vulgaris* L. 又名四季豆、普通菜豆,是豆科 Fabaceae 菜豆属 *Phaseolus* 植物,在我国种植历史悠久[1],是黑龙江省主要的杂粮作物之一,也是全球重要的蔬菜和经济作物[2]。然而,随着种植规模的扩大,芸豆的病虫害问题也日益严重。豆蚜 *Aphis craccivora* Koch. 是豆科作物上的一种世界性重要害虫[3],其生活周期短,繁殖速度快,适应性强[4],以成虫和若虫群集在叶片、花序上取食汁液,导致叶片枯黄、生长受阻,同时还会传播病毒病,对芸豆的生长和产量造成了严重威胁,最高减产 61%[5]。目前,豆蚜的防治主要使用化学杀虫剂,例如氯化烟酰类、拟除虫菊酯类等,导致豆蚜抗药性严重、防治效果下降、作物产量和品质下降等问题[6-7]。利用植物的抗虫性来防治害虫是最积极、有效、经济、绿色的防治措施[8-9]。从防御来源的角度划分,植物抗性又可分为组成抗性和在遭受取食者侵害后才表现出来的诱导抗性[10]。组成抗性是指植物受到逆境胁迫之前就已经存在或者经过长期发育而产生的抗性。昆虫的生长、发育和繁殖等行为都会受寄主组成抗性的影响。因此,组成抗性对于防御植食性昆虫为害始终发挥着至关重要的作用[11]。普遍认为,植物在受到植食性昆虫为害时,特有的形态结构、特殊的化学成分以及挥发性气体等在预防或减轻伤害中起非常关键的作用[12-14]。叶片表面的茸毛对于害虫发生数量有一定的影响,叶片茸毛数量越多,越不利于植食性昆虫的取食和产卵。水分不仅是植物生存的基本条件,也是植食性昆虫生理代谢过程中的必要条件[15]。有研究发现,黄斑星天牛 *Anoplophora nobilis* 发生量多的树种叶片含水率相对更高,而对黄斑星天牛的抗性更强的毛白杨 *Populus tomentosa*、银白杨 *P. alba*、河北杨 *Populus*×*hopeiensis* 等树种,其叶片含水率显著低于黄斑星天牛成虫嗜食种[16]。为了了解芸豆不同品种与豆蚜相互作用的关系,本研究选取 13 个芸豆品种,测定了叶片含水量、叶形、叶色等 10 个形态指标以及豆蚜种群数量;运用统计学方法分析芸豆形态指标与豆蚜发生数量之间的相关性,揭示芸豆形态对豆蚜发生的影响机制,筛选抗蚜芸豆品种,进而推动芸豆产业的可持续发展。

1　材料与方法

1.1　供试芸豆

选取黑龙江省常规种植的 13 个芸豆品种,分别为'柱红''柱紫''中白 9''奶花''一棵树紫花''日本红''龙江奶圆''海军白''塔吉克斯坦''龙芸 21''龙芸 19''喜鹊花'和'日本白'。以上品种均由黑龙江八一农垦大学芸豆研究室提供。于 2023 年 8 月在室内盆栽(花盆直径 30 cm,高度 25 cm)所有芸豆品种,每个品种种植 6 盆,每盆 5 株。

1.2　供试虫源

豆蚜均采自黑龙江八一农垦大学安达实验基地芸豆实验田,将田间采集到的豆蚜在实验室内盆栽芸豆上连续培养用于试验。实验室培养条件为,恒温 25℃,光周期 L//D=16 h//8 h。

1.3　芸豆抗蚜性接虫鉴定试验

在芸豆苗分枝初期(出苗 25 d),接豆蚜 3 头/株,共 15 头/盆,每个品种接虫 3 盆。接虫 10 d 后调查豆蚜数量,根据蚜量比值判定各品种的抗蚜性程度。蚜量比值计算公式[17]如下:

蚜量比值=某材料蚜量/全部调查材料的平均蚜量。

1.4　芸豆抗蚜形态指标测定方法

1.1 中种植的芸豆盆栽每个品种使用 3 盆进行该部分试验。在芸豆分枝期(出苗 35 d 后),分别采集不同品种上部健康的三出复叶,每个品种进行 3 次重复,参考刘吉利等[18]的方法进行下列指标测定。

叶片厚度测定:分别采集芸豆不同品种叶片各 10 片,使用直径为 1.5 cm 的打孔器,在每片叶片的中心主脉靠近基部的两侧取样。将所有取得的圆形叶片样本称重[天平:梅特勒·托利多仪器(上海)有限公司,AL204,e=0.001 g],并计算平均重量。以叶片的总重量与其覆盖面积的比率表示叶片的厚度。

叶面积测定:使用 Image J(V1.8.0.112)图像处理软件测定叶片面积,每个品种采集 3 次叶片图像(各品种叶片与刻度尺同框进行图像采集,便于后续比例尺设置),该软件的长度单位为 Pixels(像素),使用时需要重新设置长度单位,将图片上传后按步骤设置比例尺,自动框选叶片范围,软件根据设置的比例尺与框选的叶片范围自动计算叶面积数值,具体方法参照 Image J 一本通。

叶色:将植株叶片的颜色按由浅到深,依次分为黄绿色、绿色、深绿色,观察芸豆不同品种叶片颜色。

叶毛着生状态:按照叶毛与叶片平面的夹角角度分为直立、斜立、平覆,观察不同品种芸豆叶毛着生状态。

叶毛曲直:按照叶毛弯曲程度分为直、曲,观察

芸豆不同品种的叶毛曲直状态。

叶毛长度测定:用带刻度的45倍放大镜测量叶片的正反面茸毛长度,在每个品种叶片基部、中部和顶端各取1根叶毛,共3根。

叶片叶毛数量测定:用直径为1.5 cm的打孔器,在每片叶片的中心主叶脉靠近基部的位置取样。取下2个平整且状态良好的圆形叶片样本,若样本表面存在茸毛或棱角,需先将其压平,再在显微镜下观察叶片的正反面,统计叶毛的数量。一片叶片上的2个圆片测定计为1个重复,重复3次。

叶片含水率测定:用直径为1.5 cm的打孔器,在每片叶片的中心主叶脉的基部两侧分别取样,每个品种获得20个叶片样本。使用天平称量每个样品自然环境下风干前后的总重量,计算单个叶片的平均含水量。

1.5 数据处理

使用Excel进行数据统计。使用单因素方差分析(One-Way ANOVA)对不同形态指标进行描述性统计分析,采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性分析。利用Pearson相关系数进行相关性分析,其中,叶色、叶毛曲直、叶毛着生指标转换为数字后分析,黄绿色、绿色、深绿色分别转换为数值0、1、2;平覆与斜立分别转换为数值1与2;叶毛直、曲转换为数值1、2。所有统计计算采用SPSS 26。

2 结果与分析

2.1 不同品种芸豆抗蚜性

根据蚜量比值等距划分抗蚜级别(表1)。接虫鉴定结果显示,不同芸豆品种的抗蚜性间存在显著差异(表2)。接虫10 d后,‘柱紫’上虫口密度最大,为178.7头/株,显著高于除‘中白9’外的其他品种;虫口密度最小的为‘柱红’26.0头/株,‘柱红’虫口密度与‘海军白’‘塔吉克斯坦’无显著差异,显著低于其余品种。蚜量比值最高的是‘柱紫’1.89,最低的是‘柱红’0.27。蚜量比值小于0.5的高抗品种有‘海军白’‘塔吉克斯坦’‘柱红’,蚜量比值大于1.7的高感品种仅有‘柱紫’‘中白9’和‘日本红’为感虫品种。其余7个品种均为中间型。

表1 芸豆抗蚜性级别划分标准

Table 1 Grading standard of *Phaseolus vulgaris* resistance to *Aphis craccivora*

抗蚜性级别 Resistance level	蚜量比值 Aphid number ratio
高抗 Highly resistant	>0.2,≤0.5
抗 Resistant	>0.5,≤0.8
中抗 Moderately resistant	>0.8,≤1.1
中感 Moderately susceptible	>1.1,≤1.4
感 Susceptible	>1.4,≤1.7
高感 Highly susceptible	>1.7

表2 芸豆不同品种蚜量比值1)

Table 2 Aphid number ratio of different kidney bean varieties

品种 Variety	虫口密度/(头/株) Population density	蚜量比值 Aphid number ratio	抗性级别 Resistance level
柱紫 Zhuzi	(178.7±10.8)a	1.89	高感
中白9 Zhongbai 9	(160.3±7.3)ab	1.69	感
日本红 Japanese Red	(145.0±3.7)b	1.53	感
一棵树紫花 Yikeshu Zihua	(123.3±4.0)c	1.30	中感
龙芸19 Longyun 19	(110.7±8.0)c	1.16	中感
奶花 Naihua	(85.3±3.2)d	0.90	中抗
龙芸21 Longyun 21	(83.0±3.3)d	0.87	中抗
喜鹊花 Xiquehua	(82.7±4.1)d	0.87	中抗
日本白 Japanese White	(82.7±4.1)d	0.87	中抗
龙江奶圆 Longjiang Naiyuan	(82.0±4.3)d	0.86	中抗
海军白 Navy White	(43.3±1.8)e	0.45	高抗
塔吉克斯坦 Tajikistan	(28.0±1.5)e	0.29	高抗
柱红 Zhuhong	(26.0±1.7)e	0.27	高抗

1) 同列数据后不同小写字母表示经Duncan's新复极差法检验差异显著($P<0.001$)。
Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences by Duncan's new multiple range test ($P<0.001$).

2.2 芸豆不同品种叶片面积、含水量和厚度比较

如表3所示:在13个芸豆品种中,叶片面积最大的‘日本白’为41.5 cm^2,与‘柱紫’‘中白9’‘日本红’‘一棵树紫花’‘龙芸19’‘龙芸21’‘塔吉克斯坦’存在极显著差异;叶片面积最小的‘日本红’为12.5 cm^2,其与‘一棵树紫花’‘龙芸19’和‘塔吉克斯坦’差异不显著,与其余品种均差异显著。

叶片厚度最大的是‘龙芸19’,为10.0 mg/cm^2;

叶片厚度最小的为‘奶花’，为 6.1 mg/cm²。‘龙芸19’在所有品种中叶片厚度最大，极显著高于‘喜鹊花’‘日本白’‘海军白’‘奶花’‘塔吉克斯坦’和‘柱红’而与‘柱紫’‘中白’‘日本红’‘一棵树紫花’‘龙芸 21’‘龙江奶白’差异不显著。叶片含水率最高的品种是‘喜鹊花’为 91.4%，与‘海军白’无显著差异，与其余各品种具有极显著差异；‘奶花’叶片含水率最低，为 84.1%。

表 3　芸豆不同品种的叶片面积、叶片厚度和叶片含水率1)

Table 3　Leaf area, leaf thickness and leaf water content of different kidney bean varieties

品种 Variety	叶片面积/cm² Leaf area	叶片厚度/(mg/cm²) Leaf thickness	叶片含水率/% Leaf water content
柱紫　Zhuzi	(23.2±4.8)b	(8.2±0.5)ab	(88.00±2.4)bc
中白 9　Zhongbai 9	(21.5±3.1)bc	(8.4±0.5)ab	(87.5±1.0)bc
日本红　Japanese Red	(12.5±1.2)d	(9.9±0.3)a	(86.0±2.0)cd
一棵树紫花　Yikeshu Zihua	(15.7±1.5)cd	(7.9±0.5)ab	(84.9±2.0)cd
龙芸 19　Longyun 19	(16.9±4.9)bcd	(10.0±1.2)a	(87.3±1.0)bcd
奶花　Naihua	(38.1±3.9)a	(6.1±0.3)b	(84.1±1.3)d
龙芸 21　Longyun 21	(20.7±1.1)bc	(7.6±0.2)ab	(87.6±1.3)bc
喜鹊花　Xiquehua	(35.1±2.2)a	(7.3±0.6)b	(91.4±1.2)a
日本白　Japanese White	(41.5±3.6)a	(6.5±1.3)b	(84.7±0.9)cd
龙江奶圆　Longjiang Naiyuan	(38.2±5.5)a	(8.2±0.8)ab	(85.1±2.6)cd
海军白　Navy White	(37.9±1.3)a	(6.5±0.4)b	(90.4±1.8)ab
塔吉克斯坦　Tajikistan	(19.2±3.1)bcd	(6.9±0.8)b	(85.3±1.3 cd
柱红　Zhuhong	(40.5±2.6)a	(6.7±0.1)b	(85.8±1.5)cd

1) 同列数据后不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著。叶片面积($P<0.001$)，叶片厚度($P<0.001$)，叶片含水率($P<0.001$)。
Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences by Duncan's new multiple range test. Leaf area ($P<0.001$), leaf thickness ($P<0.001$), and leaf water content ($P<0.001$).

2.3　芸豆不同品种叶片叶毛数量和长度

不同芸豆品种叶片茸毛数量间存在显著差异(表 4)。正面叶毛数量从 2.3～40.0 根/1.8 cm²，以‘柱紫’和‘中白 9’最低，显著低于其余各品种；‘柱红’‘日本白’‘塔吉克斯坦’和‘喜鹊花’叶毛数量最多，显著高于其他品种。反面叶毛数量从 1.3～18.7 根/1.8 cm²，其中‘塔吉克斯坦’‘日本白’和‘柱红’数量最多，显著高于其他品种。正面叶毛长度最短的品种为‘柱紫’0.5 mm，‘龙芸 19’与‘奶花’正面叶毛长度最长，为 1.7 mm，与‘喜鹊花’之间无显著性差异，但长度极显著高于其余各品种。各品种中‘龙芸 19’‘奶花’‘喜鹊花’反面叶毛长度最长，均为 1.4 mm，

表 4　芸豆不同品种叶片的叶毛数量和叶毛长度1)

Table 4　The number and length of leaf hairs of different kidney bean varieties

品种 Variety	正面叶毛数量/根 Number of adaxial leaf hairs	反面叶毛数量/根 Number of abaxial leaf hairs	正面叶毛长度/mm Adaxial leaf hair length	反面叶毛长度/mm Abaxial leaf hair length
柱紫　Zhuzi	(2.3±0.6)e	(2.3±0.3)de	(0.5±0.01)e	(0.5±0.03)e
中白 9　Zhongbai 9	(5.3±1.5)e	(1.3±0.3)e	(0.8±0.03)cd	(0.7±0.02)d
日本红　Japanese Red	(6.3±1.5)bc	(1.3±0.3)e	(0.7±0.02)d	(0.5±0.02)e
一棵树紫花　Yikeshu Zihua	(15.7±3.5)d	(1.7±0.3)e	(1.2±0.03)b	(0.9±0.02)b
龙芸 19　Longyun 19	(16.3±2.1)d	(3.3±0.3)cde	(1.7±0.02)a	(1.4±0.03)a
奶花　Naihua	(13.0±2.7)d	(8.3±0.9)b	(1.7±0.01)a	(1.4±0.03)a
龙芸 21　Longyun 21	(22.0±2.0)c	(5.3±0.3)bcd	(1.1±0.07)b	(0.8±0.02)c
喜鹊花　Xiquehua	(35.7±3.2)a	(6.3±0.9)bc	(1.6±0.04)a	(1.4±0.02)a
日本白　Japanese White	(39.7±2.5)a	(17.3±2.0)a	(1.2±0.06)b	(0.9±0.02)b
龙江奶圆　Longjiang Naiyuan	(24.3±4.2)bc	(3.7±0.9)cde	(0.6±0.02)e	(0.5±0.02)e
海军白　Navy White	(28.7±2.5)b	(4.3±0.3)cde	(0.9±0.03)c	(0.7±0.02)cd
塔吉克斯坦　Tajikistan	(36.3±3.8)a	(18.7±1.8)a	(0.9±0.03)cd	(0.7±0.03)cd
柱红　Zhuhong	(40.0±3.0)a	(15.8±1.2)a	(1.2±0.03)b	(0.9±0.02)b

1) 同列数据后不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著。正面叶毛数量($P<0.001$)，反面叶毛数量($P<0.001$)，正面叶毛长度($P<0.001$)，反面叶毛长度($P<0.001$)。
Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences by Duncan's new multiple range test. Number of adaxial leaf hairs ($P<0.001$), number of abaxial leaf hairs ($P<0.001$), adaxial leaf hair length ($P<0.001$), and abaxial leaf hair length ($P<0.001$).

‘日本红’‘柱紫’‘龙江奶圆’的反面叶毛长度最短，为 0.5 mm。

2.4 芸豆不同品种叶色和叶毛状态比较

由表 5 和表 2 可知：根据蚜量比值进行抗性分级，感虫品种中‘柱紫’‘中白 9’与‘一棵树紫花’叶色均为黄绿色，叶毛均为平覆状态；抗虫品种‘海军白’‘塔吉克斯坦’‘柱红’叶色均为绿色，叶毛均为斜立状态；其余的感虫品种叶色为绿色或深绿色，其中‘奶花’与‘日本红’叶毛为斜立状态，其他品种叶毛均为平覆状态。

2.5 芸豆不同品种叶片形态特征与蚜量比值的相关性分析

由表 6 可知，蚜量比值与正面叶毛数量、反面叶毛数量均呈极显著负相关，与叶片厚度呈显著正相关，与其他形态指标未表现出明显相关性。

表 5 芸豆不同品种的叶色和叶毛生长状态

Table 5 Leaf color and leaf hair growth status of different kidney bean varieties

品种 Variety	叶色 Leaf color	叶毛着生状态 Leaf hair growth status	正面叶毛曲直 Adaxial leaf hair curvature
柱紫 Zhuzi	黄绿色	平覆	直
中白 9 Zhongbai 9	黄绿色	平覆	直
日本红 Japanese Red	绿色	斜立	曲
一棵树紫花 Yikeshu Zihua	黄绿色	平覆	直
龙芸 19 Longyun 19	深绿色	平覆	曲
奶花 Naihua	绿色	斜立	直
龙芸 21 Longyun 21	绿色	平覆	直
喜鹊花 Xiquehua	深绿色	斜立	直
日本白 Japanese White	绿色	平覆	曲
龙江奶圆 Longjiang Naiyuan	深绿色	平覆	曲
海军白 Navy White	绿色	斜立	曲
塔吉克斯坦 Tajikistan	绿色	斜立	直
柱红 Zhuhong	绿色	斜立	曲

表 6 芸豆叶片形态特征与蚜量比值的相关性分析1)

Table 6 Correlation analysis between leaf morphological characteristics of kidney bean and aphid number ratio

指标 Index	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11
L1	1.000	−0.531	0.636*	0.034	−0.869**	−0.713**	−0.265	−0.215	−0.463	−0.528	−0.265
L2	−0.531	1.000	−0.719**	0.042	0.589*	0.443	0.184	0.221	0.325	0.248	0.311
L3	0.636*	−0.719**	1.000	0.058	−0.599*	−0.633*	−0.175	−0.172	0.095	−0.369	0.201
L4	0.034	0.042	0.058	1.000	0.056	−0.335	0.074	0.103	0.187	0.172	−0.096
L5	−0.869**	0.589*	−0.599*	0.056	1.000	0.787**	0.272	0.235	0.468	0.338	0.282
L6	−0.713**	0.443	−0.633*	−0.335	0.787**	1.000	0.178	0.154	0.151	0.341	0.110
L7	−0.265	0.184	−0.175	0.074	0.272	0.178	1.000	0.981**	0.417	0.203	−0.066
L8	−0.215	0.221	−0.172	0.103	0.235	0.154	0.981**	1.000	0.442	0.186	−0.127
L9	−0.463	0.325	0.095	0.187	0.468	0.151	0.417	0.442	1.000	0.227	0.454
L10	−0.528	0.248	−0.369	0.172	0.338	0.341	0.203	0.186	0.227	1.000	0.071
L11	−0.265	0.311	0.201	−0.096	0.282	0.11	−0.066	−0.127	0.454	0.071	1.000

1) L1、L2、L3、L4、L5、L6、L7、L8、L9、L10、L11 分别表示蚜量比值、叶片面积、叶片厚度、叶片含水量、正面叶毛数量、反面叶毛数量、正面叶毛长度、反面叶毛长度、叶色、叶毛着生状态、叶毛曲直；利用 Pearson 相关系数进行相关性分析，“*、**”表示在 0.05、0.01 水平差异显著。
L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10 and L11 represent aphid number ratio, leaf area, leaf thickness, leaf water content, the number of adaxial leaf hairs, the number of abaxial leaf hairs, adaxial leaf hair length, abaxial leaf hair length, leaf color, leaf hair growth status, and leaf hair curvature, respectively. Correlation analysis was conducted using the Pearson correlation coefficient. “*” and “**” indicate significant differences at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3 结论与讨论

在本试验中，高抗品种对蚜虫种群增长具有稳定的抑制作用，蚜量比值的高低与虫口密度的大小呈显著一致性，明确了‘海军白’‘塔吉克斯坦’‘柱红’为高抗品种，‘柱紫’为高感品种，虫口密度差异最高达 6.9 倍，为后续深入探究芸豆抗蚜机制提供了理想的对比材料。同时观察到蚜量比值与正面叶毛数量和反面叶毛数量均呈极显著负相关，也就是说豆蚜发生数量越多的芸豆品种，叶片叶毛数量越少，说明植物体表面茸毛数量对植食性昆虫的寄主选择有很大影响。蚜量比值与正反面叶毛的长度未表现出显著的相关性。这与棉花叶片上的茸毛长度对绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 的取食和活动没有显

著影响的结果一致[19]。徐庆丰等[20]发现大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* 幼虫在荚毛弯曲的大豆品种上的活动受限，本试验中高抗品种'柱红'和'海军白'的叶毛均呈弯曲状态，'塔吉克斯坦'的叶毛为直立状态，有关它们二者的相关性还需要进一步试验验证。

有研究表明，叶片厚度也与植株害虫发生数量有关[21]，曹春玲等[22]的研究表明植物寄主叶片的厚度与昆虫选择趋性成正比，也就是说植株叶片越厚，虫口数量越大，本试验得出豆蚜数量与植物叶片厚度呈现显著的正相关现象，与前人结果一致。另外，叶片含水率与抗虫性相关性较大[23]，卞敏[24]研究得出天牛成虫嗜食树种叶片的含水率较高，杨雪彦等[16]则发现抗性强的毛白杨等叶片含水率低，可见对于大部分昆虫来说，叶片的低含水量一直是昆虫进化的主要障碍，本研究结果蚜虫发生数量与叶片含水量呈正相关但并不显著。李昌盛等[25]研究表明叶面积与抗蚜性极显著相关，卢柏云[26]则指出植株的叶宽与叶面积都与麦长管蚜 *Sitobion miscanthi* 蚜量比值无显著相关性。本试验中豆蚜的发生量与叶片面积也未表现出明显相关性。本试验中芸豆叶色与蚜量比值也无显著相关性，与刘新伦[27]的结论相一致。

芸豆品种不同，其形态特征和豆蚜发生数量均不同。芸豆的形态特征与豆蚜的发生数量呈现出了一定的联系，其中蚜量比值与正面叶毛数量、反面叶毛数量呈极显著负相关，与叶片厚度呈显著正相关。通过种植高抗芸豆品种可以有效降低豆蚜发生风险，是绿色防控的基本保障。本研究也为抗蚜芸豆新品种的选育提供了方向。

参考文献

[1] 张晓艳，王坤，王述民. 普通菜豆种质资源遗传多样性研究进展[J]. 植物遗传资源学报，2007，8(3)：359－365.

[2] 王强，张亚芝，魏淑红，等. 黑龙江省芸豆生产现状与产业化发展[J]. 中国种业，2008(4)：11－12.

[3] 梁洪宇，张海燕，金永玲，等. 绿豆抗感虫品种对豆蚜种群生命参数的影响[J]. 中国植保导刊，2019，39(10)：5－9.

[4] 李春燕，季洁，陈恩，等. 不同温度下豆蚜在闽南饲用(印度)豇豆上的发育及试验种群生命表[J]. 草业科学，2021，38(2)：371－377.

[5] HARTY E M，BELTAGY A A. Injury levels and yield loss model for the cowpea aphid *Aphis craccivora* Koch on *Vicia faba* L. [J]. Alexandria University Bulletin of Agricultural Sciences，2006，34(1)：1－12.

[6] 刘昌燕，焦春海，仲建锋，等. 食用豆虫害研究进展[J]. 湖北农业科学，2014，53(24)：5908－5912.

[7] 康敬涛，高希武. 豆蚜对杀虫剂的敏感性及药剂对豆蚜羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶抑制作用的研究[J]. 中国植保导刊，2009，29(9)：5－7.

[8] 周晶，孙谭淇，祝宇轩，等. 豆蚜胁迫下水杨酸处理对绿豆植株次生代谢物含量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报，2022，34(6)：29－35.

[9] 朱恩林. 以绿色植保经济观推进有害生物综合治理[J]. 植物保护，2025，51(5)：45－54.

[10] 娄永根，程家安. 植物的诱导抗虫性[J]. 昆虫学报，1997(3)：320－331.

[11] 阎凤鸣. 化学生态学[M]. 北京：科学出版社，2003：3－4.

[12] 严善春，胡隐月. 落叶松挥发性物质与球果花蝇危害的关系[J]. 林业科学，1999，35(3)：58－62.

[13] 钦俊德. 昆虫与植物的关系：论昆虫与植物的相互作用及其演化[M]. 北京：科学出版社，1987：38－59.

[14] 殷郑艳，赵如娜，何应琴，等. 茶网蝽对茶树品种的取食选择性、适应性及其与叶片生化物质含量的关系[J]. 植物保护，2024，50(6)：221－229.

[15] JEFFREE C E. The cuticle，epicuticular waxes and trichomes of plants，with reference to their structure，functions and evolution [M]. JUNIPER B E，SOUTHWOOD T R. Insects and the plant surface. London：Edward Arnold Publishers Ltd.，1986：23－64.

[16] 杨雪彦，燕新华，周晓彬. 不同杨树营养物对黄斑星天牛抗性的研究[J]. 西北林学院学报，1992，7(3)：26－33.

[17] 张洪英. 苜蓿品种对豌豆蚜抗性及其机理研究[D]. 银川：宁夏大学，2015.

[18] 刘吉利，王丽艳，金永玲，等. 红小豆苗期叶片形态特征与红叶螨螨口密度的相关性分析[J]. 中国植保导刊，2021，41(4)：22－28.

[19] 林凤敏，吴敌，陆宴辉，等. 棉花叶片茸毛性状与绿盲蝽抗性的关系[J]. 植物保护学报，2010，37(2)：165－171.

[20] 徐庆丰，郭守桂，韩玉梅，等. 大豆品种抗食心虫的初步研究[J]. 植物保护学报，1965，4(2)：111－118.

[21] 陈泉亨. 不同黄瓜品种对棕榈蓟马抗性机理初探[D]. 南宁：广西大学，2016.

[22] 曹春玲，刘永强，吴胜勇，等. 烟蓟马对不同葡萄品种的选择性及与主要影响因素的相关性[J]. 植物保护，2015，41(1)：68－73.

[23] 陈汉章，方晓敏，陈德兰，等. 桉树叶片特征与桉树枝瘿姬小蜂的抗性关系[J]. 山东农业大学学报(自然科学版)，2015，46(2)：198－203.

[24] 卞敏. 光肩星天牛发生规律及测报的研究[J]. 山东林业科技，1986(3)：24－27.

[25] 李昌盛，尚勋武，师桂英，等. 北方春小麦抗蚜水平与形态特征的相关性研究[J]. 甘肃农业大学学报，2007(6)：80－83.

[26] 卢柏云. 陕南地区小麦农家种麦长管蚜抗性调查与兰麦抗蚜相关基因分析[D]. 咸阳：西北农林科技大学，2016.

[27] 刘新伦. 小麦基因资源抗麦长管蚜特性研究[D]. 咸阳：西北农林科技大学，2006.

（责任编辑：田　喆）