环境昆虫学报 2022，44（1）：229－235
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 01. 26



陈亚丰，王甦，赵久然，任雯，石子，邸宁，金道超. 叶片物理性状对玉米杂交种京科968防御二斑叶螨危害的影响[J]. 环境昆虫学报，2022，44（1）：229－235.

叶片物理性状对玉米杂交种京科968防御二斑叶螨危害的影响

陈亚丰[1,2]，王　甦[2]，赵久然[3]，任　雯[3]，石　子[3]，邸　宁[2*]，金道超[*]
（1. 贵州大学昆虫研究所，贵州山地农业病虫害重点实验室，农业农村部贵阳作物有害生物科学观测实验站，贵阳 550025；
2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所，北京 100097；
3. 北京市农林科学院玉米研究中心，玉米DNA指纹及分子育种北京市重点实验室，北京 100097；贵州大学昆虫研究所）

摘要： 叶螨（Acari：Tetranychidae）危害是造成玉米减产的重要原因之一，其中二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 是我国玉米 *Zea mays* L. 生产中的主要害螨之一。抗螨玉米品种的选育是有效防治叶螨的途径之一。本研究以我国广泛种植的玉米杂交种京科968及其母本京724、父本京92，先玉335及其母本PH6WC、父本PH4CV为研究对象，比较了田间条件下二斑叶螨在不同玉米材料上的种群动态，探究了玉米叶片厚度和表皮毛密度与二斑叶螨抗性的相关性，旨在明确玉米叶片物理性状与其抗螨特性之间的关系。结果表明，京科968上的二斑叶螨种群密度显著低于先玉335。以日均二斑叶螨发生量为指标，对所试品种（系）的二斑叶螨抗性进行排序，其结果为：京92 > 京科968 > PH4CV > 京724 > 先玉335 > PH6WC。日均二斑叶螨发生量与叶片表皮毛密度成显著正相关，与叶片厚度成显著负相关。此外，回归分析表明，表皮毛密度在玉米抗二斑叶螨中发挥更为重要的作用。从二斑叶螨防治角度考虑，生产上种植京科968能够较好的控制二斑叶螨为害。本研究揭示了玉米叶片物理性状在其抗螨性中的重要作用，为玉米抗螨品种的选育提供了一定的理论依据。

关键词： 京科968；先玉335；二斑叶螨；种群动态；叶片厚度；表皮毛密度
中图分类号： Q965；S89　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2022）01－0229－07

Effects of leaf physical characters of maize hybrid Jingke 968 on the resistance to *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)

CHEN Ya-Feng[1,2], WANG Su[2], ZHAO Jiu-Ran[3], REN Wen[3], SHI Zi[3], DI Ning[2*], JIN Dao-Chao[1*]
(1. Institute of Entomology, Guizhou University, Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Guiyang, Ministry of Agricultural and Rural Affairs, P. R. China, Guiyang 550025, China; 2. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 3. Maize Research Center, Beijing Academy of Agriculture & Forestry Sciences, Beijing Key Laboratory of Maize DNA Fingerprinting and Molecular Breeding, Beijing 100097, China)

Abstract: Damage by spider mites (Acari: Tetranychidae) is one of the important causes of maize yield loss. *Tetranychus urticae* Koch is one of the main pest mites in maize production in China. The breeding of

基金项目： 北京市农林科学院创新能力建设专项（KJCX20200420）；国家重点研发计划项目（2018YFD02004）；北京市农林科学院青年基金项目（QNJJ201917）；北京市优秀人才计划项目（2018000020060G181）；国家自然科学基金青年项目（31901945）
作者简介： 陈亚丰，男，1995年生，北京人，在读硕士研究生，E－mail：gs. chenyf18@gzu. edu. cn
[*] **通讯作者** Author for correspondence：邸宁，博士，助理研究员，研究方向为昆虫生态学，E－mail：dining@ipepbaafs. cn；金道超，博士，教授，研究方向为昆虫生态学，E－mail：daochaojin@126. com
收稿日期 Received：2020－10－19；**接受日期** Accepted：2021－03－01

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Zea mays L. varieties resistant to spider mites is one of the effective methods to reduce the loss. To clarify the relationship between the spider mite resistance of maize and leaf physical characters (leaf thickness and trichome density), the maize hybrid Jingke 968, which is a variety widely cultivated in China, and its female parent Jing 724 and male parent Jing 92, as well as the hybrid Xianyu 335 and its female parent PH6WC and male parent PH4CV were used as materials to determine the roles of these characters in against *T. urticae*. Firstly, the population dynamics of *T. urticae* on different maize materials were compared under field conditions. Then the correlations of the resistance to *T. urticae* in the maize with different leaf thicknesses and trichome densities were further studied. The results showed that *T. urticae* population density of Jingke 968 was significantly lower than that of Xianyu 335. The resistance of the six maize materials to *T. urticae* was as follows: Jing 92 > Jingke 968 > PH4CV > Jing 724 > Xianyu 335 > PH6WC according to its daily average amount. We also found that the daily average amount of *T. urticae* was positively correlated with trichome density, and was negatively correlated with leaf thickness. In addition, regression analyses showed that trichome density played an important role in maize resistance to *T. urticae*. From the view of managing *T. urticae*, Jingke 968 was proposed as a better variety to reduce *T. urticae* damage in the production. This study revealed that leaf physical characteristics of maize played an important role in spider mite resistance and provided a theoretical basis for the breeding of spider mite resistance of maize varieties.

Key words: Jingke 968; Xianyu 335; *Tetranychus urticae*; population dynamics; leaf thickness; trichome density

玉米 *Zea mays* L. 是全世界种植范围最广、用途最多和总产量最高的农作物（赵久然等，2016）。在实际生产中，玉米极易受到病虫害威胁从而造成大面积减产（Deutsch *et al.*，2018；王振营和王晓鸣，2019）。叶螨（Acari：Tetranychidae）个体小、繁殖快，是对玉米生产造成不良影响的重要原因之一，在玉米生长至叶蜡发生期和灌浆期时为害尤为严重（洪晓月等，2013；魏学林和张强，2016）。目前生产中防治叶螨主要采用化学防治的方法，尽管效果显著，但长期过量使用化学杀虫剂产生了一系列的负面影响，如“高抗性、高残留以及再猖獗”的“3R”问题（洪晓月等，2013）。应用天敌如捕食螨可以有效防治叶螨，但由于天敌使用成本较高、防治周期较长，目前在大田作物上的应用还很难满足实际生产的需求（徐学农等，2013）。表达 Cry3Bb1 的 *Bt*（*Bacillus thuringiensis*，苏云金芽孢杆菌）玉米虽可有效抵御玉米螟 *Pyrausta nubilalis*（Hubern）和黏虫 *Mythimna separata*（Walker）等害虫，却无法对叶螨产生抗性（Li and Romeis，2010）。因此，通过育种工程等途径增加玉米对叶螨的自然抗性是一种可持续、经济有效和环境友好的防控方法，也是应对叶螨为害最直接有效的方法之一（艾哈迈德等，2015）。

植物对害虫的抗性包括组成抗性和诱导抗性（秦秋菊和高希武，2005）。其中，叶片物理性状作为组成抗性的一部分，对作物的抗虫性有一定影响（谢辉等，2012）。现代育种技术显著提高了玉米的产量和基因的多样性，但同时也会导致其它性状发生改变（Duvick，2005；Jiao *et al.*，2014）。例如，人工选择普遍导致作物叶片厚度下降和叶片表皮毛减少，这些变化会对害虫对作物的适合度产生影响（Chen *et al.*，2015）。一般来说，叶片表皮毛密度高、厚度大的作物品种抗螨性高（武予清等，1997；刘奕清等，1999；Hasnain *et al.*，2009）。Yuan *et al.*（2021）研究表明，在番茄 *Lycopersicon esculentum* 中超量表达 *SlARF4* 基因后番茄叶片表皮毛密度增加，番茄对叶螨的抗性随之增强。但也有研究表明，叶片表皮毛密度较低的棉花 *Gossypium* spp. 品种抗螨性较强（张金发等，1993）。然而，针对玉米叶片表皮毛密度及叶片厚度对叶螨影响的相关报道较少（胡文俐，2016）。因此，研究评价玉米杂交种及其亲本对叶螨的抗性，明确抗性与其叶片物理性状之间的关系，不但有助于了解玉米对叶螨的抗性机制，也可为选育抗螨玉米品种提供思路与理论方向。

二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 隶属于蜱螨亚纲 Acari 绒螨目 Trombidiformes 叶螨科

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Tetranychidae，为我国玉米生产中的主要害螨（张云会，2016；王振营和王晓鸣，2019），其为害可造成玉米叶片褪绿、失水，直至植株萎蔫干枯。京科 968 是由北京市农林科学院玉米研究中心以京 724 为母本、京 92 为父本选育的玉米品种（刘燊等，2019）。该品种自 2011 年通过国家审定以来累计推广种植面积超过 1 亿亩，成为我国 3 个种植面积最大的玉米主导品种之一（Luo *et al.*，2018）。生产中发现京科 968 在田间表现出较强的抗螨性，在其他玉米品种被叶螨为害严重产量受损的情况下，京科 968 仍然能够保持相对健康的长势。本研究以京科 968 和先玉 335 以及其亲本为研究对象，通过人工接种二斑叶螨后调查其田间种群动态来比较上述材料的抗螨性，分析玉米叶片厚度、表皮毛密度与叶螨种群密度相关性，以期为玉米抗螨品种选育及玉米叶螨可持续防控提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

二斑叶螨于 2019 年 8 月采集自北京市农林科学院玉米试验田，分离鉴定后将 200 头雌成螨在温室内（27° C ± 1° C，40% ± 5%）用盆栽芸豆 *Phaseolus vulgaris* L. 进行饲养扩繁。扩繁过程中每隔 10 d 将带螨的叶片从芸豆苗剪下，转移到新的芸豆上，以保证叶螨食物充足。

供试玉米种京科 968（JK968）及其母本京 724（J724）和父本京 92（J92），先玉 335（XY335）及其母本 PH6WC 和父本 PH4CV 均由北京市农林科学院玉米研究中心提供。

1.2　二斑叶螨田间种群动态

6 种受试材料于 2020 年 5 月 6 日在北京市昌平区流村镇王家园村七星苹果合作社试验田（E116°23′09″，N40°10′42″）同时播种。将试验田划分为边长为 7.5 m 的正方形样地，样地平均分为 9 个边长为 2.5 m 的正方形小区，不同材料随机种植在每个小区内（图 1），其中 3 个小区作为空白不种植玉米。每个小区种植 40 株玉米（株距 0.3 m，行距 0.6 m）。为避免天敌和其它玉米害虫对试验的影响，每个样地用 1 个边长为 7.5 m，高为 3.5 m 的防虫网（40 目）罩住。试验过程中不施用任何化学药剂。

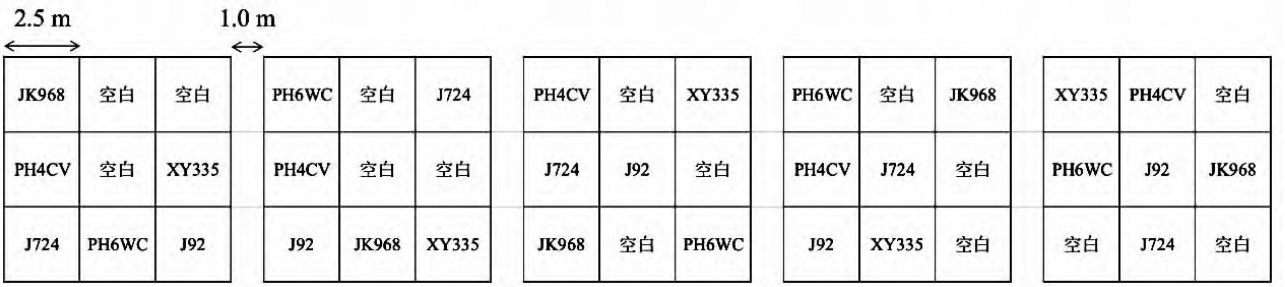


图 1　田间试验分布图

Fig. 1　Field experiment layout

待材料生长至营养生长阶段中后期（6 月 6 日），参照 Kamali *et al.*（1989）的方法在每株玉米最下部叶片的叶鞘处放置一片带有 50 头二斑叶螨雌成螨的芸豆叶片。接螨后每隔 5 d 调查 1 次，采用 5 点取样法，每个小区每个品种（系）随机调查 5 株玉米所有叶片上的二斑叶螨数量。至玉米籽粒凹陷期时停止调查，此期及之后叶螨的为害不会对玉米的产量造成损失（Archer *et al.*，1994）。为避免边际效应，不调查每个小区最外围的植株。试验共计 5 个重复。

1.3　玉米叶片厚度和表皮毛密度测定

玉米生长至雄穗完全抽出时，在田间随机选取各品种（系）3 株玉米的最下方穗位叶测定叶片厚度和表皮毛密度。叶片厚度测定参照刘奕清等（1999）和陈华才等（1996）的方法，取以上叶片经 FAA 固定液（FAA Fix Soution，北京酷来搏科技有限公司，中国）固定后用石蜡包埋，冰冻切片机（CM3050S，Leica，Germany）切片，再用番红染色 1 h 后，在显微镜下测量叶片厚度。表皮毛密度的测定参照胡文俐（2016）的方法并加以改进。将叶片置于超景深显微镜（VHX-6000，Keyence，Japan）下，每张叶片上随机选取 10 个视野，记录每个视野 1.0 cm^2 范围内的表皮毛数量，取平均值作为该叶片的表皮毛密度（表皮毛数/cm^2）。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.4 数据分析

数据分析使用 SPSS 26.0 完成。分析时对田间种群动态数据进行 lg 转化。采用单因素方差分析（Duncan 氏新复极差法，$P<0.05$）检验同一时间不同玉米材料之间叶螨种群密度的差异显著性，以及不同材料的叶片厚度和表皮毛密度的差异显著性。采用 Person 法计算日均叶螨发生量（日均叶螨发生量 = 叶螨总发生量/调查天数）与叶片表皮毛密度和叶片厚度之间的相关系数。采用线性回归分析以明确表皮毛密度与叶片厚度对日均叶螨发生量的影响程度，为消除量纲对结果的影响，在进行回归分析前对数据进行标准化。

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种（系）上二斑叶螨田间种群动态

7 月 20 日后，叶螨种群数量显著增加。在 8 月 4 日，玉米生长至蜡熟期时，叶螨种群数量达到峰值，不同玉米上的叶螨数量存在显著差异（$F=75.0$；df = 5，22；$P<0.001$），PH6WC 上的叶螨种群密度最高，达到 13 883.0 ± 467.6 头/株，J92 上的叶螨数量最低，为 1 615.5 ± 170.0 头/株。此时，京科 968 上的叶螨数量（3 188.5 ± 290.7 头/株）显著低于先玉 335（9 387.0 ± 961.6 头/株；$P<0.001$）。在整个实验过程中，单株叶螨种群密度始终以 J92 最低，JK968 次低（图 2）。

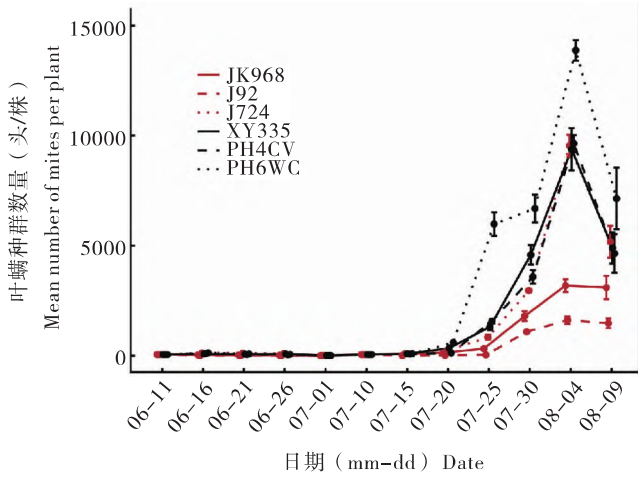


图 2 二斑叶螨在不同玉米品种（系）上的田间种群动态

Fig. 2 Field population dynamics of *Tetranychus urticae* on different maize strains

2.2 不同玉米品种（系）叶片物理性状

不同玉米的叶片厚度间存在显著差异（$F=14.953$；df = 5，17；$P<0.001$），其中 JK968 的叶片最厚，PH6WC 的叶片最薄。不同玉米的表皮毛密度存在显著差异（$F=121.59$；df = 5，17；$P<0.001$），单位面积内表皮毛密度最高的为 PH6WC，表皮毛密度最低的为 J92（表 1）。

表 1 不同玉米品种（系）叶片的厚度及表皮毛密度

Table 1 Leaf thickness and densityof trichome on different maize strains

基因型 Genotypes	叶片厚度（μm）Leaf thickness	表皮毛密度（根/cm²）Density of trichome
京科 968（JK968）	159.8 ± 2.2 a	43.9 ± 0.3 c
京 92（J92）	152.8 ± 4.7 a	17.7 ± 0.3 d
京 724（J724）	131.5 ± 3.7 b	71.0 ± 1.7 b
先玉 335（XY335）	126.5 ± 2.4 b	49.7 ± 1.2 c
PH4CV	130.4 ± 6.3 b	72.3 ± 2.9 b
PH6WC	124.1 ± 2.2 b	86.5 ± 4.1 a

注：表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。Note: Data in the table represented means ± SE. Different letters in the same column indicated the significant difference at the level of 0.05（$P<0.05$）.

2.3 叶片物理性状对日均叶螨发生量的影响

玉米叶片厚度与日均叶螨发生量呈显著负相关（$R=-0.858$；$P=0.29$）；玉米单位面积内表皮毛密度与日均叶螨发生量呈显著正相关（$R=0.868$；$P=0.025$）。表明叶片越厚，表皮毛密度越小，叶螨发生量越低（图 3）。线性回归分析结果表明，叶片厚度的标准化回归系数为 −0.464，表皮毛密度的标准化回归系数为 0.517，所以叶片表皮毛密度对日均叶螨发生量的影响更重要。

3 结论与讨论

本研究通过对二斑叶螨在 JK968 和 XY335 及其亲本上的田间种群动态调查，以及叶螨发生量与叶片物理性状的关系比较，明确了表皮毛密度和叶片厚度对叶螨的发生情况的影响。结果表明，表皮毛密度最低的 J92 抗螨性最强，这可能与较高密度的表皮毛为叶螨在叶片表面附着提供便利有

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

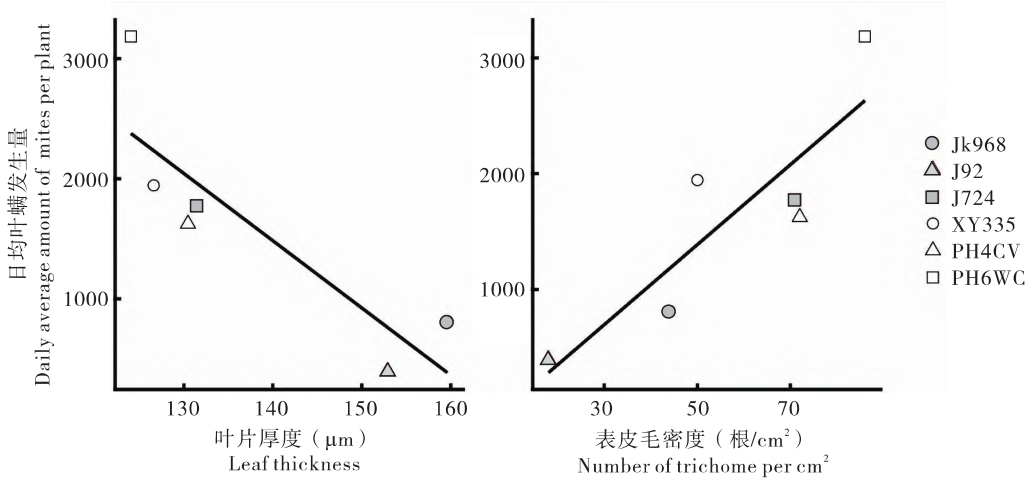


图 3　玉米叶片物理性状与日均二斑叶螨发生量的相关性

Fig. 3　Correlation between physical characteristics of maize leaves and the daily average amount of *Tetranychus urticae*

注： A，叶片厚度与日均二斑叶螨发生量的相关性；B，表皮毛数量/cm^2 与日均二斑叶螨发生量的相关性。Note: A, Correlation between leaf thickness (μm) and the daily average amount of *T. urticae*; B, Correlation between number of trichome per cm^2 and the daily average amount of *T. urticae*.

关（郑兴国和洪晓月，2009；雍小菊和丁伟，2011）。叶片较薄的玉米材料抗螨性较差，可能是由于叶螨的刺吸式口器更易刺入较薄的叶片组织（桂连友等，2001）。所以在抗螨品种选育时应考虑选择叶片表皮毛密度较低且叶片较厚的玉米材料。

在接螨后的各时期 XY335 上的二斑叶螨种群密度始终高于 JK968，说明 JK968 对二斑叶螨的抗性强于 XY335。已有研究表明，JK968 对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*（Guenée）、黏虫 *Mythimna separata*（Walker）和禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi*（L.）的抗性均高于 XY335，且 JK968 中抗虫化合物丁布类物质的含量高于 XY335（刘树楠，2019）。本研究同时发现 JK968 的父本 J92 上的二斑叶螨种群密度始终维持在最低水平，而 JK968 母本 J724 上的叶螨种群密度较 JK968 和 J92 高，这表明 JK968 的抗螨性可能主要来源于其父本 J92。这与刘燊等（2019）对 JK968 及其亲本抗螟性的研究结果一致。

玉米基因型的多样性导致玉米被害虫为害后释放的挥发物不同（Song *et al.*，2017）。研究表明，JK968 被亚洲玉米螟为害后可以释放吸引天敌的挥发物 E-β-石竹烯，然而在其它多种品系玉米中，这种抗虫机制在驯化过程中丢失（Guo *et al.*，2019）。本研究采用的罩网方法在一定程度上避免了玉米被叶螨为害后吸引天敌对实验结果造成的影响，在今后的研究中可重点关注不同品种（系）玉米被叶螨取食后挥发物的差异。

现有对玉米抗螨性的研究多为针对某一时间点的为害指数调查（白永新等，2008；杨群芳等，2015；艾哈迈德等，2015），而针对叶螨在不同品种（系）玉米上种群动态的比较研究较少。本研究对二斑叶螨在玉米营养生长阶段至成熟期的叶螨种群动态的研究结果表明，二斑叶螨种群数量在玉米进入灌浆期后种群数量显著增加，因此，玉米生殖生长阶段的叶螨防控尤为重要。

本研究发现 JK968 的父本 J92 对二斑叶螨的田间抗性最强，具有较好的抗螨育种潜力，可作为玉米抗螨育种的重要材料。从叶螨防治角度考虑，选择种植 JK968 能够较好的防控玉米生殖生长阶段的叶螨为害。本研究阐明了玉米材料的抗虫性与叶片厚度和表皮毛密度的关系，表明较厚的叶片和较低的表皮毛密度是抵御叶螨为害的重要因素。同时，揭示了叶片物理性状在玉米品种抗螨性中起到了重要作用，为玉米抗螨新品种的培育提供了一定的理论依据。

致谢： 感谢中国热带农业科学院生物技术研究所高建明博士提供防虫网搭建方法，感谢贵州大学昆虫研究所李娟博士鉴定二斑叶螨种群。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献 (References)

Ahmed AMO, Jin DY, Kang ZR, *et al*. Identification and evaluation of mite-resistances of maize inbred lines under artificially induced vinyl house conditions [J]. *Agricultural Science Journal of Yanbian University*, 2015, 37 (1): 1 - 7. [艾哈迈德, 金大勇, 康泽然, 等. 玉米抗螨性的大棚人工诱发鉴定与评价分析 [J]. 延边大学农学学报, 2015, 37 (1): 1 - 7]

Archer TL, Peairs FB, Mihm JA. Mechanisms and bases of resistance in maize to mites. In: Mihm JA, ed. Insect Resistant Maize [C]. Mexico: CIMMYT, 1994: 101 - 105.

Bai YX, Chen BG, Zhang RS, *et al*. Resistance identification and analysis of the maize germplasm to maize red spider [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16 (6): 121 - 122, 125. [白永新, 陈保国, 张润生, 等. 玉米五大种质对红蜘蛛抗性的鉴定与分析 [J]. 玉米科学, 2008, 16 (6): 121 - 122, 125]

Chen HC, Xu N, Chen XF, *et al*. On the resistance mechanisms of tea clones to pink tea rust mite [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1996, 23 (2): 137 - 142. [陈华才, 许宁, 陈雪芬, 等. 茶树对茶橙瘿螨抗性机制的研究 [J]. 植物保护学报, 1996, 23 (2): 137 - 142]

Chen YH, Gols R, Benrey B. Crop domestication and its impact on naturally selected trophic interactions [J]. *Annual Review of Entomology*, 2015, 60: 35 - 58.

Deutsch CA, Tewksbury JJ, Tigchelaar M, *et al*. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate [J]. *Science*, 2018, 361 (6405): 916 - 919.

Duvick DN. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.) [J]. *Advances in Agronomy*, 2005, 86: 83 - 145.

Gui LY, Gong XW, Meng GL. On the relationship between eggplant leaf structure and its resistance to broad mite [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2001, 28 (3): 213 - 217. [桂连友, 龚信文, 孟国玲. 茄子叶片组织结构与对侧多食跗线螨抗性的关系 [J]. 植物保护学报, 2001, 28 (3): 213 - 217]

Guo JF, Qi JF, He KL, *et al*. The Asian corn borer *Ostrinia furnacalis* feeding increases the direct and indirect defence of mid - whorl stage commercial maize in the field [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2019, 17 (1): 88 - 102.

Hasnain M, Afzal M, Nadeem S, *et al*. Morphological characters of different cotton cultivars inrelation to resistance against Tetranychid mites [J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2009, 41 (3): 241 - 244.

Hong XY, Xue XF, Wang JJ, *et al*. Integrated control techniques for spider mites on important crops [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (2): 321 - 328. [洪晓月, 薛晓峰, 王进军, 等. 作物重要叶螨综合防控技术研究与示范推广 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (2): 321 - 328]

HU WL. Preliminary Study on the Tritrophic Interactions among Host - plants, *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) and *Stethorus punctillum* Weise [D]. *Sichuan Agricultural University*, 2016. [胡文俐. 寄主植物 - 朱砂叶螨 - 深点食螨瓢虫三者相互关系的初步研究 [D]. 四川农业大学, 2016]

Jiao YP, Zhao HN, Ren LH, *et al*. Corrigendum: Genome - wide genetic changes during modern breeding of maize [J]. *Nature Genetics*, 2014, 46: 1039 - 1040.

Kamali K, Dicke FF, Guthrie WD. Resistance - susceptibility of maize genotypes to artificial infestations by Twospotted spider mites [J]. *Crop Science*, 1989, 29: 936 - 938.

Li Y, Romeis J. *Bt* maize expressing Cry3Bb1 does not harm the spider mite, *Tetranychus urticae*, or its ladybird beetle predator, *Stethorus punctillum* [J]. *Biological Control*, 2010, 53 (3): 337 - 344.

Liu S, Guo JF, He KL, *et al*. Evaluation of the resistance of corn hybrid 'Jingke 968' and its parents to the Asian corn borer by using life table technique [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (1): 93 - 97. [刘燊, 郭井菲, 何康来, 等. 利用生命表技术评价玉米品种'京科968'及其亲本的抗螟性 [J]. 植物保护, 2019, 45 (1): 93 - 97]

Liu SN, Shen GJ, Li J, *et al*. Comparation of herbivore resistance among the maize lines Xianyu 335, Zhengdan 958, and Jingke 968 [J]. *Journal of Maize Sciences*. 2019, 27 (6): 52 - 57. [刘树楠, 申国境, 李京, 等. 先玉335、郑单958和京科968抗虫能力的比较研究 [J]. 玉米科学, 2019, 27 (6): 52 - 57]

Liu YQ, Xu Z, Zhou ZK, *et al*. Morphological and biochemical parameters of tea varieties resistant to *Polyphagotarsonemus latus* Banks [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1999, 17 (2): 3 - 5. [刘奕清, 徐泽, 周正科, 等. 茶树品种抗侧多食跗线螨的形态和生化特征 [J]. 四川农业大学学报, 1999, 17 (2): 3 - 5]

LuoMJ, Zhao YX, Wang YD, *et al*. Comparative proteomics of contrasting maize genotypes provides insights into salt - stress tolerance mechanisms [J]. *Journal of Proteome Research*, 2018, 17 (1): 141 - 153.

Qin QJ, Gao XW. Plant defense responses induced by insect herbivory [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48 (1): 125 - 134. [秦秋菊, 高希武. 昆虫取食诱导的植物防御反应 [J]. 昆虫学报, 2005, 48 (1): 125 - 134]

Song J, Liu H, Zhuang HF, *et al*. Transcriptomics and alternative splicing analyses reveal large differences between maize lines B73 and Mo17 in response to aphid *Rhopalosiphum padi* infestation [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1738.

Wang ZY, Wang XM. Current status and management strategies for corn pests and diseases in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (1): 1 - 11. [王振营, 王晓鸣. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策 [J]. 植物保护, 2019, 45 (1): 1 - 11]

Wei XL, Zhang Q. The characteristics of corn spider mites and the measures of integrated control [J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2016, 8: 58. [魏学林, 张强. 玉米叶螨的特征及综合防治措施 [J]. 现代畜牧科技, 2016, 8: 58]

Wu YQ, Liu QX, Zhong CZ. The screening and identification of resistance to the Carmine spider mite in cotton cultivars at the

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

seedling stage [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1997, 31 (3): 18 – 21. [武予清，刘芹轩，钟昌珍. 不同棉花品种苗期对朱砂叶螨抗性的筛选鉴定 [J]. 河南农业大学学报，1997，31 (3)：18 – 21]

Xie H, Wang Y, Liu YQ, *et al*. The influence of plant constitutive defense system on phytophagous insects [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (1): 1 – 5. [谢辉，王燕，刘银泉，等. 植物组成型防御对植食性昆虫的影响 [J]. 植物保护，2012，38 (1)：1 – 5]

Xiong M, Yang QF, Huang YB, *et al*. Evaluation on antibiosis of maize inbred lines to *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (4): 50 – 53. [熊敏，杨群芳，黄玉碧，等. 玉米自交系对朱砂叶螨的抗生性评价 [J]. 植物保护，2014，40 (4)：50 – 53]

Xu XN, Lv JL, Wang ED. Review of research on predatory mites and its applications in China [J]. *China Plant Protection*, 2013, 33 (10): 26 – 34. [徐学农，吕佳乐，王恩东. 捕食螨在中国的研究与应用 [J]. 中国植保导刊，2013，33 (10)：26 – 34]

Yang QF, Huang YB, Xiong M, *et al*. Evaluation on the resistance of maize inbred lines to *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2015, 23 (1): 149 – 152, 158. [杨群芳，黄玉碧，熊敏，等. 玉米自交系对朱砂叶螨的抗性评价 [J]. 玉米科学，2015，23 (1)：149 – 152，158]

Yong XJ, Ding W. The resistant mechanisms of plants to mites [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1495 – 1504. [雍小菊，丁伟. 植物的抗螨机理 [J]. 应用昆虫学报，2011，48 (5)：1495 – 1504]

Yuan YJ, Xu X, Luo YQ, *et al*. R2R3 MYB – dependent auxin signalling regulates trichome formation, and increased trichome density confers spider mite tolerance on tomato [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2021, 19 (1): 138 – 152.

Zhang JF, Sun JZ, Wu ZB, *et al*. Identification of cotton varieties resistant to Carmine spider mite and exploration of resistance mechanism [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1993, 20 (2): 155 – 161. [张金发，孙济中，吴征彬，等. 棉花对硃砂叶螨抗性的鉴定和机制研究 [J]. 植物保护学报，1993，20 (2)：155 – 161]

Zheng XG, Hong XY. Effects of trichomes of plant surface on mites and its enlightenment on biological control of pest mites [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2009, 46 (2): 210 – 215. [郑兴国，洪晓月. 植物表面的毛对螨类的影响及其对害螨生防的启示 [J]. 昆虫知识，2009，46 (2)：210 – 215]

Zhang YH. Identification and Mechanisms of Corn Resistance to *Tetranychus urticae* Koch in Ningxia [D]. *Ningxia University*, 2016. [张云会. 宁夏主栽玉米品种对二斑叶螨的抗性鉴定及机理研究 [D]. 宁夏大学，2016]

Zhao JR, Wang RH, Liu XX. The current status of maize industry and the trend of biological breeding in China [J]. *Biotechnology & Business*, 2016, 3: 45 – 52. [赵久然，王荣焕，刘新香. 我国玉米产业现状及生物育种发展趋势 [J]. 生物产业技术，2016，3：45 – 52]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net