



Tavole Rotonde sui maggiori problemi
riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia
Sotto gli auspici del MIPAAF

XXXIX. ATTUALI PROBLEMATICHE IN ACAROLOGIA



Estratto da:
ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Anno LXVIII - 2020



Tavole Rotonde sui maggiori problemi
riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia
Sotto gli auspici del MIPAAF

XXXIX.

ATTUALI PROBLEMATICHE IN ACAROLOGIA

Estratto da:
ATTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE
ITALIANA DI ENTOMOLOGIA
Anno LXVIII - 2020

In copertina: Lettera “B” del Catalogo di Antonio Berlese

INDICE

Tavola Rotonda su:

ATTUALI PROBLEMATICHE IN ACAROLOGIA

RONALD OCHOA, CAL WELBOURN, JURGEN OTTO, DENISE NAVIA, MARIA NAVAJAS, FRANCISCO FERRAGUT, ERIC MCDONALD, GARY R. BAUCHAN – <i>Detection and identification of invasive mites and regulatory measures: a global update</i>	Pag. 163
HARALABOS TSOLAKIS, ERNESTO RAGUSA – <i>Specie aliene di recente introduzione in Italia: stato dell'arte</i> ...	» 167
ENRICO DE LILLO, DOMENICO VALENZANO, GIOVANNI TAMBURINI, CARLO DUSO, SAURO SIMONI – <i>Recenti acquisizioni sull'eriofide dell'erinosi della vite (Colomerus vitis)</i>	» 177
ELLIOT WATANABE KITAJIMA, PEDRO LUIS RAMOS-GONZÁLEZ, JULIANA FREITAS-ASTÚA, ALINE DANIELE TASSI – <i>A brief history of diseases associated with Brevipalpus-transmitted viruses</i>	» 183
ANTONELLA DI PALMA – <i>Mites as forensic tools?</i>	» 189

Pagina bianca

SEDUTA PUBBLICA, FIRENZE 20 NOVEMBRE 2020

Tavola Rotonda su:

ATTUALI PROBLEMATICHE IN ACAROLOGIA

Coordinatori:

ANTONELLA DI PALMA e ENRICO DE LILLO, Accademici

162 - Pagina bianca

DETECTION AND IDENTIFICATION OF INVASIVE MITES AND REGULATORY MEASURES: A GLOBAL UPDATE

RONALD OCHOA^a - CAL WELBOURN^b - JURGEN OTTO^c - DENISE NAVIA^d - MARIA NAVAJAS^e
FRANCISCO FERRAGUT^f - ERIC MCDONALD^g - GARY R. BAUCHAN^a

^aUSDA, ARS, Systematic Entomology Lab and Electron & Confocal Microscopy Unit, 10300 Baltimore Ave, Beltsville, MD, 20705, USA, ron.ochoa@ars.usda.gov

^bSmithsonian Institution, National Museum of Natural History, National Insect and Mite Collection, Washington, D.C. 20560 USA. USA, cwelbournflag@gmail.com

^cDepartment of Agriculture and Water Resources, Operational Science Services, 1 Crewe Place, Rosebery NSW 2075, Australia, Jurgen.Otto@agriculture.gov.au

^dEmbrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Cx. Postal 02372, 70.770-900, Brasília, DF, Brazil, denise.navia@embrapa.br

^eInstitut National de la Recherche Agronomique (INRA, Centre de Biologie et Gestion des Populations, 755 avenue du campus Agropolis, 34988 Montpellier sur Lez, cedex, France, maria.navajas@supagro.inra.fr

^fInstituto Agroforestal Mediterráneo. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, Spain, fferragut@eaf.upv.es

^gUSDA, APHIS, PPQ, 19581 Lee Road, Humble, Texas 77338, USA, Eric.m.mcdonald@usda.gov

Summary della lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Attuali problematiche in Acarologia". Seduta pubblica dell'Accademia, svolta da remoto, 20 novembre 2020.

Mites (Acariformes, Parasitiformes) are considered to be one of the largest groups of Arthropoda with estimated numbers from 5 to over 11 million species (LARSEN *et al.*, 2017). The majority of mites are tiny from ~85 to 1000 µm, with color tones that help them to camouflage with the environment, making them difficult to detect at ports of entry worldwide (NAVIA *et al.*, 2010, FERRAGUT *et al.*, 2012). The increased international trade in all kind of commodities, from agricultural to industrial and technological products have resulted in augmented interceptions of potentially invasive organisms including a large number of mite species (Figs. 2-5). On the agricultural commodities the most commonly intercepted economically important organisms are the plant feeding mites, the predator mites and soil associated mites. The families Tetranychidae (BEARD and SEEMAN, 2011, QUIROS and GERAUD-POUEY, 2008) and Eriophyidae (NAVIA *et al.*, 2010) are often collected, but species in the Tenuipalpidae (RODA *et al.*, 2010; RODRIGUEZ *et al.*, 2020), Tarsonemidae, Tuckerellidae, Penthaleidae and stored products Acaridae (i.e. bulb mites, mold mites, cheese mites) have been increasing. In addition, other mite families (i.e. Tydeidae, Iolinidae, Phytoseiidae, Laelapidae, Winterschmidtidae, Oribatidae, Galumnidae, etc.) associated with plants, wood, soil, construction materials and electronic parts are being intercepted in increasing numbers. Many of these mite families include important economic pests or potential pests of crops, fruit trees, stored products, forests, ornamentals, cattle and humans. Furthermore, the other parasitic mites, some of them with rickettsias and other

diseases. Trade from countries where there is little or no information on the local mite fauna make it difficult to identify or prevent potential invasive species (VASQUEZ and YELITZA, 2020).

The most common equipment (Fig. 1) used to identify regulatory mite pests are sieves and hand lens, but the use of a light microscope, with good preparation techniques and high quality lenses are needed to avoid misidentifications. Furthermore, the digital images obtained with such equipment could also compromise identifications, here the inspectors could use online digital tools (BEARD *et al.*, 2012, KLIMOV *et al.*, 2016) for comparison and species information. The use of high quality phase contrast and DIC lenses can help to capture clear morphological characters for identification. In addition, user friendly table top scanning electron microscopes (SEM) at port of entry could help with the identification process and determine the potential of invasive of adventive species.

KEY WORDS: invasive mites, adventive mites, Tetranychidae, Eriophyidae, Tenuipalpidae, Tarsonemidae, Tuckerellidae, Penthaleidae, Acariformes, Parasitiformes

ACKNOWLEDGMENTS:

To Debra Creel, Andrew Ulsamer (SEL-USDA) and Armando Rosario-Lebron (APHIS-USDA) for their help with references and technical support. The Smithsonian Natural History Museum and National Agricultural Library (NAL-USDA), SEL-

USDA for support and assistance with specimens and references. Mention of trade names or commercial products in this publication is solely for the purpose of providing specific information and does not imply recommendation or endorsement by the USDA; USDA is an equal opportunity provider and employer.

REFERENCES

- BEARD J.J., SEEMAN O.D., 2011 - *Identification of exotic pest and Australian native and naturalised species of Tetranychus (Acari: Tetranychidae)*. - *Zootaxa*, 2961: 1-72.
- BEARD J.J., OCHOA R., BAUCHAN G.R., TRICE M.D., REDFORD A.J., WALTERS T.W., MITTER C., 2012 - *Flat Mites of the World – EDITION 2 (2013)*. Identification Technology Program, CPHST, PPQ, APHIS, USDA; Fort Collins, CO. [date you accessed site] <http://idtools.org/id/mites/flatmites/>
- FERRAGUT F., NAVIA D., OCHOA R., 2012 - *New mite invasions in citrus in the early years of the 21st century*. - *Experimental & Applied Acarology*, 59(1-2):145-164.
- KLIMOV P.B., OCONNOR B., OCHOA R., BAUCHAN G.R., REDFORD A.J., SCHER J., 2016 - *Bee Mite ID: Bee-Associated Mite Genera of the World*. USDA APHIS Identification Technology Program (ITP), Fort Collins, CO. [date of access] <http://idtools.org/id/mites/beemites/>
- LARSEN B.B., MILLER E.C., RHODES M.K., WIENS J.J., 2017 - *Inordinate fondness multiplied and redistributed: The number of species on earth and the new pie of life*. - *The Quarterly Review of Biology*, 92(3): 230-265.
- NAVIA D., R. OCHOA R., WELBOURN W.C., FERRAGUT F., 2010 - *Adventive Eriophyoid mites – a global review of their impact, pathways, prevention and challenges*. - *Exp. Appl. Acarol.*, 51(1-2): 225-255.
- QUIRÓS M., GERAUD-POUEY F., 2008 - *Schizotetranychus hindustanicus (Hirst) (Acari: Tetranychidae), new spider mite pest damaging citrus in Venezuela, South America*. In: *Proceedings of the XI International Congress of Acarology*; 8-13 September 2002. Mérida: Universidad Nacional Autónoma de México; 2008; pp. 255-256
- RODA A., DOWLING A., WELBOURN C., PEÑA J., RODRIGUES J.C., HOY M., OCHOA R., DUNCAN R.A., DE CHI W., 2010 - *Red Palm Mite situation in the Caribbean and Florida*. - *Proceedings of the Caribbean Food Crops Society (2008)*, 44(1): 80-87.
- RODRIGUES J.C.V., COSH M.H., HUNT JR. E.R., DE MORAES G.J., BARROSO G., WHITE W.A., OCHOA R., 2020 - *Tracking red palm mite damage in the Western Hemisphere invasion with Landsat remote sensing data*. - *Insects*, 11 (9): 627.
- VÁSQUEZ C., YELITZA C., 2020 - *Invasive Mite Species in the Americas: Bioecology and Impact*. In: *Pests Control and Acarology*, Eds. D. Haouas and L. Hufnagel; Chapter 7; 103-126; InechOpen.



Fig. 1 – Tools for collecting mites. 1.1 Graduated sieves for washing samples. 1.2 A necessary tool for detection of spider mites is a 10X to 16X magnifying glass. A table magnifier is useful for quick scanning of suspect materials. A magnification of 60 X or higher is recommended for the stereo microscope. You will need a compound microscope to observe slide mounted material. 1.3 The Berlese funnel can be used to isolate mites from a sample. 1.4 Another way to sample for mites is by using a shaking technique with seed boro pans.

Fig. 2 – Mite interceptions in the USA from 1985-2015. Blue indicates mites found in baggage; Red indicates mites from cargo; Green indicates the total number of mite interceptions.

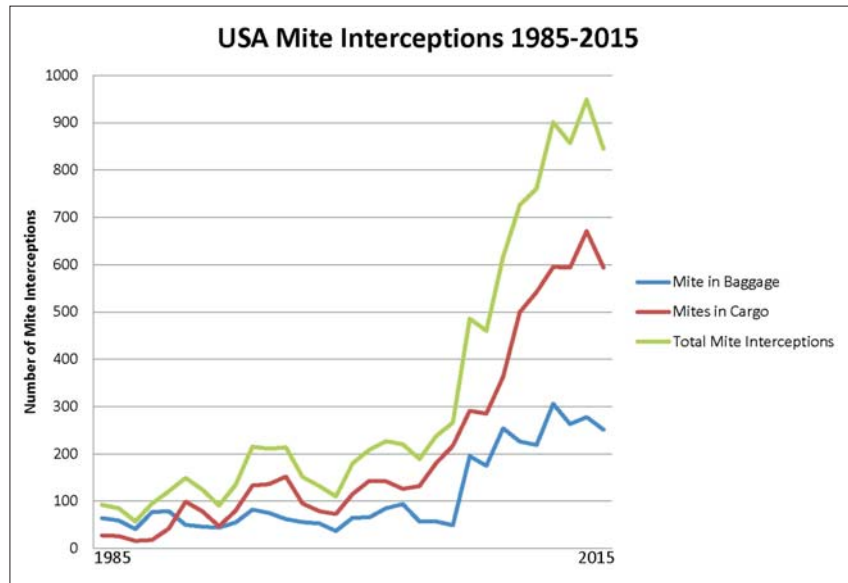


Fig. 3 – Intercepted Tarsonemidae, Tenuipalpidae and Tetranychidae in the USA 1985-2015. Blue indicated the number of Tarsonemidae; red indicated the number of Tetranychidae, Green indicated the number of Tenuipalpidae; Purple indicated the total number of mites.

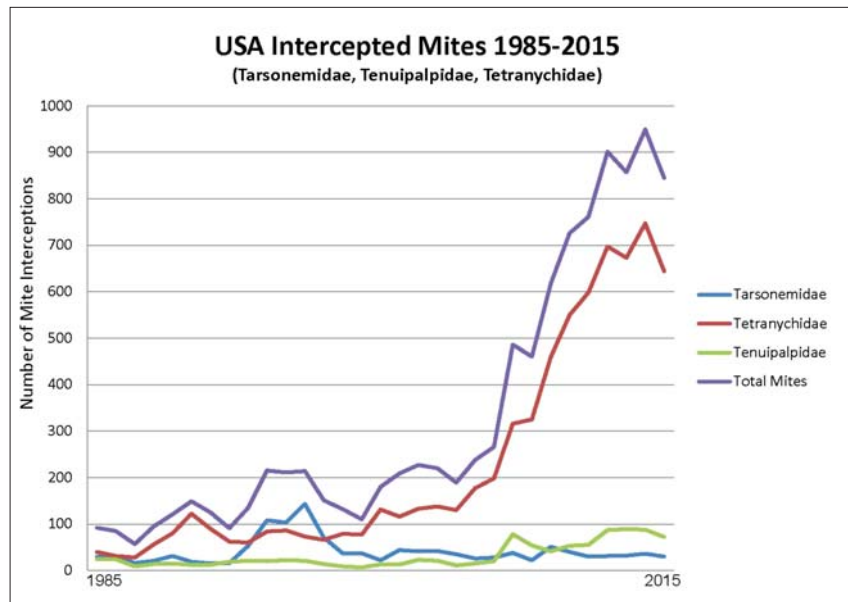
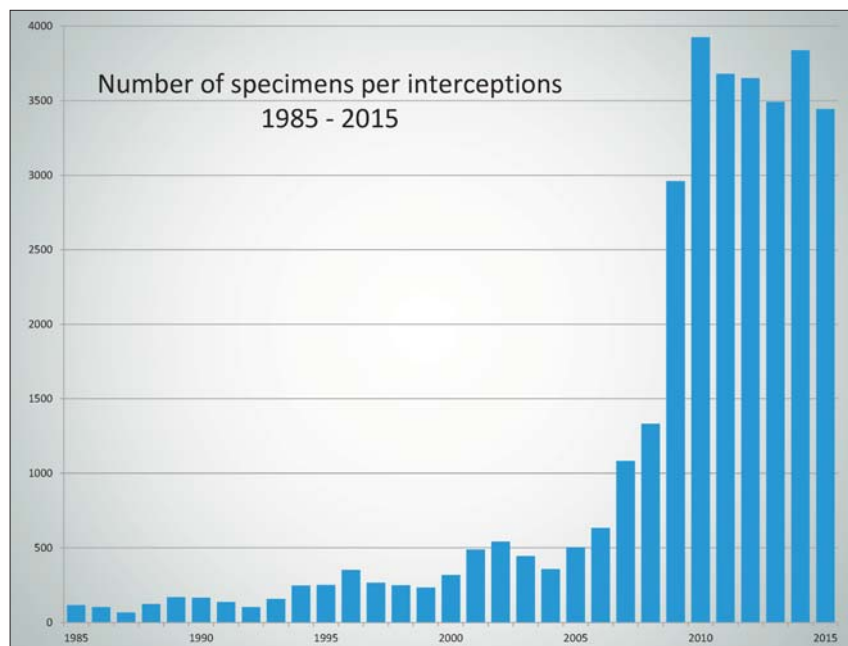


Fig. 4 – Number of specimens per interception in the USA. The number of specimens intercepted has increased significantly since 2007.



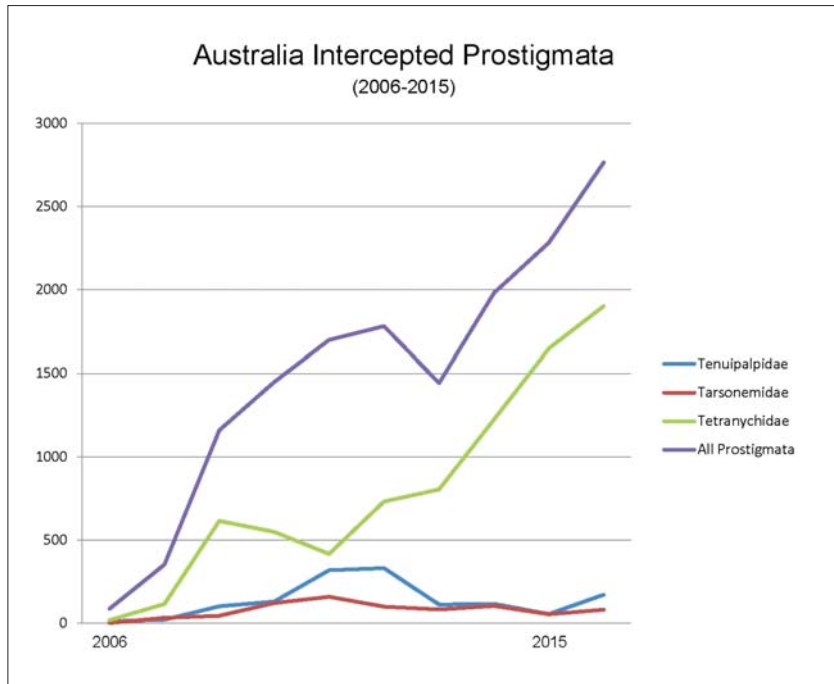


Fig. 5 – Numbers of intercepted Prostigmata in Australia. Blue indicated number of Tenuipalpidae; Red indicates Tarsonemidae; Green indicated Tetranychidae; Purple indicated all intercepted Prostigmata.

SPECIE ALIENE DI RECENTE INTRODUZIONE IN ITALIA: STATO DELL'ARTE

HARALABOS TSOLAKIS^a - ERNESTO RAGUSA^a

^aDipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università di Palermo, Viale delle Scienze 13, 90128 Palermo, Italy
E-mail: haralabos.tsolakis@unipa.it

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Attuali problematiche in Acarologia". Seduta pubblica dell'Accademia, svolta da remoto, 20 novembre 2020.

Alien mite species recently introduced in Italy: the present status of the art

Authors report a review of alien Tetranychidae and Phytoseiidae species recorded in the last half a century in Italy. Six tetranychid species are considered up to now as introduced in Italy, named *Oligonychus bicolor* (Banks, 1894), *Panonychus citri* (McGregor, 1916), *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917), *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard, 1960, *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello, 1976 and *Tetranychus ludeni* Zacher, 1913. Among Phytoseiidae, the neotropical *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot is probably the oldest exotic species in Italy, followed by *Neoseiulus californicus* (McGregor). The most recent introduction regards *Amblydromalus limonicus* Garman & McGregor found in Sicily in 2020.

INTRODUZIONE

Le specie esotiche di acari, accidentalmente introdotte in Europa negli ultimi decenni sono numerose e appartengono ai superordini Acariformes e Parasitiformes. Nel primo troviamo specie delle superfamiglie Tetranychioidea, Tarsonemoidea ed Eriophyoidea che appartengono all'ordine Trombidiformes e specie delle superfamiglie Sarcoptoidea e Acaroidea che appartengono all'ordine Sarcoptiformes. Nei Parasitiformes, invece, troviamo alcune specie di zecche dell'ordine Ixodida e specie della superfamiglia Phytoseioidea dell'ordine Mesostigmata (NAVAJAS *et al.*, 2010; LINDQUIST *et al.*, 2009). Tra le 77 specie fitofaghe considerate aliene o criptogenetiche per il territorio europeo, 37 appartengono agli Eriophyoidea e 27 ai Tetranychidae, mentre le informazioni relative agli acari predatori alieni appartenenti alla famiglia Phytoseiidae sono scarse e non sempre attendibili (NAVAJAS *et al.*, 2010).

Per motivi legati alle scarse conoscenze disponibili per alcuni gruppi tassonomici e allo scopo di evitare una mera elencazione delle specie considerate aliene per il territorio italiano, saranno qui trattate quelle esotiche appartenenti alla nota famiglia Tetranychidae, che include le specie fitofaghe maggiormente dannose sulle colture agrarie e la famiglia Phytoseiidae che include le specie predatrici più comunemente utilizzate nei programmi di controllo biologico degli acari fitofagi. Per gli stessi motivi sopra riportati, i suddetti taxa saranno trattati solo in relazione alla loro presenza negli agroecosistemi, giacché le informazioni disponibili sulla presenza e le loro interazioni negli ecosistemi naturali sono limitate e frammentarie.

L'Acarologia è una disciplina piuttosto giovane e gli studi sistematici sull'acarofauna riguardano principalmente il continente europeo e le Americhe, lasciando gran parte del territorio mondiale scoperto da questo punto di vista. Ignoriamo, infatti, o non siamo in grado di definire con certezza, l'origine geografica di gran parte delle specie conosciute, specialmente di quelle polifaghe e cosmopolite. Spesso si attribuisce l'origine di una specie sulla base dell'origine del suo ospite principale (pianta o preda), ma certamente questo non è il metodo migliore per scoprire l'origine geografica di un acaro fitofago o predatore, considerata anche la grande plasticità genetica di questi microartropodi (ASHIHARA, 1987; BOUBOU *et al.*, 2011; SZNAJDER *et al.*, 2011; TIXIER *et al.*, 2008).

Le specie aliene di acari fitofagi o predatori sono di solito introdotte in una nuova area geografica con le loro piante ospiti. Alcuni paesi, come l'Australia e gli Stati Uniti, sono molto attenti nel controllare i prodotti agricoli nei punti d'ingresso (aeroporti e porti), ma nel Vecchio continente il controllo legale rimane per lo più a livello teorico. Diversi esempi di introduzioni multiple della stessa specie aliena invasiva, confermano questo fatto per l'intera Europa e l'Italia non è certo un'eccezione. Al contrario, è il paese europeo con il maggior numero di specie aliene segnalate finora in Europa (NAVAJAS *et al.*, 2010; MIGEON & DORKLED, 2021). Questo fatto potrebbe essere attribuito ad un sistema di controllo doganale meno accurato rispetto a quello degli altri paesi europei, oppure ad una maggiore presenza di specialisti e a maggiori sforzi per rilevare l'acarofauna negli ecosistemi naturali e negli agroecosistemi. Preferiamo,

ovviamente, la seconda ipotesi, ma anche la prima sembra essere attendibile.

Di norma, la presenza di una specie aliena si nota solo quando essa diventa invasiva e dannosa principalmente su colture agrarie o piante forestali. Se questo caso non si verifica, solo un'indagine casuale può rilevarne la presenza in una determinata regione.

Tetranychus ludeni Zacher è un buon esempio (Fig. 1). La specie è considerata di origine tropicale, anche se è stata trovata per la prima volta in Germania nel 1913 (ZACHER, 1913). Successivamente, è stata segnalata in tutti i paesi del bacino Mediterraneo, ad eccezione dell'Italia, dove venne trovata per la prima volta nel 2014 su fagiolo coltivato e su *Ricinus communis* L. e, negli anni successivi, su varie piante coltivate e spontanee, spesso sulle stesse piante infestate da *Tetranychus urticae* (Koch) (RAGUSA *et al.*, 2018).

È difficile credere che la specie sia arrivata in Sicilia dopo un secolo dalla sua prima segnalazione in Germania. Probabilmente si tratta di un'introduzione remota e la mancata segnalazione potrebbe essere dovuta da una parte alla forte competizione di *T. urticae* con il quale la specie condivide quasi tutte le piante ospiti, dall'altra ad un'errata identificazione. Di fatto, le due specie si distinguono per la posizione di una doppia setola presente sul tarso del primo paio di zampe nelle femmine e dalla diversa forma dell'edeago

nei maschi, ma è impossibile distinguerle con una lente d'ingrandimento o anche sotto uno stereoscopio.

SPECIE ESOTICHE DI TETRANYCHIDAE SEGNALATE IN ITALIA

Nella tabella 1 sono riportate le specie di tetranychidi considerate aliene per il territorio italiano. La prima specie esotica segnalata in Italia risulta *Oligonychus bicolor* (Banks) su *Castanea sativa* L. (BARBAGALLO, 1972) e successivamente rinvenuta anche nel resto del territorio nazionale su diverse essenze forestali (BERNINI *et al.*, 1995; RIGAMONTI & LOZZIA, 1999). Si tratta di un acaro di presunta origine nearctica, presente anche in Portogallo (CARMONA & DIAS, 1980), Iran (SEPASGOSARIAN, 1972) e Sud Africa (BAKER & TUTTLE, 1994).

Un anno più tardi è stato segnalato un altro tetranychide, *Panonychus citri* (McGregor), strettamente associato agli agrumi sia in pieno campo che nei vivai (CIAMPOLINI & ROTA, 1973). Si tratta di una specie polifaga con una particolare predilezione per le Rutacee, da cui si presume la sua origine orientale (FLESCNER, 1952). *P. citri* si è poi diffuso in tutte le aree agrumicole italiane e, naturalmente, in Sicilia dove risulta particolarmente dannoso su agrumi coltivati in ambiente

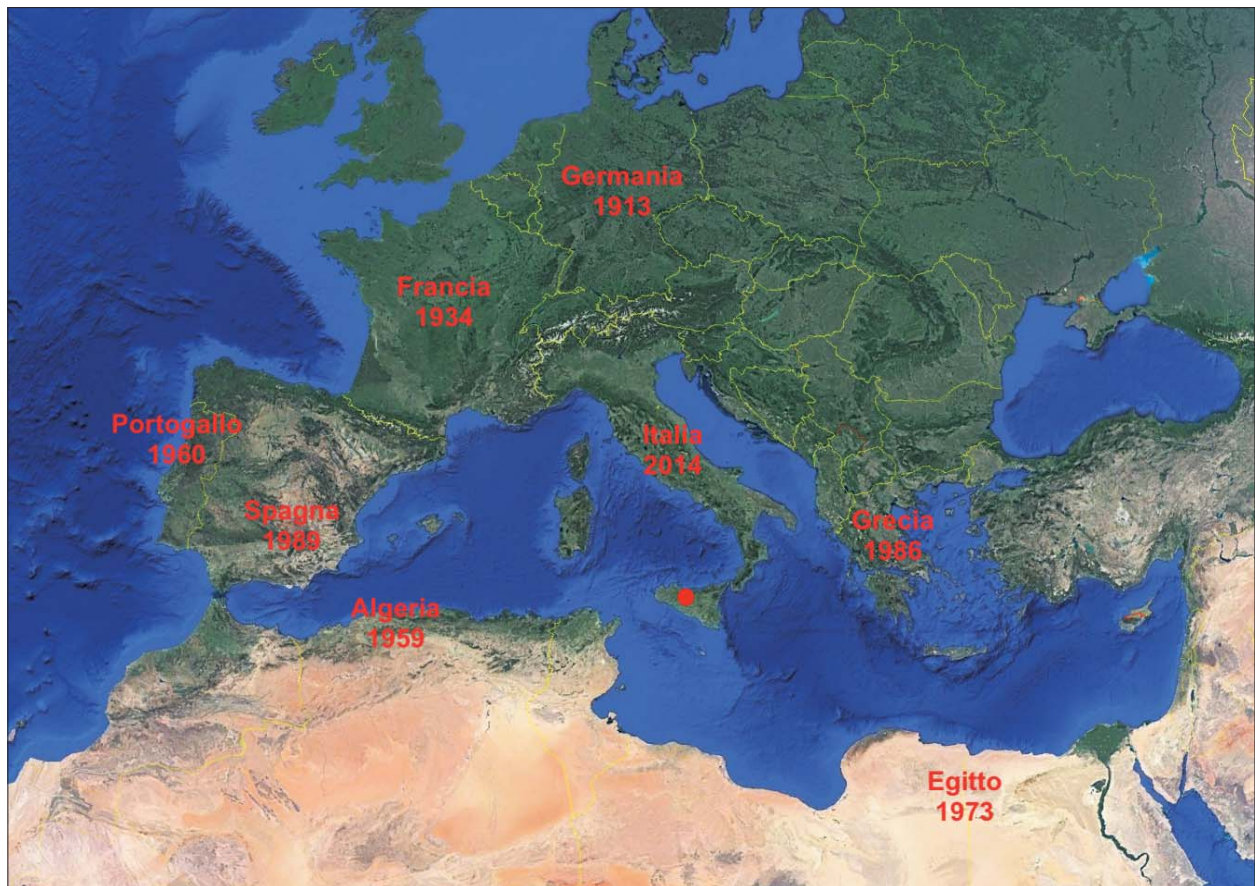


Fig. 1– Distribuzione e anno della prima segnalazione di *Tetranychus ludeni* nei vari paesi europei e del bacino del Mediterraneo.

Tabella 1 – Specie di tetranichidi esotici per il territorio italiano.

Specie	Anno di ritrovamento	Autori
<i>Oligonychus bicolor</i> (Banks 1894)	1972	BARBAGALLO, 1972
<i>Panonychus citri</i> (McGregor 1916)	1973	CIAMPOLINI & ROTA, 1973
<i>Oligonychus ilicis</i> (McGregor 1917)	1983	ROTA & BIRAGHI, 1987
<i>Tetranychus evansi</i> Baker & Pritchard 1960	2005	CASTAGNOLI <i>et al.</i> , 2006
<i>Oligonychus perseae</i> Tuttle, Baker & Abbatiello, 1976	2014	ZAPPALÀ <i>et al.</i> , 2015
<i>Tetranychus ludeni</i> Zacher 1913	2014	RAGUSA <i>et al.</i> , 2018

protetto a scopo ornamentale (Fig. 2) dove è controllato principalmente con prodotti chimici di sintesi. Le infestazioni in campo si verificano di rado, principalmente durante l'autunno e in particolari condizioni anche in primavera. In Sicilia la specie è ben controllata dalla fauna di fitoseidi associati agli agrumi e in particolare da *Iphiseius degenerans* (Berlese), *Amblyseius andersoni* (Chant), *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) e *Typhlodromus rhenanoides* (Athias-Henriot), le quattro specie più comuni su *Citrus* durante l'autunno (TSOLAKIS *et al.*, 2006). I fitoseidi precedentemente citati sono tutti considerati autoctoni nei paesi mediterranei. *Panonychus citri* è stato segnalato su più di cento piante ospiti, per la maggior parte spontanee, ma non sono disponibili dati sull'impatto di questa specie negli ecosistemi naturali italiani.

Il tetranichide *Oligonychus ilicis* (McGregor) fa la sua prima apparizione un decennio più tardi rispetto



Fig. 2 – Defogliazione provocata da forti infestazioni di *Panonychus citri* su agrumi ornamentali coltivati in ambiente protetto

al precedente, segnalato su *Azalea* sp. e *Camellia* sp., due comuni specie ornamentali, nei vivai del Lago Maggiore (Nord Italia) (ROTA & BIRAGHI, 1987). Anche questa specie è considerata di origine orientale, in base all'origine delle piante ospiti preferite dell'acaro, ovvero *Camelia* e *Rhododendro* (PRITCHARD & BAKER, 1955). Nei paesi dove è stata segnalata la sua presenza, la specie infesta anche diverse essenze forestali (ad esempio *Ilex*, *Acer*, *Buxus*, *Quercus*, *Abies*) e coltivate [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl, *Pyrus communis* L., *Oryza sativa* L.], ma ad oggi non ci sono dati sulla sua distribuzione e sulla piante ospiti per il nostro territorio.

La specie, però, che ha causato forti preoccupazioni in Europa e ovviamente in Italia, dopo la sua introduzione, è il raghetto rosso del pomodoro, *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard. Questa specie è originaria del Sud America (GUTIERREZ & ETIENNE, 1986), ma nell'ultima metà del secolo passato è stata segnalata anche nel Nord America (WOLFENBARGER & GETZIN, 1964), in alcune isole dell'Oceano Indiano (MOUTIA, 1958; BAKER & PRITCHARD, 1960), in alcuni paesi dell'Africa (MEYER, 1987; SIBANDA *et al.*, 2000) e anche in alcuni paesi del Mediterraneo (EL-JAOUANI, 1988; MIGEON *et al.*, 2009; BOLLAND *et al.*, 1998; BEN-DAVID *et al.*, 2007). Per quanto riguarda il nostro continente, *T. evansi* è stato rilevato per la prima volta in Portogallo nel 1995 (FERREIRA & CARMONA, 1995) e successivamente in Spagna (FERRAGUT *et al.*, 1997). Dopo circa un decennio è stato segnalato nella Francia meridionale (MIGEON, 2005), nel nord Italia (CASTAGNOLI *et al.*, 2006) e in Grecia (isola di Creta) (TSAGKARAKOU *et al.*, 2007).

Le principali piante ospiti di *T. evansi* appartengono alla famiglia Solanaceae, che comprende numerose specie sia coltivate che spontanee. Tra quelle coltivate ricordiamo il pomodoro, la patata, la melanzana e il tabacco. La prima coltura, in particolare, è di grande rilevanza economica in Europa e ovviamente per l'Italia che risulta il maggior produttore in Europa con circa 100.000 ettari e 6 milioni di tonnellate di resa annua.

In Italia, la specie è stata rilevata in Liguria sia su pomodoro (*Solanum lycopersicum* L.) che sulla solanacea spontanea *Solanum nigrum* L. (CASTAGNOLI *et al.*, 2006). Dopo quest'ultima segnalazione, la preoc-

cupazione per un suo imminente arrivo in Sicilia era forte, giacché l'isola contribuisce con circa il 40% alla produzione nazionale del pomodoro in serra. Per questo motivo negli ultimi 15 anni abbiamo svolto indagini costanti principalmente su questa coltura, non trascurando altre Solanacee, sia coltivate che spontanee, nella Sicilia Occidentale, senza alcun esito fino all'estate 2018, quando abbiamo rilevato forti infestazioni del tetranichide su *S. nigrum* e anche su *S. lycopersicum* e *Solanum melongena* L. In particolare su quest'ultima *T. evansi* è risultato associato a *T. urticae* e *T. ludeni*, spesso sulla stessa pianta e talvolta anche sulla stessa foglia (RAGUSA *et al.*, 2018).

Nel 2019 la specie era diffusa nelle province di Palermo e Trapani su *S. nigrum* e su alcune colture di pomodoro, ma durante l'estate del 2020 è stata trovata solo una volta su melanzana coltivata in biologico. È interessante osservare che durante i campionamenti effettuati nello stesso periodo su *S. nigrum* non è stato trovato neanche un esemplare di *T. evansi*.

C'è un intervallo di circa 15 anni tra la prima segnalazione in Liguria e la scoperta della specie in Sicilia. È stato questo il tempo necessario per attraversare la penisola italiana oppure la specie è arrivata da un altro territorio?

Per la Francia meridionale, MIGEON (2005) ha avanzato l'ipotesi che il tetranichide avesse attraversato le zone costiere mediterranee della penisola iberica, arrivando nel sud della Francia. Infatti, dopo l'ultima segnalazione a Girona (Ferragut comm. pers. in MIGEON, 2005), il tetranichide è stato trovato vicino al confine con la Spagna; il fatto che anche in Italia sia stato rinvenuto vicino ai confini con la Francia, renderebbe plausibile l'ipotesi di una sua lenta diffusione terrestre.

Tuttavia, studi recenti confutano questa teoria. Autori francesi (BOUBOU *et al.*, 2012), utilizzando marcatori molecolari, hanno evidenziato molteplici introduzioni criptiche direttamente dal Sud America e anche indirettamente attraverso l'Africa. I suddetti autori presumono almeno tre introduzioni indipendenti di *T. evansi* in Europa: due appartenenti a linee parentali ma divergenti originarie del Brasile (una dalla costa atlantica e una dal sud-ovest del Brasile) e una terza, originaria del Brasile sud-occidentale, arrivata in Europa attraverso l'Africa.

In particolare, il ceppo proveniente dalla costa atlantica del Brasile sarebbe arrivato in Portogallo, mentre una prima introduzione si sarebbe verificata dalla parte sud-occidentale del Brasile verso la parte orientale dell'Africa e una seconda direttamente nel sud della Spagna. Inoltre, si verificarono altre due introduzioni indipendenti dall'Africa orientale nel sud e nell'est della Spagna. Il ceppo presente nell'agro di Valencia e Murcia è arrivato direttamente dall'Africa orientale. Successivamente lo stesso ceppo è stato

rinvenuto anche nella parte sud-occidentale della Spagna, al confine con il Portogallo e in Italia, vicino al confine con la Francia. Popolazioni miste, inoltre, sono state trovate nel sud del Portogallo e poi nel nord-est della Spagna e nel sud della Francia (Torreilles). Lo studio ha, inoltre, indicato che una popolazione della Spagna meridionale, arrivata a seguito di una seconda introduzione dall'Africa orientale, si è mescolata con individui introdotti indipendentemente dal sud-ovest del Brasile, dando origine a una popolazione altamente polimorfa, definita "ceppo mediterraneo" che è stato segnalato anche in Tunisia e a Creta (BOUBOU *et al.*, 2012).

Di che origine è, dunque, il ceppo siciliano? Non possiamo dare ancora una risposta certa, ma vista la distribuzione del "ceppo mediterraneo" è assai probabile che le popolazioni siciliane di *T. evansi* appartengano a quest'ultimo.

Quali sono gli scenari che si aprono a seguito della sua introduzione in Sicilia? Sulle Solanacee, almeno nel breve periodo e in agricoltura convenzionale, ci aspettiamo un miglioramento del controllo con prodotti chimici di sintesi, perché *T. evansi* è più suscettibile alle sostanze chimiche rispetto a *T. urticae*, il quale ha sviluppato negli ultimi decenni ceppi resistenti nei confronti di molti acaricidi. È questo uno scenario già visto in Spagna (METTO, 2005; FERRAGUT *et al.*, 2013). Al contrario, in agricoltura biologica si prevede un peggioramento della situazione, perché i due principali acari predatori comunemente utilizzati per il controllo biologico di *T. urticae*, ovvero *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot e *Neoseiulus californicus* (McGregor), non sono in grado di controllare *T. evansi* (DE MORAES & MCMURTRY, 1985; ESCUDERO & FERRAGUT, 2005). Quindi, le ricerche per scoprire nuove specie di fitoseidi autoctone o naturalizzate nel bacino Mediterraneo, in grado di controllarlo diventano prioritarie. Un'alternativa valida potrebbe essere l'importazione dal sud America di *Phytoseiulus longipes* Evans considerato un efficiente agente di biocontrollo di *T. evansi* (DA SILVA *et al.*, 2008; MANIANIA *et al.*, 2016) L'altro aspetto che sarebbe necessario approfondire è l'impatto ecologico di *T. evansi* sull'acarofauna locale. Nella zona di origine, il tetranichide è principalmente associato alle Solanacee. Ma l'acaro ha mostrato una grande plasticità nelle aree di nuova colonizzazione e in particolare in Europa, dove solo un quarto delle piante ospiti appartiene alla suddetta famiglia (NAVAJAS *et al.*, 2013). Considerando quest'ultima informazione, è ipotizzabile che la presenza di *T. evansi* avrà un impatto negativo sulle comunità degli acari negli ecosistemi naturali? Studi condotti in Spagna (FERRAGUT *et al.*, 2013) hanno riportato un quadro ecologico piuttosto accettabile. Dopo l'invasione di *T. evansi* in Spagna, la presenza di *T. urticae* sulle piante spontanee è stata notevolmente

ridotta a favore sia di *Tetranychus turkestanii* (Ugarov & Nikolskii) che di *T. evansi*, mentre *T. ludeni* non ne è stato influenzato. Anche l'intera comunità dei Tetranychidae non sembra avere subito cambiamenti rilevanti a seguito dell'introduzione del nuovo invasore. D'altra parte, per quanto riguarda la comunità degli acari predatori appartenenti alla famiglia Phytoseiidae, non sono state riscontrate differenze prima e dopo l'invasione, sia per l'abbondanza delle quattro specie più comuni che per il numero di specie nel complesso (FERRAGUT *et al.*, 2013).

Negli ultimi tre decenni, la superficie delle colture tropicali e subtropicali in Sicilia è notevolmente aumentata. Fino a qualche anno fa queste colture erano prive di gravi infestazioni da insetti e acari. Ma, come era facilmente prevedibile, anche per queste colture sono arrivate specie aliene di fitofagi, associati comunemente a queste colture nei paesi d'origine. Tra questi, ricordiamo *Oligonychus perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello che infesta l'Avocado, coltura subtropicale

di origine centroamericana (BERGH, 1992). Questa specie è considerata assai dannosa in Messico, attualmente il maggior produttore di avocado (85% della resa mondiale) e in California, dove la specie è frequentemente controllata con pesticidi di sintesi (PHILLIPS & FABER, 1995).

Oligonychus perseae vive in colonie sotto una fitta ragnatela protettiva che forma un nido lungo le nervature della superficie inferiore delle foglie (Fig. 3). L'attività trofica degli acari produce sulle foglie infestate delle caratteristiche macchie necrotiche (Fig. 4). Il tetranychide è in grado di causare danni anche a densità di popolazione non particolarmente elevate: basta il 7-8% della superficie fogliare danneggiata per provocare la defogliazione parziale o totale degli alberi (KERGUELEN & HODDLE, 1999; APONTE & MCMURTRY, 1997).

Oligonychus perseae è stata segnalata in Sicilia nel 2014 (ZAPPALÀ *et al.*, 2015), e la sua presenza è attualmente circoscritta alle province di Catania e Messina. L'unico acaro fitoseide associato a *O. perseae* in Sicilia

Fig. 3 – Femmina giovane e uova di *Oligonychus perseae* sulla pagina inferiore di una foglia di avocado. Si può notare la ragnatela che forma il "nido" e il foro indicato con la freccia dal quale gli individui usciranno quando la superficie fogliare coperta dalla ragnatela sarà completamente danneggiata, per creare nuovi "nidi" sempre a ridosso delle nervature principali della foglia.



Fig. 4 – Foglia di avocado danneggiata dall'attività trofica di *Oligonychus perseae*. La superficie danneggiata è solamente quella sotto i "nidi" perché l'acaro si nutre esclusivamente quando si trova al riparo della ragnatela.



è il nativo *I. degenerans* che è la specie più comune in autunno su diverse colture agrarie. Non sono disponibili dati sulla sua efficacia nel controllo del tetranichide, mentre il naturalizzato *N. californicus*, potrebbe essere una valida alternativa giacché è considerato un importante agente di biocontrollo di *O. perseae* in California, Spagna e Israele, dove il tetranichide causa significative perdite economiche (BENDER, 1993; MAOZ *et al.*, 2010; GONZALEZ-FERNANDEZ *et al.*, 2009). *Oligonychus perseae*, inoltre, è in grado di infestare anche *Cerantonia siliqua* L., *Malva* sp., *Salix* sp. e *Sonchus* sp., specie vegetali molto diffuse in Sicilia, anche se ad oggi non sono disponibili dati sulla sua presenza su queste specie vegetali.

COSA SUCCEDA NEL TERZO LIVELLO TROFICO ED IN PARTICOLARE NELL'ACAROFUNA UTILE APPARTENENTE ALLA FAMIGLIA PHYTOSEIIDAE?

La fauna dei Phytoseiidae in Italia conta ad oggi 100 specie valide, 68 delle quali sono presenti in Sicilia (TSOLAKIS & RAGUSA, 2020; TSOLAKIS *et al.*, 2020). Per la maggior parte di esse si presume un'origine paleartica, basata sulla loro distribuzione, sulla preferenza alimentare e sulle piante ospiti. Infatti, anche se gli acari fitoseidi sono predatori, mostrano stretti rapporti con le piante, dovuti sia ad interazioni chimiche che fisiche (WALTER, 1992, 1996; WALTER & O'DOWD, 1992; KARBAN *et al.*, 1995; SEELMANN *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.* 2008). Alcune specie, invece, sono criptogenetiche.

Neoseiulus californicus ad esempio, è considerato di origine neotropica (BEAULIEU & BEARD, 2018), ma ormai è presente in tutti i paesi del Mediterraneo. È stato importato in Israele dalla California all'inizio degli anni '70 (SWIRSKI *et al.*, 1970) e in seguito probabilmente si è diffuso in Europa. Le prime segnalazioni italiane risalgono alla fine degli anni '80 (CALVITTI & TSOLAKIS, 1992). Tuttavia, dopo 30 anni è ancora considerata una specie rara negli ecosistemi naturali.

Un'altra scoperta interessante è una specie geneticamente vicina al summenzionato *N. californicus*, ovvero *Neoseiulus idaeus* Denmark & Muma. La specie è di certa origine neotropica, ampiamente diffusa in Sud America (TIXIER *et al.*, 2011). È stata trovata nel 2001 nella provincia di Palermo su fragole infestate da *T. urticae*, associata a *P. persimilis*. Svolge un'efficace attività predatoria in associazione con *P. persimilis*, in modo simile a *N. californicus*. *Neoseiulus idaeus* è presente principalmente negli ecosistemi antropici. È difficile immaginare come questa specie sia arrivata in Sicilia, perché fino ad ora non è disponibile in commercio.

Per quanto riguarda *P. persimilis*, recenti studi filogenetici gli attribuiscono un'origine neotropica, ma

è ampiamente diffuso sia negli ecosistemi naturali che antropici in tutto il Bacino del Mediterraneo. D'altra parte, la specie è stata descritta da esemplari raccolti in Algeria (ATHIAS-HENRIOT, 1957), cosa che fa supporre che la sua presenza nei paesi del Mediterraneo potrebbe risalire a oltre un secolo fa. Attualmente *P. persimilis* rappresenta il più importante agente di biocontrollo di *T. urticae* a livello mondiale.

Typhlodromus (Anthoseius) singularis Chant rappresenta un caso, invece, singolare, legato stavolta ad ecosistemi naturali. La specie, infatti, è stata recentemente segnalata per la regione Palearctica sulla base di esemplari raccolti su *Larix decidua* Mill. e *Sorbus aucuparia* L. in Valle d'Aosta a circa 1.500 m s.l.m. (TSOLAKIS & RAGUSA, 2020). Ad oggi, era stata nota solo nella regione Neartica e in particolare in Canada e USA.

Neoseiulella carmeli (Rivnay & Swirski) fino alla metà degli anni '90 era stata segnalata solo in Israele (RIVNAY & SWIRSKI, 1980; SWIRSKI & AMITAI, 1997). In territorio italiano è stata trovata nell'isola di Pantelleria, dove era molto diffusa sia su piante coltivate che spontanee (RAGUSA DI CHIARA & TSOLAKIS, 1995). È interessante notare che l'isola è più vicina al continente africano che alla Sicilia, dove la specie non è stata mai trovata in più di 50 anni di indagini costanti.

Anche *Typhlodromus (Anthoseius) jordanis* Rivnay & Swirski, come la specie precedente, è stata a lungo nota solo nel territorio di Israele (RIVNAY & SWIRSKI, 1980). RAGUSA DI CHIARA & TSOLAKIS (1995) hanno rinvenuto questa specie solo su *Tamarix* spp. nell'isola di Pantelleria. E anche per questo fitoseide, l'ambiente particolare di quest'isola sembra influire maggiormente rispetto alla pianta ospite. Infatti, non si è riusciti a trovare la specie in Sicilia anche dopo specifiche ricerche sulla stessa pianta ospite in gran parte della regione (TSOLAKIS *et al.*, 2020). Non ci sono ad oggi dati sulla bio-ecologia di questa specie.

Typhlodromus (Typhlodromus) knisleyi Denmark, rappresenta un caso particolare. È stata descritta da materiale raccolto su *Tsuga canadensis* (L.) Carrière nel New Jersey (USA) nel 1992 (DENMARK, 1992). Successivamente ne è stato rinvenuto un solo esemplare nella foresta vergine di Fraktò (Grecia) (TSOLAKIS & RAGUSA, 2009). In Sicilia, la specie è stata trovata associata a *Quercus* spp. sulle montagne delle Madonie (TSOLAKIS & RAGUSA, 2020). Va ricordato, a tal proposito, che gli esemplari erano stati raccolti nel 1972, cioè 20 anni prima della descrizione della specie da parte di Denmark. Sorge dunque il dubbio sulla reale origine dell'acaro: paleartica o neartica? È impossibile fornire una risposta razionale e in ogni caso si possono formulare solo ipotesi anche sulla modalità di spostamento della specie sia in un senso che nell'altro. L'unica cosa certa è che si tratta di una specie rara associata principalmente alle piante forestali e che

dopo il 1972 non è stata più raccolta in Sicilia né su querce né su altre piante ospiti.

Infine, l'ultimo arrivato della cui origine aliena siamo stavolta certi è *Amblydromalus limonicus* Garman & McGregor. La specie è di origine neotropicale ed era stata importata in Europa per scopi di ricerca negli anni '90 (VAN HOUTEN *et al.*, 1995). In seguito, nel 2011, l'acaro è stato rinvenuto in pieno campo in Spagna su melo e piante spontanee (ESCUADERO-COLOMAR & CHORAZY, 2012). Si tratta di un predatore generalista in grado di nutrirsi e riprodursi sia su insetti (Aleirodidi e tripidi) che su acari (HOOPERBRUGGE *et al.*, 2011; KNAPP *et al.*, 2013), disponibile in commercio dal 2012 in vari paesi europei. *Amblydromalus limonicus* risulta acclimatato in Spagna dove si trova comunemente su varie piante sia coltivate che spontanee (CHORAZY *et al.*, 2016).

In Sicilia è stato trovato su melanzana coltivata in biologico nel settembre 2020, associato a *T. urticae* e *T. evansi*. La specie sembra aver trovato habitat favorevoli nel bacino del Mediterraneo, ma non abbiamo ancora dati sulla sua distribuzione nel territorio siciliano.

CONSIDERAZIONI

Il numero di specie esotiche di tetranichidi introdotte nel territorio italiano è piuttosto limitato se lo si confronta con il numero di insetti che nello stesso periodo di tempo è stato segnalato sia su colture agrarie che forestali. Qualche specie, come ad esempio *P. citri*, ha destato forti preoccupazioni nei primi anni dopo il suo arrivo a causa delle forti infestazioni provocate sugli agrumi. Bisogna, tuttavia, ricordare che negli anni '70 e '80 la lotta chimica con fitofarmaci a vasto spettro d'azione era la tecnica di controllo maggiormente adottata per il controllo delle specie fitofaghe; questa tecnica, spesso abusata, portava all'eliminazione quasi totale dell'acarofauna utile, particolarmente ricca sugli agrumi (RAGUSA, 1986), con conseguenti esplosioni demografiche di *P. citri* ma anche di *T. urticae*. Da quando, invece, la lotta chimica sugli agrumi è stata fortemente ridimensionata, le infestazioni dell'acaro in pieno campo sono diventate rare. D'altra parte, *P. citri* continua ad essere un serio problema per la coltivazione di agrumi ornamentali in serra, dove la soglia del danno estetico e ancor più la diffidenza dei produttori verso il controllo biologico non permettono l'applicazione di tecniche alternative alla lotta chimica. Per quanto riguarda *O. perseae* e *T. evansi*, ulteriori indagini dovranno essere svolte nel prossimo futuro per verificare la loro diffusione nel territorio e l'effettiva dannosità sulle colture agrarie. Di fatto, la dannosità di una specie aliena è spesso presunta e l'adozione delle tecniche di controllo si

basa perlopiù sulle notizie disponibili da altri territori, piuttosto che sull'esatta valutazione del danno economico reale e della resilienza del territorio di riferimento. Il numero di specie appartenenti all'acarofauna utile in Italia è consistente e in molti casi si è dimostrata in grado di attenuare gli sconvolgimenti che abitualmente porta l'introduzione di una specie aliena.

AUTORI CITATI

- APONTE O., MCMURTRY J.A., 1997 - *Damage on "Hass" avocado leaves, webbing and nesting behavior of Oligonychus perseae (Acari: Tetranychidae)*. - *Exp. Appl. Acar.*, 21: 265-272.
- ASHIHARA W., 1987 - *Infestation and reproduction of the Citrus Red Mite, Panonychus citri (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) on Leguminous Plants*. - *Appl. Ent. Zool.*, 22(4): 512-518.
- ATHIAS-HENRIOT C., 1957 - *Phytoseiidae et Aceosejidae (Acarina, Gamasina) d'Algerie. I. Genres Blattisocius Keegan, Iphiseius Berlese, Amblyseius Berlese, Phytoseius Ribaga, Phytoseiulus Evans*. - *Bulletin de la Societe d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 48: 319-352.
- BAKER E.W., PRITCHARD A.E., 1960 - *The tetranychoid mites of Africa*. - *Hilgardia*, 29: 455-574.
- BAKER E.W., TUTTLE D.M., 1994 - *A guide to the spider mites (Tetranychidae) of the United States*. - West Bloomfield, USA, Indira Publishing House: 347 p.
- BARBAGALLO S., 1972 - *Segnalazione di un acaro tetranichide dannoso al castagno in Sicilia*. - *Entomologica*, 8: 97-108.
- BEAULIEU F., BEARD J.J., 2018 - *Acarine biocontrol agents Neoseiulus californicus sensu Athias-Henriot (1977) and N. barkeri Hughes (Mesostigmata: Phytoseiidae) redescribed, their synonymies assessed, and the identity of N. californicus (McGregor) clarified based on examination of types*. - *Zootaxa*, 4500 (4): 451-507. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4500.4.1>
- BEN-DAVID T., MELAMED S., GERSON U., MORIN S., 2007 - *ITS2 sequences as barcodes for identifying and analyzing spider mites (Acari: Tetranychidae)*. - *Experimental & Applied Acarology*, 41: 169-181.
- BENDER G.S., 1993 - *A new mite problem in avocados*. - In: *California Avocado Society Yearbook 77*, California Avocado Society, California: 73-77.
- BERGH B., 1992 - *The Origin, Nature, and Genetic Improvement of the Avocado*. California Avocado Society 1992, Yearbook 76: 61-75.
- BERNINI F., CASTAGNOLI M., NANNELLI R., 1995 - *Arachnida Acari*. Minelli, A., Ruffo, S., La Posta, S., Checklist delle specie della fauna italiana, Commission of the European Communities, 24: 24-66.
- BOLLAND H.R., GUTIERREZ J., FLECHTMANN C.H.W., 1998 - *World catalogue of the spider mite family (Acari: Tetranychidae)*. - Leiden, Brill Academic Publishers: 392 p.
- BOUBOU A., MIGEON A., RODERICK G.K., AUGER P., CORNUET J.M., MAGALHAES S., NAVAJAS M., 2012 - *Test of colonization scenarios reveals complex invasion history of the red tomato spider mite Tetranychus evansi*. - *PLoS One* 7(4):e35601. DOI 10.1371/journal.pone.0035601.
- BOUBOU A., MIGEON A., RODERICK G.K., NAVAJAS M., 2011 - *Recent emergence and worldwide spread of the red tomato spider mite, Tetranychus evansi: genetic variation and multiple cryptic invasions*. - *Biol Invasions*, 13:81-92 DOI 10.1007/s10530-010-9791-y.

- CALVITTI M., TSOLAKIS H., 1992 - *Acari predatori fitoseidi presenti su alcune colture erbacee nel Lazio*. - Redia, 75(2): 529-535.
- CARMONA M.M., DIAS J.C.S., 1980 - *O complexo Acarina nas culturas portuguesas*. - I. Congresso Português Fitiatria e Fitofarmacologia, Lisboa, Portugal: 97-115.
- CASTAGNOLI M., NANNELLI R., SIMONI S., 2006 - *Un nuovo temibile fitofago per la fauna italiana: Tetranychus evansi (Baker e Pritchard) (Acari Tetranychidae)*. - Informatore Fitopatologico, 5: 50-52.
- CHORAZY A., KROPCZYNSKA-LINKIEWICZ A., SAS D., ESCUDERO-COLOMAR L.-A., 2016 - *Distribution of Amblydromalus limonicus in northeastern Spain and diversity of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in tomato and other vegetable crops after its introduction*. - Exp. Appl. Acarol., 69:465-478. DOI 10.1007/s10493-016-0050-5.
- CIAMPOLINI M., ROTA P., 1972 - *Presenza in Italia di Panonychus citri (McGregor) (Acarina, Tetranychidae)*. - Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura, 11: 195-205.
- DA SILVA F.R., DE MORAES G.J., KNAPP M., 2008 - *Distribution of Tetranychus evansi and its predator Phytoseiulus longipes (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in southern Brazil*. - Exp. Appl. Acarol., 45:137-145. DOI 10.1007/s10493-008-9184-4.
- DE MORAES G.J., MCMURTRY J.A., 1985 - *Comparison of Tetranychus evansi and T. urticae (Acari: Tetranychidae) as prey for eight species of phytoseiid mites*. - Entomophaga, 30(4): 393-397.
- DENMARK H.A., 1992 - *A revision of the genus Typhlodromus Scheuten (Acari: Phytoseiidae)*. - Occasional Papers of the Florida State Collection of Arthropods, 7: 1-43.
- EL-JAOUANI N., 1988 - *Contribution à la connaissance des acaridés phytophages au Maroc et étude bio-écologique de Tetranychus evansi Baker et Pritchard (Acarina: Tetranychidae)*. - Rabat, Maroc, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II: 60.
- ESCUDERO L.A., FERRAGUT F., 2005 - *Life-history of predatory mites Neoseiulus californicus and Phytoseiulus persimilis (Acari: Phytoseiidae) on four spider mite species as prey, with special reference to Tetranychus evansi (Acari: Tetranychidae)*. - Biological Control, 32: 378-384.
- ESCUDERO-COLOMAR L.-A., CHORAZY A. 2012 - *First record of Amblydromalus limonicus (Acari: Phytoseiidae) from Spain*. - International Journal of Acarology, 38(6): 545-546.
- FERRAGUT F., ESCUDERO L.A., OLMEDA T., 1997 - *Tetranychus evansi Baker & Pritchard (Acari: Tetranychidae), una nueva araña roja en los cultivos hortícolas españoles*. - Resúmenes de las VI Jornadas de la S.E.E.A., Edicions Universitat de Lleida: 66.
- FERRAGUT F., GARZÓN-LUQUE E., PEKAS A., 2013 - *The invasive spider mite Tetranychus evansi (Acari: Tetranychidae) alters community composition and host-plant use of native relatives*. - Exp. Appl. Acarol. 60: 321-341. DOI 10.1007/s10493-012-9645-7.
- FERREIRA J.A., BRECHTJE E., JANSSEN A., SABELIS M.W., 2008 - *Domatia reduce larval cannibalism in predatory mites*. - Ecological Entomology, 33: 374-379. DOI 10.1111/j.1365-2311.2007.00970.
- FERREIRA M.A., CARMONA M.M., 1995 - *Acarofauna do tomateiro em Portugal*. - Avances en Entomologia Ibérica, Museo Nacional Ciencias Naturales y Universidad de Madrid: 385-392.
- FLESCHNER C.A., 1952 - *Host-plant resistance as a factor influencing population density of citrus red mites on orchard trees*. - J. Econ. Ent., 45: 687-695.
- GONZALEZ-FERNANDEZ J.J., DE LA PENA F., HORMAZA J.I., BOYERO J.R., VELA J.M., WONG E., TRIGO M.M., MONTERRAT M., 2009 - *Alternative food improves the combined effect of an omnivore and a predator on biological pest control. A case study in avocado orchards*. - Bulletin of Entomological Research, 99: 433-444.
- GUTIERREZ J., ETIENNE J., 1986 - *Les Tetranychidae de l'île de la Reunion et quelques-uns de leurs prédateurs*. - Agron. Trop., 41:84-91.
- HOOPERBRUGGE H., VAN HOUTEN Y., KNAPP M., BOLCKMANS K., 2011 - *Biological control of thrips and whitefly on strawberries with Amblydromalus limonicus and Amblyseius swirskii*. - IOBC/WPRS Bull 68: 65-69.
- HOOPERBRUGGE H., VAN HOUTEN Y., KNAPP M., BOLCKMANS K., 2011 - *Biological control of thrips and whitefly on strawberries with Amblydromalus limonicus and Amblyseius swirskii*. - IOBC/Wprs Bull., 68: 65-69. Available online at: https://www.iobc-wprs.org/members/shop_en.cfm?mod_Shop_detail_produkte=43
- KARBAN R., ENGLISH-LOEB G., WALKER M.A., THALER J., 1995 - *Abundance of phytoseiid mites on Vitis species: effects of leaf hairs, domatia, prey abundance and plant phylogeny*. - Exp. Appl. Acarol., 19: 189-197. DOI10.1007/BF00130822.
- KERGUELEN V., HODDLE M.S., 1999 - *Biological control of Oligonychus perseae (Acari: Tetranychidae) on avocado: II. evaluating the efficacy of Galendromus helveolus and Neoseiulus californicus (Acari: Phytoseiidae)*. - International Journal of Acarology, 25(3): 221-229. DOI 10.1080/01647959908684156.
- KNAPP M., VAN HOUTEN Y., HOOPERBRUGGE H., BOLCKMANS K., 2013 - *Amblydromalus limonicus (Acari: Phytoseiidae) as a biocontrol agent: literature review and new findings*. - Acarologia, 53: 191-202. DOI 10.1051/acarologia/20132088.
- LINDQUIST E.E., KRANTZ G.W., WALTER D.E., 2009 - *Classification, Chapter eight*. In: "A manual of Acarology". - Krantz G.W. & Walter D.E. (eds) 3rd ed., 97-103.
- MANIANIA N.K., EKESI S., KUNGU M.M., SALIFU D., SRINIVASAN R., 2016 - *The effect of combined application of the entomopathogenic fungus Metarhizium anisopliae and the release of predatory mite Phytoseiulus longipes for the control of the spider mite Tetranychus evansi on tomato*. - Crop Protection, 90: 49-53.
- MAOZ Y., GAL S., ZILBERSTEIN M., IZHAR Y., ALCHANATIS V., COLL M., PALEVSKY E., 2010 - *Determining an economic injury level for the perseamite, Oligonychus perseae, a new pest of avocado in Israel*. - Entomologia Experimentalis et Applicata, 138: 110-116.
- METTO M., 2005 - *Acaricide di sintesi per il controllo di Tetranychus urticae Koch e T. evansi Baker and Pritchard (Acari, Tetranychidae): confronto dell'efficacia in prove di laboratorio*. - Degree Thesis. University of Bari, Italy.
- MEYER, M.K.P.S., 1987 - *African Tetranychidae (Acari: Prostigmata) with reference to the world genera*. - Entomology Memoir, Department of Agriculture and Water Supply, Republic of South Africa, 69: 1-175.
- MIGEON A., 2005 - *Un nouvel acaridien ravageur en France: Tetranychus evansi Baker et Pritchard*. - Phytoma, La Défense des Végétaux, 579: 38-43.
- MIGEON A., DORKLED F., 2021 - *Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae*. - Available from <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb> (Accessed 15/01/2021).
- MIGEON A., FERRAGUT F., ESCUDERO-COLOMAR L., FIABOE K., KNAPP M., DE MORAES G., UECKERMANN E., NAVAJAS M., 2009 - *Modelling the potential distribution of the invasive tomato red spider mite, Tetranychus evansi (Acari: Tetranychidae)*. - Experimental and Applied Acarology, 48: 199-212.

- MOUTIA L.A., 1958 - *Contribution to the study of some phytophagous Acarina and their predators in Mauritius*. - Bulletin of Entomological Research, 49: 59-75.
- NAVAJAS M., DE MORAES G.J., AUGER P., MIGEON A., 2013 - *Review of the invasion of Tetranychus evansi: biology, colonization pathways, potential expansion and prospects for biological control*. - Exp. Appl. Acarol., 59:43-65 DOI 10.1007/s10493-012-9590-5.
- NAVAJAS M., MIGEON A., ESTRADA-PEÑA A., MAILLEUX A.-C., SERVIGNE P., PETANOVIĆ R., 2010 - *Mites and ticks (Acari)*. - Chapter 7.4. BioRisk 4(1): 149-192 DOI 10.3897/biorisk.4.58.
- PHILLIPS P., FABER B., 1995 - *Persea mite spray trials*. - Calif. Avocado Soc. Yearbook 79: 197-200.
- PRITCHARD A.E., BAKER E.W., 1955 - *A revision of the spider mite family Tetranychidae*. - Pac. Coast Entomol. Soc. Mem., Ser. 2, 472 pp.
- RAGUSA S., 1986 - *Study on population fluctuations of phytoseiid mites in a citrus orchard in Sicily*. - Acarologia, 27(3): 193-201.
- RAGUSA DI CHIARA S., TSOLAKIS H., 1995 - *Parasitiformes Phytoseiidae di Pantelleria*. - Naturalista Sicil., XIX (Suppl. Arthropoda di Lampedusa, Linosa e Pantelleria (Canale di Sicilia, Mar Mediterraneo): 87-98.
- RAGUSA E., SINACORI M., TSOLAKIS H., 2018 - *First record of Tetranychus ludeni Zacher (Acariformes: Tetranychidae) in Italy*. - International Journal of Acarology, 45(1, 2): 26-28.
- RIGAMONTI I.E., LOZZIA G.C., 1999 - *Injurious and beneficial mites on urban trees in Northern Italy*. - Acta Horticulturae, 177-182.
- RIVNAY T., SWIRSKI E. 1980 - *Four new species of phytoseiid mites (Acarina: Mesostigmata) from Israel*. - Phytoparasitica, 8 (3): 173-187.
- ROTA P., BIRAGHI C., 1987 - *Oligonychus ilicis (McGregor): acarò tetranichide nuovo per l'Europa, fitofago su azalee, camelie e rododendri*. - Informatore Agrario, 15: 105-107.
- SEELMANN L., AUER A., HOFFMANN D., SCHAUSBERGER P., 2007 - *Leaf pubescence mediates intraguild predation between predatory mites*. - Oikos, 116: 807-817. DOI 10.1111/j.2007.0030-1299.15895.x.
- SEPASGOSARIAN, H., 1972 - *Pflanzenspinmilben und ihre wirtschaftliche Bedeutung im Iran*. - Anzeiger für Schadlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz, 45: 105-107.
- SIBANDA T, DOBSON H.M, COOPER J.F, MANYANGARIRWA W., CHIIMBA W., 2000 - *Pest management challenges for small holder vegetable farmers in Zimbabwe*. - Crop. Prot., 19: 807-815
- SWIRSKI E., AMITAI S., DORZIA N., 1970 - *Laboratory studies on the feeding habits, post-embryonal survival and oviposition of the predaceous mites Amblyseius chilensis Dosse and Amblyseius hibisci Chant (Acarina: Phytoseiidae) on various kind of food substances*. - Entomophaga, 15: 93-106.
- SWIRSKI E., AMITAI S., 1997 - *Notes on phytoseiid mites (Mesostigmata: Phytoseiidae) of Mt. Carmel (Israel), with descriptions of two new species*. - Israel Journal of Entomology, 31: 1-20.
- SZNAJDER B., SABELIS M.W., EGAS M., 2011 - *Innate responses of the predatory mite Phytoseiulus persimilis to a herbivore-induced plant volatile*. - Exp. Appl. Acarol., 54: 125-138. DOI 10.1007/s10493-011-9430-z
- TIXIER M-S., KREITER S., DE MORAES G.J., 2008 - *Biogeographic distribution of the Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata)*. - Biological Journal of the Linnean Society, 93: 845-856.
- TIXIER M-S., TSOLAKIS H., RAGUSA S., POINSO A., FERRERO M., OKASSA M., KREITER S., 2011 - *Integrative taxonomy demonstrates the unexpected synonymy between two predatory mite species: Cydnodromus idaeus and C. picanus (Acari: Phytoseiidae)*. - Invertebrate Systematics, 25: 273-281.
- TSAGKARAKOU A., CROS-ARTEIL S., NAVAJAS M., 2007 - *First record of the invasive mite Tetranychus evansi in Greece*. - Phytoparasitica, 35: 519-522.
- TSOLAKIS H., RAGUSA DI CHIARA S., CONTI F., TUMMINELLI R., PERROTTA G., RACITI E., 2006 - *Population dynamics and specific composition of phytoseiid mites (Parasitiformes, Phytoseiidae) associated with lemon trees in three differently managed orchards in eastern Sicily*. - In: F. Garcia-Mari (ed) "Integrated Control in Citrus Fruit Crops". IOBC wprs Bulletin, 29: 295-302.
- TSOLAKIS H., RAGUSA E., SINACORI M., RAGUSA DI CHIARA S., 2020 - *Phytoseiidae (Acari: Parasitiformes) of Sicily (Italy): species diversity after half a century of surveys*. - In: La Mantia T., Badalamenti E., Carapezza A., Lo Cascio P. & Troia A. (Eds.), "Life on islands. Biodiversity in Sicily and surrounding islands. Studies dedicated to Bruno Massa", Edizioni Danaus, Palermo, 53-104.
- TSOLAKIS H., RAGUSA S., 2009 - *Phytoseiid mites associated with forest trees in two "Natura 2000" locations: S. Adriano woods (Sicily) and Fraktò virgin forest (Greece)*. - Integrated Control of Plant-Feeding Mites IOBC/wprs Bulletin, 50: 106.
- TSOLAKIS H., RAGUSA S., 2020 - *New records of phytoseiid mites from Italy, with description of a new species and a redescription of other two (Parasitiformes, Phytoseiidae)*. - Acarologia, 60(4): 735-752 DOI 10.24349/acarologia/20204399.
- VAN HOUTEN Y., VAN RIJN M., TANIGOSHI P.C.J.L.K.P., VAN STRATUM P., BRUIN J., 1995 - *Preselection of predatory mites for year-round control of western flower thrips (Frankliniella occidentalis) in greenhouse crops*. - Entomol. Exp. Appl., 74: 225-234.
- WALTER D.E. 1992 - *Leaf surface structure and the distribution of Phytoseius mites (Acarina: Phytoseiidae) in south-east Australian forests*. - Aust. J. Zool., 40: 593-603.
- WALTER D.E, O'DOWD D.J., 1992 - *Leaf morphology and predators: effect of leaf domatia on the abundance of predator mites (Acari: Phytoseiidae)*. - Env. Entomol., 21:478-84.
- WILLIAMSON M., FITTER A., 1996 - *The varying success of invaders*. - Ecology, 77: 1661-1666.
- WOLFENBARGER D.A., GETZIN L.W., 1964 - *Insecticides and surfactant-insecticide combinations for control of the mite Tetranychus marianae McG., on tomatoes and eggplant*. - Florida Entomologist, 42: 123-128.
- ZACHER, F., 1913 - *Untersuchungen über Spinnmilben*. - Mitt. Kais. Biol. Anst. Land-Forst., 14: 37-41.
- ZAPPALÀ L., KREITER S., RUSSO A., TROPEA GARZIA G., AUGER P., 2015 - *First record of the Persea Mite Oligonychus perseae (Acari: Tetranychidae) in Italy with a review of the literature*. - International Journal of Acarology, 41(2): 97-99. DOI 10.1080/01647954.2015.1014415.

176 - Pagina bianca

RECENTI ACQUISIZIONI SULL'ERIOFIDE DELL'ERINOSI DELLA VITE (*COLOMERUS VITIS*)

ENRICO DE LILLO^a - DOMENICO VALENZANO^a - GIOVANNI TAMBURINI^a - CARLO DUSO^b - SAURO SIMONI^c

^aUniversità degli Studi di Bari Aldo Moro – Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.). Via G. Amendola, 165/a, 70126, Bari, Italia; e-mail: enrico.delillo@uniba.it

^bUniversità degli Studi di Padova – Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente (D.A.F.N.A.E.), Via dell'Università, 16, 35020 Legnaro (PD), Italia

^c(CREA-DC) - Centro di ricerca per la Difesa e la Certificazione, Via Lanciola 12/a, 50125, Firenze, Italia

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Attuali problematiche in Acarologia". Seduta pubblica dell'Accademia, svolta da remoto, 20 novembre 2020.

Grape erineum strain of Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae): recent findings and notes

Grape erineum strain of *Colomerus vitis* is worldwide spread in vineyards, mainly inducing noticeable symptoms on leaves. This mite species has been considered a minor pest for long time. In the last years, it has been renewed interest for deeper investigations for its impact on plant growth and biochemistry as well as for its relationship with Grapevine Pinot Gris Virus (GPGV). The most recent findings on some morphological (protogynes versus deutogynes), biological (deutogyne appearance) and ecological aspects of this mite species (host plant – mite relationships with particular emphasis on the morphological and biochemical effects of the infestations; mite – virus interactions) are shortly reviewed.

KEY WORDS: Eriophyoidea, protogyne, deutogyne, ecology, GPGV, virus transmission, cultivar susceptibility

INTRODUZIONE

Gli acari della superfamiglia Eriophyoidea, con le tre famiglie Phytoseptidae, Eriophyidae e Diptilomiopidae, sono fitofagi obbligati, caratterizzati da alta specializzazione e monofagia prevalente (SKORACKA *et al.*, 2010; DE LILLO *et al.*, 2018). Molte specie non inducono sintomi peculiari tali da indicarne la loro presenza. Molte altre inducono appariscenti deformazioni degli organi infestati con formazione di galle di vario aspetto, dimensione e colore, influenzando negativamente anche la fisiologia della pianta. Altre specie ancora assommano il loro impatto diretto con quello dei virus che trasmettono alle piante. La diffusione degli eriofioidei è favorita dagli scambi commerciali di piante e prodotti vegetali, nonché dal movimento delle masse d'aria (VALENZANO *et al.*, 2019).

Calepitrimerus vitis (Nalepa) e *Colomerus vitis* (Pagenstecher) sono gli eriofidi più comuni della vite e ad ampia distribuzione geografica (DUSO e DE LILLO, 1996). *Calepitrimerus vitis* influenza negativamente lo sviluppo dei tralci, della chioma in generale e la produzione di uva (WALTON *et al.*, 2007). *Colomerus vitis* è prevalentemente associato a erinosi delle foglie. I sintomi di quest'ultima specie sono stati descritti in dettaglio già dal BRIOSI (1876), mentre la prima accurata caratterizzazione morfologica del colomero è stata fornita molto tempo dopo (KEIFER, 1944). Proprio sulla base dei sintomi, gli autori hanno riconosciuto tre ceppi del *Col. vitis*, indistinguibili su base morfologica:

un ceppo associato a deformazioni delle gemme, un altro allo sviluppo di erinosi e un terzo all'accartocciamento fogliare (SMITH e STAFFORD, 1948; VACANTE, 2015). Tuttavia, il ceppo dell'erinosi provoca alterazioni dello sviluppo dei tralci e delle foglie, riduzione della produzione ed è implicato nella trasmissione di virus (DUSO e DE LILLO, 1996; AVGIN e BAHADIROĞLU, 2004; KUNUGI *et al.*, 2000). In letteratura, questo ceppo è comunemente indicato come Grape Erineum Mite (GEM) ed è molto più diffuso rispetto agli altri due ceppi. Un tentativo di distinguere questo ceppo da quello che reca danno alle gemme è stato realizzato su popolazioni australiane mediante l'analisi dei frammenti di restrizione dell'Internal Transcript Spacer 1 (ITS1) e delle sequenze dei microsatelliti (CAREW *et al.*, 2004).

Nell'ultimo decennio, *Col. vitis* ha riscosso un considerevole interesse scientifico documentato da 29 articoli indicizzati da SCOPUS dal 2010, un numero inferiore solamente rispetto ai 63 su *Aceria tosichella* Keifer (eriofide vettore di virus su cereali), 60 su *Aceria guerreronis* Keifer (eriofide fitofago chiave della pianta di cocco), 39 su *Aceria tulipae* (Keifer) (eriofide vettore di virus su diverse bulbose) se si selezionano i soli eriofioidei (<https://www.scopus.com/> al 20 novembre 2020). Questo può trovare spiegazione, in particolare, nell'impatto dell'eriofide sullo sviluppo di tralci e foglie, queste ultime utilizzate nella preparazione di piatti tipici in molti paesi dell'area Mediterranea

e Irano-Turanica, nonché nell'interazione del GEM con un nuovo virus della vite (Grapevine Pinot Gris Virus, GPGV) (JAVADI KHEDERI *et al.*, 2014a; MALAGNINI *et al.*, 2016).

Il presente contributo vuole fornire, sinteticamente, un aggiornamento dei risultati ottenuti nei più recenti studi conclusi sul ceppo di *Col. vitis* associato all'erinosi, indicando potenziali prospettive di approfondimento su questioni tassonomiche e bio-ecologiche tuttora non sufficientemente chiarite.

MORFOLOGIA: PROTOGINE VS DEUTOGINE

Le caratteristiche eto-morfologiche, qualitative e quantitative, di un eriofioideo possono essere influenzate da numerosi fattori come la pianta ospite e il suo genotipo, le condizioni ambientali e le stagioni, la tecnica di allestimento dei preparati, l'esperienza e l'abilità dell'operatore, il settaggio e la qualità degli strumenti utilizzati (MANSON e OLDFIELD, 1996; DENIZHAN *et al.*, 2008; DE LILLO *et al.*, 2010; JAVADI KHEDERI *et al.*, 2014a; DRUCIAREK *et al.*, 2016; LASKA *et al.*, 2019). Gli eriofioidei sono caratterizzati da polimorfismo stagionale (detto deuteroginia) con presenza di una forma svernante, quasi esclusivamente femminile e denominata deutogina, e una forma primaverile-estiva sia femminile (detta protogina) che maschile (OLDFIELD, 1996). La deutogina solitamente differisce dalla protogina e dal relativo maschio per caratteristiche morfologiche e bio-etologiche (KEIFER, 1975). Spesso, queste differenze riguardano caratteri minori generalmente poco considerati o poco evidenti, e rese di difficile identificazione a causa dalla variabilità morfologica intraspecifica.

La letteratura comprende numerose descrizioni, più o meno dettagliate, di popolazioni di GEM raccolte in diverse aree geografiche e periodi dell'anno, su cultivar non sempre registrate, in particolare su materiale preparato per lo studio con diverse tecniche di allestimento con il risultato di mostrare spesso un'ampia variabilità non attribuibile a un singolo fattore. BAGDASARIAN (1981) è stato l'unico a fornire una descrizione dettagliata delle due forme femminili le quali, però, hanno mostrato un'ampissima sovrapposizione nei caratteri qualitativi e quantitativi con la sola esclusione del numero dei raggi che formano l'empodio posto all'estremità del tarso di entrambe le zampe (5 paia nelle protogine e 4 paia nelle deutogine). Lo studio affrontato dall'autore tralascia, purtroppo, i dati di raccolta (data, località, cultivar, organo associato alla raccolta, ecc.) e non applica nessuna analisi statistica sui caratteri quantitativi. Più recentemente, si è affrontata questa tematica mediante lo studio di

una popolazione di GEM su poche piante di uno stesso vigneto, raccogliendo individui da gemme in autunno e inverno, e da erinosi fogliari in primavera ed estate (6 campionamenti, da dicembre 2015 a gennaio 2017) (VALENZANO *et al.*, 2020). Lo studio morfologico ha interessato 66 caratteri quantitativi tra quelli ordinariamente utilizzati per la descrizione di un eriofioideo (*cf.*: PETANOVIĆ, 2016). L'analisi statistica di questi ha consentito di individuare 35 caratteri distintivi tra protogine e deutogine. La lunghezza della setola tibiale del primo paio di zampe (più corta nella deutogina), la lunghezza della setola parassiale del tarso del secondo paio di zampe (più corta nella deutogina) e la numerosità dei semiannuli dorsali lisci sulla parte posteriore dell'opistosoma (lisci solo nella deutogina) sono risultati i caratteri determinanti e altamente significativi per la distinzione delle due forme che sono state descritte compiutamente secondo gli standard correnti, integrando le descrizioni di BAGDASARIAN (1981). L'analisi dei marcatori molecolari di una cinquantina di individui raccolti più o meno equamente negli stessi campionamenti ha altrettanto confermato la perfetta similarità delle 628 paia di basi delle sequenze ITS1 nelle protogine e deutogine (VALENZANO *et al.*, 2020).

RUOLO BIOLOGICO DELLE DEUTOGINE

Per quanto riportato in letteratura, a iniziare da fine estate, le deutogine di *Col. vitis* muovono verso le gemme per svernare sotto le perule (*cf.*: DUSO e DE LILLO, 1996). In una recente indagine, densità maggiori di individui svernanti sono state rinvenute nelle cinque gemme più basali del germoglio dell'anno, in giovani piante in vaso (JAVADI KHEDERI *et al.*, 2018a), confermando precedenti evidenze (BAGGIOLINI *et al.*, 1969). Tuttavia, la distribuzione delle deutogine fra i diversi organi della pianta richiede approfondimenti ulteriori al fine di individuare possibili relazioni tra le caratteristiche varietali (es. dimensione ed epoche di maturazione delle gemme) e le densità di popolazione, pur essendo attesa una maggiore densità nelle gemme che schiudono per prime in primavera.

Basandosi su quanto emerso dallo studio morfologico nella caratterizzazione di protogine vs deutogine, è stato possibile osservare in modo distinto il loro alternarsi su parti diverse delle piante colpite: nelle gemme raccolte a fine autunno e inizio inverno sono state rinvenute solo deutogine; da erinosi fogliari, in primavera, sono state estratte solo protogine; le prime deutogine sono state osservate nelle erinosi già a fine luglio, seppure in percentuale contenuta (16,9%) rispetto al totale esaminato, per poi registrare il sopravvento numerico (91,6%)

nel campionamento successivo a inizio settembre (VALENZANO *et al.*, 2020).

Le deutogine costituiscono le forme fisiologicamente adattate allo svernamento. A riguardo, VALENZANO *et al.* (2019) hanno dimostrato sperimentalmente una maggiore tolleranza ad alcune condizioni di stress abiotici (bassa temperatura, inedia, anossia o carenza di ossigeno) rispetto alle protogine che, al contrario, hanno manifestato una più spiccata suscettibilità ai fattori citati. La risposta diversa a tali condizioni, tenendo conto di come il vento abbia un ruolo fondamentale nella colonizzazione di nuove piante, induce a supporre un diverso ruolo delle due forme nella dispersione dell'eriofide. Poiché scarsamente capaci di adattarsi a condizioni ambientali sfavorevoli, le protogine potrebbero essere principalmente implicate nella dispersione a breve distanza (tra piante vicine dello stesso vigneto o di vigneti promiscui). Invece, le deutogine, proprio perché più tolleranti agli stress ambientali, potrebbero essere capaci di dispersione a maggiore distanza, eventualmente raggiungendo strati atmosferici a temperatura più rigida e umidi grazie alle masse ascensionali di aria. Questo sarebbe compatibile con la più alta percentuale di deutogine delle erinosi riscontrata ancora a settembre e con la cattura di deutogine in trappole ad acqua (VD e dLE, osservazioni inedite). L'ipotesi che le deutogine siano coinvolte nella dispersione è già stata precedentemente proposta da SHEVTCHENKO e DE MILLO (1968) e BRITTO *et al.* (2008).

RISPOSTA DELL'OSPITE ALL'INFESTAZIONE DA GEM

L'impatto del GEM sulla produzione d'uva in termini quantitativi e qualitativi è stata scarsamente studiata, mentre diversi studi hanno recentemente esplorato la risposta vegetativa e biochimica delle piante infestate in laboratorio, serra e campo saggiando più cultivar che hanno manifestato una diversa suscettibilità.

L'erinosi fogliare rappresenta il sintomo più accuratamente descritto nella forma, istologia, sviluppo e organizzazione della massa di peli, mentre altre deformazioni sono state spesso attribuite ad altri ceppi (KEIFER, 1975; MATHEZ, 1965; DUSO e DE LILLO, 1996; VACANTE, 2015). JAVADI KHEDERI *et al.* (2014a) hanno dimostrato che GEM è in grado di discriminare tra le cultivar esprimendo una scelta preferenziale in test di scelta multipla. In saggi a scelta obbligata su piante giovani e in vaso è stato possibile osservare come le infestazioni causassero la riduzione della dimensione delle foglie, del loro contenuto in clorofilla (espresso in unità SPAD), della lunghezza dei nuovi germogli senza alternarne la lunghezza degli internodi, con

l'incremento in peso fresco delle foglie e con le cultivar saggiate (JAVADI KHEDERI *et al.*, 2014a, 2014b, 2018a, 2018b). Riguardo alla ricaduta sulla produzione, l'impatto delle popolazioni di GEM sugli organi vegetativi è sembrata essere trascurabile in termini quantitativi, anche se mancano indagini specifiche. GEM è stato anche rinvenuto sulla superficie dei grappoli in assenza di sintomi particolari (CRAEMER e SACCAGI, 2013; dLE, osservazioni personali). JAVADI KHEDERI *et al.* (2014b) rilevarono, comunque, come GEM possa ridurre la dimensione e il peso degli acini e il loro contenuto in carboidrati, anche se l'impatto non risultò significativo, in accordo con quanto precedentemente accertato da AVGIN e BAHADIROĞU (2004).

GEM rappresenta sicuramente un fattore di stress alterando la concentrazione di alcune componenti costitutive della pianta (zuccheri solubili, fenoli) e stimolando la produzione di Specie Reattive dell'Ossigeno (ROS), l'attività di enzimi antiossidanti e di quelli a funzione difensiva (JAVADI KHEDERI *et al.*, 2018c). Le variazioni di questi marcatori sono risultate dipendere dalla distanza del rilievo rispetto all'infestazione e dalla cultivar. In particolare, le percentuali delle quantità di perossido di idrogeno e malondialdeide, e delle attività del superossido dismutasi, polifenolossidasi e perossidasi sono cresciute successivamente all'infestazione risultando correlate negativamente e significativamente con lo sviluppo delle erinosi fogliari. Una debole e tardiva (dopo 4 settimane dall'infestazione) correlazione positiva è stata rilevata tra le variazioni nella concentrazione degli zuccheri solubili totali e lo sviluppo delle erinosi fogliari. Nessuna correlazione è stata, invece, apprezzata tra le variazioni dei polifenoli totali e lo sviluppo delle erinosi fogliari (JAVADI KHEDERI *et al.*, 2018c).

Infine, JAVADI KHEDERI *et al.* (2018d) hanno studiato l'espressione di geni codificanti proteine correlate alla patogenesi e alle pareti cellulari nel breve periodo (6 giorni) successivo all'infestazione su giovani piante in vaso su cultivar a diversa suscettibilità al GEM: nello studio i geni codificanti LOX (lipossigenasi), STS (stilbene sintetasi), GLU (beta-1,3-glucanase), PGIP (inibitore della poligalatturonase) e PRP1 (*Vitis vinifera* proline-rich protein 1) sono risultati maggiormente espressi nelle cultivar maggiormente suscettibili.

COLOMERUS VITIS E GRAPE PINOT GRIS VIRUS (GPGV)

Il *Trichovirus* GPGV (fam. Betaflexiviridae, ssRNA+) è stato recentemente rinvenuto su Pinot Gris e Traminer in Trentino-Alto Adige, caratterizzato da un punto di

vista molecolare nei suoi isolati, sintomatici e asintomatici, e nella malattia espressa (Grapevine Leaf Mottling and Deformation = GLMD) (GIAMPETRUZZI *et al.*, 2012; MALOSSINI *et al.*, 2012; MARTELLI, 2014; SALDARELLI *et al.*, 2015; MORÁN *et al.*, 2018). La diffusione nazionale e mondiale del virus è ormai molto ampia (EPPO database: <https://gd.eppo.int/taxon/GPGV00/distribution>). La sequenza di questo virus è molto simile a quella di un altro *Trichovirus* denominato Grape Inner Necrosis Virus (GINV), precedentemente descritto in Giappone (TERAI *et al.*, 1993). Il GEM è risultato il principale vettore del GINV (KUNUGI *et al.*, 2000; WATAUCHI *et al.*, 2014), suggerendo un potenziale ruolo anche nella trasmissione del GPGV.

Lo studio dell'epidemiologia del GPGV in laboratorio, in serra e in campo, utilizzando varie metodologie di indagine, ha confermato la trasmissione del virus tramite GEM. L'esposizione mensile di piante trappole in vigneti infestati da GEM e infetti da GPGV in un biennio di indagine ha consentito di osservare il passaggio degli eriofidi e del virus dal vigneto alle piante in vaso (articolo in preparazione). Saggi di laboratorio con trasferimento degli eriofidi da dischetti di foglie prelevate da piante infette da GPGV a quelli prelevate da piante sane ha consentito di stabilire un periodo minimo di acquisizione e di inoculazione pari a 24 ore ciascuno (articolo in preparazione). Tutti i saggi hanno mostrato come la trasmissione del virus da parte dell'eriofide sia indipendente dalla formazione successiva dell'erinosi (MALAGNINI *et al.*, 2016; DV, osservazioni personali). Questo aspetto e l'abilità degli eriofidi di emettere saliva anche in assenza dell'ospite (DE LILLO e MONFREDA, 2004) potrebbero spiegare il rilevamento di GPGV anche in alcune piante spontanee (GUALANDRI *et al.*, 2017) come effetto di assaggi occasionali di individui dispersi su piante non ospiti. Pur non disponendo di dati conclusivi, la deutogina potrebbe essere più efficiente nella trasmissione del virus rispetto alla protogina (MALAGNINI *et al.*, 2016; DV, osservazioni personali). Questo aspetto assume rilevante significato epidemiologico considerando la maggiore resistenza delle deutogine alle condizioni di stress abiotici e la loro potenziale partecipazione alla dispersione aerea della specie nella seconda parte della stagione estiva.

CONSIDERAZIONI FINALI

Altre specie di eriofidi appartenenti ai generi *Colomerus* ed *Eriophyes*, morfologicamente molto affini tra loro, sono state associate a erinosi o ad alterazioni delle gemme e dei germogli. In particolare, *Eriophyes vitigineusgemma* Malchenkova (1970) e *Colomerus oculivitis* Attiah (1967) richiedono una descrizione morfologica aggiornata agli attuali standard: questo al fine, in

particolare, di evidenziare le differenze, estremamente fini soprattutto tra *Col. oculivitis* e *Col. vitis* (HALAWA *et al.*, 2015), ed evitare che la variabilità intraspecifica delle popolazioni possa condurre a valutazioni erranee. Anche una caratterizzazione genetica e uno studio biologico di queste specie, con la ricerca di un'eventuale deutogina, potrebbero aiutare a sostenere la discriminazione tra le specie, ancora non ben acclarata.

La comparsa delle deutogine sembra indotta dall'indurimento dei tessuti, dal termo- e fotoperiodo (SAPOZHNIKOVA, 1982), e dalla densità di popolazione. Attualmente non disponiamo di informazioni che correlino la comparsa delle deutogine a fattori ecologici. Anche il comportamento delle deutogine necessita di essere più dettagliatamente compreso attraverso: criteri di selezione delle gemme dove svernare (per posizione e dimensione); influenza delle condizioni di allevamento, della cultivar, della latitudine e altitudine, delle condizioni colturali in genere sull'epoca di comparsa delle deutogine; capacità della deutogina di indurre erinosi; dispersione mediante il vento. La comprensione di questi aspetti potrebbe incrementare le possibilità di un tempestivo controllo dell'eriofide.

Le diverse cultivar hanno manifestato un quanto mai atteso effetto differenziale sulla densità di popolazione del GEM e conseguentemente anche sul suo impatto a carico della morfologia e biochimica della vite, seppure su piante giovani e in vaso. Ciò pone la necessità di ampliare le indagini sulla suscettibilità al GEM anche su cultivar in produzione come su cultivar di interesse nazionale.

Numerosi aspetti nella trasmissione del GPGV rimangono oscuri. In particolar modo, risultano preminenti comprendere quale correlazione esiste tra l'isolato sintomatico/asintomatico, quale sia più efficace nella trasmissione del virus, se GEM ottenga vantaggi dall'alterazione della pianta infetta, quale sia l'internalizzazione del GPGV nell'eriofide e la modalità di trasmissione.

RINGRAZIAMENTI

Questo quadro dello studio del GEM deriva da una serie di ricerche in campo e in laboratorio svolte in collaborazione con il dr. Saeed Javadi Khederi della Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, le dr.sse Valeria Gualandri e Valeria Malagnini della Fondazione Edmund Mach di San Michele all'Adige, e il dr. Pasquale Saldarelli dell'Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante, del CNR di Bari ai quali va il nostro sentito ringraziamento.

BIBLIOGRAFIA

ATTIAH H.H., 1967 – *Eriophyes oculivitis n. sp., a new bud mite infesting grapes in the U.A.R.* - Bull. Soc. Ent. Égypte. 51(17): 17-19.

- AVGIN S., BAHADIROĞLU G., 2004 – *The effect of Colomerus vitis (Pgst.) (Acarina: Eriophyidae) on the yield and quality of grapes in Islahiye, Gaziantep.* - J. Agric. Sci., 14(2): 73-78.
- BAGDASARIAN A.T., 1981 – *Eriofoidnyje kleshchi plododovikh derev'ev i kystarnikov Armenii. [The Eriophyid mites of fruit trees and shrubs of Armenia]*. Akad. Nauk. Arm. SSR [Acad. Sci., Armenian SSR], 199 pp.
- BAGGIOLINI M., GUIGNARD E., HUGI H., EPARD S., 1969 – *Contribution à la connaissance de la biologie de l'érinose de la vigne et nouvelles possibilités de lutte.* - Rev. Suisse, Vitic., Arboric. Hortic., 1: 50-52.
- BRIOSI G., 1876 - *Sulla Phytoptosi della vite (Phytoptus vitis Landois).* - Atti Staz. Chim.-agr. Sperim. Palermo, 1: 1-29 + 1 tav.
- BRITTO E.P.J., GONDIM M.G. JR, NAVIA D., FLECHTMANN C.H.W., 2008 – *A new deutergynous mite (Acari: Eriophyoidea) with dimorphic males from Caesalpinia echinata (Caesalpinaceae) from Brazil: description and biological observations.* - Int. J. Acarol., 34: 307-316.
- CAREW M.E., GOODISMAN M.A.D., HOFFMANN A.A., 2004 – *Species status and population genetic structure of grapevine eriophyid mites.* - Entomol. Exp. Appl., 111: 87-96.
- CRAEMER C., SACCAGGI D.L., 2013 – *Frequent quarantine interception in South Africa of grapevine Colomerus species (Trombidiformes: Prostigmata: Eriophyidae): taxonomic and distributional ambiguities.* - Internat. J. Acarol., 39(3): 239-243.
- DE LILLO E., MONFREDA R., 2004 – *«Salivary secretions» of eriophyids (Acari: Eriophyoidea): first results of an experimental model.* - Exp. Appl. Acarol., 34(3-4): 291-306.
- DE LILLO E., POZZEBON A., VALENZANO D., DUSO C., 2018 – *An intimate relationship between Eriophyid Mites and their host plants – A review.* - Front. Plant Sci., 9:1786 (1-14).
- DE LILLO E., CRAEMER C., AMRINE J.W. JR, NUZZACI G., 2010 – *Recommended procedures and techniques for morphological studies of Eriophyoidea (Acari: Prostigmata).* - Exp. Appl. Acarol., 51(1-3): 283-307.
- DENIZHAN E., MONFREDA R., DE LILLO E., ÇOBANOĞLU S., 2008 – *Two new species of eriophyid mites (Acari: Eriophyoidea) associated with Elaeagnaceae in Turkey.* - Zootaxa, 1698: 41-48.
- DRUCIAREK T., KOZAK M., MAROUFPOOR M., LEWANDOWSKI M., 2016 – *Morphological variability of Phyllocoptes adalium female forms (Acari: Eriophyoidea), with a supplementary description of the species.* - Syst. Appl. Acarol., 21(2): 181-194.
- DUSO C., DE LILLO E., 1996 – *Grape.* In: Lindquist E.E., Sabelis M.W., Bruin J. (eds) Eriophyid mites—their biology, natural enemies and control. World Crop Pests, vol 6. Elsevier Science Publishing, Amsterdam, pp. 571-582.
- EPPO European Plant Protection Organization, 2020 – *EPPO Global Database* (available online). <https://gd.eppo.int>
- GIAMPETRUZZI A., ROUMI V., ROBERTO R., MALOSSINI U., YOSHIKAWA N., LA NOTTE P., TERLIZZI F., CREDI R., SALDARELLI P., 2012 – *A new grapevine virus discovered by deep sequencing of virus- and viroid-derived small RNAs in cv. Pinot gris.* - Virus Res., 163(1): 262-268.
- GUALANDRI, V., ASQUINI, E., BIANCHEDI, P., COVELLI L., BRILLI M., MALOSSINI U., BRAGAGNA P., SALDARELLI P., SI-AMMOUR A., 2017 – *Identification of herbaceous hosts of the Grapevine Pinot gris virus (GPGV).* - Eur. J. Plant Pathol., 147(1): 21-25.
- HALAWA A.M., EBRAHIM A.A., ABDALLAH A.A.M., AZZA A.M., 2015 – *Taxonomical revision of the genus Colomerus Newkirk & Keifer (Acari: Eriophyidae) in Egypt.* - Middle E. J. Agr. Res., 4(1): 67-76.
- JAVADI KHEDERI S., DE LILLO E., KHANJANI M., GHOLAMI M., 2014a – *Resistance of grapevine to the erineum strain of Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae) in western Iran and its correlation with plant features.* - Exp. Appl. Acarol., 63: 15-35.
- JAVADI KHEDERI S., KHANJANI M., ASALI FAYAZ B., 2014b – *Resistance of three grapevine cultivars to Grape Erineum Mite, Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae), in field conditions.* - Persian J. Acarol., 3(1): 63-75.
- JAVADI KHEDERI S., KHANJANI M., GHOLAMI M., DE LILLO E., 2018a – *Sources of resistance to the erineum strain of Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae) in grapevine cultivars.* - Syst. Appl. Acarol., 23(3): 405-425.
- JAVADI KHEDERI S., KHANJANI M., GHOLAMI M., DE LILLO E., 2018b – *Impact of the erineum strain of Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae) on the development of plants of grapevine cultivars of Iran.* - Exp. Appl. Acarol., 74(4): 347-363.
- JAVADI KHEDERI S., KHANJANI M., GHOLAMI M., PANZARINO O., DE LILLO E., 2018c – *Influence of the erineum strain of Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae) on grape (Vitis vinifera) defense mechanisms.* - Exp. Appl. Acarol., 75(1): 1-24.
- JAVADI KHEDERI S., KHANJANI M., GHOLAMI M., BRUNO G.L., 2018d – *Study of defense-related gene expression in grapevine infested by Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae).* - Exp. Appl. Acarol., 75: 25-40.
- KEIFER H.H., 1944 – *Eriophyid Studies XIV.* - Bull. Dept. Agric., State of California, 33(1): 18-38.
- KEIFER H.H., 1975 – *Eriophyoidea Nalepa. Injurious eriophyid mites.* In: Jeppson L.R., Keifer H.H., Baker E.W. (eds.), Mites injurious to economic plants. Univ. Calif. Press, Berkeley, California, USA: 327-533.
- KUNUGI Y, ASARI S, TERAI Y, SHINKAI A., 2000 – *Studies on the grapevine berry inner necrosis virus disease. 2. Transmission of grapevine berry inner necrosis virus by the grape erineum mite Colomerus vitis in Yamanashi.* - Bull. Yamanashi Fruit Tree Exp. Stn., 10: 57-63
- MALCHENKOVA N.I., 1970 – [Eriophyes vitigineusgemma n. sp. (Acari, Eriophyidae) a pest of grapevine]. -Zool. Zh., 49: 1728-1731.
- MALAGNINI V., DE LILLO E., SALDARELLI P., BEBER R., DUSO C., RAIOLA A., ZANOTELLI L., VALENZANO D., GIAMPETRUZZI A., MORELLI M., RATTI C., CAUSIN R., GUALANDRI G., 2016 – *Transmission of grapevine Pinot gris virus by Colomerus vitis (Acari: Eriophyidae) to grapevine.* - Arch. Virol., 161(9): 2595-2599.
- MALOSSINI U., MOSCON R., FERRAZZA M., BIANCHEDI P., VARNER M., CREDI R. 2012 – *Caratteristiche vegeto-produttive di viti Pinot grigio e Traminer aromatico affette da una nuova virosi segnalata in Trentino.* IV Convegno Nazionale di Viticoltura CONAVI.TO Asti, 10-11-12 luglio 2012 pp. 37.
- MANSON D.C.M., OLDFIELD G.N., 1996 – *Life forms, deutogyny, diapause and seasonal development.* In: Lindquist EE, Sabelis MW, Bruin J (eds) Eriophyid mites—their biology, natural enemies and control. World Crop Pests, vol 6. Elsevier Science Publishing, Amsterdam, pp. 173-183.
- MARTELLI G.P., 2014 – *Directory of Virus and Virus-like Diseases of the Grapevine and their Agents.* - J. Plant Pathol., 96: S105-S120.
- MATHEZ F., 1965 – *Contribution à l'étude morphologique et*

- biologique d'Eriophyes vitis* Pgst., agent de l'Erinose de la Vigne. - Mitt. Schweiz. Entomol., 37(4): 233-283.
- MORÁN F., OLMOS A., LOTOS L., PREDAJŇA L., KATIS N., GLASA M., MALIOGKA V., RUIZ-GARCÍA A.B., 2018 – *A novel specific duplex real-time RT-PCR method for absolute quantitation of Grapevine Pinot gris virus in plant material and single mites.* - PLoS ONE, 13(5): e0197237.
- OLDFIELD G.N., 1996 – *Diversity and host plant specificity.* In: Lindquist E.E., Sabelis M.W., Bruin J. (eds), *Eriophyoid mites—their biology, natural enemies and control.* World Crop Pests, vol 6. Elsevier Science Publishing, Amsterdam, pp. 199-216.
- PETANOVIĆ R.U., 2016 – *Towards an integrative approach to taxonomy of Eriophyoidea (Acari, Prostigmata) an overview.* - Ecol. Mont., 7: 580-599.
- SALDARELLI P., GIAMPETRUZZI A., MORELLI M., MALOSSINI U., PIROLO C., BIANCHEDI P., GUALANDRI V., 2015 – *Genetic variability of grapevine pinot gris virus and its association with grapevine leaf mottling and deformation.* - Phytopathol., 105(4): 555-563.
- SAPOZHNIKOVA F.D., 1982 – *Photoperiodic reaction of the eriophyid mite Aculus schlechtendali (Nal.) (Acarina, Tetrápodili).* - Entomol. Rev., 61(3): 162-169.
- SHEVTSCHENKO V.G., DEMILLO A.P., 1968 – *Zhiznennyi tsike Trisetacus kirghisorum V. Shev. (Acarina, Tetrápodili) - breditelya cemyan Juniperus semiglobosa Rgl. [Life cycle of Trisetacus kirghisorum V. Shev. (Acarina, Tetrápodili) - pest of Juniperus semiglobosa seeds].* - Vestn. Leningr. Univ., Ser. Biol., 3: 60-67.
- SKORACKA A., SMITH L., OLDFIELD G., CRISTOFARO M., AMRINE J.W., 2010 – *Host-plant specificity and specialization in eriophyoid mites and their importance for the use of eriophyoid mites as biocontrol agents of weeds.* - Exp. Appl. Acarol., 51: 93-113.
- SMITH L.M., STAFFORD E.M., 1948 – *The bud mite and the erineum mite of grapes.* - Hilgardia, 18(7): 317-334.
- TERAI Y., KUNUGI Y., YANASE H., 1993 – *A new virus disease, grapevine berry inner necrosis with natural spread in Japan.* - Abstract 11th Meeting ICVG, 77-78.
- VACANTE V., 2015 – *The Handbook of Mites of Economic Plants. Identification, Bio-ecology and Control.* CABI Publishing, 890 pp.
- VALENZANO D., BARI G., MALAGNINI V., DE LILLO E., 2019 – *Off-host survival of Eriophyoidea and remarks on their dispersal modes.* - Exp. Appl. Acarol., 78: 21-33.
- VALENZANO D., TUMMINELLO M.T., GUALANDRI V., DE LILLO E., 2020 – *Morphological and molecular characterization of the Colomerus vitis erineum strain (Trombidiformes: Eriophyidae) from grapevine erineum and buds.* - Exp. Appl. Acarol., 80: 183-201.
- WALTON V.M., DREVES A.J., GENT D.H., JAMES D.G., MARTIN R.R., CHAMBERS U., SKINKIS P.A., 2007 – *Relationship between rust mites Calepitrimerus vitis (Nalepa), bud mites Colomerus vitis (Pagenstecher) (Acari: Eriophyidae) and Short Shoot Syndrome in Oregon vineyards.* - Int. J. Acarol., 33(4): 307-318.
- WATAUCHI K., MURAKAMI Y., KUNUGI Y., ASARI S., 2014 – *Studies on the Grapevine Berry Inner Necrosis Virus Disease: 3, Detection of Grapevine Berry Inner Necrosis Virus from Diseased Grapevines and the Grapevine Erineum Mite, Colomerus vitis.* - Bull. Yamanashi Fruit Tree Exp. Stn., 13: 65-72.

A BRIEF HISTORY OF DISEASES ASSOCIATED WITH *BREVIPALPUS*-TRANSMITTED VIRUSES

ELLIOT WATANABE KITAJIMA^{a,*} - PEDRO LUIS RAMOS-GONZÁLEZ^b - JULIANA FREITAS-ASTÚA^{b,c}
ALINE DANIELE TASSI^{a,b}

^aLFN, ESALQ/USP campus Piracicaba, SP, Brazil;

^bInstituto Biológico, São Paulo, SP, Brazil;

^cEmbrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, Brazil

*Email: ewkitaji@usp.br

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Attuali problematiche in Acarologia". Seduta pubblica dell'Accademia, svolta da remoto, 20 novembre 2020

A brief history of diseases associated with Brevipalpus-transmitted viruses

A brief review is presented on the diseases caused by *Brevipalpus* mites-transmitted viruses (BTV), their symptomatology, geographical distribution, and economic importance; the diversity of BTV; the biology and systematics of *Brevipalpus* mites, and the nature of the BTV-vector relationships.

KEY WORDS: BTV-caused diseases; mite biology and systematics; *Cilevirus*; *Dichorhavirus*; virus-vector relationship

The genus *Brevipalpus* (Tenuipalpidae, Prostigmata, Actinothrichida) comprises almost 300 described species among which a tiny number is known to transmit plant-infecting viruses. Collectively recognized as *Brevipalpus*-transmitted viruses (BTV), they can provoke diseases causing severe economic impacts. Citrus leprosis (CL) disease was the first one reported in the early 1900s, in Florida, USA, and later found widespread over the Americas. The involvement of *Brevipalpus* mites in CL, identified as *B. obovatus* (= *Tenuipalpus pseudocuneatus*), was demonstrated in 1940 by Frezzi, in Argentina (BASTIANEL *et al.*, 2010). Recent researches have demonstrated that CL is a multi-etiological disease involving viruses of several species and genera (RAMOS-GONZÁLEZ *et al.*, 2018a). Citrus leprosis virus C (CiLV-C) is the main virus causing CL in *Citrus* spp. Chronologically, other identified BTV were coffee ringspot virus (CoRSV) in *Coffea* spp., in Brazil, in 1938; a virus causing a type of leprosis in *Ligustrum* sp., in Argentina, in 1942; orchid fleck virus (OFV), in Japan, in 1969; and passion fruit green spot virus (PfGSV) in Brazil, in 1997 (DIETZGEN *et al.*, 2018; FREITAS-ASTÚA *et al.*, 2018). Intensified after the 2000s, the researches resulted in the discovery of new BTV or *Brevipalpus*-associated diseases, mostly in Brazil and affecting ornamentals plants, and few cases were reported in other Central and North American countries, as well as in the Hawaiian Islands and Australia (KITAJIMA *et al.*,

2010; DIETZGEN *et al.*, 2018; FREITAS-ASTÚA *et al.*, 2018). A recent outbreak of CL in oranges was described in South Africa (COOK *et al.*, 2019). In parallel, mites involved in the BTV transmission have been studied. In Brazil, the vector of CiLV-C was identified as *B. yothersi* (BEARD *et al.*, 2015; RAMOS-GONZÁLEZ *et al.*, 2016). This species is also the vector of Clerodendrum chlorotic spot virus (CICSV) and PfGSV (RAMOS-GONZÁLEZ *et al.*, 2018b; 2020). The virus causing Florida's CL was demonstrated to be transmitted by *B. obovatus* and *B. californicus* (KNORR, 1968), whereas OFV is vectored by *B. californicus* (KONDO *et al.*, 2003).

THE NATURE OF *BREVIPALPUS*-TRANSMITTED VIRUSES

Based on ultrastructural studies made on plant-infected tissues, a breakthrough in BTV-caused diseases was the discovery that, at least, two quite distinct types of viruses were transmitted by some species of *Brevipalpus* mites (KITAJIMA *et al.*, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2015). The **cytoplasmic type** encompasses viruses whose particles are short bacilliform (60-70 nm x 100-120nm) and are mainly contained in the endoplasmic reticulum (ER) cisternae. In the cells infected by CiLV-C and PfGSV, large, electron-dense, vacuolated viroplasm are present in the cytoplasm. The **nuclear type** comprises short, rod-like virions (40 nm x 100-110 nm) occurring in the nucleoplasm or cytoplasm of

the infected cell. Viral particles are commonly associated perpendicularly to membranes of the nuclear envelope or ER, whereas, large, electron-lucent viroplasmic inclusions ensue in the nucleus. Such cell alterations were observed in tissues of plant cells infected by OFV and CoRSV.

The BTV dichotomy based on the virion shapes and the morphopathology of the plant infected cells is also confirmed at the molecular levels. CiLV-C, the first sequenced cytoplasmic type BTV, in 2006, shows a genome split into two ssRNA (~5 and ~9 kb), (+) sense molecules coding six ORFs in a unique genomic organization. Therefore, to assign this virus, the International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV) created the genus *Cilevirus* (FREITAS-ASTÚA *et al.*, 2018), which was recently incorporated into the newly recognized family *Kitaviridae* (QUITO-AVILA *et al.*, 2020). CiLV-C2, another CL-causing virus found in Colombia and Hawaii, and PfGSV, are accepted as tentative cileviruses, respectively. Phylogenetically, these viruses are close to members of the genera *Higreivirus* and *Blunervirus*, arthropod-infecting viruses of the proposed taxon *Negevirus* and *Nege-like viruses*, and viruses of the family *Virgaviridae* (RAMOS-GONZÁLEZ *et al.*, 2020).

The complete genome of OFV consists of two ssRNA (2 x ~6 kb each), of (-) sense with a genomic organization that resembles those displayed by members of the family *Rhabdoviridae* (KONDO *et al.*, 2006). Due to the bisegmented nature of its genome, the new genus *Dichorhavirus* was proposed and accepted by the ICTV. Besides OFV, the type member of the genus, other members of this genus are CoRSV, clerodendrum chlorotic spot virus (CICSV), citrus leprosis virus N (CiLV-N), and citrus chlorotic spot virus (CiCSV) (DIETZGEN *et al.*, 2018).

SYMPTOMATOLOGY OF BTV-CAUSED DISEASES. A SPECIAL COMMENT ON THE CITRUS LEPROSIS SYNDROME

A remarkable characteristic of diseases caused by BTV, either cileviruses or dichorhavirus, is the consistent production of localized symptoms on leaves, twigs, fruits, and, occasionally, flowers (KITAJIMA *et al.*, 2003). The infections do not become systemic as typically happen in most of the diseases caused by plant viruses. Immunodetection and ultrastructural observations reveal that the BTV infections are restricted to epidermal and parenchymal cells of lesions and usually do not reach the vascular bundles. Rarely, when vascular tissues are infected, bundle sheath cells and xylem parenchymal cells may become infected, but not the phloem cells. Thus, a still unknown mech-

anism precludes BTV from reaching phloem, thus they are unable to move long distances through the sieve tubes.

Economically, CoRSV and PfGSV cause sporadically losses, but CL is by far the most important BTV-caused disease (BASTIANEL *et al.*, 2010; RAMOS-GONZÁLEZ *et al.*, 2018a). CL has been reported in all the American continent, from Argentina to the USA. The disease is characterized by the chlorotic, necrotic, and ringspot lesions on leaves, chlorotic and necrotic spots on twigs, and brownish and depressed spots on fruits. Intense leaf and fruit drop occur upon the settlement of the disease; lesions on twigs may fuse, and the resulting annealing causes dieback, which if untreated may lead to the death of the plant in 2-3 years. In the citrus belt of São Paulo and Minas Gerais states, in Brazil, with ~175 million sweet orange plants, CL is considered one of the most important diseases. The intense use of specific chemical acaricide to reduce mite vector population costs more than US\$ 54 million/year (BASSANEZI *et al.*, 2019). Recently, the management of citrus orchards to control the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*, the vector of *Ca. Liberibacter asiaticus*, the causal agent of greening (or huanglongbing- HLB), seems to be detrimental to the control of *Brevipalpus* mites. As a consequence, the incidence of CL is growing and new strategies for its control are required (BASSANEZI, 2018).

Surveys made on CL revealed that the disease is not caused by a single BTV. CiLV-C is the prevalent causal agent found in citrus orchards from Argentina to Mexico, whereas isolates of the dichorhavirus OFV were detected in Mexico, Colombia, and recently, in South Africa (COOK *et al.*, 2019). The CL originally described in Florida disappeared after the 1970s, but molecular studies made on herbarium samples of symptomatic citrus suggested that the virus was a possible extinguished dichorhavirus, phylogenetically related to current strains of OFV. In Colombia, besides CiLV-C, another cilevirus named CiLV-C2 was found. The virus seems to spread faster, overtaking CiLV-C. An isolate of CiLV-C2 was reported in Hawaii and Florida, infecting hibiscus (ROY *et al.*, 2015). In Brazil, besides CiLV-C, two dichorhavirus were found: CiLV-N, in places of higher altitude and lower temperatures in the states of São Paulo, and CiCSV, in the state of Piauí. CiCSV was also found infecting beach hibiscus (*Talipariti tiliaceum*) and agave (*Agave desmettiana*) (CHABI-JESUS *et al.*, 2018; 2019).

THE BIOLOGY OF *BREVIPALPUS* MITES

Brevipalpus (Tenuipalpidae, Prostigmata, Actinotrichida) mites are small (adults 0.3 mm), usually red-brownish in color, and slow-moving. They deve-

lop from eggs to larvae, protonymphs, deutonymphs, and adults, with a quiescent phase between them. The entire life cycle lasts around 30 days under favorable environmental conditions, and an adult may lay 30–50 eggs during its lifetime on citrus hosts. *Brevipalpus* mites are ubiquitous, being able to infest a large number of plant species. *Brevipalpus* mites have a worldwide distribution, mostly in tropical and subtropical regions (CHILDERS *et al.*, 2003a). Before 2015, when a taxonomical review within the genus was published (BEARD *et al.*, 2015), the three *Brevipalpus* species considered as virus vectors were reported colonizing around 1,000 plant species.

Brevipalpus mites feed using a mobile stylet, modified chelicera, which pierces the epidermal layer of plant tissue, reaching the adjacent parenchymal cells. According to the length of the stylet, ca. 50 µm, they seem unable to reach the vascular bundles. It is assumed that after inserting the stylet, saliva is injected through the narrow salivary channel to start the predigestion of the plant cell content. Subsequently, the stylet is withdrawn and the labium is closely attached to the left hole through which the cell content is sucked with the help of a powerful pharyngeal pump. In the case of BTV transmission, virions must be introduced into the cell, together with saliva, to start the infection process in susceptible plant hosts.

Brevipalpus mites exhibit sexual dimorphism. Males display a slightly slender body and are provided with a disjugal furrow behind leg 4 to facilitate copulation (ALBERTI *et al.*, 2014). Reproduction for several *Brevipalpus* species is made by thelytokous parthenogenesis, *i.e.* female begetting female. In this case, adults are haploid (two chromosomes) and are feminized by the presence of the endosymbiotic bacterium *Candidatus* Cardinium (WEEKS *et al.*, 2001). In natural populations of these species, males are rare and must be derived from eggs not infected by *Ca. Cardinium* during oogenesis. These males actively copulate but do not fertilize. Some species such as *B. chilensis*, however, reproduce sexually, in which fertilization does not seem to occur (ALBERTI *et al.*, 2014).

SYSTEMATICS OF *BREVIPALPUS* MITES

Typically based on a few external morphological characteristics, almost 300 species are grouped within the genus *Brevipalpus*. Among them, only three have been recognized as vectors of plant viruses, *i.e.* *B. californicus* (Banks), *B. obovatus*, and *B. phoenicis* Geijskes (CHILDERS *et al.*, 2003b). The analysis of new morphological characteristics, as dorsal and ventral reticulation patterns, microplate's shape decoration, and the size/shape of the spermatheca. This resulted in the splitting of the

former species *B. phoenicis s.l.* into at least eight species, including either known or cryptic species (BEARD *et al.*, 2015). Phylogenetic analysis using mitochondrial cytochrome oxidase I (mtCOI) points out incongruences on *Brevipalpus* described species, supporting the need for integrative taxonomical reviews within the genus (NAVIA *et al.*, 2013). Similar studies are undergoing with members of the species *B. californicus* and *B. obovatus* (R. Ochoa, A.D.Tassi, pers.comm.). The genome sequencing of *B. yothersi* was revealed (NAVIA *et al.*, 2019).

BREVIPALPUS SPECIES INVOLVED IN VIRUS TRANSMISSION

Changes in the systematics of *B. phoenicis s.l.*, the main BTV vector species, led to the reevaluation of the species transmitting plant viruses (TASSI *et al.*, 2019). Mites of the species *B. yothersi* were identified as vectoring the cileviruses CiLV-C, CiLV-C2, and PfGSV, as well as the dichorhavirus CICSV (RAMOS-GONZÁLEZ *et al.*, 2016; 2018b; ROY *et al.*, 2015). *B. papayensis* was demonstrated to be the vector of CoRSV and experimentally was able to transmit CiLV-C although with lower efficiency (NUNES *et al.*, 2018). *B. phoenicis s.s.* was identified as the vector of the dichorhavirus CiLV-N (RAMOS-GONZÁLEZ *et al.*, 2017), whereas mites of the species *B. yothersi* and from a possible new species close to *B. yothersi*, *i.e.*, *B. aff. yothersi* are likely the vector of a dichorhavirus causing chlorotic spots on citrus, CiCSV (CHABI-JESUS *et al.*, 2018).

VIRUS-VECTOR RELATIONSHIP IN THE BTV PATHOSYSTEMS

Elements of the virus-vector relationship sustain the dichotomy between BTV. Pieces of evidence point out a persistent-circulative type transmission of cileviruses by *Brevipalpus* mites. In the case of CiLV-C, assays with *B. yothersi* revealed a short latent period of 7 h, and an efficient viral transmission by younger instars, *e.g.* larvae and protonymphs, in less than five days (TASSI *et al.*, 2017). In viruliferous mites, viral particles were consistently observed in the prosomal region, between adjacent cells of the basal part of the epithelium midgut, and of the anterior prosomal gland, which is considered an equivalent to the salivary gland, in the reduced celomatic space. Viral particles or viroplasms were not observed inside cells (ALBERTI *et al.*, 2014). However, after an access period on infected plant tissues, the detection of the genomic complementary strand of CiLV-C suggested the viral

replication in the mite cells (ROY *et al.*, 2015), although its origin may be remnants of the ingested plant cell content. Another series of experiments to confirm this hypothesis are ongoing (A.D.Tassi pers.comm.). How virions get access to the intercellular space is still an open question. Since virions have not been observed inside mite cells, the intracellular route seems unlikely, leaving the possibility that they cross the epithelial cell barrier by a paracellular route. In this case, it is assumed that in a process regulated by cell surface receptors, the septate junctions, which maintain the adherence between the epithelial cells, might transiently open allowing the virions movement from the midgut lumen to the intercellular celomatic space, and from there, to the stylet channel.

Data from the interaction between the dichorhavirus OFV and *B. californicus* revealed a latent period lasting almost two weeks (KONDO *et al.*, 2003), suggesting a persistent-circulative-replicative relationship. This hypothesis is supported by the finding of nuclear viroplasm and presumed virions in a large quantity, in the nucleoplasm and cytoplasm of both the midgut epithelium and the anterior prosomal gland cells of viruliferous mites (ALBERTI *et al.*, 2014).

THE TRI-TROPHIC INTERACTION BETWEEN *BREVIPALPUS*-TRANSMITTED VIRUSES, MITES, AND THEIR HOST PLANTS

Interactions of the cilevirus CiLV-C, *B. yothersi* mites, and their hosts have been studied using the model plant *Arabidopsis thaliana*, and in less extension the natural host sweet orange (*Citrus sinensis*) (ARENA *et al.*, 2016; 2017; 2018; 2020). Upon infestation with non-viruliferous *Brevipalpus* mites, plants accumulate reactive oxygen species (ROS) around the mite feeding sites and, at the transcriptionally level, display a drastic up-regulation of defensive responses involving the defense hormones salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA), and a down-regulation of growth-related processes (ARENA *et al.*, 2016; 2018). Results suggest that *Brevipalpus* mites manipulate the host defensive response to render the plant more susceptible to their colonization. Mite oviposition is lower on mutant plants defective in SA biosynthesis and signaling, confirming a function for the SA pathway in improving the mite fitness (ARENA *et al.*, 2018).

In presence of CiLV-C, a progressive reprogramming of the plant transcriptome parallels the increasing viral loads. The infection triggers the SA-mediated pathway, ROS burst, and the presence of

dead cells, suggesting the outcome of a hypersensitive-like response (ARENA *et al.*, 2016; 2020). Besides, the infection by CiLV-C downregulated JA/ET-mediated pathways and processes involved in the primary metabolism including photosynthesis. In virus-free experiments, the transient expression of the P61 protein of CiLV-C in *Nicotiana benthamiana* plants consistently triggers ROS burst, upregulated SA- and HR-related genes, increased SA levels, reduced JA levels, and caused cell death. The sum of these events indicates P61 as a putative viral effector causing the HR-like symptoms associated with the virus infection (ARENA *et al.*, 2020). At the cellular level, P61 accumulates in the endoplasmic reticulum inducing the disruption of the ER network (LEASTRO *et al.*, 2018) and may act as an RNA silencing suppressor (LEASTRO *et al.*, 2020).

In biological assays using two sets of *Arabidopsis* plants infested with non-viruliferous and viruliferous *B. yothersi* mites, the number of mites in the CiLV-C infected *Arabidopsis* plants significantly increases in comparison with those infested with the non-viruliferous ones. Furthermore, the oviposition of the viruliferous mites preferentially occurs in the CiLV-C infected leaves (ARENA *et al.*, 2016). It has been hypothesized that CiLV-C may act as a helper (effector-like) factor of mite infestation to suppress the plant defenses (ARENA *et al.*, 2016; 2020).

CONCLUDING REMARKS

Knowledge of the BTV pathosystem has increased exponentially during the last 25 years, from scant information about their possible viral nature to a broad understanding of the nature of the causal viruses, the virus-host-vector relationships, and the biology and systematics of *Brevipalpus* species. Altogether, these studies are straightening out the understanding of these unusual pathosystems and will support the development of management strategies of economically important BTV-caused diseases.

ACKNOWLEDGMENTS

Researches on BTV involve a consortium formed by multidisciplinary experts from several Brazilian (USP, UNESP, UNICAMP, IB, IAC, UFPr, UFPi, UnB, UFV, UFLa, Embrapa, Fundecitrus) as well as foreign (Argentina, INTA; Paraguay, Univ. Nac. Asuncion; Chile, SAG; Colombia, Corpoica; C. Rica, Univ. C. Rica; Mexico, Col. Posgrado; USA, U. Florida, U. P. Rico, USDA, U. Kentucky, and U.

Hawaii; France, INRA; Germany, U. Greifswald; Italy, U. Foggia; Spain, Univ. Polit. Valencia; Australia, U. Queensland; Japan, U.Okayama; and S.Africa, Citrus Res.Intl.) institutions, and have been funded mostly by FAPESP (2014/08458-9, 2017/50222-0).

BIBLIOGRAPHY

- ALBERTI G., KITAJIMA E.W., NOVELLI V.M., ANDRADE D.J., GARITA L.C., TASSI A.D., 2014 - *Anatomy and fine structure of Brevipalpus mites (Tenuipalpidae, Prostigmata, Actinotrichida)*. - *Zoologica*, 160: 1-192.
- ARENA G.D., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., NUNES M.A., ALVES M.R., CAMARGO L.E.A., KITAJIMA E.W., MACHADO M.A., FREITAS-ASTÚA J., 2016 - *Citrus leprosis virus C infection results in hypersensitive-like response, suppression of the JA/ET plant defense pathway and promotion of the colonization of its mite vector*. - *Front. Plant Sci.*, 7: 1757.
- ARENA G.D., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., NUNES M.A., JESUS C.C., CALEGARIO R.F., KITAJIMA E.W., NOVELLI V.M., FREITAS-ASTÚA J., 2017 - *Arabidopsis thaliana as a model host for Brevipalpus mite-transmitted viruses*. - *Sci. Agric.*, 74: 85-89.
- ARENA G.D., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., ROGERIO L.A., RIBEIRO-ALVES M., CASTEEL C.L., FREITAS-ASTÚA J., MACHADO M.A., 2018 - *Making a Better Home: Modulation of Plant Defensive Response by Brevipalpus Mites*. - *Front. Plant Sci.*, 9: 1147. doi:10.3389/fpls.2018.01147.
- ARENA G.D., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., FALK B.W., CLARE L., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., FREITAS ASTÚA J., MACHADO M.A., 2020 - *Plant immune system activation upon citrus leprosis virus C infection is mimicked by the ectopic expression of the P61 viral protein*. - *Front. Microbiol.*, 11: 0-24. doi:10.3389/fpls.2020.01188.
- BASSANEZI R.B., 2018 - *Mudanças na citricultura e o controle do ácaro da leprose*. - *Citricultura atual*, (maio/2018): 21-24.
- BASSANEZI R.B., CZERMAINSKI A.B.C., LARANJEIRA F.F., MOREIRA A.S., RIBEIRO P.J., KRAINSKI E.T., AMORIM L., 2019 - *Spatial patterns of the Citrus leprosis virus and its associated mite vector in systems without intervention*. - *Plant Pathol.*, 68: 85-93.
- BASTIANEL M., NOVELLI V.M., KITAJIMA E.W., KUBO K.S., BASSANEZI R.B., MACHADO M.A., FREITAS-ASTÚA J., 2010 - *Citrus leprosis: centennial of an unusual mite-virus pathosystem*. - *Plant Dis.*, 94(3): 284-292.
- BEARD J.J., OCHOA R., BRASWELL W.E., BAUCHAN G.R., 2015 - *Brevipalpus phoenicis (Geijskes) species complex (Acari: Tenuipalpidae)-a closer look*. - *Zootaxa*, 3944: 1-67.
- CHABI-JESUS C., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., TASSI A.D., GUERRA-PERAZA O., KITAJIMA E.W., HARAKAVA R., BESERRA JR. J.E.A., SALAROLI R.B., FREITAS-ASTÚA J., 2018 - *Identification and characterization of citrus chlorotic spot virus, a new dichorhavirus associated with citrus leprosis-like symptoms*. - *Plant Dis.*, 102: 1588-1598.
- CHABI-JESUS C., RAMOS-GONZÁLEZ P., TASSI A.D., BARGUIL B M., BESERRA JR. J.E.A., HARAKAVA R., KITAJIMA E.W., FREITAS-ASTÚA J., 2019 - *First report of citrus chlorotic spot virus infecting the succulent plant Agave desmetiana*. - *Plant Disease Note*, v.103, p.1438-1438.
- CHILDERS C.C., FRENCH J.V., RODRIGUES J.C.V., 2003a - *Brevipalpus californicus, B. obovatus, B. phoenicis, and B. lewisi (Acari: Tenuipalpidae): a review of their biology, feeding injury and economic importance*. - *Expt.Appl.Acarol.*, 30: 5-28.
- CHILDERS C.C., RODRIGUES J.C.V., WELBOURN W.C., 2003b - *Host plants of Brevipalpus californicus, B. obovatus and B. phoenicis (Acari: Tenuipalpidae) and their potential involvement in the spread of viral diseases vectored by these mites*. - *Expt.Appl.Acarol.*, 30: 29-105.
- COOK G., KIRKMAN W., CLASE R., STEYN C., BASSON E., FOURIE P.H., MOORE S.D., GROUT T.G., CARSTENS E., HATTINGH V., 2019 - *Orchid fleck associated with the first case of citrus leprosis-N in South Africa*. - *Eur. J. Plant Pathol.*, 155: 1373-1379.
- DIETZGEN R.G. FREITAS-ASTÚA J., CHABI-JESUS C., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., GOODIN M.M., KONDO H., TASSI A.D., KITAJIMA E.W. 2018 - *Dichorhavirus in their host plants and mite vectors*. - *Adv. Virus Res.*, 102. doi.org/10.1016/bs.aivir.2018.06.001.
- FREITAS-ASTÚA J., RAMOS-GONZÁLEZ P.L., ARENA G.D., TASSI A.D., KITAJIMA E.W., 2018 - *Brevipalpus-transmitted viruses: parallelism beyond a common vector or convergent evolution of distantly related pathogens?* - *Current Opinion in Virology*, 33: 66-73. doi 10.1016/j.coviro.2018.07.010.
- KITAJIMA E.W., CHAGAS C.M., RODRIGUES J.C.V., 2003 - *Brevipalpus transmitted plant virus and virus-like diseases: cytophology and some recent cases*. - *Expt. Appl. Acarol.*, 30: 135-160.
- KITAJIMA E.W., RODRIGUES J.C.V., FREITAS-ASTÚA J., 2010 - *An annotated list of ornamentals naturally found infected by Brevipalpus mite-transmitted viruses*. - *Scientia Agricola*, 67: 348-371.
- KONDO H., MAEDA T., TAMADA T., 2003 - *Orchid fleck virus: Brevipalpus californicus mite transmission, biological properties and genome structure*. - *Expt. Appl. Acarol.*, 30: 215-223.
- KONDO H., MAEDA T., SHIRAKO Y., TAMADA T., 2006 - *Orchid fleck virus is a rhabdovirus with an unusual bipartite genome*. - *Journal General Virology*, 87: 2413-2421.
- KNORR L.C., 1968 - *Studies on the etiology of leprosis in Citrus*. - *Proc. 4th Conference International Organization Citrus Virologists*: 332-341.
- LEASTRO M.O., KITAJIMA E.W., SILVA M.S., RESENDE R.O., FREITAS-ASTÚA J., 2018 - *Dissecting the Subcellular Localization, Intracellular Trafficking, Interactions, Membrane Association, and Topology of Citrus Leprosis Virus C Proteins*. - *Front. Plant Sci.*, 9: 1299. doi: 10.3389/fpls.2018.01299.
- LEASTRO M.O., ORTEGA-CASTRO D.Y., FREITAS-ASTÚA J., KITAJIMA E.W., PALLÁS V., SÁNCHEZ-NAVARRO J., 2020 - *Citrus leprosis virus C encodes three proteins with gene silencing suppression activity*. - *Frontiers Microbiol.* doi: 10.3389/fmicb.2020.01231.
- NAVIA D., MENDONÇA R.S., FERRAGUT F., MIRANDA L.C., TRINCDO R.C., MICHAUS J., NAVAJAS M., 2013 - *Cryptic diversity in Brevipalpus mites (Tenuipalpidae)*. - *Zoologica Scripta*, 42: 406-426.
- NAVIA D., NOVELLI V.M., ROMBAUTS S., FREITAS-ASTÚA J., MENDONÇA R.S., NUNES M.A., MACHADO M.A., LIN Y-C., LE P., ZHANG A., GRBIC M., WYBOUW N., BEEUWEER, J.A.J., VAN LEEUWEN T., VAN DE PEER Y., 2019 - *Draft genome assembly of the false spicer mite Brevipalpus yothersi*. - *Microbiology Resource Announcements*, 8(6): e01563-18.
- NUNES M.A., DE CARVALHO MINEIRO J.L., ROGERIO L.A.,

- FERREIRA L.M., TASSI A., NOVELLI V.M., 2018 - *First Report of Brevipalpus papayensis as Vector of Coffee ringspot virus and Citrus leprosis virus C.* - Plant Dis. 102, 1046-1046.
- QUITO-AVILA D.F., FREITAS-ASTÚA J., MELZER M.J., 2020 - *Bluner-, cile-, and higreviruses (Kitaviridae).* - Reference Module in Life Sciences; doi: 10.1016/B978-0-12-809633-8.21248-X
- RAMOS-GONZÁLEZ P.L., CHABI-JESUS C., GUERRA-PERAZA O., BRETON M. C., ARENA G.D., NUNES M.A., 2016 - *Phylogenetic and molecular variability studies reveal a new genetic clade of Citrus leprosis virus C.* - Viruses, 8: 153.
- RAMOS-GONZÁLEZ P.L., CHABI-JESUS C., GUERRA-PERAZA O., TASSI A.D., KITAJIMA E.W., HARAKAVA R., 2017 - *Citrus leprosis virus N: A new dichorhavirus causing Citrus leprosis disease.* - Phytopathology, 107: 963-976.
- RAMOS-GONZÁLEZ P.L., CHABI-JESUS C., ARENA G.D., TASSI A.D., KITAJIMA E.W., FREITAS-ASTÚA J., 2018a - *Leprosis de los cítricos: una enfermedad multietiológica singular.* - Citricos en las Americas, 1: 4-19. (in Spanish and English).
- RAMOS-GONZÁLEZ P.L., CHABI-JESUS C., BANGUELA-CASTILLO A., TASSI A.D., RODRIGUES M.C., KITAJIMA E.W., HARAKAV, R., FREITAS-ASTÚA J., 2018b - *Unveiling the complete genome sequence of clerodendrum chlorotic spot virus, a putative dichorhavirus infecting ornamental plants.* - Archives of Virology, 163: 2519-2524.
- RAMOS-GONZÁLEZ P.L., SANTOS G.F., CHABI-JESUS C., HARAKAVA R., KITAJIMA E.W., FREITAS-ASTÚA J., 2020 - *Passion fruit green spot virus genome harbors a new orphan ORF and highlights the flexibility of the 5'-end of the RNA2 segment across cileviruses.* - Front.s in Microbiol., 11: doi 10.3389/fmicb.2020.00206.
- RODRIGUES J.C.V., CHILDERS C.C., KITAJIMA E.W., 2015 - *Brevipalpus spp. (Acari: Tenuipalpidae): vectors of cytoplasmic and nuclear viruses in plants.* In: Vector-mediated transmission of plant pathogens. cap. 21. Brown, J. Ed., APS, St. Paul, pp. 309-318.
- ROY A., HARTUNG J.S., SCHNEIDER W.L., SHAO J., LEON G., MELZER M.J., BEARD J. OTERO-COLINA G., BAUCHAN G.R., OCHOA R., BRLANSKY R.H., 2015 - *Role bending: complex relationship between viruses, hosts, and vectors related to citrus leprosis, an emerging disease.* - Phytopathol., 105:1013-1025.
- TASSI A.D., GARITA-SALAZAR L.C., AMORIM L., NOVELLI V.M., FREITAS-ASTÚA J., CHILDERS C.C., KITAJIMA E.W., 2017 - *Virus-vector relationship in the Citrus leprosis pathosystem.* - Expt. Appl. Acarol., 71: 227-241.
- TASSI A.D., SAITO M.S.G., NUNES M.A., NOVELLI V.M., FREITAS-ASTÚA J., KITAJIMA E.W., 2019 - *Reavaliação das espécies do ácaro tenuipalpeo Brevipalpus, vetores de vírus de plantas.* - Anais 51 Cong. Bras. Fitopatol. (Recife), p.775. (abst.).
- WEEKS A.R., MAREC F., BREEUWER J.A.J., 2001 - *A mite species that consists entirely of haploid females.* - Science, 292: 2479-2483.

MITES AS FORENSIC TOOLS?

ANTONELLA DI PALMA^a

^aDepartment of Agriculture, Food, Natural Science, Engineering, University of Foggia, Via Napoli 25, 71122 Foggia.
Email: antonella.dipalma@unifg.it

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Attuali problematiche in Acarologia". Seduta pubblica dell'Accademia, svolta da remoto, 20 novembre 2020

Mites as forensic tools?

Forensic entomology, which is the application of the arthropod science in the judicial system, is mainly famous for forensic medical or medico-criminal entomology. This concerns the use of arthropod evidence in solving, most often, violent crimes and involves primarily the estimation of the postmortem interval (PMI) or identification of the site where the death occurred. To date, the use of some insect groups in the estimation of the PMI is well established while the involvement of mites in current cases remains rare.

This account summarizes the new findings reported in recent years on the potential of mites in the forensic field and the main ways in which they can contribute to forensic science. Although there are areas where it is unlikely that forensic entomology will be supplanted or even challenged by acarology, there are situations where mites appear to provide valuable alternative input into the forensic analysis.

KEY WORDS: Forensic acarology, Post-mortem interval (PMI), Archeology, Mesostigmata, Astigmata

After death, all bodies undergo many changes caused by autolysis of tissue, and when human remains are found more than 48 hours after death (days, weeks, or even months) several parameters (e.g., body temperature, rigor mortis, or livor mortis) are no longer appropriate for estimating the time since death. That's why other reliable tools are considered to better support the evaluation of this period. In such cases, insects or other arthropods may provide important indications of the postmortem interval (PMI i.e., the time since death).

In fact, forensic entomology is the name given to the study of insects (or other arthropods such as mites and ticks) as evidence in any legal cases; nevertheless, it is mainly associated with death inquiries. In particular, the most important application of forensic entomology is in the estimation of the postmortem interval. The idea is that arthropod species and instars found on a dead body can provide evidence for the estimation of a minimum PMI, ranging from days up to months, depending on the species involved and the climatic conditions at the death scene. This is due to the fact that decomposition is a dynamic process with numerous and complex changes that attract different arthropod species, or a mix of species at the same time, involved in the organic matter decomposition and following a strict timetable and a peculiar sequence ("waves") according to the decomposition state of the body and the environmental conditions

(MÉGNIN, 1894; GOFF, 2009; TURNER, 2009). Thus, the exact identification of the species and stages found on the scene, and proper knowledge of their biological parameters, can provide a reliable evaluation of the period since the death. However, this period will not always match the exact PMI. To date, the use of some insect groups (i.e., Diptera, Calliphoridae) in the estimation of the PMI is well established while the involvement of mites in current cases remains rare.

In this respect since mites can be found in all imaginable terrestrial habitats (e.g., freshwater, saltwater, houses, furnishings, clothes, pores of our skin) and occupy all niches (can be phytophagous, predators, detritivores, scavengers, eat fungi, bacteria, be parasites of vertebrate or invertebrates, etc.) are good candidates for their use in forensic matters. Moreover, thanks to their small size they can use niches that are not accessible to other arthropods (i.e., insects) or there are environments where insects are absent or rare or the environmental conditions impede their access to the corpse (PEROTTI *et al.*, 2009). In such cases, mites that are already present, that arrive walking, through air currents or material transfer, might become important sources of information. In any case, arthropods visiting a carcass can carry mites as well. In particular, the first insect scavengers that reach a dead body within few hours since death are usually flies (e.g., Diptera, Calliphoridae), and they carry phoretic mites. These

mites build up trophic networks since they eat immature stages (eggs, larvae) from Diptera or other arthropods and bacteria and are eaten by other predators.

Jean-Pierre Ménégnin with his opera “Fauna of cadavers” (1894) is considered the scientific starting point for forensic studies and in several European States (e.g., France, Germany, and Italy) the use of arthropods in forensic investigations started around the end of the nineteenth century. In particular, the second French case using arthropods in calculating the post-mortem interval (PMI) involved mites, nevertheless, since then their use has been rare. This is due to several reasons. Mites are small, difficult to be spotted unless in huge numbers, and, thus, easily overlooked; they are difficult to identify requiring expertise that is no longer widely available; except for species of economic interest, little information is available on their distributions, life cycle, and possible carriers. That’s why Diptera and Coleoptera are much more commonly used as a forensic tool.

A striking example of the listed difficulties is represented by the first time mites were used to estimate PMI (BROUARDEL, 1879). It was a newborn baby girl found in a field in Paris during Winter in 1878. The body was covered with 2 cm of mites, their exuviae, and feces while arthropods or other insects were absent except the larvae of *Aglossa* (Lepidoptera, Pyralidae). All mites were identified as belonging to the species *Tyrophagus longior* Gervais (Astigmata, Acaridae), active with low temperature and eating fat acids and other substances produced during the decomposition of the body. Mites were considered to be arrived by phoresy. Ménégnin, consulted for his expertise in acarology, calculated the volume of the skull infested with mites, counted the average number of mites/mm³, and, thus, estimates the total amount of mite present. Finally, according to the life tables of a related species, Ménégnin calculated the amount of time necessary to get the actual number of mites as 3 months. On the other hand, taking into account other factors, the estimate of the time of death of the baby child was calculated around 8 months before the autopsy. A more recent paper (PEROTTI, 2009) explained such discrepancy. First of all, *Tyrophagus* mites are non-phoretic, and, considering their omnipresence in soil, most likely the mites will have arrived almost immediately after death. Second, temperature (cold winter months!) was not taken into account during the estimations of the mite population growth rate while the developmental biology was based on information related to *Tyroglyphus mycophagus* Ménégnin, a species morphologically and physiologically quite different from *T. longior*. Thus, according to new projections based

on current knowledge of *Tyrophagus* biology and considering winter temperature, the colony would have built up over 8 months, contrary to the 5 months proposed by Ménégnin and in agreement with the PMI proposed. This case highlights how complicated the use of mites as forensic tools can be. Nevertheless, in the last 10-15 years, the interest in their applications is increased thanks also to an increase in knowledge related to mites.

In fact, recent studies of mites associated with animal and humans remains (e.g., BRAIG and PEROTTI, 2009; PEROTTI and BRAIG, 2009; SALOÑA *et al.*, 2010; GONZÁLEZ MEDINA *et al.*, 2013; MAŠÁN *et al.*, 2013; SALOÑA-BORDAS and PEROTTI, 2014; KAMARUZAMAN *et al.*, 2018; PÉREZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2019; RAI *et al.*, 2020) revealed that phoretic mites can give valuable information about the conditions and time elapsed since death complementing and reinforcing the autopsy analysis or the unsatisfactory information provided by insect activity. In fact, many phoretic mites arrive on a particular species of host and no other, they usually present a specialized dispersal stage (often molting shortly after arrival on a corpse), many are characterized by faster development and generation cycles than their carriers, thus, representing valuable timeline markers and trace indicators of their carriers even when they are absent. In particular, among phoretic mites the mesotigmatids are the dominant group with species of the families Macrochelidae representing the first arrivals carried by early scavenger flies followed by Parasitidae on carrion beetles (PÉREZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2019). For example, some Macrochelidae present one of the shortest life cycles of all phoretic mites (from egg to egg some species take only 3 days); moreover, they have a haplodiploid genetic system which means that they arrive and leave corpses as virgin diploid females, which lay a few haploid male eggs whose males mate with their mothers to produce a second generation (diploid females) and with their aunts of the second-generation (NIOGRET *et al.*, 2006; FARAHI *et al.*, 2018). Thus, the first appearance of macrochelid males and the sex ratio of a population are important markers for estimating the time of arrival of a fly on carrion (BRAIG and PEROTTI, 2009; PEROTTI and BRAIG, 2009).

Moreover, some species (e.g., *Proctolaelaps euserratus* Karg, 1994 (Acari, Mesostigmata, Melicharidae), proved to have unusually high levels of necrophilia for the family and, therefore, considered as a new potential marker for advanced decomposition (MAŠÁN *et al.*, 2013).

On the other hand, other groups of mites are linked to later stages of decomposition (e.g., members of Astigmata like Acaridae, Lardo-

glyphidae and Histiostomatidae), frequently found in the dry decay (few (i.e. Histiostomatidae) in wet decaying materials). They are specialists in patchy or ephemeral habitats, in fact, are carried by late-arriving scavengers such as hide beetles, skin beetles, and moths (O'CONNOR, 2009) allowing mite rapid dispersal and colonization of such patchy resources. Some of these mite species are incidentals (i.e., use the corpse as a concentrated resource extension of their normal habitat), whereas others are obligate necrophages. Several different species are of forensic interest, yet their small size and incomplete or confused taxonomy caused them to be largely overlooked by the legal system (O'CONNOR, 2009). Anyway, an interesting application of astigmatids in the forensic field is represented by a case in Germany where large populations of cave-adapted and “domestic” species on a corpse wrapped in plastic buried in the basement of a home, strongly suggested that the corpse had been in place there for a significant length of time and not recently placed there after earlier burial in soil (RUSSELL *et al.*, 2004).

In particular, among astigmatid mites, the house dust mites (HDM) are the most abundant and common species in indoor environments. They usually make up 60–90% of the indoor acarofauna throughout the world and have been shown to produce allergens causing atopic allergies in human beings. Their presence and breeding are strongly related to human beings (dead skin scales are their main source of food) and, while globally present, species composition may vary between seasons and exhibits spatial specialization (e.g., dust from a bed vs. the floor around it, or dust from a book shelf vs. a librarian's desk) (SOLARZ, 2009). Therefore, although HDM have not yet been explored in forensic investigations, differences in their occurrence and composition between sites may yield valuable information as indicators of the circumstances of death. Moreover, since HDM feed on the flakes of shed human skin, human genetic material is expected to be present inside them. A study (ÇAKAN *et al.*, 2015) conducted to find out if house dust mites can carry the DNA of the house occupants, detected human DNA in house dust mites and the human DNA profiles showed (in 10.25% cases) an exact match with those found in the mite samples from the same house. Therefore, DNA samples from house dust mites found in a crime scene might be analyzed and compared with the DNA profiles obtained from victims and suspects.

In a rather recent case (EDSTON and VAN HAGE-HAMSTEN, 2003) HDM were used to clarify a sudden death of an unknown cause. A 47-year-old farmer was found dead in his bathroom; his hospital

records revealed that he had previously been diagnosed with an allergy to house dust mites, but the forensic autopsy did not give any clue to the cause of death. Analysis of allergen-specific showed high values for *Dermatophagoides pteronyssinus* (Trouessart) and *D. farinae* Hughes and high mite allergen levels were found in dust obtained from the patient's mattress. Thus, the results of the immunological tests support the assumption that he died of anaphylactic shock supporting the idea that death in anaphylaxis might be underestimated.

Besides mites present in the environment, we all carry mites since humans are host to the hair follicle mites (*D. folliculorum* (Simon) and *D. brevis* (Akbulatova), Demodecidae) whose universal presence in all races and age groups, except the new-born, is ascertained. Since they can survive around a week after death, in a situation in which a cadaver is in a space from which arthropod carrion feeders are excluded, including air, water, and soil, estimating the time of death may be facilitated by the finding of live hair follicle mites (DESCH, 2009).

An interesting application of mites in a legal contest not related to death inquiries, is represented by the development of molecular markers to determine the origin of parasite infections in the animal trade (if infected before their export or import) (ALASAAD *et al.*, 2012). In this study, it was detected the origin of *Sarcoptes* mite infection on wildebeest imported by the United Arab Emirate (UAE) from Tanzania proving that populations of *Sarcoptes* mites aggregate in different clusters related to the geographical origin of the parasitic infections.

Finally, besides forensic science, there other situations where biological material can be used to rebuild past human activities and the use of mites in archeology is one of these. Of course, the presence of mites in archaeological samples (e.g., coprolites, human mummy) is not a surprise, what is interesting is the contribution their presence can make to the interpretation of sites: e.g., past environmental ecological conditions, food preferences, human social and economic activities, animal husbandry (BAKER, 2009). In particular excrement in archaeological deposits can shed light on cultural practices (e.g., what and where animals were kept and where feces were disposed of). In fact, some mesostigmatid species indicate the animal species that produced dung deposits and thus producer-indicating species could show whether human and other animal feces were disposed of in the same place or separately (BAKER, 2009).

In conclusion, it is possible to state that mites represent a valuable source in the forensic field yet still little information is available, especially com-

pared to forensic entomology which has numerous case reports. This is mainly due to problems with their small size, the difficulty of identification, lack of comprehensive knowledge (distribution, length of life cycle, carriers). Thus, user-friendly identification aids, such as picture-based keys covering the diversity of mites, are one of the priorities together with protocols in collection and preserving techniques to get good slides and dry preserved specimens. This is in order to obtain consistent fully cleared mounted specimens and acquire all the possible information even from a single collected specimen.

Certainly, the definition of the PMI is accurately obtained with the use of blowfly development (Calliphoridae) and case studies are numerous; yet in cases when insects get no access, mites that are already present or arrive walking, through air currents or material transferred can help shed some lights in long postmortem intervals. In fact, they preserve quite well because of their much smaller size, their shorter generation times and life spans than insects, and the sex ratio of a population (especially for haplodiploid species) offering a possible higher resolution in estimating the post-mortem interval (PEROTTI *et al.*, 2009). Moreover, the specificity of some acarine habitat or their presence only in some seasons can provide 'date stamp' evidence or help in reducing the number of suspects or putting the suspect both at a specific place as well as at a specific time (PRICHARD *et al.*, 1986; SAMUEL 1988).

Thus, it seems that there might be considerable potential in developing the subject of forensic acarology especially in situations where insects are absent and mites can provide valuable alternative input (BRAIG and PEROTTI 2009; OCONNOR 2009; PEROTTI and BRAIG 2009; TURNER, 2009).

REFERENCES

- ALASAAD S., SCHUSTER R.K., GAKUYA F., THENEYAN M., JOWERS M.J., MAIONE S., MIN A.M., SORIGUER R.C., ROSSI L., 2012 - *Applicability of molecular markers to determine parasitic infection origins in the animal trade: a case study from Sarcoptes mites in wildebeest*. - Forensic Sci. Med. Pathol., 8(3): 280-284.
- BAKER A., 2009 - *Acari in archaeology*. - Exp. Appl. Acarol., 49: 147-60.
- BRAIG H.R., PEROTTI M.A., 2009 - *Carcases and mite*. - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 45-84.
- BROUARDEL P., 1879 - *De la détermination de l'époque de la naissance et de la mort d'un nouveau-né, faite à l'aide de la présence des acares et des chenilles d'aglosses dans cadavre momifié*. - Ann. Hyg. Publ. Méd. Lég., (série 3) 2: 153-158.
- ÇAKAN H., GÜVEN K., ÇEVİK F.E., DEMIRCI M., SARIBAS S., 2015 - *Investigation of human DNA profiles in house dust mites: Implications in forensic acarology*. - Rom. J. Leg. Med., 23: 187-192.
- DESCH C.E., 2009 - *Human hair follicle mites and forensic acarology*. - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 143-146.
- EDSTON E., VAN HAGE-HAMSTEN M., 2003 - *Death in anaphylaxis in a man with house dust mite allergy*. - Int. J. Legal. Med., 117(5): 299-301.
- FARAH S., SHISHEHBORA P., NEMATI A., 2018 - *Bisexual and oedipal reproduction of Macrocheles muscaedomesticae (Acari, Macrochelidae) feeding on Musca domestica (Diptera, Muscidae) eggs*. - Acarologia, 58(2): 430-441.
- GOFF M.L., 2009 - *Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers*. - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 21-36.
- GONZÁLEZ MEDINA A., GONZÁLEZ HERRERA L., PEROTTI M.A., JIMÉNEZ RÍOS G., 2013 - *Occurrence of Poecilochirus austroasiaticus (Acari: Parasitidae) in forensic autopsies and its application on postmortem interval estimation*. - Exp. Appl. Acarol., 59(3): 297-305.
- KAMARUZAMAN N.A.C., MAŠAN P., VELÁSQUEZ Y., GONZÁLEZ-MEDINA A., LINDSTRÖM A., BRAIG H.R., PEROTTI M.A., 2018 - *Macrocheles species (Acari: Macrochelidae) associated with human corpses in Europe*. - Exp. Appl. Acarol., 76(4): 453-471.
- MAŠAN P., PEROTTI M.A., SALOÑA-BORDAS M.I., BRAIG H.R., 2013 - *Proctolaelaps euserratus, an ecologically unusual melicharid mite (Acari, Mesostigmata) associated with animal and human decomposition*. - Exp. Appl. Acarol., 61(4): 415-429.
- MÉGNIN P., 1894 - *La faune des cadavres. Application de l'entomologie à la médecine légale*. G. Masson and Gauthier-Villars et fils, Paris pp 214.
- NIOGRET J., LUMARET J.-P., BERTRAND M., 2006 - *Review of the phoretic association between coprophilous insects and macrochelid mites (Acari: Mesostigmata) in France*. - Elytron, 20: 99-121.
- OCONNOR B.M., 2009 - *Astigmatid mites (Acari: Sarcoptiformes) of forensic interest*. - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 125-133.
- PÉREZ-MARTÍNEZ S., MORAZA M.L., SALOÑA-BORDAS M.I., 2019 - *Gamasina Mites (Acari: Mesostigmata) Associated with Animal Remains in the Mediterranean Region of Navarra (Northern Spain)*. - Insects, 10(1): 5.
- PEROTTI M.A., BRAIG H.R., 2009 - *Phoretic mites associated with animal and human decomposition*. - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 85-124.
- PEROTTI M.A., 2009 - *Mégnin re-analysed: the case of the newborn baby girl, Paris, 1878*. - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 37-44.
- PEROTTI M.A., LEE GOFF M., BAKER A.S., TURNER B.D., BRAIG H.R., 2009 - *Forensic acarology: an introduction*. - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 3-13.
- PRICHARD J.G., KOSSORIS P.D., LEIBOVITCH R.A., ROBERTSON L.D., LOVELL F.W., 1986 - *Implications of trombiculid mite bites: report of a case and submission of evidence in a murder trial*. - J. Forensic Sci., 31(1): 301-316.
- RAI J.K., AMENDT J., BERNHARDT V., PASQUERAULT T., LINDSTRÖM A., PEROTTI M. A., 2020 - *Mites (Acari) as a Relevant Tool in Trace Evidence and Postmortem Analyses of Buried Corpses*. - J. Forensic Sci., 65(6): 2174-2183
- RUSSELL D.J., SCHULZ M.M., OCONNOR B.M., 2004 - *Mass occurrence of astigmatid mites on human remains*. - Abh. Ber. Naturk-mus. Gorlitz., 76: 51-56.
- SALOÑA M.I., MORAZA M.L., CARLES-TOLRÁ M., IRAOLA V., BAHILLO P., YÉLAMOS T., OUTERELO R., ALCARAZ R., 2010 - *Searching the soil: forensic importance of edaphic fauna*

- after the removal of a corpse.* - J. Forensic Sci., 55(6): 1652-1655.
- SALOÑA-BORDAS M.I., PEROTTI M.A., 2014 - *First contribution of mites (Acari) to the forensic analysis of hanged corpses: a case study from Spain.* - Forensic Sci. Int., 244: e6-11.
- SAMUEL W.M., 1988 - *The use of age classes of winter ticks on moose to determine time of death.* - Can. Soc. Forensic Sci. J., 21: 54-59
- SOLARZ K., 2009 - *Indoor mites and forensic acarology.* - Exp. Appl. Acarol., 49(1-2): 135-142.
- TURNER B., 2009 - *Forensic entomology: a template for forensic acarology?* - Exp. Appl. Acarol., 49 (1-2): 15-20.

194 - Pagina bianca