

Végéphyll – COLLOQUE SCIENTIFIQUE SUR LES BIOAGRESSEURS DU BUIS
TOURS – 16 ET 17 OCTOBRE 2018

PANORAMA DES TRAVAUX DE RECHERCHE SUR LA GESTION DE LA PYRALE DU BUIS

M. GUÉRIN ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Plante & Cité + France + maxime.guerin@plante-et-cite.fr

RÉSUMÉ

Cette revue bibliographique, basée sur la synthèse de 330 publications internationales toutes issues d'Eurasie, fait le point sur les techniques travaillées pour la gestion de la pyrale du buis.

Après quelques données sur les caractéristiques de l'espèce (répartition, description, dynamique de développement, impacts), l'essentiel de l'article reprend dans le détail les techniques travaillées pour gérer la pyrale - lutte biologique par conservation, piégeage phéromonal, produits de biocontrôle à action insecticide ou répulsive (micro-organismes et leurs extraits, nématodes, insectes parasitoïdes, extraits végétaux ...) – en se basant sur l'analyse de 94 articles.

Mots-clés : pyrale du buis, biologie, gestion, produit de biocontrôle, piégeage phéromonal, ennemis naturels.

ABSTRACT

PANORAMA OF THE RESEARCH STUDIES CONTROL OF BOX-TREE PYRALID

Using 330 international publications, this review encompasses methods to control the box tree caterpillar. It gives data on the species characteristics – distribution, description, development dynamics, and impacts. The body of the article is based on 94 articles, and explores the control methods developed and in use, including conservation biological control, pheromone traps, biocontrol agents that acts as an insecticide or as a repellent (micro-organisms and their extracts, nematods, parasitoid insects, botanical extracts ...).

Keywords: box tree caterpillar, biology, control, biocontrol agent, pheromone trap, natural enemies.

INTRODUCTION

Arrivée en Europe vers 2005-2007 en Allemagne (Billen, 2007), la pyrale du buis est désormais présente dans plus de 25 pays, suite notamment, à des introductions multiples via des plants de buis contaminés. Son appétit féroce combiné à une forte fécondité en font un ravageur redoutable, avec des niveaux de pression et de dégâts spectaculaires et rarement observés pour d'autres bio-agresseurs. C'est pourquoi elle a figuré sur la liste d'alerte de l'OEPP de 2007 à 2011 (OEPP, 2011). Elle est d'ailleurs référencée comme la 59^{ème} pire espèce exotique d'Europe selon l'article de Nentwig et al. (2018) qui classifient les espèces en fonction de leurs impacts. En effet, ceux-ci sont considérables, aussi bien dans les parcs et jardins urbains et patrimoniaux (Château de Vaux-le-Vicomte, Jardin du Luxembourg ...) que dans les espaces naturels des différents pays touchés. La pyrale du buis constitue une réelle menace pour les buis spontanés en Europe, tel que le *Buxus sempervirens* (Mally, 2010). En Allemagne ou en Suisse, le buis a quasiment disparu de certaines zones (Kenis et al., 2013). On craint désormais que ce ravageur entraîne l'extinction de cette essence protégée et classée sur la liste rouge dans le Caucase (Shchurov, 2017 ; Matsiakh, 2018) ou encore dans les forêts mixtes hyrcaniennes de la Caspienne, classées au patrimoine mondial de l'Unesco (Salehi, 2018). D'ailleurs, dans les milieux naturels, l'impact de la pyrale du buis va au-delà de la destruction des buis : leur régression/disparition peut entraîner un déséquilibre de l'ensemble de l'écosystème ou la disparition d'espèces associées, tels que des lichens (Urbanavchus, 2016). Bien qu'il soit désormais trop tard pour chercher à l'éradiquer, la mise en place d'interventions de gestion peut permettre dans certains cas de contenir les populations.

Connue en Asie comme ravageur forestier, des chercheurs chinois, japonais et coréens travaillent depuis une trentaine d'années sur sa gestion. Avec son arrivée en Europe au milieu des années 2000, les travaux sur ce sujet se sont alors démultipliés, en se servant des bases solides posées par les chercheurs asiatiques, dans l'espoir d'offrir aussi bien des stratégies adaptées aux espaces verts qu'aux espaces naturels. Au-delà des insecticides de synthèse, les chercheurs ont surtout alors exploré les produits de biocontrôle, plus adaptés à la demande sociétale et au contexte réglementaire actuel. Quelles sont les solutions disponibles aujourd'hui ? Pour quels contextes sont-elles adaptées ? Peut-on s'aider des auxiliaires spontanés ? C'est ce que nous allons découvrir à travers cette synthèse bibliographique.

MATERIEL ET METHODES

Afin de construire cet article sous forme de revue de synthèse, les bases bibliographiques suivantes ont été explorées entre juin et juillet 2018 : Google Scholar, Springer Link, Science Direct, Wiley Online Library, Research Gate, CABI Invasive species compendium. L'exploration de ces bases ainsi que la lecture des références bibliographiques des articles ont permis d'identifier plus de 600 publications dans lesquelles était évoquée la pyrale du buis. Un tri a ensuite été réalisé afin de ne recenser dans cette synthèse que les articles apportant des informations/données nouvelles sur ce ravageur. Au total, 330 publications scientifiques ont été retenues. Ces articles ont ensuite été exploités grâce à l'outil Zothero (contacter l'auteure pour obtenir l'intégralité de la bibliographie).

LES TRAVAUX SUR LA PYRALE DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

En dehors des travaux sur la taxonomie de l'espèce - dont le 1^{er} référence a été publiée en 1859, des publications évoquant la pyrale du buis sont publiés depuis les années 70 (Figure 1). Jusqu'en 2007, arrivée de l'espèce en Europe, tous les travaux proviennent de sa région d'origine, à un rythme de 0 à 5 publications/an. À partir de 2007, les travaux européens deviennent majoritaires et sont publiés en nombre (plus de 20/an depuis 2013). Depuis l'arrivée de la pyrale dans la région de Sotchi (Russie), on compte également une grande quantité de publications russes (une quinzaine/année depuis 2015). Depuis 2016, on ne recense plus d'écrits issus d'Asie. Toutes les publications référencées proviennent d'Eurasie.

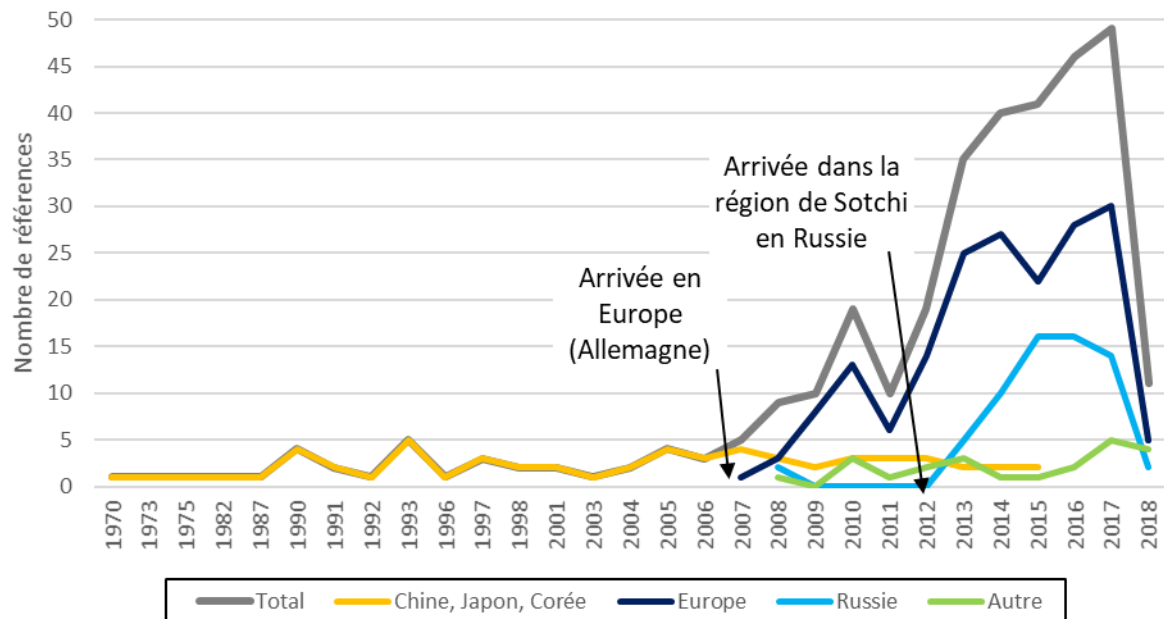


Figure 1 : Nombre de publications référencées par année / Number of articles per year

Des chercheurs provenant de 33 pays ont publié sur la pyrale du buis – zone d'origine (Chine, Corée, Japon), Europe (27 pays), mais également la Russie, l'Iran, la Turquie et le Pakistan (Figure 2). Tous pour donner des informations sur sa répartition a minima (dont une bonne part d'articles rapportant les 1^{er} signalement de la pyrale dans un pays/une région).

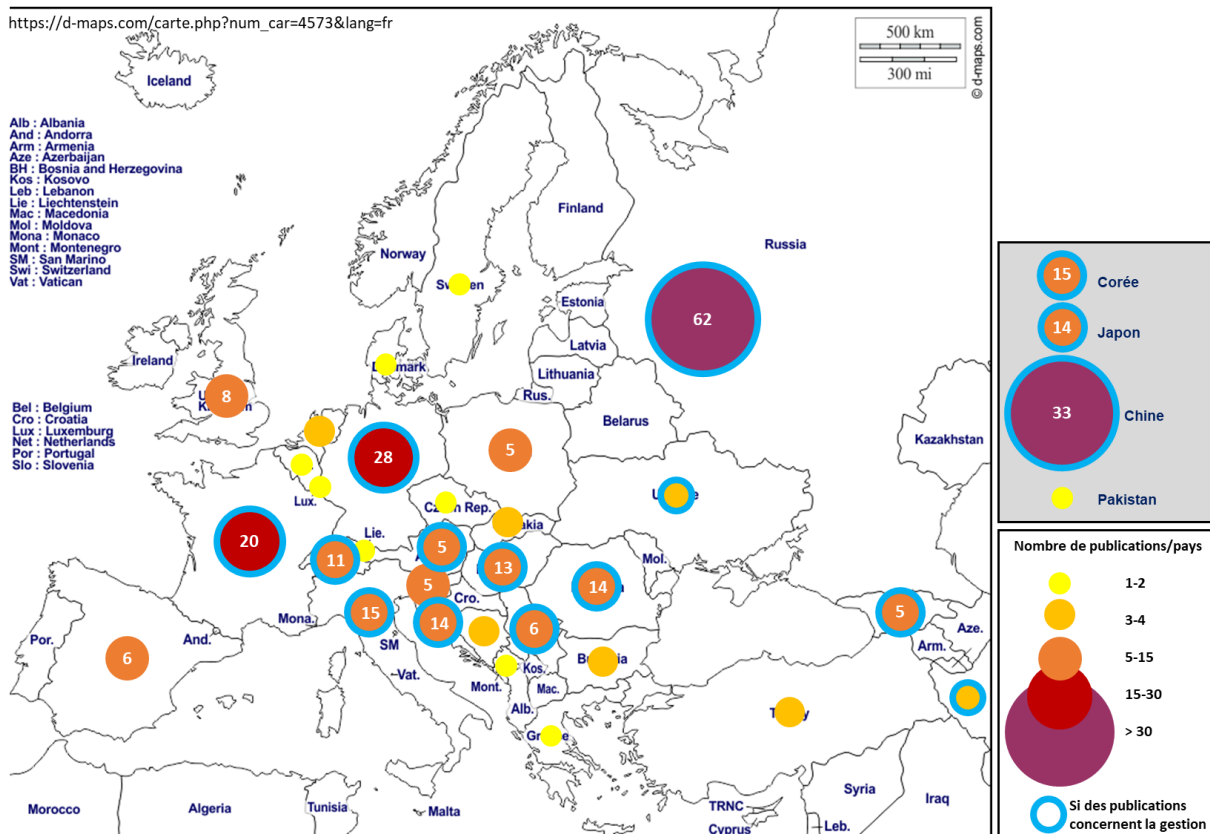


Figure 2 : Nombre de publications référencées par pays / Number of articles per country

Seuls 16 pays ont à ce jour publié des travaux concernant sa gestion, abordés dans 94 articles des 330 recensés (Tableau 1, Figure 3). Au départ portés par l'Asie, les travaux sur ce sujet sont désormais surtout développés par l'Allemagne, la France (autour du biocontrôle et du piégeage surtout) et la Russie (autour de la lutte chimique et de la lutte biologique par conservation surtout).

Tableau 1: Publications sur la gestion - Les thématiques travaillées par pays / Articles on management – studied topics per country

	Nombre de publication référencées	Lutte chimique	Produits de biocontrôle	Piégeage	Lutte biologique par conservation	Autre (gestion mécanique, modélisation ...)
Allemagne	18		X	x		
Autriche	1				x	
Croatie	5	x	X			x
France	9		X	x	x	
Géorgie	2	x				
Hongrie	2		X			
Italie	3		X	x	x	
Roumanie	1	x				
Serbie	1	x			x	
Suisse	3		X		x	x
Ukraine	2		X			
Russie	15	x	X	x	x	x
Chine	17	x	X	x	x	x
Corée	10		X	x	x	
Japon	3	x		x		
Iran	1		x			

Les 1^{er} travaux sur la gestion ont été initiés en 1973 par Shima sur la recherche d'ennemis naturels. Sur ce thème on compte aujourd'hui 7 travaux publiés (6 provenant d'Asie, 1 de Suisse). Les travaux sur le biocontrôle sont plus nombreux – 31 références dont 26 européennes – et ont débuté en 1991 sur les nématodes entomopathogènes (Choo et al., 1991). Le piégeage phéromonal a commencé à être travaillé bien plus récemment, grâce aux travaux pionniers de Kawazu (2007), et l'on compte aujourd'hui 21 publications sur ce thème, dont 14 européennes. On recense également depuis 2005 des publications sur l'utilisation des insecticides de synthèse pour un total de 18 articles.

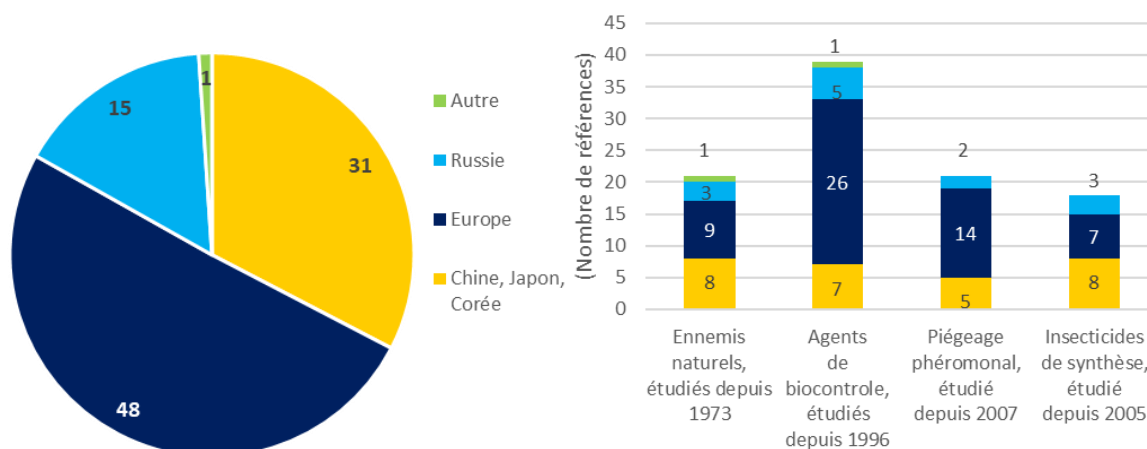


Figure 3 : Nombre de références sur la gestion au total (a) et par thèmes (b) par grandes régions / Number of article on management (a) and per topics (b) for the different regions

CONNAISSANCE DE L'ESPECE

Taxonomie.

La pyrale du buis a été initialement décrite par Walker en 1859. Elle était alors désignée comme *Phakellura perspectalis*. Depuis, quelques chercheurs et naturalistes se sont intéressés à la phylogénie et la nomenclature de cette espèce, dont la classification a évolué au cours du temps. Elle est désignée depuis 2010 comme *Cydalima perspectalis* d'après les travaux de Mally et al.

Répartition, description et dynamique de développement.

La pyrale du buis a été aussi bien étudiée par des entomologistes naturalistes (elle figure dans des dizaines d'inventaires – tous n'ont pas pu être recensés, notamment ceux conduits en Asie) que par des chercheurs en protection des végétaux. Les bases sur sa connaissance ont été posées dans sa région d'origine en Asie (Chine, Japon, Corée), notamment par les différents travaux de Maruyama et al. publiés de 1987 à 1993.

Pour l'Europe, où elle est exotique, le 1^{er} observation de la pyrale du buis est rapportée par Billen (2007) en Allemagne. Depuis des signalements de cette espèce ont été rapportés un peu partout : le plus fréquemment via des inventaires naturalistes de Lépidoptères ou d'espèces invasives dans des espaces forestiers ou des parcs (une quarantaine de publications recensées), mais aussi via des inventaires des ravageurs des plantes (une dizaine de publications recensées dont Pencheva et al., 2016), suite à la découverte de dégâts dans des jardins (Pantic et al., 2005) ou chez des producteurs de végétaux (comme dans De Blok, 2009), ou encore via des prospections pour connaître sa répartition dans une région donnée (comme dans Anikin, 2015 ou Dobranski, 2018).

L'importance de son invasion a ensuite conduit de nombreux chercheurs à s'intéresser à cette problématique. Concernant sa dynamique de développement sur le territoire européen, l'article de Nacambo et al. (2013) reste une référence qui a servi de base à de nombreux autres travaux. Il a permis d'en savoir plus sur les conditions de développement de la pyrale du buis en Europe et de développer un modèle climatique pour prévoir où la pyrale serait susceptible de s'installer au sein de cette zone. Des travaux dans ce sens ont également été publiés par Ramel, 2013.

Dans l'ensemble des pays colonisés, des observations de terrain - observations directes, comptages via des pièges à phéromone, lumineux ou contenant des attractifs (extraits végétaux) - sont réalisés pour mieux comprendre les caractéristiques locales du développement de la pyrale (nombre de générations, phase active, période de vols, stade diapausant, proportion de morphes, essences consommées, impacts sur les espaces verts et naturels ...). En effet, sa dynamique de développement varie grandement en fonction du climat mais également des conditions locales. Ainsi, entre l'Asie et l'Europe, on observe de 2 à 5 générations. Ces informations sont nécessaires à connaître pour positionner ses interventions de gestion et avoir ainsi une action efficace. On recense plus de 60 documents où sont référencés ce type d'observations, souvent accompagnées d'informations sur la description des différents stades de développement, les symptômes, les essences consommées, les impacts et les techniques de gestion. Ces publications constituent alors de petites monographies qui combinent observations des auteurs et éléments de synthèse issus de travaux conduits par d'autres.

Parmi ces articles, une vingtaine avance des hypothèses sur les voies d'introduction de la pyrale du buis sur ces nouveaux territoires – via des plants de buis contaminés surtout, mais aussi par dispersion naturelle depuis ces points d'introduction (comme dans Kruger, 2008 et Muus et al., 2009). Certains ont essayé de confirmer ces hypothèses en traçant l'origine des plants infestés, comme par exemple Casteels et al. (2011) pour la Belgique. Van Der Straten et al. (2010) ont quant à eux estimé que la pyrale pouvait progresser de 5 à 10 km/an par dispersion naturelle. Des travaux de recherche fondamentale s'intéressent d'ailleurs spécifiquement à cette question en essayant de comprendre la dynamique d'introduction de la pyrale du buis en Europe, par des approches génétiques grâce à l'identification de marqueurs microsatellites (Bras, 2016). D'autres ont tenté par des observations de terrain d'évaluer le potentiel d'installation de la pyrale dans leurs pays, comme Leuthard et al. (2010) pour la Suisse. Pour les forêts de buis du nord-ouest du Caucase, Shurov (2017) propose un scénario détaillé sur l'installation de la pyrale du buis dans cette région depuis son introduction en 2012.

En plus des observations de terrain, de nombreuses études scientifiques (plus de 40 publications dont la moitié issue d'Asie) ont également été réalisées au laboratoire ou sur le terrain pour comprendre dans le détail la biologie de cette espèce. Pour ces aspects, les travaux de Maruyama et al. (1987-1993) pour l'Asie et ceux issus de la thèse de Leuthardt (2013) pour l'Europe font référence. On recense notamment des travaux sur les thématiques suivantes :

- L'élevage des pyrales, nécessaire à maîtriser pour réaliser des observations au laboratoire (Kawazu, 2010 ; Park et al., 2011 ; MacGillcuddy, 2013 ; Guérin et al., 2016).
- Son cycle biologique et la description des différents stades, et notamment l'influence de la température, de l'humidité ou de la photopériode sur celui-ci : une quinzaine de publications asiatiques dont les 1^{er} pour Maruyama et al. en 1987 et les plus récents datent de la fin des années 2000 ; Leuthardt, 2013, Gil, 2014, Guérin et al, 2016 pour l'Europe ; Nesterenkova et al., 2017 pour la Russie.
- Sa phénologie et sa dynamique de développement : plus d'une dizaine de publications asiatiques dont les 1^{er} pour Maruyama et al. en 1987 et les plus récents datent de la fin des années 2000 ; Nacambo et al., 2013, Pantik et al., 2015, Matosevic et al., 2016, ou Skopljak, 2017 pour l'Europe.
- Son sex-ratio, sa reproduction et sa fécondité (Cheng, 2005 ; Kawazu, 2010 ; Tuba, 2015 ; Guérin et al., 2016 ; Nesterenkova, 2016).
- Sa diapause (Maruyama et al., 1987 ; Tang, 1990 ; Maruyama et al., 1993 ; Xiao et al. 2011 ; Nacambo et al, 2013).
- Ses morphes (Pan, 2011 ; Stachinis, 2015 ; Tuba, 2015 ; Torrado Blanco, 2017).
- Sa gamme des plantes hôtes :
 - o Observations spontanées de terrain : dans son aire d'origine (1^{er} résultats publiés par Uezumi en 1975 ; les plus récents par Shi et al. en 2007) ou d'introduction (une quinzaine de publications pour l'Europe et la Russie dont Hizal et al., 2012 ; Leuthardt et al., 2013 ; Skvortsov, 2013 ; Karpun, 2015 ; Nesterenkova, 2016) ;
 - o Tests de choix au laboratoire pour évaluer la sensibilité des différentes variétés de buis - niveau de dégâts (Maruyama, 1992), dynamique de développement de la pyrale sur chaque taxon (Leuthardt et al., 2013), ou celles d'autres essences (Zhou, 2005 ; Karpun, 2015 ; Lukic et al., 2016 ; Matsovic et al., 2016 ; Nesterenkova, 2016 ; Czudec, 2017) ;
 - o Ecologie chimique des essences sensibles (Leuthardt, 2013 ; Defferier et al., 2016) ;
 - o Sa capacité à se nourrir et les niveaux de dégâts (Maruyama, 1992 ; Nesterenkova, 2016).

Sur la base de ces travaux et observations, des analyses de risques ont été conduites afin d'évaluer l'impact potentiel de la pyrale du buis. C'est le cas par exemple de L'OEPP (OEPP, 2011) pour l'Europe, du DEFRA (Korycinska et al., 2009) pour le Royaume-Uni, ou encore de l'Institut Julius-Kuhn pour l'Allemagne (De Blok, 2009). L'analyse réalisée par Ginenko pour la Russie en 2015 avait malheureusement conduit à la conclusion qu'il était trop tard pour agir sur ce territoire.

Toutes ces données relatives à la biologie peuvent également être utilisées pour développer des modèles qui permettraient de prédire quand positionner les interventions de gestion dans une région donnée. C'est ce qu'a fait Tang (1993) pour la région de Shangaï en Chine : les prévisions se sont révélées conformes à ce qui y est observé.

Ses impacts

En Asie dans sa zone d'origine, ce ravageur est contenu, que ce soit en milieu urbain ou forestier, grâce notamment à l'utilisation d'insecticides de synthèse (Wan et al., 2014). C'est pourquoi les impacts restent relativement limités et font par conséquent peu l'objet de publications.

En revanche en Europe, la pyrale constitue une réelle menace pour les buis, qu'ils soient plantés ou spontanés (Kenis et al. 2013). L'impact de ses dégâts a surtout été évalué pour les espaces naturels,

où l'on craint la disparition de sa plante-hôte. Sur cet aspect, la majorité de la documentation est émise par des chercheurs russes pour la région de Sotchi (plus d'une vingtaine d'articles dont celui de Shchurov, 2015). Pour l'Europe, ces aspects sont notamment décrits dans la publication de John et al. (2013) pour l'Allemagne et la Suisse. On trouve aussi des publications évoquant son impact sur l'horticulture (par exemple Hrnčić S. et al., 2017 pour le Monténégro), ou sur les jardins des espaces urbains (par exemple Stincic, 2016 pour Zagreb).

GESTION

Comme pour la connaissance de l'espèce, les travaux sur la gestion ont été initiés en Asie dans les années 70. En Europe, que ce soit pour des conditions réglementaires ou éthiques, la lutte chimique a été assez peu travaillée, et uniquement sur le terrain (Figure 3). Les chercheurs européens se sont basés sur les travaux asiatiques mais ont également exploré de nouvelles voies. C'est en Allemagne et en Suisse qu'ont été initiés les 1^{er} travaux à partir de 2009. Les différentes publications issues de la thèse de Gottig (2017) constituent sur ce thème une référence.

Lutte mécanique

Des techniques de gestion mécanique - eau à haute pression, secouage, taille sanitaire, ramassage, aspiration - peuvent être envisagées mais elles sont à réserver à la gestion de petites parcelles où la pression est faible (Kenis et al., 2013).

Les ennemis naturels

Les ennemis naturels - oiseaux (prédateurs), insectes (prédateurs et parasitoïdes), nématodes et micro-organismes (pathogènes) - peuvent permettre par leur action de réduire considérablement les interventions de gestion, voire de s'en dispenser. C'est pourquoi cette piste a été explorée aussi bien en Asie qu'en Europe. On trouve 21 publications sur ce sujet.

2 approches différentes y sont décrites : une recherche « active » par prospection dans les territoires touchés afin de trouver des alliés pour la gestion, ou des observations « passives » dans le cadre d'inventaires naturalistes où l'on constate l'absence/la présence de parasites ou de prédateurs de la pyrale du buis.

La prédation par les oiseaux est surtout mentionnée dans les publications européennes. Quasiment nulle les 1^{er} années après l'introduction, il semblait alors que les oiseaux n'étaient pas intéressés par cet insecte ou régurgitaient les chenilles à cause de leur toxicité (Leuthardt et al., 2013). On a constaté depuis que quelques espèces, dont les moineaux (Callot, 2013) ou les mésanges (Brua, 2013), consomment la pyrale du buis. Leur impact sur les populations du ravageur reste encore marginal mais pourrait augmenter avec le temps. Quoi qu'il en soit, il paraît intéressant de chercher à favoriser leur action, afin de disposer de différents modes d'action pour la gestion.

Concernant les insectes, une grande partie des travaux sur ce sujet sont synthétisés dans la review de Wan et al. (2014). À ce jour, les observations concernant ce groupe proviennent essentiellement d'Asie, que ce soit de Chine, de Corée ou du Japon (Choo et al. 1991 ; Lee et al., 1997 ; Chen et al., 2005). Dans ces régions, certains insectes ont un impact non négligeable, comme par exemple *Exorista* sp. dans la région Xinyang (Henan province, China) (Shi et al., 2007) ou encore *Chelonus tabonus*, considéré comme le parasitoïde de la pyrale du buis le plus abondant en Chine (She et al., 2006) (Tableau 3). Ces espèces ne sont pas présentes en Europe et nécessiteraient donc de faire l'objet de lâchers. Pour ce faire, il serait nécessaire en France avant toute première utilisation - que ce soit pour de l'expérimentation ou de la lutte - d'obtenir les autorisations adéquates auprès des autorités compétentes pour importer ces espèces.

Malgré quelques prospections, très peu de cas de prédation ou de parasitisme par les insectes ont été observés en Europe. La majorité d'entre eux l'a été en Russie dans le Caucase (Tableau 2). On trouve parmi ces insectes surtout des espèces qui agissent sur chenilles - par parasitisme pour la plupart ou parfois par prédation - mais également sur œufs ou nymphes par parasitisme.

Tableau 2- Prospections à la recherche d'ennemis naturels en Europe (notamment d'après Wan et al.) /Natural enemies prospections in Europe

Zone	Année du 1 ^{er} signalement de la pyrale du buis	Année où l'information sur la prospection d'ennemis naturels a été publiée	Résultats de la prospection	Publication
Croatie	2012	2016	Pas d'ennemis naturels observés	Lukic, 2016
Serbie	2014	2015	Des prédateurs et parasitoïdes mais l'impact est minimum	Pantik, 2015
Bosnie-Herzégovine	2014	2015	Pas d'ennemis naturels observés	Ostojic, 2015
France	2008	2013	Prédation par des oiseaux	Callot, 2013
Russie – Région de Sotchi	2012	2016	Un espèce de parasitoïde	Belokobylskij, 2016
Italie	2010	2016	Pas d'ennemis naturels observés	Chatzidimitriou, 2016
Russie - Caucase	2012	2015	Pas d'ennemis naturels observés	Ginenko, 2015
Suisse	2007	2012	2 espèces de parasitoïdes avec un impact très limité	Nacambo, 2012
Russie – Région de Sotchi	2012	2016	2 espèces de parasitoïdes dont l'impact est négligeable	Ginenko, 2016

À ce jour, une petite vingtaine d'ennemis naturels a été recensée : 6 espèces de prédateurs dont 4 en Europe, 12 espèces de parasitoïdes dont 4 en Europe ou en Russie. Parmi les autres organismes spontanés ayant une action de régulation, on trouve 1 espèce de champignon entomopathogène - *Beauveria bassiana* (Farahani, 2018) en Iran (Tableau 3).

Tableau 3 : Les ennemis naturels de la pyrale du buis / Natural enemies of the box tree caterpillar

Nom	Zone d'observation	Type	Sur quel stade	Publication
Aelothrips sp.	Chine	Prédateur	Oeuf	Chen et al., 2005
Apechthis compunctator	Suisse	Parasitoïde	Nymphe	Nacambo, 2012
Beauveria bassiana	Iran	Champignon entomopathogène	Chenille	Farahani, 2018
Brachymeria lasus	Chine	Parasitoïde	Nymphe	Chen et al., 2005
Casina sp.	Chine	Parasitoïde	Chenille	Wan et al., 2014
Chelonus sp.	Chine	Parasitoïde	Oeuf	Chen et al., 2005
Chelonus tabonus	Chine	Parasitoïde	Oeuf	She, 2006
Compsilura concinnata	Japon	Parasitoïde	Chenille	Shima, 1973
Dolichogenidea stantoni	Chine	Parasitoïde	Chenille	She, 2006
Exorista spp.	Chine	Parasitoïde	Chenille	Shi, 2007
Parus sp	France	Prédateur	Chenille	Brua, 2013
Passer domesticus	France	Prédateur	Non précisé	Callot, 2013
Phoenicurus ochruros	France	Prédateur	Chenille, Papillon	Brua, 2013
Phoenicurus sp.	France	Prédateur	Chenille	Brua, 2013
Protopanteles	Russie - Région de Sochi	Parasitoïde	Chenille	Ginenko, 2016
Protopanteles mygdonia	Russie - Nord du Caucase	Parasitoïde	Chenille	Belokobylskij, 2016
Pseudoperchaeta nigrolineata	Suisse	Parasitoïde	Chenille	Nacambo, 2012
Pseudoperchaeta nigrolineata	Japon	Parasitoïde	Chenille	Shima, 1973
Tyndarichus sp.	Chine	Parasitoïde	Oeuf	Zhao, 2004
Vespa velutina	Japon	Prédateur	Non précisé	Maruyama, 1991

Les agents de biocontrôle

Une fois des ennemis naturels identifiés, ceux-ci peuvent alors être élevés afin d'être relâchés en masse dans la nature, soit sur les sites où ils sont déjà présents - afin de renforcer l'action de l'espèce, soit sur des sites où ils sont absents - pour tenter d'acclimater l'espèce sur ce nouveau territoire (lâchers réguliers et en masse les 1^{er} années puis diminuant voir s'arrêtant dans le temps lorsque l'espèce est installée) ou à défaut comme techniques de gestion complémentaires (lâchers à renouveler à chaque génération du ravageur).

En plus d'agents issus de ce qui a été spontanément observés sur le terrain, les chercheurs explorent également de nouveaux organismes/nouvelles substances, d'abord au laboratoire pour les discriminer, puis, pour celles présentant le meilleur potentiel (efficacité suffisante, production à coût raisonnable) sur le terrain pour valider leur efficacité en conditions réelles et optimiser les modalités d'utilisation.

La 1^{er} piste est celle des macro-organismes : insectes, nématodes ou acariens. En s'inspirant des observations de terrain sur pyrale du buis ou des macro-organismes connus pour avoir une action sur d'autres ravageurs, les chercheurs testent l'efficacité potentielle de ces espèces : quelques espèces à la fois pour les organismes à action généraliste (prédateur en particulier), screening à grande échelle pour les organismes à action spécifique (parasitoïdes en particulier). Après avoir identifié des candidats au laboratoire, les chercheurs travaillent leur technique d'élevage - pour

évaluer leur capacité à être produit facilement à grande échelle – et les techniques de lâcher (en cage puis sur le terrain).

La 2^e piste est constituée par les micro-organismes, leurs extraits, et les substances d'origine minérale, animale ou végétale, qui peuvent avoir une action insecticide ou répulsive par ingestion ou par contact. Sur le territoire de l'Union Européenne, leur commercialisation et leur utilisation est strictement réglementée car ils sont considérés comme des substances actives phytosanitaires. Une fois formulés, ces produits doivent disposer d'une autorisation de mise en marché pour être vendus et utilisés, et leurs utilisateurs doivent dans certains pays obtenir un certificat pour pouvoir les utiliser (certiphyto pour la France, phytolicence pour la région Bruxelles-Capitale en Belgique).

Des travaux sur les agents de biocontrôle agissant sur la pyrale du buis sont publiés depuis 1996 et en nombre : 39 en tout dont 26 provenant d'Europe (Figure 3). Au total, plus d'une trentaine de pistes ont été explorées sur la base d'organismes et substances ayant déjà démontrés leur intérêt pour la gestion d'autres ravageurs (Tableau 4) :

- Les insectes parasitoïdes : travaillés en Europe et en Russie au laboratoire depuis 2009, avec quelques pistes prometteuses pour intervenir sur œufs.
- Les insectes prédateurs : travaillés en Europe en conditions contrôlées depuis 2015, avec quelques possibilités pour intervenir sur œufs ou chenilles.
- Les champignons entomopathogènes : travaillés en Asie depuis 1991 puis en Europe. Les souches testées présentent une efficacité insuffisante.
- Les bactéries entomopathogènes : travaillées en Asie depuis 2004 puis en Europe. C'est la piste la plus prometteuse, qui est déjà largement utilisée pour gérer les chenilles de pyrale du buis.
- Les extraits bactériens : travaillés en Europe et en Russie depuis 2015, des pistes intéressantes mais les travaux doivent se poursuivre avant d'envisager une mise en marché.
- Les virus entomopathogènes : travaillés en Europe et en Russie depuis 2013, des pistes intéressantes mais les travaux doivent se poursuivre avant d'envisager une mise en marché.
- Les nématodes entomopathogènes : travaillés en Asie depuis 1991 puis en Europe. Les espèces testées présentent une efficacité insuffisante pour être utilisées seules.
- Les extraits végétaux et animaux : travaillés en Asie depuis 2004 puis en Europe, avec des efficacités variables. Certains extraits à effet insecticide et/ou répulsif sont suffisamment prometteurs et doivent continuer à être travaillés.

Tableau 4 : Les agents de biocontrôle travaillés contre la pyrale du buis / biocontrol agents studied to control the box tree caterpillar

Types d'agents		Nombre d'articles	Travaillé depuis	Espèces/ substances travaillées	Stades ciblés	Bilan efficacité	Références associés
Insectes parasitoïdes	Trichogrammes	5	2009	Diverses	Œuf	. Des souches prometteuses identifiées au laboratoire, qui doivent continuer à être travaillées en conditions réelles avant une éventuelle commercialisation	. Defferier et al., 2016 . Tabone et al., 2016 . Guérin et al., 2016
				<i>Trichogramma brassicae</i>		. Efficacité correcte au laboratoire mais plus faible en cage	. Zimmerman et al., 2009 . Gottig et al., 2012
				<i>Trichogramma dendromili</i>		. Efficacité correcte au laboratoire mais plus faible en cage	. Gottig et al., 2012
	Tachinaires	1	2016	<i>Exorista larvarum</i>	Chenille	. Insuffisante au laboratoire pour justifier de poursuivre les travaux mais à favoriser si observée spontanément	. Di Vitantonio, 2016
	Braconides	2	2009	<i>Apanteles glomeratus</i>	Chenille	. Insuffisante au laboratoire pour justifier de poursuivre les travaux	. Albert, 2009
				<i>Bracon brevicornis</i>		. Inefficace	. Zimmerman et al., 2010
	Autre	2	2016	<i>Chuoiaia cunea</i>	Nymphe	. Efficacité correcte en conditions contrôlées mais les techniques de lâcher pourraient être encore optimisées	. Ginenko et al., 2016 . Shirayeva et al., 2016
Insectes prédateurs		2	2015	<i>Euodynerus posticus</i>	Chenille	. Efficacité correcte en conditions réelles	. Ivanov, 2015
				<i>Chrysoperla carnea</i>	Œuf	. Suffisante au laboratoire pour envisager de travailler la technique en conditions réelles	. Gottig, 2017

			<i>Orius majusculus</i>	Œuf	. Insuffisante au laboratoire pour justifier de poursuivre les travaux mais à favoriser si observée spontanément	. Gottig, 2017
Champignon entomopathogène	5	1997	<i>Beauveria bassiana</i> (pas de précision sur la souche ou l'isolat)	Chenille	. Résumé non consultable	. Matek et al., 2017
			<i>Beauveria bassiana</i> LGL-S14		. Efficacité correcte au laboratoire, moindre en conditions réelles	. Shiryaeva et al., 2016
			<i>Beauveria bassiana</i> isolat GY 1-17		. Inefficace	. Lee, 1997
			<i>Beauveria bassiana</i> souche 147 (produite déjà commercialisé)		. Efficacité correcte sur le terrain mais techniques d'application à optimiser et à associer à d'autres méthodes	. MacGillcuddy, 2013
			<i>Isaria fumosorosea</i> s.1 et SNP-08		. Efficacité correcte au laboratoire, moindre en conditions réelles	. Shiryaeva et al., 2016
			<i>Metarhizium anisopliae</i> J-22		. Résumé non consultable	. The, 1997
Bactérie entomopathogène	5	2004	<i>Bacillus</i> sp. (3 souches différentes, non précisées)	Chenille	. Bonne efficacité en conditions réelles	. Agasieva et al., 2016
			<i>Bacillus thuringiensis</i>		. Bonne efficacité en conditions réelles	. Gottig et al., 2014
			<i>Bacillus thuringiensis</i> var <i>kurstaki</i>		. Efficacité correcte à insuffisante en conditions réelles	. Li, 2004 . Raineri, 2017
			<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> ABTS-351 (produit déjà commercialisé)		. Bonne efficacité en conditions réelles	. Guérin et al., 1996
			<i>Bacillus thuringiensis aizawai</i>		. Efficacité insuffisante en conditions réelles	. Raineri, 2017

Extrait bactérien	2	2016	. Aversectin C	Chenille	. Efficace au laboratoire	. Trohov, 2016
			. Emamectine benzoate (produit déjà commercialisé)	Chenille	. Efficacité correcte en conditions réelles lorsque appliqué par micro-injection mais à continuer d'optimiser	. Bras et al., 2017
Virus entomopathogène	2	2013	<i>Anagrapha falcifera</i> nucleopolyhedrovirus, isolats Dn10 et BI-235	Chenille	. Efficacité correcte au laboratoire mais techniques d'application à optimiser avant d'envisager une utilisation en conditions réelles	. Rose et al., 2013
			<i>Lymantria dispar</i> multicapsid nuclear polyhedrosis virus (LdMNPV)	Non précisé	. Efficacité suffisante au laboratoire pour envisager des tests en conditions réelles	. Oberemok, 2017
Nématode entomopathogène	6	1991	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Chenille	. Efficacité variable au laboratoire, insuffisante en conditions réelles	. Choo et al., 1991 . Gottig et al., 2012
			<i>Steinernema sp.</i>	Chenille	. Résumé non consultable	. Lee et al., 1996
			<i>Steinernema carpocapsae</i> (dont des (produit déjà commercialisé)	Chenille	. Efficacité correcte au laboratoire, aléatoire ou insuffisante en conditions réelles	. Choo et al., 1991 . Gottig et al., 2012 . Guérin et al., 2016 . Gottig, 2017
			<i>Steinernema feltiae</i> (dont des (produit déjà commercialisé)	Chenille	. Efficacité insuffisante en conditions réelles	. Guérin et al., 2016
			<i>Steinernema monticolum</i>	Chenille	. Efficacité correcte au laboratoire	. Lee, 1997

Extraits végétaux	3	2004	. Huile de graines de <i>Sambucus nigra</i> . Huiles essentielles de <i>Carum carvi</i> , <i>Juniperus communis</i> , <i>Lavendula angustifolia</i> , <i>Melaleuca alternifolia</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i>	Chenille et papillon	. L'huile de graines de <i>Sambucus nigra</i> a un effet répulsif sur l'oviposition . Les huiles essentielles présentent un effet insecticide et/ou un effet répulsif sur l'oviposition. Les plus prometteuses sont celles de <i>M. alternifolia</i> mais sur <i>T. vulgaris</i>	. Gottig, 2017
			. Huile de neem (dont un produit déjà commercialisé)	Chenille	. Efficacité correcte au laboratoire, limitée en conditions réelles	. Li, 2004 . Gottig, 2014
			. Huile de colza et pyrèthres naturels (produit déjà commercialisé)	Chenille	. Efficacité correcte en conditions réelles	. Guérin et al., 2016
Extraits d'origine animal	1	2017	. Extraits de déjections de chenilles de pyrale (guaicol, (±)-linalool, veratrol)	Papillon	. Effet répulsif sur l'oviposition observé au laboratoire	. Monar, 2017

En bilan, la grande majorité de ces produits ciblent les chenilles. Si la plupart ont montré une efficacité prometteuse au laboratoire, ceci n'a pas toujours été confirmé en conditions réelles. Cependant les travaux se poursuivent pour tenter d'améliorer l'efficacité des pistes les plus intéressantes. Aujourd'hui en Europe, très peu de ces agents sont donc mis en marché pour une utilisation sur pyrale du buis, la référence la plus efficace restant le *Bacillus thuringiensis* (Gottig, 2017).

En plus de l'identification d'agents potentiels, certains chercheurs ont également exploré comment optimiser leur efficacité en adaptant les techniques d'application. En effet, les chenilles de la pyrale du buis sont cachées au cœur du feuillage, très dense. Pour permettre d'agir sur ce stade, le produit doit donc pouvoir pénétrer à l'intérieur du buis, ce qui n'est pas toujours le cas lorsque l'on procède comme on le ferait sur d'autres essences. Afin de s'assurer que les produits appliqués puissent atteindre les stades ciblés, Guérin et al. (2016) ont exploré comment optimiser la pénétration du produit en utilisant des techniques de pulvérisation classiques, via l'utilisation de différents types de pulvérisateurs - atomiseur bien adapté, en faisant varier le volume de bouillie - à pousser pour les pulvérisateurs à dos, ou en ajoutant un adjuvant - pas de plus-value dans le cadre des essais. De leur côté, Bras et al. (2017) ont testé une technique d'application encore émergente : la micro-injection, qui pourrait être une option pour la préservation des buis séculaires.

Le piégeage phéromonal

Les pièges lumineux ont été et restent utilisés pour attirer les papillons lors des inventaires naturalistes ou des comptages. Peu spécifiques, ils vont attirer différentes espèces, dont potentiellement certaines espèces protégées ou menacées. Par conséquent, ils ne sont pas adaptés si l'on souhaite avoir une action spécifique sur la pyrale du buis. C'est ce que permet en revanche le piégeage phéromonal : en introduisant dans le piège la phéromone sexuelle de ce ravageur. On y attire les papillons mâles qui sont alors capturés. Cette technique est en général travaillée pour la détection et le suivi des populations – détection de la présence de pyrale sur une parcelle, suivi des courbes de vols – mais également parfois comme une technique de lutte complémentaire à intégrer à une stratégie de gestion – les papillons piégés sont tués. 21 articles ont été référencés sur cette méthode depuis les travaux fondateurs publiés par Kawazu et al. (2007).

Pour pouvoir développer cette technique, il est nécessaire d'extraire et de caractériser la phéromone sexuelle de l'espèce afin de la formuler et ainsi la disposer dans des diffuseurs. C'est ce que firent Kawazu et ses collègues en 2007. Ces 1^{er} diffuseurs asiatiques se sont avérés au départ peu performants en Europe (Albert, 2009). Depuis, des chercheurs ont cherché à purifier et optimiser sa formulation en faisant varier la proportion dans le mélange des différents composants à travers des tests en conditions contrôlées ou de terrain (Park, 2011 ; Kim et al., 2013 ; He, 2015 ; Nesterenkova, 2017). En complément, des expérimentations sont également conduites dans les différents pays pour évaluer l'efficacité des diffuseurs mis en marché (Gottig, 2014 pour l'Allemagne ; Santi et al., 2015 pour l'Italie ; Guérin et al., 2016 pour la France). Actuellement en France, les phéromones mises en marché sont utilisables pour le monitoring (non homologuées en tant que produit phytosanitaire).

Des travaux se sont également intéressés aux modèles de piège afin d'évaluer leur potentiel pour le monitoring et/ou la lutte (Kim et al., 2013 ; Gottig, 2014 ; Santi et al., 2015 ; Guérin et al., 2016). En France, ils ont permis de développer un modèle spécifiquement adapté pour le piégeage de masse de la pyrale du buis (Guérin et al., 2016).

En plus des phéromones, d'autres attractifs pourraient être utilisés dans les pièges, comme certains composés volatiles du buis. Des travaux dans ce sens ont été conduits par Gottig et al. en 2014.

En bilan, on constate que même si les niveaux de capture sont parfois importants, l'impact sur les niveaux populations reste limité : cette technique est donc à intégrer à une stratégie de gestion combinée (Guérin et al., 2016).

DISCUSSION ET CONCLUSION

La pyrale du buis est désormais quasiment présente dans toute l'Europe et les techniques de gestion à disposition ne permettent pas d'endiguer son invasion. Localement, à l'échelle de parcs et jardins, où la pression est faible, il est possible de maintenir ces buis verts à conditions de les suivre méticuleusement et de caler les interventions de gestion précisément (Guérin et al., 2016 ; Gottig, 2017). Si les insecticides chimiques peuvent permettre de maîtriser la situation dans ce type de configurations, bien que des phénomènes de résistance soient apparus en Chine (Wan et al., 2014 ; Gottig, 2017), ce mode de gestion est difficilement envisageable en Europe dans le contexte actuel. Il est nécessaire alors d'associer utilisation de produits de biocontrôle, piégeage et lutte biologique par conservation, et d'avoir une action prolongée dans le temps afin de cibler les bons stades de développement, qui se chevauchent tout le long de la saison. À l'heure actuelle, l'alternative aux insecticides de synthèse considérée la plus fiable reste le *Bacillus thuringiensis* (Gottig, 2017) que l'on doit cependant utiliser de manière raisonnée si l'on ne veut pas engendrer de futures résistances.

Pour les grands parcs et les espaces naturels, où la pression est parfois considérable, les meilleurs espoirs reposent aujourd'hui sur la lutte biologique par conservation, les autres techniques n'étant pas adaptées en termes d'efficacité et de moyens nécessaires à leurs mises en œuvre. Aujourd'hui, les alliés naturels sont encore rares mais on peut espérer que leur action ne fera que prendre de l'importance avec le temps, comme c'est le cas en Asie où les populations de pyrale sont parfois fortement impactées (Shi et al., 2007 ; She et al., 2006). Ailleurs en Europe, ce sont les oiseaux qui à l'heure actuelle ont la plus forte action sur les populations de pyrale du buis, même si leur impact est encore marginal. Sur ces aspects, comme sur d'autres, les travaux se poursuivent notamment en France.

De nombreuses techniques ont été explorées pour tenter de gérer cette espèce, certaines inadaptées, certaines suffisamment efficaces pour être intégrées à une stratégie. D'autres pistes restent encore à explorer, qui seraient notamment adaptées à la gestion de plus grandes parcelles : confusion sexuelle, substances répulsives ou inappétentes, stratégie push and pull ... Ces techniques et stratégies sont aujourd'hui à l'étude, notamment en France, et permettront peut-être dans l'avenir de gérer la pyrale du buis quelques soient les conditions.

BIBLIOGRAPHIE

- Anikin. (2015). ABOUT THE MEETING OF BOX TREE MOTH – GLYPHODES PERSPECTALIS (WALKER, 1859) (LEPIDOPTERA, CRAMBIDAE) ON THE TERRITORY OF ABKHAZIA AND RUSSIA IN 2012–2014. Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье, n° 12
- Agasieva IS, Asaturova AM, Pavlov VV, Pavlova MD, Fedorenko EV, MV Nefedova, Kuvika TO, Khomyak AI, Zhevnova N A. **EVALUATION INSECTICIDAL ACTIVITY OF NEW BACTERIAL STRAINS AGAINST BOXWOOD MOTH (CYDALIMA PERSPECTALIS WALKER). БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ – ОСНОВА СТАБИЛИЗАЦИИ АГРОЭКОСИСТЕМ** Выпуск 9 Материалы Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений - основа стабилизации агроэкосистем» с молодежной стратегической сессией «Кадры, ресурсы, возможности, инновации» 20-22 сентября 2016 г
- Albert R., 2009. **The box-tree pyralid *Diaphania perspectalis* in Baden-Württemberg.** Journal of Plant Diseases and Protection, Volume 116, Issue 2, pp 90–95
- S.A. BELOKOBYSKIY, YU.I. GNINENKO. (2016). **A solitary endoparasitoid (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae) of the severe Buxus pest *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae) in the North Caucasus of Russia.** ZOOSYSTEMATICA ROSSICA, 25(2): 248–254
- Billen, W., 2007. ***Diaphania perspectalis* (Lepidoptera: Pyralidae) – a new moth in Europe.** Mitteilungen der Entomologischen Gesellschaft Basel 57: 135-137.
- De Blok, JJ. (2009). **Consultancy: inventarisatie *Diaphania perspectalis* - aanwezigheid en schade door *Daphania perspectalis* in de Nederlandse boomkwekerij.** Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., 13 p.
- Bras A., Courtin C., Kenis M., Bernard A., Roques A., Rousselet J., Auger-Rozenberg M.A. (2016). **L'invasion fulgurante de la pyrale du buis en France et en Europe: Diversité génétique et approche**

phylogéographique. 4. Conférence sur l'entretien des Jardins, Espaces Végétalisés et Infrastructures, Oct 2016, Toulouse, France. 2016. 10 p.

Bras A., Auger-Rozenberg M.A., Pineau P., Lorme P., Roques A., Laparie A., Rousselet J. (2017). **EFFET DE MICRO-INJECTIONS D'EMAMECTINE BENZOATE DANS L'ARBRE HÔTE SUR LA SURVIE DES PREMIERS STADES LARVAIRES DE LA PYRALE DU BUIS.** AFPP – 6e CONFÉRENCE SUR LES MOYENS ALTERNATIFS DE PROTECTION POUR UNE PRODUCTION INTEGRÉE LILLE – 21, 22 ET 23 MARS 2017, 11 p.

Brua C. (2013). **LA PYRALE DU BUIS, CYDALIMA PERSPECTALIS (WALKER, 1859), ESPECE EXOTIQUE ENVAHISSANTE, CARACTERISTIQUES DE SA DYNAMIQUE D'EXPANSION EN FRANCE ET EN EUROPE, DES DEGATS OCCASIONNES SUR LES BUIS (BUXUS SPP) ET DES STRATEGIES DE LUTTE.** AFPP – 3e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN DES ESPACES VERTS, JARDINS, GAZONS, FORÊTS, ZONES AQUATIQUES ET AUTRES ZONES NON AGRICOLES TOULOUSE – 15, 16 ET 17 OCTOBRE 2013, 13 p.

Callot H., Brua C. (2013). **Insectes invasifs et envahissants en Alsace.** Callot H., Brua C. (2013) - **Insectes invasifs et envahissants en Alsace.** Bull. Ass. Philomatique d'Alsace et de Lorraine, 44 (2010-2011), 21-44 et 132-140

Casteels H., Witters J., Vandierendonck S., Van Remoortere L., Goossens F. (2011). **First report of *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera : Crambidae) in Belgium.** Comm. Appl. Biol. Sci., Gent University, p.151-154

Chen, H. L., Gao, Z. G., Zhou, J. M., Chen, H. M., 2005, **Bionomics of the box tree pyralis, *Diaphania perspectalis* (Walker).** Jiangxi Plant Protection, 28: 1-4. (in Chinese)

Cheng SP, 2005. **Studies on the box tree caterpillar, *Diaphania perspectalis* (Walker).** Anhui Agri. Sci. Bull. 11, 107– 108 (in Chinese).

Choo H.Y. et al. (1991). **Laboratory evaluation of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* and *Heterorhabditis bacteriophora* against some forest insect pests.** Korean Journal of Applied Entomology v. 30(4) p. 227-232

Czudec P. et al. (2017). **First records of the invasive box tree moth *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) in south-eastern Poland.** Fragmenta faunistica 60 (2) : 101-106

Defferier T. et al. (2016). **Biocontrol of *Cydalima perspectalis* (lepidopteran pest): Study of the chemical compounds linked to the box tree ecosystem and impacting the relationship between pest host, plant host and parasitoid.** 7. Annual Meeting of the EFOR Network, Mar 2016, Paris, France. 2016

Di Vitantonio C. (2016). **Natural and Anthropogenic Factors Affecting the Life Cycle of Exotic and Native Insect Species.** Alma Mater Studiorum –Università di Bologna DOTTORATO DI RICERCA IN Scienze e Tecnologie Agrarie Ambientali e Alimentari 160 p.

Dobranski X., Drapiewski A., Wawryka P. (2018). **Nowe stanowiska *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) w Polsce i Czechach.** PRZYRODA SUDETÓW t. 21(2018): 119-122

OEPP. (2011). **Mini data sheet on *Cydalima (=Diaphania) perspectalis*.** 2p.

Farahani (2018). **جدید آفات گزارش *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) ایران.** 1395) ای ران مراتع و جنگلها حفاظت و حمایت ت تحقیقات پژوهشی-علمی فصلنامه دو صد فحه 1، شماره 14 جلد -72،

Gottig S., Herz A. (2012). **Eco-friendly regulation of the box tree pyralid, especially with entomopathogenic nematodes.** Nachwuchswissenschaftlerforum / Young Scientists Meeting 2012

Gottig S., Herz A., Schmitt T. (2014). **Der Buchsbaumzünsler *Cydalima perspectalis*: Monitoring mit Licht- und Pheromonfallen sowie die Detektion von Volatilen an *Buxus* sp.** Deutsche Pflanzenschutztagung "Forschen – Wissen – Pflanzen schützen: Ernährung sichern!" 23. bis 26. September 2014, Freiburg, p. 82

Gottig S., Herz A. (2014). **The box tree pyralid *Cydalima perspectalis*: New results of the use of biological control agents and pheromone traps in the field.** Report on the 32th Annual Meeting of the Working Group Beneficial Arthropods and Entomopathogenic Nematodes (2014) p. 98-99

Gottig S. (2017). **Development of eco-friendly methods for monitoring and regulating the box tree pyralid, *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae), an invasive pest in ornamentals.** Technische Universität, Darmstadt, 130 p.

Guérin M., Tabone E., Martin J.-C., Lacordaire A.I., Gutleben C., Robert F. (2016). **VERS UNE STRATEGIE DE GESTION DURABLE DE LA PYRALE DU BUIS CYDALIMA PERSPECTALIS (WALKER 1859).** AFPP – 4e CONFÉRENCE SUR L'ENTRETIEN DES JARDINS VÉGÉTALISÉS ET INFRASTRUCTURES TOULOUSE – 19 et 20 OCTOBRE 2016, 15 p.

- Gil H.K., Koo C.D. (2014). *The Effect of Temperature and Humidity on Cocoon and Eclosion Period of Glyphodes perspectalis*.
- Ginenko Yu. I. (2015). ANALYSIS OF PHYTOSANITARY RISK OF BOX TREE PYRALID - A NEW INVASIVE PEST IN THE TERRITORY OF RUSSIA. Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 287. Том II. Часть I. p.103-107. (in Russian with English summary)
- Ginenko, 2016. **Роль энтомофагов в популяциях самшитовой огнёвки**. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах Материалы международной конференции Санкт-Петербург, 23–25 ноября 2016
- He Y., Chi S., Du Y. (2015). Identification of female sex pheromones of *Diaphania perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae) and their attractiveness to moths. Acta Entomologica Sinica 2015 Vol. 58 No. 10 pp. 1081-1090
- Hizal E., Kose M., Yesil C., Kaynar D. (2012). The new pest *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) in Turkey. Journal of Animal and Veterinary Advances, vol 11, n°3, p. 400-403
- Hrnčić S., Radonjić S., Perović T. (2017). The Impact of Alien Horticultural Pests on Urban Landscape in the Southern Part of Montenegro. Acta zool. bulg., Suppl. 9, 2017: 191-202
- Ivanov S.P. et al. (2015). Testing of method for control the box tree moth (*Cydalima perspectalis*) by artificial breeding and releasing of entomophagous vespid wasp *Euodynerus posticus* into the affected areas of Georgian box. Экосистемы, 4 (34) p.30-44
- John R., Schumacher J. (2013). Der Buchsbaum-Zünsler (*Cydalima perspectalis*) im Grenzach-Wyhlener Buchswald – Invasionschronik und Monitoringergebnisse. Gesunde Pflanzen (2013) 65:1–6
- Karpun H.H. (2015). Analysis of nutritional adaptation of the box tree moth (*Cydalima perspectalis* Walker). Вопросы Нормативно-Правового Регулирования В Ветеринарии n°4, p. 173-176
- Kawazu K., Honda K., Nakamura S., Adati T. (2007). Identification of Sex Pheromone Components of the Box Tree Pyralid, *Glyphodes perspectalis*. J Chem Ecol (2007) 33:1978–1985
- Kawazu K., Nakamura S., Honda K., Adati T. (2010). Effects of photoregime on the diel rhythmicity of male responses to sexpheromones in *Glyphodes perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae). Appl. Entomol. Zool. 45 (1): 169–176 (2010)
- Kenis M., Nacambo S., Leuthardt, F.L., Domenico F., Haye T. The box tree moth, *Cydalima perspectalis*, in Europe: horticultural pest or environmental disaster? Aliens: The Invasive Species Bulletin, Vol. 33, p.38-41
- Kim J., Park I. (2013). Female sex pheromone components of the box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis*, in Korea: Field test and development of film-type lure. Journal of Asia-Pacific Entomology 16 (2013) p. 473–477
- Korycinska A., Eyre D. (2009). Box tree caterpillar, *Diaphania perspectalis*. FERA, 4 p.
- Krüger E.O. (2008). *Glyphodes perspectalis* (Walker, 1859) – neu furdie Fauna Europas (Lepidoptera, Crambidae). Entomologische Zeitschrift mit Insekten-Börse, vol 118, n°2 p.81-83
- LEE S.M., LEE D.W. & CHOO H.Y. 1996: Biology and pathogenicity entomopathogenic nematodes, *Steinernema* spp., isolated from forest soil in southern Korea. FRI J. Forest Sci. (Seoul) 53: 117–123.
- Lee S.M., Lee D.W., Choo H.Y., Park J.W. (1997). Pathogenicities of *Beauveria bassiana* GY1-17 against some agro-forest insect pests. Korean Journal of Applied Entomology 1997 Vol.36 No.4 pp.351-356 ref.25
- Lee. S.M., Lee D.W., Choo H.Y., Kim D.W., Kim J.B. (1997). Pathogenicity of entomopathogenic nematodes to some agro-forest insect pests. Korean J. Soil Zoology 2 (2) : 76-82 (in Korean)
- Leuthardt F. L. G., Billen W., Baur B. (2010). Spread of the box-tree pyralid *Diaphania perspectalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in the region of Basel - a pest species new for Switzerland. Entomo Helvetica 2010 No.3 51-57
- Leuthardt F. L. G. (2013). Distribution, Life History, Food Choice and Chemical Ecology of the Invasive Box-Tree Pyralid *Cydalima perspectalis*. Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel, 95 p.
- Li SG, Lin HF, Yin CD, Chen SR, Zhang L, Wang PL, Xu TZ, 2004. Biology and microbial control of box tree caterpillar, *Diaphania perspectalis* (Walker). Forest. Ins. 6, 584– 587 (in Chinese).

- Lukic I. et al. (2016). **Box Tree Moth (*Cydalima perspectalis*) biology and influence of different food type on developmental characteristics**. 2nd Croatian Symposium On Invasive Species with International Participation - Book of Abstracts / Jelaska, Sven D. (ur.). - Zagreb : Croatian Ecological Society , 2016. 65-65.
- MacGillycuddy L. (2013). Evaluation de préparations de Ginkgo biloba sur les ravageurs: Myzus persicae, Tetranychus urticae et Cydalima perspectalis. Thèse de bachelor, Hepia, HES-SO Genève, 199 p.
- Mally R., Nuss M. (2010). **Phylogeny and nomenclature of the box tree moth, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) comb. n., which was recently introduced into Europe (Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae: Spilomelinae)**. Eur. J. Entomol. 107: 393–400
- Maruyama T., Shinkaji N. (1987). **Studies on the Life Cycle of the Box-Tree Pyralid, *Glyphodes perspectalis* (WALKER) (Lepidoptera: Pyralidae) I. Seasonal Adult Emergence and Developmental Velocity**. Jap. J. Appl. Ent. Zool. 31: 226–232.
- Maruyama T., Shinkaji N. 1991. **The life cycle of the box-tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) II. Developmental characteristics of larvae**. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology 35: 221-230.
- Maruyama, T. & Shinkaji, N., 1993. **Life cycle of the box-tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) III. Photoperiodic induction of larval diapause**. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology 37: 45-51.
- Maruyama T. (1993). **Life Cycle of the Box-Tree Pyralid, *Glyphodes perspectalis* (WALKER) (Lepidoptera: Pyralidae). IV. Effect of Various Host Plants on Larval Growth and Food Utilization**. Japanese journal of applied entomology and zoology, Volume 37 Issue 3 p. 117-122
- Matek, Marta; Lukić, Ivan; Balta, Danijela; Pernek, Milan **Utjecaj entomopatogene gljive Beauveria bassiana kao endofita na različite vrste štetnika // Zbornik sažetaka 61. seminara biljne zaštite / Cvjetković, Bogdan (ur.)**. Zagreb: Hrvatsko društvo biljne zaštite, 2017. str. 36-36
- Matošević D., Lukić I., Lacković, N., Pernek M. (2016). **Biology and food choice of invasive box tree moth (*Cydalima perspectalis*) in Croatia**. Natural resources green technology & sustainable development/2 - Book of Abstracts, Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb , 2016. 121-121
- Matsiakh I., Kramarets V., Mamadashvili G. (2018). **Box Tree Moth *Cydalima perspectalis* as a Threat to the Native Populations of *Buxus colchica* in Republic of Georgia**. J. Entomol. Res. Soc., 20(2): 29-42
- Molnar B., Toth Z., Karpati Z. (2017). **Synthetic blend of larval frass volatiles repel oviposition in the invasive box tree moth, *Cydalima perspectalis***. Journal of Pest Science, June 2017, Volume 90, Issue 3, pp 873–885
- Muus, T.S.T., van Haaften, E-J. & van Deventer, L.J., 2009. **De buxusmot *Palpita perspectalis* (Walker) in Nederland (Lepidoptera: Crambidae)**. Entomologische Berichten, Amsterdam 69: 66-67.
- Nacambo S. (2012). **Parasitisme, développement, modèle climatique et impact de *Cydalima perspectalis* en Europe**. MSc thesis, University of Neuchâtel, Switzerland
- Nacambo S., Lheuthardt F. L. G., Wan H., Li H., Haye T., Baur B., Weiss R. M., Kenis M. 2013. **Development characteristics of the box-tree moth *Cydalima perspectalis* and its potential distribution in Europe**. J. Appl. Entomol. Volume 138, Issue 1-2
- Nentwig W., Bacher S., Kumschick S., Pysek P., Monserat V. (2018). **More than “100 worst” alien species in Europe**. Biological invasions, vol 20, n°6, p. 1611-1621
- A.E. Nesterenkova, V.L. Ponomarev, N.N. Karpun, V.E. Protsenko, V.E. Glebov, E.A. Danilenko, V.M. Rastegaeva. (2017). **Полевые испытания биологической активности феромона САМШИТОВОЙ ОГНЕВКИ CYDALIMA PERSPECTALIS WALKER** [Field testing of biological activity of pheromone boxwood fire *Cydalimaperspectalis* walker]. Lesnoyvestnik / Forestry Bulletin, 2017, vol. 21, no. 3, pp. 70–77. (in Russian with English summary).
- A.E. Nesterenkova, V.L. Ponomarev. (2016). **Особенности биологии самшитовой огнёвки в условиях Черноморского побережья РФ и в лабораторной культуре** [Features of the biology of boxwood fire in the conditions of the Black Sea coast of the Russian Federation and in laboratory culture]. IX Чтения памяти О. А. Катаева Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах Материалы международной конференции Санкт-Петербург, 23–25 ноября 2016 г.

A.E. Nesterenkova, V.L. Ponomarev, N.N. Karpun. (2017). PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF SANDER FIRE CYDALIMA PERSPECTALIS WALKER IN LABORATORY CULTURE. Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 3. С. 61–69.

Nentwing W., Bacher S., Kumschick S., Pysek P., Montserrat V. (2018). **More than “100 worst” alien species in Europe.** Biol Invasions (2018) 20:1611–1621

Oberemok V.V. et al. (2017). **The first record of box tree moth in Crimea and a novel perspective of its biological control based on Lymantria dispar multicapsid nuclear polyhedrosis virus and DNA insecticides approach.** Entomologia Generalis Volume 36 Number 3 (2017), p. 207 - 217

Ostojic et al. (2015). **NEW RECORDS OF BOX TREE MOTH Cydalima perspectalis (Walker, 1859) IN BOSNIA AND HERZEGOVINA.** Works of the Faculty of Agricultural and Food Sciences, University of Sarajevo Vol. LX, No. 65/1

Pan S.-B., Luo Q.-H., Long J.-K., Zhang Z.-Y., Mang D.-Z. & Shu M. (2011). **Discovery of melanous adult of Diaphania perspectalis in Guizhou, China and preliminary survey of the wing colour stripes change of normal adults.** Chinese Journal of Applied Entomology, 48(1), 212–213.

Pantik I., Markovic O., Glavendic M. (2015). **DISTRIBUTION AND BIOLOGY OF BOX TREE MOTH Cydalima perspectalis (Walk.) (Lepidoptera: Crambidae) IN SERBIA.** Books of abstracts FIFSCIS 2015

Park I. (2011). **Mass rearing of the box tree pyralid, Glyphodes perspectalis, with artificial diet and sex pheromone analysis.** 한국응용곤충학회 50주년 기념 국제 심포지엄, 1p.

Pencheva A., Yovkova M. (2016). **NEW DATA ON ALIEN INSECT PESTS OF ORNAMENTAL PLANTS IN BULGARIA.** FORESTRY IDEAS, 2016, vol. 22, No 1 (51): 17–33

Raineri V. et al. (2017). **CYDALIMA PERSPECTALIS (WALKER, 1859) (LEPIDOPTERA, CRAMBIDAE) AND THE THREATS FOR THE NATURE 2000 HABITAT 5110 IN LIGURIA (NW-ITALY).** Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova, 79, 2017 p. 215–236

Ramel J.-M., Rossi J.-P. (2013). **Geographical range of Cydalima perspectalis (Walker, 1859) [Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae: Spilomelinae] and its recent expansion in France.** 18th European Congress of Lepidopterology Blagoevgrad, Bulgaria, 29 July – 4 August 2013

Rose J. et al. (2013). **On the susceptibility of the box tree moth Cydalima perspectalis to Anagrapha falcifera nucleopolyhedrovirus (AnfaNPV).** Journal of Invertebrate Pathology 113 (2013) 191–197

Salehi. P.S. (2018). **Genetic erosion of Hyrcanian boxwoods.** irannature.areeo.ac.ir

Santi F., Radehieri, P., Inga Sigurta G., Maini S. (2015). **Sex pheromone traps for detection of the invasive box tree moth in Italy.** Bulletin of Insectology 68 (1): 158–160, 2015

She DS, Feng FJ, 2006. **Bionomics and Control of Diaphania perspectalis (Walker).** J. Zhejiang Forest. Sci. Tech. 26, 47–51 (in Chinese).

Shi HZ, Hu KF, 2007. **Occurrence regularity and control techniques of Diaphania perspectalis (Walker).** Hubei Agric. Sci. 46, 76–78 (in Chinese).

Shima H, 1973. **New host records of Japanese Tachinidae.** Sieboldia 4, 153–160.

Skolpjak N. (2017). **Life cycle and biology of the box tree moth (Cydalima perspectalis (Walker, 1859)) in Zagreb city area.** University of Zagreb. Faculty of Forestry. Department of Forest Protection and Wildlife Management, 40 p.

Shchurov V.I. et al (2015). **The box-tree moth Cydalima perspectalis (Walker, 1859) – the real threat to biological diversity of natural forests of the Northwest Caucasus.** Works of the Kuban State Agrarian University

Shchurov V.I., Bondarenko A.S., Skvortsov M.M., Shchurova A.V. (2017). **Alien forest insect pests revealed in the Northwest Caucasus in 2010–2016 and consequences of their uncontrolled dispersal.** Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnickeskoj Akademii, 2017, is. 220, pp. 212–228 (in Russian with English summary).

Shchurov V.I. et al. (2017). **Инвентаризация мест обитания и популяций самшита колхидского как потенциальных участков ЛВПЦ на южном макросклоне Северо-Западного Кавказа в условиях продолжающейся инвазии самшитовой огневки. ЛЕСНАЯ ПОЛИТИКА ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ, 9 р.**

Shirayeva N.V. et al. (2016). **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГРАММЫ БОРЬБЫ С САМШИТОВОЙ ОГНЁВКОЙ CYDALIMA PERSPECTALIS WALKER В СОЧИНСКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАПОВЕДНИКАХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКАХ РОССИИ, Петрозаводск, 29 августа - 4 сентября 2016 года**

- Skvortsov M.M. 2013. The Box Tree Moth in the Krasnodar region of Russia – three years after invasion. Federal Forestry Agency, Center of Forest Health of Krasnodar Region. Available: <http://czl23.ru/news.php?extend.102>
- Stincic T. (2016). *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859)-biološki ciklus i štetnost na području Zagreba. University of Zagreb. Faculty of Forestry. Department of Forest Protection and Wildlife Management, 22 p.
- S. Hrnčić, S. Radonjić, T. Perović. (2017). **The Impact of Alien Horticultural Pests on Urban Landscape in the Southern Part of Montenegro.** Acta zool. bulg., Suppl. 9, 2017: 191-202
- Tabone E. et al. (2016). Étude en mésocosme de parasitoïdes dans le cadre de la mise en place d'un programme de lutte biologique contre la pyrale du buis, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera : Crambidae). 10. Rencontres Annuelles du Groupe des Entomologistes Forestiers Francophones (GEFF), Sep 2016, Ramatuelle, France. 2016
- Tang S. J., Qin H. Z., Sun W. (1990). **Studies on bionomics of *Diaphania perspectalis*.** Journal of Shanghai Agricultural College 1990 Vol. 8 No. 4 pp. 307-312
- Tang M. Y. (1993). **Bionomics, developmental zero and effective accumulated temperature of *Diaphania perspectalis* (Walker) and application to its control.** Entomological Knowledge, vol 30, n°6, p.350-353
- Trohov, 2014. **Самшитовая огневка на Черноморском побережье России.** (<http://mvl-saratov.ru/samshitovaya-ognevka-na-chernomorskom-poberezhe-rossii>)
- The et al. (1997). **Pathogenicities of Entomopathogenic Fungus *Metarhizium anisopliae* J-22 against Turfgrass and Some Agro - Forest Insect Pests.** Korea Journal Of Turfgrass Science, Vol.11 No.3, 1997.10, 185-191
- Torrado Blanco L. (2017). ***Inventario de las mariposas nocturnas (Lepidoptera, Heterocera) de una localidad de Oleiros (As Pedreiras, Liáns), A Coruña.*** Universidade da Coruna, 40 p.
- Tuba K., Kelemen G., Molnar M. (2015). ***Colour and sex ratios in different box tree moth (Cydalima perspectalis) populations.*** Proceedings of the 7th Congress on Plant Protection "Integrated Plant Protection - a Knowledge-Based Step Towards Sustainable Agriculture, Forestry and Landscape Architecture". November 24-28, 2014, Zlatibor, Serbia, p. 247-253
- UEZUMI Y., 1975. **Lepidoptera harmed the trees and the pest control.** Plant Prot. 29: 349-354.
- Urbanavichus G. P., Urbanavichene I. N. (2016). **THE BOX-TREE MOTH CYDALIMA PERSPECTALIS – THE THREAT OF EXTINCTION OF FOLIICOLOUS LICHENS OF THE CAUCASIAN BLACK SEA COAST.** Заповедники Крыма – 2016: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление
- Van der Straten M., Muus T. (2010). **The box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae), an invasive alien moth ruining box trees.** PROC. NETH. ENTOMOL. SOC. MEET. - VOLUME 21 p. 107-111
- Walker, F. 1859. **List of the Specimens of Lepidopterous Insects in the Collection of the British Museum. Part XVIII. Pyralides.** British Museum (Nat. Hist.), London, pp. 509–798.
- Wan H. et al. (2014). **Biology and natural enemies of *Cydalima perspectalis* in Asia: Is there biological control potential in Europe?** J. Appl. Entomol.
- Zhao PB, Ren AZ, Du XL, 2004. **Studies on regularity of outbreak and control of *Diaphania perspectalis* (Walker).** Shandong Agric. Sci. 6, 43–44 (in Chinese).
- Zhou, W., Xia, C. Y., Sun, X. Q., Zhu, B., Liu, X. P., Liu, Z. C., Wang, Y., 2005, **Studies on the biological characteristics and control of *Diaphania perspectalis* (Walker).** Journal of Shanghai Jiaotong University Agricultural Science, 23: 52-56. (in Chinese).
- Zimmermann, O. / Albert, R. / Wühret, B. (2009). **New pests - known control methods: First experience with *Trichogramma* releases against the box-tree pyralid *Diaphania perspectalis* and the banana moth *Opogona sacchari* in Germany.** DGaE-Nachrichten, Vol 23., n°14, p.23-24
- Zimmermann O, Wuhrer B, 2010. **Initial investigations on the ability of the indigenous larval parasitoid *Bracon brevicornis* to control the box-tree pyralid *Diaphania perspectalis* in Germany.** DGaE-Nachrichten 24, 25–26.
- 박일권*, 신상철, 이정수. (2011). **회양목명나방 생물학적 특성 및 페로몬** [Ecological characteristic and pheromone of *Glyphodes perspectalis*]. 산림과학 공동학술대회 2011년 2월 17일
- 경주교육문화회관 p.36-37