

LOUIS GÉLINAS

**LUTTE BIOLOGIQUE AUX THRIPS SUR
CONCOMBRE DE SERRE : EFFETS DE LA TEMPÉRATURE
SUR LA PERFORMANCE DE *Frankliniella occidentalis* ET SUR LA
PRÉDATION EXERCÉE PAR L'ACARIEN PHYTOSÉIIDE
*Amblyseius cucumeris***

Mémoire

présenté

à la Faculté des études supérieures

de l'Université Laval

pour l'obtention

du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

Département de phytologie

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE

ET DE L'ALIMENTATION

MAI 2000

© Louis Gélinas, 2000



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-51139-1

Canada

RÉSUMÉ

La température est la variable environnementale qui affecte le plus la performance des insectes ravageurs et des agents prédateurs utilisés pour les contrôler en serre. Le taux de développement et la capacité d'accroissement de population de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) ont été étudiés à six régimes thermiques constants de 17, 21, 25, 27, 29 et 33°C. Les valeurs observées du taux intrinsèque d'accroissement numérique obtenues sont de 0.027 d⁻¹ à 17°C, de 0.086 d⁻¹ à 21°C, de 0.118 d⁻¹ à 25°C, de 0.172 d⁻¹ à 27°C, de 0.167 d⁻¹ à 29°C et de 0 d⁻¹ à 33°C. Le taux d'accroissement numérique en fonction de la température est bien prédit en utilisant le modèle de Logan ($R^2=0.976$) et révèle une réponse curvilinéaire. La température optimale pour l'accroissement de population est estimée à 28.5°C, alors que la température maximale est estimée à 33°C et la température minimale à 12.5°C.

L'effet de régimes de température alternante sur la prédation de *F. occidentalis* par *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acarina: Phytoseiidae) a été étudié. Les résultats confirment que certains régimes de température alternante permettent d'accroître le taux de prédation par rapport à un régime équivalent de température constante. Aux régimes de température alternante de 16:8 h à 18:27 °C et 20:4 h à 20:26 °C, le taux de prédation est significativement plus élevé que sous le régime équivalent de température constante de 21°C soit de 0.24 proie/h pour le régime 12:12 h à 17:25 °C, de 0.26 pour le régime 20:4 h à 20:26 °C comparativement à 0.20 pour le témoin. Seul le régime 12:12 h à 17:25 °C n'est pas significativement plus élevé.

AVANT-PROPOS

Mes remerciements s'adressent avant tout à mon directeur de projet, le professeur Conrad Cloutier, du Département de biologie, Faculté des sciences et de génie, pour sa disponibilité et sa grande patience.

Je remercie aussi les professeurs Jacques Brodeur et André Gosselin, codirecteurs du projet, qui ont été d'un grand secours à plusieurs reprises.

Je témoigne toute ma reconnaissance à mes collègues de laboratoire, au personnel du Pavillon des services et de l'Envirotron et, plus spécialement, à Marie-Claude Pépin sans qui la réalisation de ce projet aurait été impossible.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	I
AVANT-PROPOS.....	II
TABLE DES MATIÈRES	III
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I	
REVUE DE LITTÉRATURE	4
A.- <i>FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS</i> (PERGANDE) (THYSANOPTERA: THRIPIDAE)	4
Taxinomie	4
Distribution et relations trophiques	5
Biologie.....	6
B.- <i>AMBLYSEIUS CUCUMERIS</i> (OUDEMANS) (ACARINA: PHYTOSEIIDAE).....	7
Taxinomie	7
Distribution et relations trophiques	8
Biologie.....	9
C.- LUTTE BIOLOGIQUE AUX THRIPS DES PETITS FRUITS	
Contrôle de <i>F. occidentalis</i> en serre	10
Études relatives à la dépendance thermique du développement et de la reproduction de <i>F. occidentalis</i> et de ses prédateurs	13
Caractérisation de la dépendance thermique	13
CHAPITRE II	
EFFECTS OF TEMPERATURE ON DEVELOPMENT AND REPRODUCTION OF <i>Frankliniella occidentalis</i> (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) ON GREENHOUSE CUCUMBER.....	17
Introduction.....	17
Materials and methods	19
Results	22
Discussion	24
Figure legends.....	28
Tables.....	32
References	38

CHAPITRE III

INCREASED PREDATION UNDER ALTERNATING TEMPERATURE REGIMES : THE CASE OF <i>Amblyseius cucumeris</i> (Oudemans), A BIOCONTROL AGENT OF GREENHOUSE THRIPS	41
Introduction.....	41
Materials and methods	44
Results and discussion.....	46
Figure legends.....	48
References	51
CONCLUSION GÉNÉRALE	55
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	57

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le thrips des petits fruits, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), est un ravageur des cultures originaire de l'ouest de l'Amérique du Nord (Johnson 1990). Il est maintenant établi dans l'est de l'Amérique du Nord et en Europe depuis le milieu des années 1980 (Allen and Broadbent 1986; Bournier and Bournier 1987; Mantel 1989; Bennison *et al.* 1990; van der Hoeven and van Rijn 1990; Steiner and Tellier 1990; Vernon and Gillespie 1990). Ce ravageur très polyphage des cultures maraîchères et florales sous abris est redouté. Le thrips s'attaque aux feuilles, aux fleurs et aux fruits, entraînant ainsi des pertes économiques directes et indirectes (Johnson 1990). Le thrips est aussi vecteur de maladies virales, et en particulier du virus de la maladie bronzée de la tomate (TSWV) (Cho *et al.* 1984, Broadbent *et al.* 1987, German *et al.* 1992).

Les populations du thrips des petits fruits sont devenues résistantes à la plupart des insecticides homologués pour son contrôle en serres au Canada (Steiner 1989). De plus, l'utilisation d'insecticides peut compromettre le succès des programmes de lutte biologique déjà implantés en réduisant l'efficacité des prédateurs ou des parasitoïdes (van Lenteren and Woets 1988, Gillespie 1989). Il est donc important de développer un agent biologique efficace contre le thrips. L'acarien prédateur *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) est disponible commercialement et déjà utilisé contre le thrips des petits fruits (Cloutier 1990, Cloutier et Chagnon 1990). Toutefois les résultats ne sont pas toujours satisfaisants.

Le succès du contrôle biologique en serre est dépendant des conditions environnementales, principalement de la température. Il est important de bien

connaître les réponses thermiques en termes de la reproduction et du développement du ravageur et de l'agent de lutte biologique, dans le but de prédire son efficacité. De plus, il est possible de suivre, contrôler et modifier l'environnement dans une serre moderne, permettant ainsi de maximiser l'efficacité d'un programme de lutte biologique en assurant les conditions les plus favorables aux agents de lutte.

Le but de cette étude était de déterminer s'il était possible de manipuler la température afin de favoriser le contrôle du thrips des petits fruits *F. occidentalis* par l'acarien prédateur *A. cucumeris* sur le concombre anglais de serre. Il fallait pour cela rencontrer les objectifs spécifiques suivants:

1. Mesurer la réponse à la température du thrips des petits fruits, *F. occidentalis* à l'intérieur des limites typiques d'une serre.
2. Modéliser la relation entre la température et le taux intrinsèque d'accroissement naturel (r_m) de *F. occidentalis*.
3. Comparer les réponses thermiques de *F. occidentalis* avec celles de certains de ses prédateurs.
4. Déterminer si l'activité prédatrice de l'acarien prédateur *A. cucumeris* est favorisé par une variation de température lors d'un cycle journalier.

Le chapitre I est une revue de littérature sur l'état général des connaissances au sujet de *F. occidentalis*, de *A. cucumeris* et de la lutte biologique aux thrips des petits fruits. Les chapitre II et III sont rédigés en anglais sous forme d'articles scientifiques et traitent, respectivement, de l'effet de la température sur le développement et la reproduction de *F. occidentalis* sur le concombre de serre et de l'effet de régimes de température alternants sur le

succès du contrôle biologique de *F. occidentalis* par *A. cucumeris*. Finalement la conclusion générale fait état des résultats de ces expériences.

CHAPITRE I

REVUE DE LITTÉRATURE

A.- *FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS* (PERGANDE) (THYSANOPTERA: THRIPIDAE)

TAXINOMIE

Frankliniella occidentalis (Pergande) a été décrit pour la première fois en 1895 sous le nom de *Euthrips occidentalis* par Pergande sur la base de spécimens récoltés dans des vergers d'abricots et d'oranges en Californie (Pergande 1895). Il fut par la suite reclassifié dans le genre *Frankliniella* par Karny en 1910 (Sakimura and O'Neill 1979).

De nos jours la classification de cette espèce se présente comme suit (Borror, De Long and Triplehorn 1981; Pergande 1895):

Classe: Hexapoda

Sous-classe: Pterygota

Division: Exopterygota

Ordre: Thysanoptera

Sous-ordre: Terebrantia

Tribu: Thripini

Famille: Thripidae

Genre: *Frankliniella*

Espèce: *occidentalis* (Pergande)

DISTRIBUTION ET RELATIONS TROPHIQUES

Frankliniella occidentalis est indigène de l'ouest de l'Amérique du Nord, du Mexique à l'Alaska (Bryan and Smith 1956; Heming 1985). C'est le plus commun des Thysanoptères en Californie (Bryan and Smith 1956). Il est établi dans l'est de l'Amérique du Nord et en Europe depuis le milieu des années 1980 (Allen and Broadbent 1986; Bournier and Bournier 1987; Mantel 1989; Bennison *et al.* 1990; van der Hoeven and van Rijn 1990; Steiner and Tellier 1990; Vernon and Gillespie 1990).

Frankliniella occidentalis est un ravageur extrêmement polyphage qui s'attaque à presque tous les ordres de Spermatophytes (Bailey 1933; Bryan and Smith 1956; Bibby 1958). Ses infestations sont redoutées autant sur les cultures florales et maraîchères sous abris que sur les cultures en champ (Broadbent *et al.* 1987; Lowry *et al.* 1992). *Frankliniella occidentalis* s'attaque par exemple aux cultures d'impatiens, de gloxinias, de cyclamens, de chrysanthèmes et de violettes africaines ainsi qu'aux cultures de tomates, de poivrons et de concombres (Johnson 1990). Il s'attaque aussi à d'autres cultures incluant la vigne (Yokoyama 1977) et le pommier (Madsen and Jack 1966).

Les dommages aux cultures de concombre de serre sont causés par l'alimentation de *F. occidentalis* sur le feuillage, les fleurs et les fruits. Le ravageur insère sa mandibule gauche dans le tissu végétal et suce le contenu des cellules avec ses stylets maxillaires (Lewis 1973). Les taches argentées caractéristiques du feuillages piqué par *F. occidentalis* sont le résultat de la présence de bulles d'air dans les cellules ainsi que par la dessiccation des tissus. Leur accumulation a pour effet de réduire la surface foliaire disponible pour la photosynthèse causant ainsi des dommages indirects. L'alimentation sur les

fruits provoque leur déformation et entraîne un déclassement ou un rejet d'une partie de la production causant ainsi des dommages directs (Bailey 1933; Johnson 1990). *F. occidentalis* est aussi un vecteur de maladies virales, notamment le virus de la maladie bronzée de la tomate, le TSWV (Cho *et al.* 1984; Broadbent *et al.* 1987; German *et al.* 1992).

BIOLOGIE

Frankliniella occidentalis est un insecte hémimétabole. Son cycle vital comprend six stades séparés par la mue. La femelle, à l'aide de sa tarière en forme de scie, insère l'oeuf dans le tissu végétal des fleurs, fruits ou feuillage. Dès l'éclosion, la larve de stade 1 débute son alimentation et perd ainsi sa transparence initiale. Il y a deux stades larvaires actifs qui se différencient par la grosseur de la larve et la position des soies cuticulaires qui la recouvrent. Les larves sont de couleur jaunâtre.

Après la deuxième mue, il y a deux stades pupaux (prépupe et puppe) durant lesquels l'insecte est en état de quiescence, ne bougeant que s'il est dérangé. La pupaison a généralement lieu au niveau du sol, au pied des plants dans une serre. Ces stades ne possèdent pas de pièces buccales fonctionnelles et, par conséquent, ne s'alimentent pas. La prépupe et la puppe se différencient par la longueur des bourgeons alaires et la position des antennes. Au deuxième stade puppe les antennes sont repliées et les bourgeons alaires sont plus développés.

Les adultes sont pâles à l'émergence mais deviennent de couleur plus foncée dans les heures qui suivent. Les femelles sont plus grosses et plus

foncées que les mâles qui sont, eux, plus vifs et rapides dans leurs mouvements (Bryan and Smith 1956; Lewis 1973; Lublinkhof and Foster 1977; Johnson 1990).

Peu après l'émergence, les femelles initient la ponte, la durée de la période de préoviposition variant selon la température. La femelle *F. occidentalis* n'a pas besoin d'être inséminée pour se reproduire. Les femelles qui ne sont pas fertilisées engendrent une progéniture mâle et haploïde, celles qui sont fertilisées engendrent des femelles diploïdes (Bryan and Smith 1956; Lewis 1973; Lubkinhof and Foster 1977; Johnson 1990).

B.- *AMBLYSEIUS CUCUMERIS* (OUDEMANS) (ACARINA: PHYTOSEIIDAE)

TAXINOMIE

Amblyseius cucumeris (Oudemans) (Acarina: Phytoseiidae) a été décrit pour la première fois en 1930 (Schicha 1976), sous le nom de *Typhlodromus cucumeris*. Il fut renommé dans le genre *Amblyseius* par Athias-Henriot (Schicha 1976). Certains auteurs continuent toutefois à le classer dans différents sous-genres de *Typhlodromus* (Chant 1959; El-Badry et Zaher 1961; Deleon 1965; Kolodotchka 1986). Enfin, Chant (1965) a admis l'espèce dans le genre *Amblyseius* dans sa revue des concepts génériques des phytoseiides.

De nos jours la classification de cette espèce se présente comme suit
(Chant 1965):

Classe: Arachnida

Sous-classe: Acari

Ordre: Parasitiformes

Sous-ordre: Mesostigmata

Cohorte: Dermanyssina

Super-famille: Ascoidea

Famille: Phytoseiidae

Sous-famille: Phytoseiinae

Genre: *Amblyseius*

Espèce: *cucumeris* (Oudemans)

DISTRIBUTION ET RELATIONS TROPHIQUES

Amblyseius cucumeris a une large distribution géographique et colonise divers habitats. Ce prédateur polyphage se nourrit d'acariens et de différentes espèces de thrips, et cela dans différentes parties du globe. *Amblyseius cucumeris* est retrouvé sur plusieurs cultures incluant les fraisiers, la betterave à sucre, les violettes, la sauge, le pommier, le pêcher, le cotonnier et dans des cultures de serre comme le poivron et le concombre où il est toutefois introduit (Burrell and Mc Cormick 1964, Chant and Hansel 1971, El-Badry and Zaher 1961, Huffaker and Kennett 1953). *Amblyseius cucumeris* est aussi capable de se reproduire en l'absence de proies lorsque nourri de pollen (Ramakers 1990).

BIOLOGIE

Le cycle vital d'*A. cucumeris* comprend cinq stades: l'oeuf, la larve, la protonympe, la deutonympe et l'adulte (Arodokoun 1992; Dosse 1955; El-Badry and Zaher 1961; Gillespie and Ramey 1988; Johnson 1990). Les oeufs sont déposés individuellement à la surface des feuilles ou accolés à l'apex des poils foliaires. Les oeufs sont blancs, translucides, de forme ovale, avec des stries longitudinales joignant les pôles.

Après une incubation dont la durée, comme celle de tous les stades, dépend principalement de la température, une larve presque transparente éclos. La larve possède six pattes et sa paire antérieure sert d'antennes. La larve ne se nourrit pas.

La protonympe possède quatre paires de pattes et est plus mobile que la larve. La protonympe devient plus foncée avec l'alimentation et sa couleur est dépendante du type de nourriture. La deutonympe ressemble à la protonympe mais est plus grosse. Ces deux stades sont difficiles à différencier.

L'adulte est ovale et aplati dorso-ventralement sauf pour la femelle lorsqu'elle est gravide. La femelle, plus grosse que le mâle, s'accouple dès le début du stade adulte. Il y a plusieurs accouplements ce qui maximise le nombre total d'oeufs pondus (Amano and Chant 1978; Schulten *et al.* 1978).

Le mode de reproduction d'*A. cucumeris* est pseudo-arrhénotoke (Schulten 1985), c'est-à-dire que le mâle provient d'oeufs fertilisés mais perd ensuite un complément de chromosomes pour devenir haploïde (Schulten 1985).

C.- LUTTE BIOLOGIQUE AUX THRIPS DES PETITS FRUITS

CONTRÔLE DE *FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS* EN SERRE

Les infestations de *F. occidentalis* représentent un grave problème, particulièrement sur le concombre de serre. L'utilisation d'insecticides pour contrôler les populations de ce ravageur s'avère peu efficace, notamment en raison de la résistance développée à la plupart des insecticides homologués pour les serres au Canada (Steiner 1989). De plus, seul les deux stades larvaires et l'adulte sont exposés pleinement; l'oeuf étant à l'intérieur du tissu végétal et la prépupe et la pupa étant au sol. Aussi, le comportement thigmotactique des larves et des adultes réduit les chances de contact avec l'insecticide (Robb 1989, Johnson 1990). L'utilisation de produits chimiques vient compromettre le succès des programmes de lutte biologique déjà implantés en réduisant l'efficacité des prédateurs ou des parasitoïdes, tels *Phytoseiulus persimilis* et *Encarsia formosa* utilisés, respectivement, contre les tétranyques à deux points et les aleurodes (van Lenteren and Woets 1988, Gillespie 1989).

Il y a présentement absence de programme de contrôle biologique efficace contre *F. occidentalis* sur le concombre de serre. Plusieurs possibilités sont explorées : hyménoptères parasitoïdes, champignons pathogènes, punaises anthocorides et finalement acariens prédateurs (van Houten *et al.* 1995).

Les punaises anthocorides du genre *Orius* présentent plusieurs avantages: elles se nourrissent sur tous les stades mobiles de *F. occidentalis* incluant les adultes, elles ont une grande capacité de prédation et, si la densité de population de proie est élevée, ces punaises tueront plus de proies qu'elles en consommeront. De plus, en l'absence de proies, les punaises anthocorides

peuvent se nourrir de pollen (Ramakers et van den Meiracker 1991). Abondant naturellement dans de nombreux milieux naturels et cultivés, *Orius insidiosus* (Say) est depuis longtemps considéré comme un agent de contrôle biologique potentiel dans les programmes de lutte intégrée et est produit commercialement en Hollande par Koppert (Isenhour et Marston 1981, Reid 1991, Bush *et al.* 1993). *Orius insidiosus* est spécialement considéré pour le contrôle biologique en serre de *F. occidentalis* (van den Meiracker et Ramakers 1991).

Amblyseius cucumeris peut être considéré comme candidat intéressant. Il est déjà reconnu comme agent de lutte biologique contre le thrips de l'oignon, *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera : Thripidae), sur poivron et concombre en serre aux Pays-Bas (Ramakers 1988, Bakker and Sabelis 1987), et sur poivron en serre en Amérique (Burrell and McCormick 1964, De Klerk and Ramakers 1986).

Amblyseius cucumeris est un auxiliaire de lutte biologique qui présente certains avantages indéniables. Il est facile à élever en masse, disponible commercialement et déjà utilisé dans plusieurs cultures pour lutter contre le thrips des petits fruits (Cloutier 1990, Cloutier and Chagnon 1990). Il a de plus été démontré que cet acararien a la capacité de se nourrir sur du pollen en absence de proies (Ramakers 1990).

Toutefois les résultats ne sont pas toujours satisfaisants, spécialement sur le concombre de serre. Certains facteurs feraient obstacle à son efficacité sur cette culture. Le concombre anglais de serre étant parthénocarpique, il y a absence de pollen comme source secondaire d'alimentation (Arodokoun 1992). La présence d'un grand nombre de trichômes sur le feuillage de concombre

limiterait la mobilité du prédateur (Shipp et Whitfield 1991, Ramakers 1990). La taille du prédateur est beaucoup plus petite que celle de la proie et la prédation s'effectue principalement au dépend des stades immatures de *F. occidentalis* (Sabelis 1985, Johnson 1990, Ramakers et van den Meiracker 1991). Il a toutefois été démontré que les petites nymphes d'*A. cucumeris* forcées de s'alimenter sur *F. occidentalis* peuvent consommer des proies tuées ou abandonnées par un conspécifique plus gros ce qui expliquerait la variabilité du succès de l'emploi de ce prédateur même en l'absence de pollen (Cloutier et Johnson 1993).

Donc, bien que *A. cucumeris* soit déjà utilisé pour lutter contre les thrips, il demeure important d'améliorer le niveau des connaissances sur le ravageur et son prédateur dans le but de développer son utilisation efficace. Notamment il importe de rechercher les meilleures conditions environnementales pour maximiser le niveau de répression du ravageur.

Il est généralement admis que les fluctuations normales ou accidentelles des conditions environnementales dans une serre interfèrent avec l'application de la lutte biologique par l'emploi de prédateurs. Parmi, les paramètres environnementaux de la serre, la température est le plus important. À l'intérieur des limites tolérables, la température augmente les taux de développement et de reproduction chez les organismes poikilothermes. La température détermine la vitesse des réactions biochimiques et par conséquent la vitesse de conversion de la nourriture en biomasse (Sabelis 1985). Caractériser la dépendance thermique du développement et de la reproduction des agents biologiques et des ravageurs ciblés est donc primordial pour prédire et améliorer le succès du contrôle biologique.

ÉTUDES RELATIVES À LA DÉPENDANCE THERMIQUE DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA REPRODUCTION DE *FRANKLINIELLA OCCIDENTALIS* ET DE SES PRÉDATEURS

Il y a déjà quelques données disponibles décrivant les réponses thermiques des prédateurs du thrips des petits fruits, *O. insidiosus* et *A. cucumeris*, (Isenhour and Yeorgan 1981, Johnson 1990, Arodokoun 1992, Cloutier *et al.* 1995). Les études sur les réponses thermiques de *F. occidentalis* sont peu nombreuses (Robb 1989, Lowry *et al.* 1992) et ont rarement porté sur le concombre comme plante-hôte (Gaum *et al.* 1994, van Rijn *et al.* 1995)

Il existe également des études sur les réponses thermiques de *A. cucumeris* (Dosse 1955, El-Badry et Zaher 1961, Kolodotchka 1985, Gillespie and Ramey 1988, Johnson 1990) mais elles ne couvrent que des intervalles restreints de température. De plus, elles ne précisent pas le régime photopériodique pourtant important pour le développement et la reproduction de *A. cucumeris* (Gilkeson *et al.* 1990). En outre, la diversité des méthodes utilisées, notamment la méthode d'élevage ou le type de proie, limite les comparaisons entre les données. Seuls les travaux de Arodokoun (1992) permettent la comparaison des réponses thermiques de la proie, *F. occidentalis*, à celles du prédateur, *A. cucumeris*. Des données complètes sont également disponibles sur la réponse thermique de la punaise prédatrice *Orius insidiosus* (Say) (Cloutier *et al.* 1995).

CARACTÉRISATION DE LA DÉPENDANCE THERMIQUE

La performance d'un arthropode en fonction de la température peut normalement être décrite par des modèles de régressions linéaires ou non-linéaires reliant le taux de développement ou de reproduction à la température.

La régression linéaire présente les avantages d'être facile à calculer, de nécessiter peu de données et d'être assez précise dans l'intervalle des températures optimales de développement (Wagner *et al.* 1984). Toutefois, la régression linéaire n'est pas valide pour les températures minimales et maximales de développement (Logan *et al.* 1976, Wagner *et al.* 1984, Lamb *et al.* 1984, Lamb 1992).

L'utilisation d'un modèle de régression non-linéaire est donc plus adéquate d'autant plus que l'intervalle de températures testées est grand et comprend des températures près des maximum et minimum (Schaafsma *et al.* 1991). Une raison importante découle aussi du fait qu'il est ici question de prévision de la performance dans une serre, soit un environnement limité où des mesures exactes de la température et de ses variations sont possibles.

Une synthèse plus adéquate des effets de la température sur un organisme poikilotherme peut être obtenue en mesurant le taux intrinsèque d'accroissement naturel de la population (r_m) à diverses températures. Le r_m est un taux instantané de multiplication qui incorpore l'effet de la température sur la survie des individus, le taux de développement et celui de la reproduction dans un environnement non-limitant (Dajoz 1974, Southwood 1978). C'est un concept classique en biologie des populations animales qui résume adéquatement les qualités physiologiques liées à la capacité maximale d'accroissement d'un organisme dans des conditions données (Andrewartha and Birch 1954, Howe 1953). Le r_m peut être défini par l'équation de Birch (1948):

$$\sum \exp(-r_m x) l_x m_x = 1$$

Dans le cas d'un insecte, le r_m peut donc s'exprimer par le nombre de femelles nées par femelle par jour et dépend alors de la sommation sur l'ensemble des classes d'âge du produit de la fraction (l_x) de femelles originales ayant survécu jusqu'à l'âge x et du nombre (m_x) de femelles nées par femelle originale d'âge x .

Le r_m (R) peut être régressé en fonction de la température (T) en utilisant l'équation logistique à 4 paramètres de Logan (Régnière et Beilhartz 1987):

$$R = P1 \{ 1 / [1 + e (P2 - P3 Z)] - e (Z - 1) / P4 \},$$

$$\text{où } Z = (T - T_{min}) / (T_{max} - T_{min})$$

où T_{min} et T_{max} sont les températures auxquelles la réponse à la température est minimale et maximale et $P1$, $P2$, $P3$ et $P4$ sont les paramètres de l'équation estimés à partir des données.

Les régimes de températures testés ici (17, 21, 25, 27, 29 et 33°C) sont constants, tel que dans la majorité des études de ce type (Howe 1967). L'utilisation de régimes thermiques constants implique qu'on assume que la réponse à la température est indépendante de la nature du régime, qu'il soit constant ou variable (Liu *et al.* 1995). Le taux de développement (ou d'accroissement numérique) varie de façon définie en fonction de la température lorsque tous les autres facteurs sont gardés constants, et la portion de développement (ou d'accroissement numérique) réalisée dans un intervalle donné peut être calculée par la sommation des fractions de développement complétées par unité de temps (Kaufmann 1932).

Liu *et al.* (1995) discutent la possibilité d'un effet spécifique des régimes thermiques variables sur le taux de développement (ou de reproduction) des insectes. Toutefois les résultats de ces travaux ne suggèrent que cet effet est minime et qu'il aurait peu d'influence sur un modèle phénologique.

CHAPITRE II

EFFECT OF TEMPERATURE ON DEVELOPMENT AND REPRODUCTION OF *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) ON GREENHOUSE CUCUMBER

INTRODUCTION

The western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis* (Pergande), is a polyphagous pest in greenhouse horticulture, especially on cucumber. WFT attacks leaves, flowers and fruits, thus causing direct and indirect economic damages (Johnson 1990). It is also a vector of the tomato spotted wilt virus (TSWV) (Broadbent *et al.* 1987, German *et al.* 1992). Many populations of WFT are also resistant to a wide range of insecticides, including most of those registered for use on greenhouse vegetables in Canada (Steiner 1989). In addition, insecticides used against WFT interfere with biological control of whitefly and two-spotted spider mite by reducing vigour of or killing predators and parasites (Gillespie 1989). Hence, it is important to develop efficacious biological controls of WFT.

The success of biocontrol in greenhouses is dependent on environmental conditions and especially temperature. Within tolerable limits, temperature increases the rates of development and reproduction of poikilothermous organisms. Temperature partly determines the kinetics of biochemical reactions and thus the rate of food conversion to biomass as growth or eggs (Sabelis

1985). Thus, it is important to characterize the thermal dependence of development and reproduction of biocontrol agents and target pests to predict biological control success. Furthermore, modern greenhouses allow to monitor and control environmental conditions, raising the possibility of adjusting environmental conditions in order to increase the efficacy of biological control.

Most available studies on WFT's life history did not characterize the thermal dependence of development and reproduction at several temperatures, or over a sufficiently wide range of temperatures (Bryan and Smith, 1956; Lublinkhof and Foster, 1977; Trichilo and Leigh, 1988; Lowry *et al.*, 1992). Also these studies were conducted on host-plants other than greenhouse crops, such as bean, cotton, onion and peanut. The most exhaustive studies that have been published on WFT's thermal responses are: Robb (1989), Gaum *et al.* (1994) and van Rijn *et al.* (1995). Robb's (1989) data were collected on chrysanthemum. In addition the methodology used by Robb (1989) and Gaum *et al.* (1994) probably overestimate r_m .

The first objective of this paper is to describe development and reproduction of WFT on cucumber as a function of temperature within the range of temperature commonly observed in a greenhouse facilities. Data from measurements at several constant temperatures are used to estimate the parameters of regression models describing the rates of development and population increase as non-linear functions of temperature. The second objective is to compare WFT response to temperature with two of its predators, *Amblyseius cucumeris* (Acarina: Phytoseiidae) and *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae), both commercially available and used in biological control of WFT.

MATERIALS AND METHODS

WFT used for this study were collected with a small aspirator from a greenhouse colony reared on bean *Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender, at Laval University. Because tests were to be conducted on cucumber, a subcolony was reared for 1 generation on English cucumber cv. Marillo prior to testing. WFT development and reproduction were measured at 6 constant temperatures, i.e. 17, 21, 25, 27, 29 and 33°C (± 1 °C), under a photoperiod of 16: 8 (L:D) and $\geq 90\%$ RH. Temperature control was measured at the level of leaf disks to correct for greenhouse effect within the translucent plastic rearing units during daytime. Tests started by introducing cohorts of 0–4 h old eggs laid by WFT females from the subcolony on leaf disks as described by Brodeur and Cloutier (1992). At hatching the larvae were removed with a small brush to individual cages.

Mortality was recorded at each observation to determine age specific survivorship (l_x). The age specific survivorship is the probability at birth of being alive at age x (Birch 1948, Wyatt and White 1977, Southwood 1978, Abou-Setta and Childers 1991). To time development and first reproduction events, observations were made at intervals of 6 or 12 h, the interval being chosen to keep observational error within 5% for any event. Six developmental stages were distinguished: egg, two larval stages, prepupa, pupa and adult (Lewis 1973). From the time of maturation onward each female was kept with several males and observed daily thereafter to estimate egg production in order to determine age specific fecundity (m_x). The age specific fecundity is the mean number of female offspring produced per unit of time by a female of age x (Birch 1948, Wyatt and White 1977, Southwood 1978, Abou-Setta and Childers 1991). Males were replaced as needed. WFT being haplodiploid (Bailey 1957, Lewis

1973), the female/male ratio is not necessarily 1:1, and might vary with female age and external factors including temperature. At each temperature regime, a fraction of eggs laid by available females were collected and reared to adulthood to estimate the sex ratio of progeny. Sampling for sex ratio was continued for several days into reproduction, but did not cover the overall reproductive period.

The performance of arthropods as a function of temperature can be described by regression models relating temperature to rate functions such as rate of development and intrinsic rate of increase (r_m) (Birch 1948). Various linear and non-linear models have been proposed for that purpose. A commonly used model is Logan's logistic equation (Régnière and Beilhartz 1987), which has been shown to be applicable to a wide range of arthropod rate responses to temperature.

To estimate the intrinsic rate of increase (r_m), we used the method described by Birch (1948) which is based on the following relationship:

$$\sum \exp(-r_m x) l_x m_x = 1$$

where x is the pivotal age, l_x is the age-specific survivorship and m_x the age-specific fecundity. The rate of adult development (measured individually) and intrinsic rate of increase (estimated for cohorts) were regressed on temperature using the 4 parameters Logan's logistic equation (Régnière and Beilhartz 1987):

$$R = P1 \{ 1 / [1 + e (P2 - P3 Z)] - e (Z - 1) / P4 \},$$

$$\text{with } Z = (T - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min})$$

where T_{\min} and T_{\max} delimit the range of response to temperature, and P1, P2, P3 and P4 are model parameters to be estimated from the data.

The characteristic minimum temperature, or population increase threshold (TH), is usually evaluated by using extrapolation of the linear portion of the curve. Lamb (1992) proposed TH_{08} as a replacement for TH as an estimator of this biological trait. TH_{08} is estimated by determining the maximum rate on the curve and then determining the temperature at which rate is 8% of the maximum. Model fitting was performed with the SYSTAT statistical software (Wilkinson 1987), using the NLIN procedure. Statistical significance of the variation of sex ratio as a function of temperature was performed with the CATMOD procedure of the SAS statistical package (SAS Institute 1990).

RESULTS

Mean developmental times to egg eclosion significantly decreased from 7.08 to 2.7 d with increasing temperature from 17 to 25°C (Table 1). Within the interval 25 to 33°C, a plateau was observed with egg developmental time averages of 2.7, 2.9, 2.66 and 2.63 d. Mean developmental times of larva 1 and larva 2 decreased with increasing temperature up to 29°C (from 5.25 to 1.91 d and from 6.35 to 2.78 d), but were longer at 33°C than 29°C (2.59 d and 3.65 d) (Table 1). For the prepupal and pupal instars mean developmental time significantly decreased with increasing temperatures up to 33°C: prepupa from 2.41 to 0.75 d, and pupa from 5.42 to 1.75 d. Total developmental time from egg to adult significantly decreased from 26.41 to 10.3 d with increasing temperatures from 17°C to 29°C. At 33°C total development time was longer with 11.19 d.

The sex ratio of adults reared from sampled eggs did not vary significantly with temperature in the range tested ($\chi^2 = 0.84$, $p = 0.359$). As possible variation of the progeny sex ratio with female age was not measured, it was assumed to be constant with age (Table 3). Hence the sex ratio used for calculation of intrinsic rate of natural increase was the overall mean sex ratio, i.e. 60.8% female.

Temperature strongly affected the age-specific survivorship and fecundity curves (Figure 1). Longevity generally decreased with increasing temperature (Table 2). As expected the oviposition period was longer at low temperatures (17 and 21°C) than high temperatures (25, 27 and 29°C), but total fecundity was higher at high temperatures (27 and 29°C)(Table 2).

Regression on temperature using the Logan's logistic equation explained a high proportion of variation in rate of adult development ($R^2 = 0.903$) and revealed a curvilinear response (Figure 2). Optimum temperature for fast development was estimated at 31.5°C and maximum temperature near 34°C. The minimum temperature (TH_{00}) was estimated to be near 6°C. The intrinsic rate of natural increase was also predicted with good precision ($R^2 = 0.976$) with Logan's model, also revealing a curvilinear response (Figure 3). The optimum temperature for population increase was estimated to be close to 28.5°C. The maximum temperature for population increase was estimated to be around 33°C and the minimum at 12.5 °C. WFT reproductive performance decreases rapidly to 0 around 31°C.

DISCUSSION

The intrinsic rate of natural increase values we measured on English cucumber differs from that found on other host plants. Lowry *et al.* (1992) reported a very low r_m value (0.02/day) on peanut at 25°C. They observed high juvenile mortality and concluded that peanut is a poor host for WFT. Robb (1989), who tested WFT at several constant temperatures on chrysanthemum (Table 5) found higher r_m estimates than ours. This can be explained by methodological differences. Robb (1989) referred to adult age for calculating age specific fecundity, assuming a l_x equal to 100% at the beginning of the adult stage. This overestimates female survivorship at day x compared to standard age at birth, therefore giving higher r_m values. Developmental times found on chrysanthemum were longer than on cucumber, but higher fecundity and a more female biased sex ratio compensated. The higher fecundity reported for chrysanthemum could be explained by the availability of pollen (Robb 1989). Fertility and longevity of WFT increase when pollen is provided (Trichilo *et al.* 1988). Parthenocarpic cucumber produces virtually no pollen which could explain the lower WFT intrinsic rate of natural increase than on flowering crops.

Other studies of r_m variation with temperature on English cucumber are available. Gaum *et al.* (1994) on cv. Pepinex and van Rijn *et al.* (1995) on cv. Corona measured higher r_m values than found here (Table 5). The difference between our results and those of Gaum *et al.* can not be explained entirely by the use of a different cultivars. As Robb (1989), Gaum *et al.* used age since maturation as the age variable x in the Birch's formula (1948), rather than the age since birth. This approach dramatically increases the r_m values. Moreover, the methodological differences are also involved in calculating age specific fecundity.

Gaum *et al.*'s (1994) also assumed a l_x equal to 100% at maturity. Furthermore, they observed a more female biased sex ratio than in our study, which also contributed to a much higher estimate of intrinsic rate of natural increase.

It is difficult to compare our estimates of r_m with those of van Rijn *et al.* (1995) because they did not provide r_m values for all temperatures. They provide their non-linear model only in graphical format, without the parameter values, however it seems similar to ours. This is confirmed by examination of the key temperatures reported by van Rijn *et al.* (1995) which are similar to ours (Table 4). The optimum temperature that they found is very close to 28°C, the maximum was near 33°C and the minimum is 10.9°C. Graphical estimates of r_m (see Table 5) suggest that van Rijn *et al.*'s (1995) WFT population exhibits slightly r_m values than ours, especially at lower temperatures.

Some differences between our results and those of van Rijn *et al.* (1995) may be due to both methodological differences and to different values for biological parameters. van Rijn *et al.* (1995) used a more female biased sex ratio than ours, i.e. 67% (60.8% here). Also, van Rijn *et al.* (1995) also assumed l_x values at 100 % at the beginning of oviposition. In our study, survivorship to first oviposition was: 48.8 % at 17°C, 67.8 % at 21°C, 82.3 % at 25°C, 90 % at 27°C and 78.1 at 29°C. Decreasing survivorship at lower temperatures contribute to the large difference between our study and that of van Rijn *et al.* (1995) at colder temperatures (Table 5).

In their study van Rijn *et al.* (1995) estimated several life history components, but they did detailed studies of all life history components, only at 25°C. At other temperatures only developmental time and survival of young stages were

measured. Thus van Rijn *et al.* (1995) reconstructed the full life history under the generally accepted assumption that ratios between different developmental and ovipositional rates are constant across temperatures. They partly verified this assumption by comparison of two developmental rates: those for the egg, and the first instar development. They found ratios fluctuating from 0.53 to 0.62 which would affect r_m estimates. The value of r_m is very sensitive to variation in developmental time. Sensitivity analysis (van Rijn *et al.* 1995) showed that, relative to other life history components, reduction of developmental rate critically affects the capacity of population increase.

Data and models from this study allow to compare the thermal responses of WFT to those of two of its predators currently used in its biological control (Table 3 and 4), which could help to predict the control success under variable conditions normally occurring in greenhouses. The data on the predators *A. cucumeris* (Arodokoun, 1992) and *O. insidiosus* (Cloutier *et al.* 1993) are directly comparable to those of WFT because they were obtained under very similar experimental conditions using identical methodology. Comparisons show that the intrinsic rate of natural increase for both predators is equal to or higher than that of WFT (Table 4). Thus assuming that thermal responses are critical, it should be possible to use either predator successfully in biological control of WFT. Yet *O. insidiosus* appears to be more adapted to variables conditions. This predator developed and reproduced over a range extended by several °C above that of WFT (Table 4), which may constitute an advantage for biological control under summer conditions when greenhouse day temperatures may exceed 30°C (Cloutier *et al.* 1993).

The model reported here to relate intrinsic rate of increase to temperature could be used to predict the growth potential of a population of WFT. The Logan's model produced excellent statistical results for both rate of development and rate of natural increase and can be used under a wide range of thermal conditions within the temperature range used here. Pest monitoring and knowledge of temperature fluctuations in the greenhouse environment could also help growers to optimally time interventions in relation to WFT development, in order to apply control measures when WFT is most vulnerable, e.g. the larval instars. It would also be possible to manipulate the environment in order to increase the efficacy of the predator, i.e. by choosing temperatures near of the optimum rate of increase predator or temperatures that maximize the difference between the predator's rate of increase and that of WFT. If the difference between the two rates is small, this could be suggest the type of introduction to be used, i.e. inoculative or inundative. Thus the knowledge of thermal responses can help to predict and improve the success of biological control.

FIGURE LEGENDS

Figure 1. Age-specific fecundity (m_x) (solid line) and survivorship (l_x) (dotted line) of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) reared on English cucumber at selected constant temperatures.

Figure 2. Rate of adult development of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) reared on English cucumber, as a function of temperature. The rate can be estimate as:

$$R = 0.128 \left\{ 1 / \left[1 + e \left((1.68 - 3.631) Z \right) \right] - e \left(Z-1 \right) / 0.025 \right\},$$

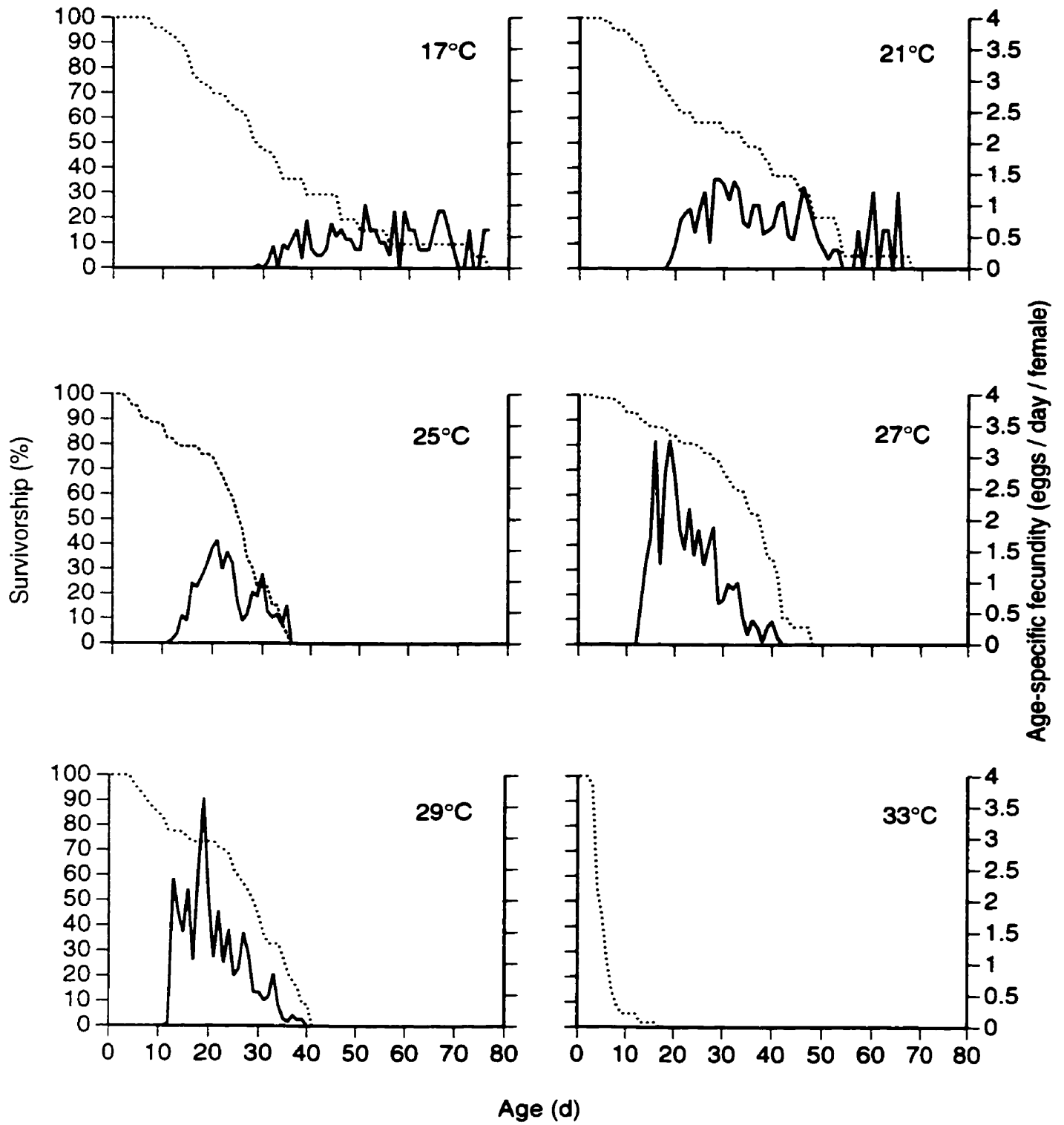
with $Z = (T - 12) / (22)$, $R^2=0.903$.

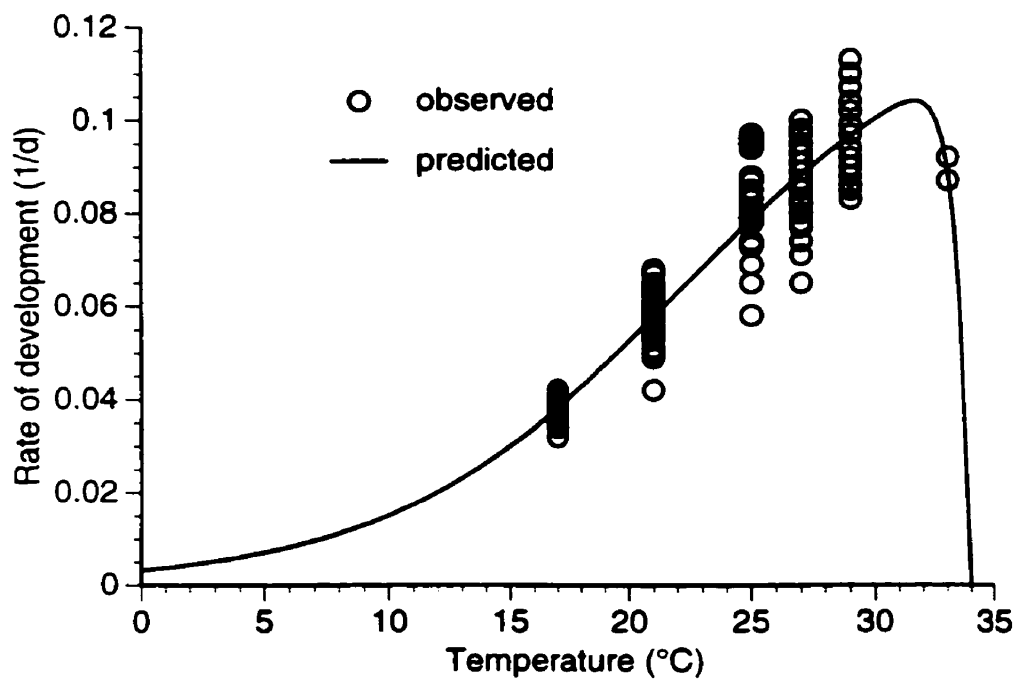
Figure 3. Intinsic rate of natural increase (per day) of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) reared on English cucumber, as a function of temperature.

The rate can be estimate as:

$$R = 0.526 \left\{ 1 / \left[1 + e \left((3.257 - 4.431) Z \right) \right] - e \left(Z-1 \right) / 0.153 \right\},$$

with $Z = (T - 14) / (20)$, $R^2=0.976$.





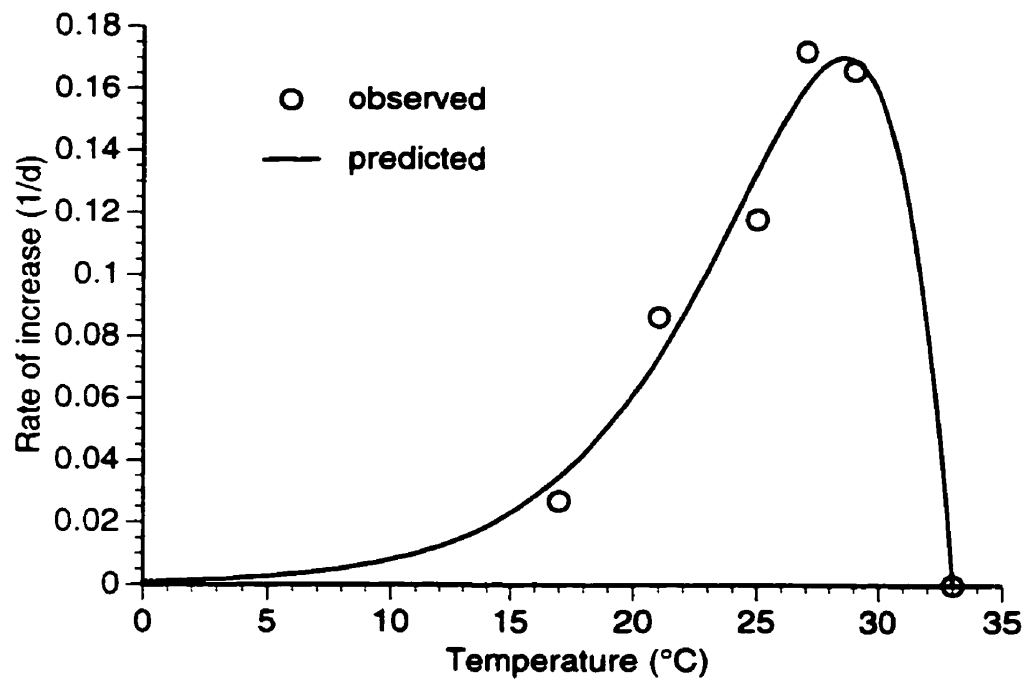


Table 1. Development of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) at selected constant temperatures ^{1, 2}.

T(°C)	egg			larva 1			larva 2			prepupa			pupa			adult			1st egg		
	n	mean (d)	SE	n	mean (d)	SE	n	mean (d)	SE	n	mean (d)	SE	n	mean (d)	SE	n	mean (d)	SE	n	mean (d)	SE
17	75	7.08	0.04	67	5.25	0.14	41	6.35	0.15	37	2.41	0.06	36	5.42	0.07	36	26.41	0.28	10	33.06	0.99
21	84	4.06	0.04	80	4.44	0.13	53	4.45	0.14	52	1.5	0.07	49	2.98	0.05	49	17.46	0.25	17	20.93	0.57
25	63	2.7	0.03	56	2.82	0.11	44	3.81	0.15	42	1.17	0.06	41	2.01	0.07	41	12.54	0.23	23	15.25	0.34
27	78	2.9	0.03	77	2.14	0.06	66	3.5	0.1	65	0.97	0.02	64	2.17	0.02	64	11.68	0.13	32	13.11	0.18
29	90	2.66	0.02	86	1.91	0.03	72	2.78	0.07	68	0.93	0.02	66	2.05	0.01	66	10.3	0.09	33	12.59	0.29
33	59	2.63	0.04	12	2.59	0.18	3	3.65	0.65	2	0.75	0	2	1.75	0	2	11.19	0.31	-	-	-

¹ n = total number of individuals tested.

² SE = standard error.

Table 2. Longevity of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) females at selected constant temperatures ^{1, 2}.

T (C°)	n	mean (d)	SE
17	9	47.68	5.96
21	12	40.56	4.34
25	20	26.84	1.12
27	24	35.84	1.57
29	23	30.74	1.35
33	2	14.40	2.32

¹ n = total number of individuals tested.

² SE = standard error.

Table 3. Sex ratio of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) at constant temperatures.

	Temperature (°C)					Total
	17	21	25	27	29	
Males	20	22	20	20	21	103
Females	26	31	30	37	36	160
% Females	56.5	58.5	60.0	64.9	63.2	60.8

Logistic regression: $\chi^2 (1) = 0.84, P = 0.359$

Table 4. Intrinsic rate of natural increase (r_m) and doubling time (D) of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and two predators, *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) and *Orius insidiosus* (Say).

Temperature (°C)	r_m (d ⁻¹)			D (d) ¹		
	21	25	29	21	25	29
<i>F. occidentalis</i>	.073	.133	.169	9.5	5.2	4.1
<i>A. cucumeris</i> ²	.078	.139	.185	8.9	4.9	3.7
<i>O. insidiosus</i> ³	.088	.134	.171	7.9	5.2	4.1

¹ Doubling time, $D = \log 2 / r_m$.

² Arodokoun, 1992.

³ Cloutier et al., 1993.

Table 5. Key temperatures for population increase of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and two commercially available predators, *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) and *Orius insidiosus* (Say).

	<i>F. occidentalis</i>	<i>A. cucumeris</i> ¹	<i>O. insidiosus</i> ²
Optimum T (°C)	28.5	28.3	29.8
Maximum T (°C)	33.0	31.0	35.0
Minimum T (°C)	12.5	10.0	7.75

¹ Arodokoun, 1992.

² Cloutier et al., 1993.

Table 6. Intrinsic rate of increase (r_m) of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) at selected constant temperatures and on different host plants based on this and other studies.

T(C°)	<i>D. grandiflora</i> ¹ (1/d)	<i>C. sativus</i> cv. Pepinex ² (1/d)	<i>C. sativus</i> cv. Corona ³ (1/d)	<i>C. sativus</i> cv. Marillo ⁴ (1/d)
15	.056	.002	.04	.023
17	-	-	.062	.035
18	-	.11	.078	.042
20	.094	.21	.104	.061
21	-	-	.12	.073
23	-	.30	.147	.102
25	.171	.30	.166	.133
27	-	-	.182	.161
27.2	.255	-	.184	.163
29	-	-	.182	.169
30	.205	.51	.172	.158
33	-	-	0	0
35	.056	-	0	0

¹ Robb, 1989. (measured values)

² Gaum *et al.*, 1994 (measured values)

³ van Rijn *et al.*, 1995 (graphic estimation)

⁴ predicted values

REFERENCES

1. **Abou-Setta, M.M. and C.C. Childers. 1991.** Intrinsic rate of increase over different generation time intervals of insect and mite species with overlapping generations. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 84: 517-521.
2. **Arodokoun, D.Y. 1992.** Influence de la température sur le développement et la reproduction de *Amblyseius cucumeris* (Oudemans)(Acarina: Phytoseiidae). Mémoire de M. Sc.. Université Laval, 70 pp.
3. **Bailey, S. F. 1957.** The thrips of California. Part 1. Suborder Terebrantia. *Bull. Calif. Insect Surv.* 4: 143-220.
4. **Birch, L. C. 1948.** The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17: 15-26.
5. **Broadbent, A.B., W.R. Allen, and R.G. Footitt. 1987.** The association of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) with greenhouse crops and the tomato spotted wilt virus in Ontario. *Can. Entomol.* 119: 501-503.
6. **Brodeur, J. and C. Cloutier. 1992.** A modified leaf disk method for rearing predaceous mites (Acarina: Phytoseiidae). *Phytoprotection* 73: 69-72.
7. **Bryan, D.E. and R.F. Smith. 1956.** The *Frankliniella occidentalis* (Pergande) complex in California (Thysanoptera, Thripidae). *University of California Publications in Entomology* 10: 359-410.
8. **Cloutier, C., D.Y. Arodokoun, S.G. Johnson and L. Gélinas. 1995.** Modelling the thermal dependence of *Amblyseius cucumeris* (Acarina: Phytoseiidae) and *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) two predators of greenhouse thrips. *Thrips biology and management*. Eds. B.L. Parker *et al.*. Plenum Press, New York, pp. 231-235.

9. **Gaum, W.G., J.H. Giliomee and K.L. Pringle. 1994.** Life history and life tables of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), on English cucumbers. *Bull. Entomol. Res.* 84: 219-224.
10. **German, T.L., D.E. Ulmann and J.W. Moyer. 1992.** Tospoviruses: diagnosis, molecular biology, phenology and vector relationships. *Ann. Rev. Phytopathol.* 30: 315-348.
11. **Gillespie, D.R. 1989.** Biological control of thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber by *Amblyseius cucumeris*. *Entomophaga* 34: 185-192.
12. **Johnson, S.G. 1990.** Biology and predacious ability of *Amblyseius barkeri* (Hughes) and *A.cucumeris* (Oudemans)(Acarina: Phytoseiidae), predator of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). M. Sc. Thesis. McGill University, 87 pp.
13. **Lamb, R.J. 1992.** Development rate of *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae) at low temperatures: Implication for estimating rate parameters for insects. *Environ. Entomol.* 21: 10-19.
14. **Lewis, T. 1973.** Thrips: their biology, ecology and economic importance. Academic Press, London, 349 pp.
15. **Lowry, V.K., J.W. Smith and F.L. Mitchell. 1992.** Life-fertility tables for *F. fusca* (Hinds) and *F. occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on peanut. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 85: 744-754.
16. **Lublinkhof, J. and D.E. Foster. 1977.** Development and reproductive capacity of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) reared at three temperatures. *J. Kansas Entomol. Soc.* 50: 313-316.
17. **Régnière, J. and D. Wenda Beihartz. 1987.** Search user's manual: Non-linear regression analysis: a handbook to commonly used equations and initial parameter estimation. Department of the Environment, Canadian Forestry Service. Laurentian Forestry Centre. Sainte-Foy, Québec; 51 pp.

18. **Robb, K.L. 1989.** Analysis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) as a pest of floricultural crops in California greenhouses. PhD dissertation, University of California at Riverside, 135 pp.
19. **Sabelis, M. W. 1985.** Life history: Capacity for population increase. In W. Helle and M. W. Sabelis, eds. Spider mites: Their biology, natural enemies and control VI.1B. Elsevier, Amsterdam, pp. 35-41.
20. **SAS Institute. 1990.** SAS Procedures Guide, Version 6, Third Edition. SAS Institute Inc., Cary, N.C., 958 pp.
21. **Southwood, T.R.E. 1978.** Ecological Methods: With particular reference to the study of insect populations. Second Edition. London, New York. Charman and Hall.
22. **Steiner, M. Y. 1989.** Integrated pest management for western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouse cucumber. Farming for the Future Final Report. Environmental Centre, Vegreville, Alberta.
23. **Trichilo, P.J. and T.F. Leigh. 1988.** Influence of resource quality on the reproductive fitness of flower thrips (Thysanoptera: Thripidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 81: 64-70.
24. **van Rijn, P.C.J., C. Mollema and G.M. Steenhuis-Broers. 1995.** Comparative life history studies of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber. Bull. Entomol. Res. 85: 285-297.
25. **Wyatt, I.J. and P.F. White. 1977.** Simple estimation of intrinsic increase rates for aphids and tetranychid mites. J. appl. Ecol. 14: 757-766.
26. **Wilkinson, Leland. 1987.** SYSTAT: The System for Statistics. SYSTAT Inc., Evanston, IL.

CHAPITRE III

INCREASED PREDATION IN ALTERNATING TEMPERATURES REGIMES: THE CASE OF *Amblyseius cucumeris* (Oudemans), A BIOCONTROL AGENT OF GREENHOUSE THRIPS

INTRODUCTION

The western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande)(Thysanoptera: Thripidae), is a serious pest occurring worldwide in many ornamental and vegetable greenhouse crops (Elliott *et al.* 1987, Robb and Parrella 1989). WFT is particularly damaging on cucumber crops. WFT attacks leaves, flowers and fruits, thus causing direct and indirect economic damage (Johnson 1990). It is also a vector of the tomato spotted wilt virus (TSWV) (Broadbent *et al.* 1987, German *et al.* 1992). Chemical controls of WFT are a source of environmental concerns and there are major difficulties to control WFT with insecticides. Indeed WFT has shown resistance to most registered insecticides for use on greenhouse vegetables in Canada (Steiner 1989). In addition, insecticides can interfere with biological control of greenhouse whitefly and two-spotted spider mites by reducing vigour of or killing the predators and parasites (van Lenteren and Woets 1988, Gillespie 1989).

It is thus necessary to find effective biological control agents against WFT. Various natural enemies might be used: fungal pathogens, hymenopterous parasitoids, anthocorid bugs and predatory mites (van Houten *et al.* 1995). Among the most promising is the phytoseid mite *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) which is commercially available (Cloutier 1990, Cloutier and

Chagnon 1990). This predator is already used commonly against WFT and other thrips species. Yet the success of control is not always satisfying. *Amblyseius cucumeris* is not a very effective control agent of thrips and a high numbers of predatory mites have to be introduced throughout the growing season (Ramakers *et al.* 1989, Bennison *et al.* 1990).

Many reasons are pointed out for the frequent failure of biological control programs implicating the use of *A. cucumeris*. The presence of a high density of trichomes on cucumber is a physical barrier for the mite (Arodokoun 1992). Host plant effects have also been implicated. English cucumber is a parthenocarpic plant, which limits the availability of pollen as a secondary food source (Ramakers 1990, Ramakers and van den Meiracker 1991). *Amblyseius cucumeris* is smaller than its thrips prey (Sabelis 1985a, Ramakers and van den Meiracker 1991, Cloutier and Johnson 1993).

Environmental conditions and especially the temperature have an important effect on the success of biological control. In poikilotherms, temperature determines the kinetic of biochemical reactions and influences the rate of food conversion to the organism biomass (Sabelis 1985b). Increases in temperature therefore cause increase in food turnover and oviposition, thereby increasing the food demands (Sabelis 1985c). Predation rates of Colorado potato beetle eggs, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), by adult of *Coleomegilla maculata* DeGeer were found to be linearly correlated with temperature (Grodén *et al.* 1990, Giroux *et al.* 1995).

Thus it becomes necessary to find the conditions which maximize the efficacy of the predator. Modern greenhouse allowing to monitor and control environmental

conditions, it could be possible to modify the environment with the intention to favor the biological control by increasing predation.

The objective of this study was to determine the potential effect of alternating temperatures (warm and cool) on rate of predation of *A. cucumeris*. The hypothesis tested was that an alternating temperature regime could increase predation versus an equivalent, constant temperature regime.

MATERIALS AND METHODS

The predatory mite *A. cucumeris* were obtained from the commercial supplier SAFER© (Ontario, Canada). The supplied mites were reared in wheat bran, using a cereal mite *Acarus* sp. as prey. Males, females and immatures were extracted from the wheat bran using a modified Berlese extraction method (Johnson 1990). To obtain cohorts of uniform age, predators were collected from 100 randomly selected mated females that were put for 1 h on a cucumber leaf disk cv. Marillo kept on agar gel. The mites and eggs were handled with camel brush. Eggs were reared to the adult stage at 21°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) under a photoperiod of 16:8 (L:D) and $\geq 90\%$ RH. Females and males were kept together and fed with WFT larvae. The WFT prey were collected from a greenhouse colony reared on bean *Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender at Laval University. When *A. cucumeris* reached the adult stage, gravid females aged 15 d were removed to start the test.

During the predation tests, females were kept individually in Petri dishes on English cucumber cv. Marillo leaf disks, as described by Brodeur and Cloutier (1992). Rate of predation was measured at 1 constant temperature (control) and 3 alternating temperature regimes under a photoperiod of 24:0 (L:D). The constant temperature was 21°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) and the alternating temperature were 12:12 h at 17:25°C, 16:8 h at 18:27°C and 20:4 h at 20:26°C. Temperature control was applied at the level of leaf disk to correct for greenhouse effect within translucent plastic rearing unit during daytime.

Ten WFT first larval instar prey aged of 0-24 h are provided. The observations were made twice a day; at the beginning and the end of thermophase. The

duration of experiment was 7 d. The number of WFT larvae killed was recorded at observation time and dead prey were for each temperature regimes. Differences in the mean predation rate per female were compared using ANOVA procedures of the SAS statistical package (SAS Institute 1990).

RESULTS AND DISCUSSION

Under the experimental conditions some treatments of alternating temperatures allow to increase significantly the predation rate in comparison with an equal temperature regime but constant. The predation rate of temperature regimes 16:8 h to 18:27°C and 20:4 h to 20:26°C are significantly higher ($F=3.34$ (3), $p=0.0246$) than the control at 21°C (0.24 and 0.26 1/h versus 0.20 1/h) (Fig. 1). The temperature regime 12:12 h at 17:25°C is not significantly higher than the control. The predation rate for each temperature period varied from 0.15 to 0.53 1/h (Fig. 2). There were no significant differences between the cold periods but the hot periods were significantly different ($F=42.67$ (6), $p=0.0001$).

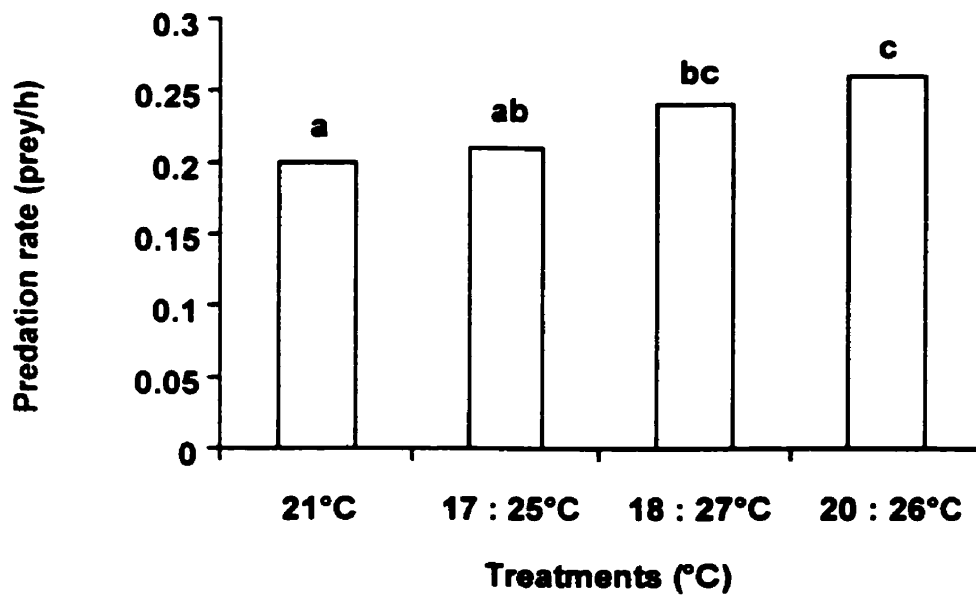
Our results clearly show that is possible to increase predation of the predatory mite *A. cucumeris* on WFT with alternating temperatures in a daily period. A cold temperature period can be compensate by hot temperature period to complete the daily cycle. A such regime combining a short hot period and a cold and longer period do not affect the daily mean. The hot period can be as short as 4 h. Indeed, the highest predation rate (0.26 1/h) was obtained with the regime 20:4 h at 20:26°C. It seems important to avoid a temperature period too cold, the regime 12:12 h at 17:25°C showing results not significantly higher than the control.

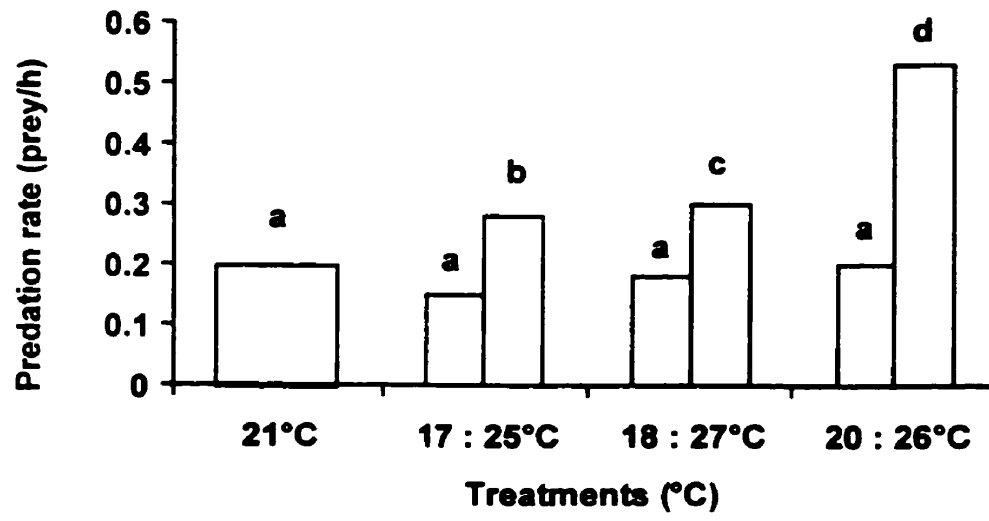
A temperature increase could be an advantage in two ways for a predator like *A. cucumeris*. A possible direct advantage could be the feeding behavior. It is known that temperature lead to increase predation but *A. cucumeris* could not need a lot of time to satisfy his daily consumption of food. An indirect advantage could be the predation behavior. Predation need a higher physical activity than

the feeding method of the prey. The WFT is more static. The predator have to move much more than the WFT to find and handle his prey. The modern greenhouses allowing to monitore and control the environmental conditions it is possible to modify the environment with the intention to favor the biological control by increasing predation.

Figure 1. Predation rate of *Amblyseius cucumeris* Say on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) at 4 alternating temperature regimes ($F=3.34$ (3), $p=0.0246$).

Figure 2. Effect of thermoperiod on predation rate of *Amblyseius cucumeris* Say on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) at 4 alternating temperature regimes ($F=42.67$ (6), $p=0.0001$).





REFERENCES

1. **Arodokoun, D.Y. 1992.** Influence de la température sur le développement et la reproduction de *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acarina: Phytoseiidae). Mémoire de M. Sc.. Université Laval, 70 pp.
2. **Bennison, J.A., S. Hockland and R. Jacobson. 1990.** Recent developments with integrated control of thrips on cucumber in the United Kingdom. SROP/WPRS Bulletin 13: 19-26.
3. **Broadbent, A.B., W.R. Allen, and R.G. Footitt. 1987.** The association of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) with greenhouse crops and the tomato spotted virus in Ontario. Can. Entomol. 119: 501-503.
4. **Brodeur, J. and C. Cloutier. 1992.** A modified leaf disk method for rearing predaceous mites (Acarina: Phytoseiidae). Phytoprotection 73: 69-72.
5. **Cloutier, C. 1990.** Le problème des thrips en serres de production maraîchère: Recherche de solutions biologiques. Dans Cahier de conférence des neuvièmes journées d'information sur les cultures abritées. Le centre de recherche de l'Université Laval et le Conseil des production végétales du Québec (CPVQ); pp 103-110.
6. **Cloutier, C et M. Chagnon. 1990.** Modes alternatifs de répression des insectes dans les agro-écosystèmes québécois, tome 3: Agents biologiques. Québec. Ministère de l'Environnement et Centre Québécois de valorisation de la biomasse, 105 pp.
7. **Cloutier, C., and S.G. Johnson. 1993.** Interaction between life stages in a phytoseiid predator: western flower thrips prey killed by adults as food for protonymphs of *Amblyseius cucumeris*. Exp. Appl. Acarol. 17: 441-449.
8. **Elliott, D.P., L.A. Gilkeson and D.R. Gillespie. 1987.** The development of greenhouse biological control in western Canadian vegetable greenhouses and plantscapes. SROP/WPRS Bull. 10: 52-56.

8. Elliott, D.P., L.A. Gilkeson and D.R. Gillespie. 1987. The development of greenhouse biological control in western Canadian vegetable greenhouses and plantscapes. *SROP/WPRS Bull.* 10: 52-56.
9. German, T.L., D.E. Ulmann and J.W. Moyer. 1992. Tospoviruses: diagnosis, molecular biology, phenology and vector relationships. *Annual Review of Phytopathology* 30, 315-348.
10. Gillespie, D.R. 1989. Biological control of thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber by *Amblyseius cucumeris*. *Entomophaga* 34: 185-192.
11. Giroux, S., R.-M. Duchesne and D. Coderre. 1995. Predation of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae) by *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae): Comparative effectiveness of predator developmental stages and effect of temperature. *Biological Control* 24: 748-754.
12. Groden, E. , F.A. Drummond, R.A. Casagrande and D. L. Haynes. 1990. *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae): its predation upon the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) and its incidence in potatoes and surrounding crops. *J. Econ. Entomol.* 83: 1306-1315.
13. Houten, Y.M. van, P.C.J. van Rijn, L.K. Tanigoshi, P. van Stratum and J. Bruin. 1995. Preselection of predatory mites to improve year-around biological control of western flower thrips in greenhouse crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 74: 225-234.
14. Johnson, S. G. 1990. Biology and predacious ability of *Amblyseius barkeri* (Hughes) and *A.cucumeris* (Oudemans)(Acarina: Phytoseiidae), predator of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). M. Sc. Thesis. McGill University, 87 pp.
15. Lenteren, J. C. van and J. Woets, 1988. Biological and integrated pest control in greenhouses. *Annual Review of Entomology* 33: 239-269.

16. **Ramakers, P. M. J. 1990.** Manipulation of phytoseiid thrips predators in the absence of thrips. *SROP/WPRS Bull.* XIII/5 169-172.
17. **Ramakers, P. M. J., M. Disseveld and K. Peeters. 1989.** Large scale introductions of phytoseiid predators to control thrips on cucumber. *Mededelingen van de Faculteit der Landbouwwetenschappen van de Rijksuniversiteit te Gent* 54: 335-341
18. **Ramakers, P. M.J. and R.AF. van den Meiracker. 1991.** Biological control of Western flower thrips with predatory mites and pirate bugs: can two do better than one? *DLO Research Institute For Plant Protection; Wageningen, The Netherlands. Annual report*, pp. 9-21.
19. **Robb, K.L. 1989.** Analysis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) as a pest of floricultural crops in California greenhouses. PhD dissertation, University of California at Riverside, 135 pp.
20. **Robb, K.L. and M. Parrella. 1989.** An integrated approach to preventing western flowers thrips and TSWV in the greenhouse. *Grower Talks* . 3: 26-31.
21. **Sabelis, M.W. 1985 (a).** Life history: Capacity for population increase. In W. Helle and M. W. Sabelis, eds. *Spider mites: Their biology, natural enemies and control* VI.1B. Elsevier, Amsterdam, pp. 35-41.
22. **Sabelis, M.W. 1985 (b).** Life history: Development. In W. Helle and M. W. Sabelis, eds. *Spider mites: Their biology, natural enemies and control* VI.1B. Elsevier, Amsterdam, pp. 43-53.
23. **Sabelis, M.W. 1985 (c).** Predator - Prey interaction: Predation on spider mites. In W. Helle and M. W. Sabelis, eds. *Spider mites: Their biology, natural enemies and control* VI.1B. Elsevier, Amsterdam, pp. 103-129.
24. **SAS Institute. 1990.** *SAS Procedures Guide, Version 6, Third Edition.* SAS Institute Inc., Cary, N.C., 958 pp.

25. **Steiner, M.Y. 1989.** Integrated pest management for western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouse cucumber. Farming for the Future Final Report. Alberta Environmental Centre, Vegreville, Alberta.

26. **Wilkinson, Leland. 1987.** SYSTAT: The System for Statistics. SYSTAT Inc., Evanston, IL.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'utilisation d'un agent de lutte biologique pour le contrôle de la population d'un ravageur en serre nécessite la connaissance de la réponse du ravageur et de l'auxiliaire aux conditions de l'environnement, et plus particulièrement la température. Le taux de développement et le taux intrinsèque d'accroissement numérique (r_m) permettent de déterminer les conditions de synchronisation du développement et de la reproduction du prédateur et de la proie, ainsi que celles de l'établissement d'un *ratio* prédateur/proie adéquat qui permettrait de maintenir la densité de la proie en-dessous du seuil de nuisibilité.

La présente étude portant sur l'effet de la température sur le taux intrinsèque de développement de *F. occidentalis* révèle que :

- Les températures au-delà de 33°C ne permettent pas un accroissement de la population de *F. occidentalis*.

- Les températures entre 27 et 29°C sont les plus favorables au développement et à la reproduction de *F. occidentalis*.

- Le modèle de Logan permet une bonne prédiction du taux de développement ($R^2=0.903$) et du r_m ($R^2= 0.976$) et une forte proportion de la variance est donc expliquée par le modèle.

- Il est possible de favoriser la prédation d'*A. cucumeris* avec des régimes de température alternante.

- La durée de la thermophase peut être aussi courte que 4 heures.

- Il faut éviter les températures inférieures au seuil d'activité (environ 17°C pour *A. cucumeris*).

Ces résultats combinés avec d'autres données sur des prédateurs fournissent les connaissances de base nécessaires à l'établissement de stratégies d'utilisation efficace d'agents de lutte biologique contre *F. occidentalis*. Cela donne aux producteurs des outils leur permettant d'intervenir plus efficacement lors d'une infestation. L'existence de modèles prédictifs permet de planifier dans le temps une intervention au niveau du contrôle biologique en relation avec un suivi des conditions environnementales qui prévalent en serre. Ces modèles permettent aussi de modifier les conditions environnementales pour favoriser l'action d'un agent de contrôle biologique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen, W.R. and A.B. Broadbent. 1986.** Transmission of tomato spotted wilt virus in Ontario greenhouses by *Frankliniella occidentalis*. *Can. J. Plant Pathol.* 8: 33-38.
- Amano, H. and D.A. Chant. 1978.** Mating behavior and reproductive mechanism of two species of predacious mites, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acarina: Phytoseiidae). *Acarologia*, t. XX, fasc. 2 : 196-205.
- Andrewartha, H.G. and L.C. Birch. 1954.** The distribution and abundance of animals. University of Chicago Press. Chicago.
- Arodokoun, D.Y. 1992.** Influence de la température sur le développement et la reproduction de *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acarina: Phytoseiidae). Mémoire de M. Sc., Université Laval, 70 pp.
- Bailey, S.F. 1933.** A contribution to the knowledge of the western flower thrips, *Frankliniella californica* (Moulton). *J. Econ. Entomol.* 28: 856-863.
- Bakker, F.M. and M.W. Sabelis. 1987.** Attack success of *Amblyseius mckenziei* and the related defensive capacity of thrips larvae. *SROP/WPRS Bull.* 10 :26-29.
- Bennison, J.A., S. Hockland and R. Jacobson. 1990.** Recent developments with integrated control of thrips on cucumber in the United Kingdom. *SROP/WPRS Bulletin* 13: 19-26.
- Bibby, F.F. 1958.** Notes on thrips of Arizona. *J. Econ. Entomol.* 51: 450-452.
- Birch, L.C. 1948.** The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17: 15-26.

- Borror, D.J., D.M. De Long and C.A. Triplehorn. 1981.** An introduction to the study of insects. Saunders College Publishing. Philadelphia.
- Bournier, A. et J.P. Bournier. 1987.** L'introduction en France d'un nouveau ravageur: *Frankliniella occidentalis*. Phytoma - Défense des cultures 388: 15-17.
- Broadbent, A.B., W.R. Allen, and R.G. Footitt. 1987.** The association of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) with greenhouse crops and the tomato spotted virus in Ontario. Can. Entomol. 119: 501-503.
- Bryan, D.E. and R.F. Smith. 1956.** The *Frankliniella occidentalis* (Pergande) complex in California (Thysanoptera: Thripidae). Univ. Calif. Publ. Entomol. 10: 359-410.
- Burrell, R.W. and W.J. McCormick. 1964.** *Typhlodromus* and *Amblyseius* (Acarina : Phytoseiidae) as predators on orchard mites. Ann. Entomol. Soc. Am. 57 : 483-487.
- Bush, L., T.J. Kring and J.R. Ruberson. 1993.** Suitability of greenbugs, cotton aphids, and *Heliothis virescens* eggs for development and reproduction of *Orius insidiosus*. Entomol. Exp. Appl. 67: 217-222.
- Chant, D. 1959.** Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Can. Entomol. 91 suppl. 12: 1-166.
- Chant, D. 1965.** Generic concepts in the family Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata). Can. Entomol. 97: 351-374.
- Chant, D. and R.C. Hansell. 1971.** The genus *Amblyseius* (Acarina : Phytoseiidae) in Canada and Alaska. Can. J. Zool. 49: 703-758.

- Cho, J.J., W.C. Mitchell, L. Ydin and L. Takayama. 1984.** Ecology and epidemiology of TSWV and its vectors, *Frankliniella occidentalis*. *Phytopathology* 74: 866.
- Cloutier, C. 1990.** Le problème des thrips en serres de production maraîchère: Recherche de solutions biologiques. Dans Cahier de conférence des neuvièmes journées d'information sur les cultures abritées. Le centre de recherche de l'Université Laval et le Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ); pp 103-110.
- Cloutier, C. et M. Chagnon. 1990.** Mode alternatifs de répression des insectes dans les agro-écosystèmes québécois, tome 3: Agents biologiques. Québec. Ministère de l'Environnement et Centre Québécois de valorisation de la biomasse, 105 pp.
- Cloutier, C., D.Y. Arodokoun, S.J. Johnson and L. Gélinas. 1995.** Modelling the thermal dependence of *Amblyseius cucumeris* (Acarina: Phytoseiidae) and *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) two predators of greenhouse thrips. *Thrips biology and management*. Eds. B.L. Parker et al. Plenum Press, New York, pp. 231-235.
- Cloutier, C., and S.J. Johnson. 1993.** Interaction between life stages in a phytoseiid predator: western flower thrips prey killed by adults as food for protonymphs of *Amblyseius cucumeris*. *Exp. Appl. Acarol.* 17: 441-449.
- Dajoz, R. 1974.** Dynamique des populations. Collection d'Écologie 6. Masson et Cie (ed.) Paris, 301 pp.
- De Klerk, M.N. and P.M.J. Ramakers. 1986.** Monitoring population densities of the phytoseiid predator *Amblyseius cucumeris* and its prey after large scale introductions to control *Thrips tabaci* on sweet pepper. *Med. Dac. Landbou., Rijksuniversiteit Gent* 51: 1045-1048.
- Deleon, D. 1965.** A note on *Neoseiulus* Hugues 1948 and a new synonymy. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 67: 23.

- Dosse, G. 1955.** Aus der biologie der Raubmilbe *Typhlodromus cucumeris* Oudemans (Acarina: Phytoseiidae). Z. Pfl. Krankh. Pfl. Schutz 62: 593-598.
- El-Badry, E.A. and M.A. Zaher. 1961.** Life-history of the predator mite *Typhlodromus (Amblyseius) cucumeris* Oudemans (Acarina: Phytoseiidae). Bull. Soc. Ent. Egypte, XLV, 427-434.
- Gaum, W.G., J.H. Giliomee and K.L. Pringle. 1994.** Life history and life tables of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), on English cucumbers. Bull. Entom. Res. 84: 219-224.
- German, T.L., D.E. Ulmann and J.W. Moyer. 1992.** Tosspoviruses: diagnosis, molecular biology, phenology and vector relationships. Annual Review of Phytopathology 30, 315-348.
- Gilkeson, L.A., W.D. Morewood and D.E. Elliott. 1990.** Current status of biological control of thrips in Canadian greenhouses with *Amblyseius cucumeris* and *Orius tristicolor*. SROP/WPRS Bull. XIII/5 : 71-75.
- Gillepsie, D.R. 1989.** Biological control of thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber by *Amblyseius cucumeris*. Entomophaga 34: 185-192.
- Gillespie, D.R. and C.A. Ramey. 1988.** Life history and cold storage of *Amblyseius cucumeris* (Acarina: Phytoseiidae). J. Entomol. Soc. BC 85: 71-76.
- Heming, B.S. 1985.** Thrips (Thysanoptera) in Alberta. Agric. For. Bull. 8: 19-24.
- Howe, R.W. 1953.** The rapid determination of the intrinsic rate of increase of insect population. Ann. Appl. Biol. 40 : 135-151.
- Howe, R.W. 1967.** Temperature effects on embryonic development in insects. Ann. Rev. Entomol. 10 : 15-42.

- Huffaker, C.B. and C.E. Kennet. 1953.** Developments toward biological control of cyclamen mite on strawberries in California. *J. Econ. Entomol.* 46 : 802-812.
- Isenhour, D.J. and N.L. Martson. 1981.** Seasonal cycles of *Orius insidiosus* in Missouri soybeans. *J. Kans. Entomol. Soc.* 54: 129-142.
- Isenhour, D.J. and K.V. Yeargan. 1981.** Effect of temperature on the development of *Orius insidiosus*, with notes on laboratory rearing. *Ann. Ent. Soc. Am.* 74: 114-116.
- Johnson, S. G. 1990.** Biology and predacious ability of *Amblyseius barkeri* (Hughes) and *A.cucumeris* (Oudemans)(Acarina: Phytoseiidae), predator of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). M. Sc. Thesis. McGill University.
- Kaufmann, O. 1932.** Einige Bemerkungen über den Einfluss von Temperaturschwankungen auf die Entwicklungsdauer und Streuung bei Insekten und seine graphische Darstellung durch Kettelinie und Hyperbel. *Z. Morphol. Oekol. Tiere* 25 : 353-361.
- Kolodotchka, L.A. 1985.** Développement pré-imaginal de quelques espèces d'acariens-phytoseiides prédateurs à température constante. *Vestn. Zool.* 3: 56-59. (Traduction du russe).
- Lamb, R.J. 1992.** Development rate of *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae) at low temperatures: Implication for estimating rate parameters for insects. *Environ. Entomol.* 21: 10-19.
- Lamb, R.J., G.H. Gerber and G.F. Atkinson. 1984.** Comparaison of development rate curves applied to egg hatching data of *Entomoscelis americana* Brown (Coleoptera : Chrysomelidae). *Environ. Entomol.* 13 : 868-872.

- Lewis, T. 1973.** Thrips: their biology, ecology and economic importance. Academic Press, London, 349 pp.
- Liu , S.S, G.M. Zhang and J. Zhu. 1995.** Influence of temperature variations on rate of development in insects : analysis of case studies from entomological literature. Ann. Entomol. Soc. Am. 88 : 107-119.
- Logan, J. A., D. T. Wollkind, J. C. Hoyt and L. K. Tanigoshi. 1976.** An analytic model for description of temperature dependant rate phenomena in arthropods. Environ. Entomol. 5: 1130-1140.
- Lowry, V.K., J.W. Smith and F.L. Mitchell. 1992.** Life-fertility tables for *F. fusca* (Hinds) and *F. occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on peanut. Ann. Entomol. Soc. Am. 85, 744-754.
- Lublinkhof, J. and D.E. Foster. 1977.** Development and reproductive capacity of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) reared at three temperatures. J. Kansas Entomol. Soc. 50 (3): 313-316.
- Mantel, W.P. 1989.** Bibliography of the western flowers thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande)(Thysanoptera: Thripidae). O.I.L.B. Bull. S.R.O.P./W.P.R.S. 13: 29-66.
- Madsen, H.R. and I.D. Jack. 1966.** The relation of thrips to pansy spot on apples. Can. Entomol. 98: 903-908.
- Pergande, T. 1895.** Observations on certain Thripidae. Insect Life 7: 390-395.
- Ramakers, P.M.J. 1988.** Population dynamics of the thrips predators *Amblyseius mckenziei* and *Amblyseius cucumeris* (Acarina : Phytoseiidae) on sweet pepper. Neth. J. Agr. 36: 247-252.
- Ramakers, P.M.J. 1990.** Manipulation of phytoseiid thrips predators in the absence of thrips. SROP/WPRS Bull. 8: 169-172.

- Ramakers, P.M.J. 1990.** Manipulation of phytoseiid thrips predators in the absence of thrips. *SROP/WPRS Bull.* XIII/5 169-172.
- Ramakers, P.M.J. and R.A.F. van den Meiracker. 1991.** Biological control of Western flower thrips with predatory mites and pirate bugs : can two do better than one? DLO Research Institute For Plant Protection ; Wageningen, The Netherlands. Annual report, pp. 9-21.
- Régnière, J. and D. Wenda Beihartz. 1987.** Search user's manual: Non-linear regression analysis: a handbook to commonly used equations and initial parameter estimation. Department of the Environment Canadian Forestry Service. Laurentian Forestry Centre. Sainte-Foy, Québec; 51 pp.
- Reid, C.D.. 1991.** Ability of *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) to search for, find, and attack European corn borer and corn earworm eggs on corn. *J. Econ. Entomol.* 84: 83-86.
- Robb, K.L. 1989.** Analysis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) as a pest of floricultural crops in California greenhouses. PhD dissertation, University of California at Riverside, 135 pp.
- Sabelis, M.W. 1985.** Life history: Capacity for population increase. In W. Helle and M. W. Sabelis, eds. *Spider mites: Their biology, natural enemies and control* VI.1B. Elsevier, Amsterdam, pp. 43-53.
- Sakimura, K. and K. O'Neill. 1979.** *Frankliniella*, redefinition of genus and revision of *minuta* group species (Thysanoptera: Thripidae). *USDA Tech. Bull.* No. 1572.
- Schaafsma, A.W., G.H. Whitfield and C.R. Ellis. 1991.** A temperature development model of egg development of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera* LeConte (Coleoptera : Chrysomelidae). *Can. Ent.* 123 : 1183-1197.

- Schicha, E. 1976.** The undescribed male of *Amblyseius bellinus* (Womersley), and females of the latter and *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) redescribed (Acarina: Phytoseiidae). *J. appl. Entomol.* 63: 333-342.
- Shipp, J.L. and G.H. Whitfield. 1991** Functionnal response of the predatory *Amblyseius cucumeris* (Acari : Phytoseiidae), on Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera : Thripidae). *Environ. Entomol.* 20 : 694-699.
- Schulten, G.G.M. 1985.** Life history : Mating. In W. Helle and M.W. Sabelis, eds. *Spider mites : Their biology, natural enemies and control.* VI. 1B. Elsevier, Amsterdam, pp. 55-65.
- Schulten, G.G.M., R.C.M. van Arendok, V.M. Russel and F.A. Roorda. 1978.** Copulation, egg production and sex ratio in *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius bibens* (Acari: Phytoseiidae). *Entomol. Exp. Appl.* 24: 145-153.
- Southwood, T.R.E. 1978.** *Ecological Methods: With particular reference to the study of insect populations.* Second Edition. London, New York. Charman and Hall.
- Steiner, M.Y. 1989.** Integrated pest management for western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in greenhouse cucumber. Farming for the Future Final Report. Available from the Alberta Environmental Centre, Vegreville, Alberta.
- Steiner, M.Y. and A.J. Tellier. 1990.** Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in greenhouse cucumbers in Alberta, Canada. *O.I.L.B. Bull. S.R.O.P./W.P.R.S.* 13: 202-205.
- van der Hoeven, W.A.D. and P.C.J. van Rijn. 1990.** Factors affecting the success of predatory mites on thrips larvae. *Proc. exper. and appl. Entomol. N. E. V. Amsterdam* 1: 25-30.

- van den Meiracker, R.A.F. and P.M.J. Ramakers. 1991.** Biological control of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*, in sweet pepper, with the Anthocorid predator *Orius insidiosus*. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent. R6: 241-250.
- van Houten, Y.M., P.C.J. van Rijn, L.K. Tanigoshi, P. van Stratum and J. Bruin. 1995.** Preselection of predatory mites to improve year-round biological control of western flowers thrips in greenhouse crops. Ent. Exp. App. 74 : 225-234.
- van Lentenren, J.C. and J. Woets. 1988.** Biological and integrated pest control in greenhouses. Ann. Rev. Entomol. 33 : 239-269.
- van Rijn, P.C.J., C. Mollema and G.M. Steenhuis-Broers. 1995.** Comparative life history studies of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber. Bull. Ent. Res. 85: 285-297.
- Vernon, R.S. and D.R. Gillespie. 1990.** Spectral responsiveness of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) determined by trap catches in greenhouses. Environ. Entomol. 19: 1229-1241.
- Wagner, T.L., H. Wu, P.J.H. Sharpe, R.M. Schoolfield and R.N. Coulson. 1984.** Modeling insect development rates : A litterature review and application of a biophysical model. Forum. Ann. Entomol. Soc. Am. 77 : 208-225.
- Yokoyama, V.Y. 1977.** *Frankliniella occidentalis* and scars on table grapes. Envir. Entomol. 6: 25-30.