



HAL
open science

**Influence de la bisabolangénone, un antiappétant
sesquiterpénoïde, sur le développement des chenilles de
Mythimna (Pseudaletia) unipuncta Haw. (Lepidoptera,
Noctuidae)**

Pierre-Charles Robert, Pierre Blaisinger, Yves Bouchery, Marie-Thérèse
Simonis, Jean-Claude Kienlen, Bernard Muckensturm, Bernard Riss,
Dominique Pflieger

► **To cite this version:**

Pierre-Charles Robert, Pierre Blaisinger, Yves Bouchery, Marie-Thérèse Simonis, Jean-Claude Kienlen, et al.. Influence de la bisabolangénone, un antiappétant sesquiterpénoïde, sur le développement des chenilles de *Mythimna (Pseudaletia) unipuncta* Haw. (Lepidoptera, Noctuidae). *Agronomie*, 1987, 7 (3), pp.167-174. hal-00884981

HAL Id: hal-00884981

<https://hal.science/hal-00884981>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Influence de la bisabolangénone, un antiappétant sesquiterpénoïde, sur le développement des chenilles de *Mythimna (Pseudaletia) unipuncta* Haw. (Lepidoptera, Noctuidae)

Pierre-Charles ROBERT, Pierre BLAISINGER, Yves BOUCHERY, Marie-Thérèse SIMONIS, Jean-Claude KIENLEN, Bernard MUCKENSTURM (*), Bernard RISS (*) & Dominique PFLIEGER (*)

I.N.R.A., Station de Zoologie, 28, rue de Herrlisheim, Centre de Recherches de Colmar, F 68021 Colmar (*) Institut de Chimie, Université Louis Pasteur, U A 31, F 67008 Strasbourg

RÉSUMÉ

La bisabolangénone, extraite des graines d'*Angelica silvestris* L., est un puissant antiappétant contre différents insectes oligophages.

Des chenilles de *Mythimna unipuncta* ont été élevées sur des feuilles de maïs traitées avec des solutions de bisabolangénone à des concentrations diminuant sensiblement la prise alimentaire. Les traitements continus réduisent la prise alimentaire, ralentissent la croissance, empêchent la constitution de réserves importantes chez les chenilles et abaissent le poids des chrysalides. Une concentration de 1 000 ppm provoque une forte mortalité larvaire, une grave crise pendant la métamorphose et entraîne la quasi-extinction de la population. Avec une concentration de 400 ppm, les effets sont atténués.

Mortalité des chenilles et crise lors de la métamorphose peuvent être la conséquence du déficit nutritionnel, mais aussi d'une action directe de la bisabolangénone sur la physiologie du développement. De nouvelles expériences devront montrer la part de chacun de ces 2 facteurs.

Si le traitement, à une concentration de 1 000 ppm, est appliqué seulement pendant 6 jours sur des jeunes chenilles, les survivantes récupèrent et reprennent ensuite une croissance normale.

La bisabolangénone apparaît capable de limiter les populations d'un ravageur oligophage. Elle constitue une intéressante molécule « tête de série » pour des recherches de « synthèse orientée » dans le domaine phytosanitaire.

Mots clés additionnels : Relation animal végétal, allélochimique, origine végétale, étude de laboratoire, *Angelica silvestris* L., Umbelliferae.

SUMMARY

Influence of bisabolangelone, an antifeedant sesquiterpenoid, on the development of Mythimna (Pseudaletia) unipuncta Haw. (Lepidoptera, Noctuidae).

Bisabolangelone, extracted from seeds of *Angelica silvestris* L., is a powerful antifeedant against some oligophagous insects. Caterpillars of *Mythimna unipuncta* were reared on maize leaves treated with bisabolangelone solutions; the concentrations used noticeably reduced feeding. Continuous treatment reduced feeding, slowed down growth and decreased the amount of reserves in caterpillars and the weight of pupae. At 1 000 ppm, bisabolangelone induced high larval mortality and a crisis at metamorphosis, nearly leading to total population extinction. At 400 ppm these effects were lower. Caterpillar mortality and crisis at metamorphosis may result either from nutritional deficit or from a direct effect of bisabolangelone on the physiology of development. Further studies should show to what extent each of these two factors is involved. When the 1 000 ppm treatment on young larvae was interrupted after 6 days, survivors recovered and then resumed normal growth. Bisabolangelone appears to be able to control the populations of an oligophagous insect and could be a model for « guided synthesis » in pesticide research.

Additional key words : Animal plant relation, allelochemicals, plant origin, laboratory study, *Angelica silvestris* L., Umbelliferae

I. INTRODUCTION

L'utilisation de substances antiappétantes d'origine végétale constitue un espoir dans la protection des

plantes contre les attaques des insectes phytophages (JERMY, 1971, 1983 ; CHAPMAN, 1974 ; MUNAKATA, 1977 ; NAKANISHI, 1980 ; DESCOINS, 1981 ; SCHOONHOVEN, 1982 ; SCHOONHOVEN & JERMY, 1977 ; FREE-

MAN & ANDOW, 1983 ; RENOU & ZAGATTI, 1986). De très nombreuses molécules, de nature chimique variée, inhibent la prise alimentaire des insectes (VIGNERON, 1978, 1981). L'effet antiappétant est mis en évidence par des expériences de courtes durées, de quelques heures à 24 heures. Mais des élevages prolongés révèlent que des antiappétants ont des actions sur la physiologie des insectes : toxicité, perturbation de la croissance, de la reproduction, etc... (SCHMUTTERER, 1981 ; KOUL, 1984a et b ; ISMAN & RODRIGUEZ, 1984).

Nous avons montré que la bisabolangénone (fig. 1), sesquiterpénoïde, extraite des graines d'*Angelica silvestris* L. (Ombellifère) a un pouvoir antiappétant important chez le lépidoptère *Noctuidae*, *Mythimna unipuncta* Haw. et chez un coléoptère *Chrysomelidae*, le doryphore, *Leptinotarsa decemlineata* Say (MUCKENSTURM *et al.*, 1981). Dans la recherche de l'effet antiappétant chez *M. unipuncta* des disques de feuilles de maïs sont trempés pendant 2 secondes dans une solution de bisabolangénone dans l'acétone et sont présentés pendant 24 h ; la prise alimentaire de chenilles du 4^e stade est nulle sur du maïs traité avec une solution à 1 000 ppm ; avec une solution à 400 ppm elle ne dépasse pas 50 p. 100 de celle des témoins.

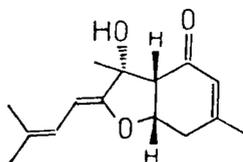


Figure 1

Structure de la bisabolangénone.

Structure of bisabolangelone.

Nous exposons les premiers résultats d'élevages plus ou moins prolongés de chenilles de *M. unipuncta*, nourries avec du feuillage de maïs traité avec des solutions de bisabolangénone à des concentrations de 400 et 1 000 ppm. Ici la présentation du produit diffère de celle utilisée lors des tests de recherche de l'effet antiappétant.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

La noctuelle *M. unipuncta* est une espèce oligophage qui se nourrit sur les graminées.

Les chenilles mises en expérience sont issues d'un élevage maintenu au laboratoire sur un milieu artificiel depuis plusieurs générations (POITOUT & BUES, 1974). Deux séries d'expériences ont été conduites : la série I est mise en route le 2 août 1985, jour d'éclosion des chenilles, la série II est mise en route le 7 août, jour d'éclosion des chenilles.

Les diverses expériences sont réalisées dans des boîtes en matière plastique de 9 cm de diamètre et de 3 cm de haut. Au départ, 30 à 50 chenilles nouveau-nées sont introduites dans chaque boîte ; lorsque les larves grandissent, les lots sont divisés de façon à avoir moins de 10 individus par boîte.

La nourriture est apportée tous les 2 j sous forme de morceaux de feuilles fraîches de maïs (variété *Mona*)

cultivé en plein champ. La quantité de feuillage est suffisante pour assurer l'alimentation des chenilles témoins non soumises à l'antiappétant. Les feuilles sont récoltées et traitées immédiatement avant leur utilisation.

Les expériences sont réalisées dans les conditions du laboratoire à la lumière du jour entre 18 et 25 °C.

La bisabolangénone est extraite de graines d'*A. silvestris* (MUCKENSTURM *et al.*, 1981) récoltées en Alsace. Après chromatographie et recristallisation, elle est solubilisée dans de l'acétone, puis la solution est diluée dans de l'eau ; solubilisation et dilution sont réalisées dans un récipient plongé dans une cuve à ultrasons (fréquence : 26 khz). Pour la solution à 1 000 ppm, 1 000 mg de bisabolangénone sont solubilisés dans 100 ml d'acétone, puis la solution est diluée dans 900 ml d'eau ; pour la solution à 400 ppm, 400 mg de poudre sont solubilisés dans 100 ml d'acétone, puis la solution est diluée dans 900 ml d'eau. Dans les 2 cas, un fin précipité se forme de façon homogène. Le traitement est appliqué à l'aide d'un pulvérisateur à main, tenu à 30 cm des feuilles de maïs qui sont traitées sur les 2 faces.

Le recensement et la pesée des chenilles ne sont pas réalisés sur les toutes jeunes chenilles, petites et fragiles ; ils ont commencé le 18^e j pour la série I et le 13^e j pour la série II, ils sont poursuivis ensuite tous les 2 j jusqu'à la formation de la dernière chrysalide ou la mort de la dernière chenille. Pour des raisons matérielles, le recensement, la pesée et le changement de nourriture dans la série II ont été espacés de 24 h entre le 17^e et le 18^e j.

L'interprétation statistique des résultats porte sur le poids moyen des chenilles à 13 j et 18 j, sur le poids maximal moyen du stade larvaire et sur le poids des chrysalides. Elle a été réalisée par la comparaison globale de moyennes selon le test de Newman et Keuls (DAGNELIE, 1970) étendue au cas des effectifs inégaux (KRAMER, 1956).

III. RÉSULTATS

A. Série I

Les chenilles sont mises en élevage le 2 août 1985, jour de l'éclosion ; elles sont d'abord nourries sur des feuilles de maïs nature jusqu'à l'âge de 12 j. Elles sont alors séparées pour conduire 3 expériences différentes.

1. Expérience I-1 : les témoins (fig. 2, tabl. 1)

Concentration de la solution de bisabolangénone : 0.
Traitement : feuillage nature continu depuis la naissance.

Recensement à 18 j : 86 chenilles (14 p. 100 L5, 79 p. 100 L4, 7 p. 100 L3).

Poids moyen d'une chenille à 18 j : 115 mg.

La prise alimentaire est toujours régulière et importante. La croissance est rapide. Le poids maximal moyen de 376 mg est atteint à l'âge de 26 j au début de la chrysalidation.

La mortalité est peu élevée : 5 chenilles et 2 prénymphe meurent.

79 chrysalides de poids moyen de 236 mg (extrêmes 203-303 mg) sont formées entre le 26^e et le 36^e j.

TABLEAU 1

Caractéristiques des populations de *M. unipuncta* soumises à différents traitements avec la bisabolangénone.
 Characteristics of *M. unipuncta* populations receiving different bisabolangelone treatments.

Expérience	Le traitement		Les chenilles				Les chrysalides			Les papillons	
	Période d'exposition	Concentration en ppm	Nombre à 18 j	Poids à 18 j en mg	poids maximal en mg	âge en j	Nombre	Poids en mg	Age de formation en j	Nombre	Survie depuis le 18 ^e j
I-1	0	0	86	115 a	376 a	26	79	236 a	26-36	70	81 %
I-2	à partir du 12 ^e j	1 000	25	15 b	237 b	42	12	185 c	36-52	3	12 %
I-3	du 12 ^e au 18 ^e j	1 000	11	18 b	391 a	32	9	278 b	34-42	8	73 %
II-1	0	0	44	160 c	401 a	22	37	240 a	26-30	37	84 %
II-2	à partir du 7 ^e j	1 000	22	7 d	238 b	42	6	195 c	44-54	2	9 %
II-3	du 7 ^e au 13 ^e j	1 000	15	25 b	385 a	30	14	238 a	32-40	14	93 %
II-4	à partir du 18 ^e j	1 000	26	195 c	261 b	24	6	181 c	26-34	2	8 %
II-5	à partir du 13 ^e j	400	50	85 e	281 b	26	44	187 c	28-46	24	48 %

Dans chaque colonne, les résultats suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents.
 Numbers in each column followed by the same letter were not significantly different.

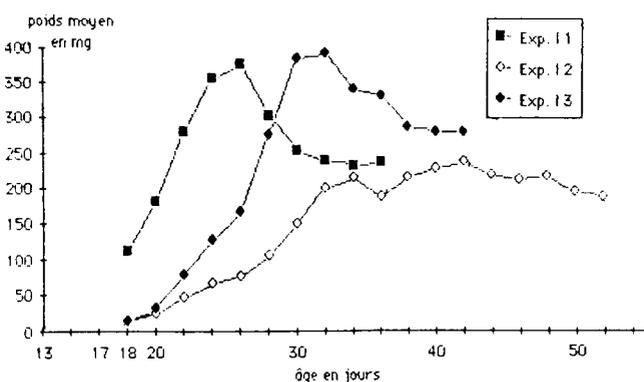


Figure 2

Exp. I-1 : chenilles nourries de maïs nature ;
 Exp. I-2 : chenilles nourries de maïs traité avec une solution de bisabolangénone à 1 000 ppm depuis le 12^e j ;
 Exp. I-3 : chenilles nourries de maïs traité avec une solution de bisabolangénone à 1 000 ppm entre le 12^e j et le 18^e j.
 Exp. I-1 : caterpillars feeding on untreated maize ;
 Exp. I-2 : caterpillars feeding on maize treated with a bisabolangelone solution (1 000 ppm) from the 12th day on ;
 Exp. I-3 : caterpillars feeding on maize treated with a bisabolangelone solution (1 000 ppm) from the 12th to the 18th day.

70 papillons éclosent (32 femelles, 38 mâles). La population est féconde.

La survie depuis le recensement du 18^e j est de 81 p. 100.

2. Expérience I-2 (fig. 2, tabl. 1)

Concentration de la bisabolangénone : 1 000 ppm.

Traitement : feuillage nature du 1^{er} au 12^e j, feuillage traité à partir du 12^e j.

Recensement à 18 j : 25 chenilles (11 p. 100 L4, 47 p. 100 L3, 42 p. 100 L2).

Poids moyen d'une chenille à 18 j : 15 mg.

A 18 j, 6 j après le début du traitement, le développement est très en retard par rapport à celui des

témoins : aucune L5 et encore 42 p. 100 de L2 ; le poids moyen est très réduit : 15 mg contre 115 chez les témoins ($P < 0,01$).

La croissance pondérale reste plus lente que celle des témoins. Le poids maximal moyen de 237 mg est atteint à 42 j contre 376 mg ($P < 0,05$) à 26 j chez les témoins I-1.

La mortalité des chenilles entre le 12^e et le 18^e j a été importante, mais n'a pas été mesurée. Par la suite, des 25 chenilles recensées à 18 j, 16 survivent le 23^e j, 15 le 36^e j, date d'apparition de la 1^{re} chrysalide.

La durée de vie est allongée, la 1^{re} chrysalide apparaît le 36^e j, la dernière le 52^e j.

3 chrysalides anormales meurent.

12 chrysalides en apparence saines sont formées, d'un poids moyen de 185 mg (extrêmes : 125-237 mg) contre 236 mg chez les témoins I-1 ($P < 0,01$).

3 papillons (2 mâles, 1 femelle) éclosent.

La survie depuis le recensement du 18^e j est de 12 p. 100.

La présence prolongée de la bisabolangénone entraîne une prise alimentaire réduite et une faible accumulation de réserves qui se traduisent par un poids maximal des chenilles et un poids des chrysalides inférieurs à ceux des témoins. La durée de la croissance est allongée. La mortalité est importante chez les chenilles. Enfin, une crise grave se manifeste pendant la métamorphose, beaucoup de chrysalides ne se transforment pas en adultes.

3. Expérience I-3 (fig. 2, tabl. 1)

Concentration de la bisabolangénone : 1 000 ppm.

Traitement : feuillage nature du 1^{er} au 12^e j, feuillage traité du 12^e au 18^e j, feuillage nature après le 18^e j.

Recensement à 18 j : 11 chenilles aux mêmes stades larvaires que celles de l'expérience I-2 (11 p. 100 L4, 47 p. 100 L3, 42 p. 100 L2).

Poids moyen d'une chenille à 18 j : 17 mg.

Entre le 12^e et le 18^e j, cette population présente le même comportement que celle de l'expérience I-2 : faible prise alimentaire, développement ralenti, forte mortalité. Le poids moyen des chenilles à 18 j ne diffère pas de celui des chenilles de l'expérience I-2 ($P > 0,05$) et diffère significativement de celui du témoin I-1 ($P < 0,01$).

Après le 18^e j, l'alimentation devient importante. La croissance s'accélère par rapport à celle des chenilles traitées de façon continue (exp. I-2). La courbe de croissance pondérale devient comparable à celle des témoins (exp. I-1), mais décalée dans le temps de 6 à 8 j. Le poids maximal moyen de 391 mg, comparable à celui des témoins (376 mg ; $P > 0,05$) est atteint à 32 j.

2 chenilles meurent immédiatement après le retour à l'alimentation nature. Ensuite aucune mortalité ne se manifeste chez les chenilles.

9 chrysalides, formées entre le 34^e et le 42^e j, atteignent un poids moyen de 278 mg (extrêmes 250-297 mg), qui est légèrement supérieur à celui des témoins : 236 mg ($P < 0,05$). Ce poids est significativement différent de celui des bêtes de l'expérience I-2 ($P < 0,01$) nourries de façon continue en présence de bisabolangénone.

8 papillons éclosent.

La survie depuis le recensement au 18^e j est de 73 p. 100.

Le contact avec l'antiappétant pendant 6 j ne modifie pas les potentialités de développement des insectes survivants. Le poids moyen maximal et le poids des chrysalides sont voisins de ceux des témoins.

La croissance est retardée d'une durée un peu supérieure à la période du traitement.

B. Série II

Les chenilles sont mises en élevage le 7 août 1985, jour de l'éclosion ; elles sont d'abord nourries sur des feuilles de maïs nature jusqu'à l'âge de 7 j. Elles sont alors séparées en différents lots pour conduire 5 expériences.

Pour chaque expérience, le recensement de la population et la mesure de la croissance pondérale ont commencé le 13^e j.

1. Expérience II-1 : les témoins (fig. 3, tabl. 1)

Concentration de la bisabolangénone : 0.

Traitement : feuillage nature continu depuis la naissance.

Recensement à 13 j : 44 chenilles (7 p. 100 L4, 81 p. 100 L3, 12 p. 100 L2).

Recensement à 18 j : 44 chenilles.

Poids moyen d'une chenille à 13 j : 31 mg ;
à 18 j : 160 mg.

L'alimentation et la croissance sont régulières. Le poids maximal moyen de 401 mg est atteint à l'âge de 22 j.

La mortalité est peu élevée : 5 chenilles meurent.

2 chrysalides sont anormales.

37 chrysalides de poids moyen de 240 mg (extrêmes : 200-282 mg) sont formées entre le 26^e j et le 30^e j.

37 papillons éclosent (22 femelles, 15 mâles). La population est féconde.

La survie à partir du 13^e j est de 84 p. 100.

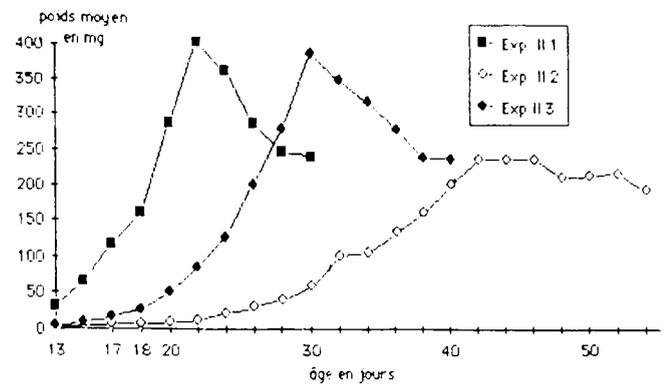


Figure 3

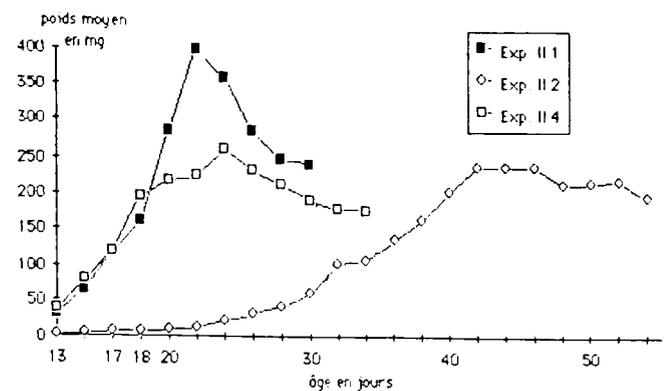


Figure 4

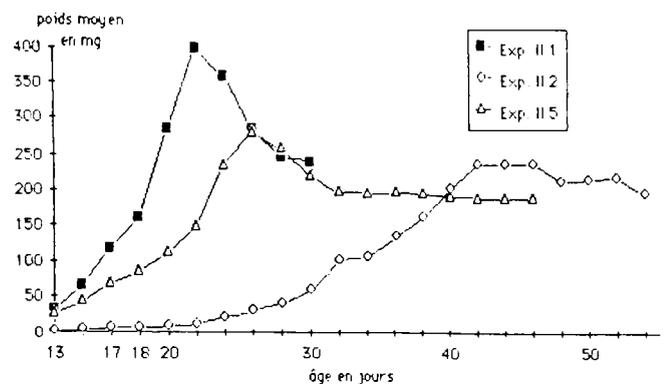


Figure 5

Figures 3, 4, 5

Exp. II-1 : chenilles nourries de maïs nature ;

Exp. II-2 : chenilles nourries de maïs traité avec une solution de bisabolangénone à 1 000 ppm depuis le 7^e j ;

Exp. II-3 : chenilles nourries de maïs traité avec une solution de bisabolangénone à 1 000 ppm entre le 7^e et le 13^e j ;

Exp. II-4 : chenilles nourries de maïs traité avec une solution de bisabolangénone à 1 000 ppm depuis le 18^e j ;

Exp. II-5 : chenilles nourries de maïs traité avec une solution de bisabolangénone à 400 ppm depuis le 13^e j.

Les expériences II-1 et II-2 sont représentées dans les figures 3, 4 et 5 à titre de comparaison.

Exp. II-1 : caterpillars feeding on untreated maize ;

Exp. II-2 : caterpillars feeding on maize treated with a bisabolangénone solution (1 000 ppm) from the 7th day on ;

Exp. II-3 : caterpillars feeding on maize treated with a bisabolangénone solution (1 000 ppm) from the 7th to the 13th day ;

Exp. II-4 : caterpillars feeding on maize treated with a bisabolangénone solution (1 000 ppm) from the 18th day on ;

Exp. II-5 : caterpillars feeding on maize treated with a bisabolangénone solution (400 ppm) from the 13th day on.

Experiments II-1 and II-2 are shown comparatively in figures 3, 4 and 5.

2. *Expérience II-2* (fig. 3, tabl. 1)

Concentration de la bisabolangénone : 1 000 ppm.

Traitement : feuillage nature du 1^{er} au 7^e j,
feuillage traité à partir du 7^e j.

Recensement à 13 j : 35 chenilles (5 p. 100 L3, 95 p. 100 L2).

Recensement à 18 j : 22 chenilles.

Poids moyen d'une chenille à 13 j : 2,5 mg ; à 18 j : 7 mg.

Le 13^e j, 6 j après le début du traitement, le développement des chenilles est très en retard par rapport à celui des témoins, pratiquement toute la population est encore L2 ; le poids moyen d'une chenille est de 2,5 mg contre 31 mg en témoin ($P < 0,01$).

Après le 13^e j, la croissance pondérale reste faible. A 18 j, les chenilles pèsent en moyenne 7 mg alors que les témoins parviennent à 160 mg ($P < 0,01$). Le poids maximal moyen de 238 mg est atteint à 42 j contre 401 mg ($P < 0,01$) à 22 j chez les témoins.

La mortalité des chenilles entre le 7^e j et le 13^e j a été importante, elle se poursuit : des 35 chenilles recensées le 13^e j, 26 survivent le 15^e j, 22 le 18^e, 11 le 30^e, 7 le 44^e j au moment de l'apparition des 1^{res} chrysalides.

La durée de vie des survivants est allongée, la 1^{re} chrysalide apparaît le 44^e j et la dernière le 54^e j.

Seulement 6 chrysalides en apparence saines sont formées, d'un poids moyen de 195 mg (extrêmes : 165-231 mg) contre 240 mg chez les témoins ($P < 0,01$).

2 papillons éclosent.

La survie par rapport au recensement du 13^e j est de 6 p. 100, elle est de 9 p. 100 par rapport au recensement du 18^e j.

Comme dans l'expérience I-2, la présence continue de l'antiappétant freine la prise alimentaire, ralentit la croissance, abaisse le niveau des réserves et provoque une forte mortalité des chenilles et des chrysalides.

3. *Expérience II-3* (fig. 3, tabl. 1)

Concentration de la bisabolangénone : 1 000 ppm.

Traitement : feuillage nature du 1^{er} au 7^e j,
feuillage traité du 7^e au 13^e j,
feuillage nature après le 13^e j.

Recensement le 13^e j : 21 chenilles (10 p. 100 L3, 90 p. 100 L2).

Recensement le 18^e j : 15 chenilles.

Poids moyen d'une chenille le 13^e j : 3,2 mg ; le 18^e j : 25 mg.

A 13 j, 6 j après le début du traitement, le développement des chenilles est voisin de celui de l'expérience II-2, fortement ralenti par rapport à celui des témoins (expérience II-1), ($P < 0,01$). Après le 13^e j, la prise alimentaire importante assure une croissance très supérieure à celle des chenilles traitées de façon continue. A 18 j, le poids atteint 25 mg contre 7 mg chez les insectes traités de façon continue (exp. II-2), ($P < 0,01$).

Le développement se poursuit de façon comparable à celui des témoins (exp. II-1), mais décalé dans le temps de 6 à 8 j (fig. 3).

Le poids maximal moyen de 385 mg est atteint le 30^e j, il n'est pas différent de celui des témoins (II-1) : 401 mg ($P > 0,05$) atteint le 22^e j, mais diffère de celui (238 mg) des insectes traités de façon continue (exp. II-2), ($P < 0,01$).

La mortalité a été importante entre le 7^e et le 13^e j ; elle se prolonge pendant les premières 48 h suivant le retour du feuillage nature ; 15 chenilles survivent le 15^e j. Ensuite la mortalité s'arrête.

14 chrysalides sont formées entre le 32^e et le 40^e j ; leur poids moyen de 238 mg (extrêmes : 208-296 mg) n'est pas différent de celui des témoins (II-1) ($P > 0,05$), mais significativement différent de celui des insectes de l'expérience II-2 : 195 mg ($P < 0,01$).

14 papillons éclosent (11 mâles, 3 femelles).

La survie depuis le recensement du 13^e j jusqu'aux papillons est de 67 p. 100, depuis le recensement du 18^e j : 93 p. 100.

Comme dans l'expérience I-3, les chenilles qui ont surmonté la crise provoquée par l'antiappétant, conservent leur potentialité de développement, la croissance est retardée d'une durée un peu supérieure à la période du traitement.

4. *Expérience II-4* (fig. 4, tabl. 1)

Concentration de la solution de bisabolangénone : 1 000 ppm.

Traitement : feuillage nature du 1^{er} au 18^e j,
feuillage traité à partir du 18^e j.

Recensement au 13^e j : 26 chenilles (10 p. 100 L4, 80 p. 100 L3, 10 p. 100 L2).

Recensement au 18^e j : 26 chenilles (34 p. 100 L5, 66 p. 100 L4).

Poids moyen d'une chenille au 13^e j : 38 mg ; au 18^e j : 195 mg. Ces poids moyens ne sont pas différents de ceux des témoins II-1 ($P > 0,05$).

Le ralentissement de la prise alimentaire est immédiat après le 18^e j et la croissance pondérale est faible par rapport à celle des témoins. Le poids maximal moyen de 261 mg est atteint le 24^e j contre 401 mg ($P < 0,05$) atteint le 22^e j chez les témoins (exp. II-1). Il est du même ordre de grandeur ($P > 0,05$) que le poids maximal moyen (238 mg) des chenilles traitées depuis le 7^e j (exp. II-2), chez lesquelles il est atteint le 42^e j.

La mortalité des chenilles est faible ; des 26 chenilles recensées le 18^e j, 21 atteignent le stade prénymphé. Mais la métamorphose est une étape critique : 8 prénymphes meurent, 7 chrysalides sont anormales, l'abdomen conservant une morphologie de larve ; 6 chrysalides sont formées entre le 26^e et le 34^e j, à un âge très voisin de celui de l'apparition des chrysalides des témoins entre le 26^e et le 30^e j. Leur poids moyen 181 mg (extrêmes 160-196 mg) diffère de celui des témoins (exp. II-1) ($P < 0,01$) et est comparable à celui des insectes traités de façon continue (exp. II-2) ($P > 0,05$).

2 papillons éclosent.

La survie depuis le recensement du 18^e j jusqu'aux papillons est de 8 p. 100.

L'apport de l'antiappétant au 18^e j à une phase avancée du développement (fin du stade L4, début du stade L5) se manifeste par une réduction de la prise alimentaire et une réduction sensible du poids maximal. Une crise éclate à la métamorphose qui entraîne une forte mortalité et la formation de seulement 2 papillons. Mais il n'y a pas allongement sensible de la durée de vie et donc pas de retard de la nymphose par rapport aux témoins.

5. Expérience II-5 (fig. 5, tabl. 1)

Concentration de la solution de bisabolangélonge : 400 ppm.

Traitement : feuillage nature du 1^{er} au 13^e j, feuillage traité à partir du 13^e j.

Recensement au 13^e j : 50 chenilles (7 p. 100 L4, 81 p. 100 L3, 12 p. 100 L2).

Recensement au 18^e j : 50 chenilles.

Poids moyen d'une chenille le 13^e j : 30 mg ; le 18^e j : 85 mg.

Le traitement entraîne une prise alimentaire inférieure à celle des témoins ; la croissance pondérale est ralentie par rapport au témoin (exp. II-1). A 18 j, le poids moyen : 85 mg diffère de celui des témoins II-1 : 160 mg ($P < 0,01$).

Le poids maximal moyen de 281 mg est atteint le 26^e j contre 401 mg ($P < 0,01$) atteint le 22^e j chez les témoins (exp. II-1).

La mortalité larvaire est minime : 48 chenilles sur les 50 recensées au 13^e j et au 18^e j survivent au début de la nymphose le 28^e j ; 4 chrysalides difformes meurent.

44 chrysalides d'aspect normal, soit 88 p. 100 de la population d'origine sont formées. Leur poids moyen est de 187 mg (extrêmes : 133-238 mg) contre 240 mg chez les témoins II-1 ($P < 0,01$) ; il n'est pas différent de celui des insectes traités à 1 000 ppm de façon continue (exp. II-2) ($P > 0,05$), ni de celui des insectes traités à 1 000 ppm à partir du 18^e j (exp. II-4) ($P > 0,05$).

24 papillons (12 femelles, 12 mâles) éclosent, soit 55 p. 100 du nombre des chrysalides. Les papillons déposent des œufs, mais nettement moins que les témoins.

La survie depuis le 18^e j jusqu'à l'apparition des adultes est de 48 p. 100.

La bisabolangélonge à la concentration de 400 ppm entraîne un ralentissement de la croissance et abaisse le poids maximal des chenilles. La mortalité larvaire est faible. Une crise se manifeste pendant la métamorphose et la moitié des chrysalides meurent.

IV. DISCUSSION

A. Dans les 2 séries, les développements des populations témoins (exp. I-1, exp. II-1) sont semblables (fig. 2 et 3) avec cependant une croissance plus lente de la population I-1, ce qui se manifeste par un poids plus faible à 18 j ($P < 0,01$) et par l'âge où le poids maximal est atteint. Mais les poids maximaux et ceux des chrysalides ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). Les survies depuis le recensement du 18^e j jusqu'à la sortie des papillons sont importantes : 81 et 84 p. 100 (tabl. 1).

B. Dans 3 expériences, des traitements continus avec une solution de bisabolangélonge à 1 00 ppm ont commencé à des âges différents : 7 j pour l'expérience II-2, 12 j pour l'expérience I-2, 18 j pour l'expérience II-4. Dans les 3 cas, la prise alimentaire est immédiatement freinée, la croissance est réduite par rapport à celle des témoins (tabl. 1, fig. 2, 3 et 4).

Un effet important de la bisabolangélonge est la mortalité pendant la croissance. Dans la population traitée à partir de 7 j, les chenilles meurent massivement : des 22 recensées le 18^e j, 7 survivent au début de la période

de métamorphose. Dans la population traitée à partir de 12 j, la mortalité larvaire est plus faible : des 25 chenilles recensées le 18^e j, 15 survivent à 36 j au début de la période de métamorphose. Pour la population traitée à partir du 18^e j, la mortalité larvaire est très réduite : des 26 chenilles recensées le 18^e j, 21 atteignent le stade prénymphé. Il apparaît ainsi que la mortalité des chenilles est d'autant plus importante que l'action de l'antiappétant s'exerce à un âge plus jeune.

Pour les 3 populations, les poids moyens maximaux des chenilles sont fortement abaissés par rapport à ceux des témoins, même lorsque le traitement est appliqué tardivement à 18 j au moment où les insectes arrivent au dernier stade larvaire. La bisabolangélonge a empêché, dans les 3 expériences, la formation de réserves importantes. La conséquence est la formation de chrysalides plus légères que celles des témoins (tabl. 1).

Des différences se manifestent dans la durée de développement entre les 2 populations soumises jeunes au traitement et la population traitée tardivement. Chez les 2 premières, les chenilles survivantes présentent un allongement sensible de la période d'alimentation et de la durée de croissance : les poids maximaux sont atteints à 42 j contre 22 j et 26 j chez les témoins. Ces phénomènes se répercutent sur l'âge de formation des chrysalides (tabl. 1). Des phénomènes voisins ont été décrits sur l'action de divers antiappétants sur la croissance de larves de lépidoptères (MILLER & FEENY, 1983 ; SMITH *et al.*, 1983 ; WESELOH, 1984). Mais dans la population traitée tardivement, il n'y a pas allongement sensible ni de la période d'alimentation, ni de la durée de la croissance par rapport aux mêmes phénomènes chez les témoins (tabl. 1) et la nymphose n'est pas retardée.

Dans ces 3 populations, une crise grave se déclenche chez les survivants au moment de la métamorphose : des prénymphes meurent ; une partie des chrysalides sont difformes ; parmi celles en apparence normales, très peu se transforment en papillon. Ceci est particulièrement net dans l'expérience II-4 où le traitement est commencé au début du 5^e stade larvaire et où la mortalité des chenilles est restée faible.

Mortalité des chenilles et étape critique de la métamorphose peuvent être la conséquence directe de la carence alimentaire. On peut penser aussi à une action défavorable de la bisabolangélonge sur la régulation du développement comme semblent le montrer les expériences de NAWROT *et al.*, 1984 : des applications de la molécule sur la cuticule de larves et de chrysalides de 2 coléoptères : *Tribolium confusum* Duv. et *Trogoderma granarium* Ev. provoquent des arrêts de croissance chez les larves et des malformations chez les chrysalides. Ces 2 effets peuvent se combiner dans le cas d'élevages prolongés sur feuillage traité. D'autres allélochimiques d'origine végétale, qui ont une activité antiappétante, sont connus pour perturber la croissance et la métamorphose (SCHMUTTERER *et al.*, 1983 ; STEFFENS & SCHMUTTERER, 1982 ; SIEBER & REMBOLD, 1983).

Il faut, par de nouvelles expérimentations, essayer de séparer ces 2 types d'activité. D'une part, des chenilles seront élevées avec des quantités réduites de nourriture nature, égales à celles absorbées par les chenilles alimentées avec la nourriture traitée (KOUL, 1983 ; HIGGINS & PEDIGO, 1979) ; cette expérience

montrera les effets physiologiques directs de la famine. D'autre part, des chenilles seront traitées avec une solution de bisabolangénone appliquée sur la cuticule et élevées avec du feuillage nature en abondance.

Dans les 3 élevages sur du maïs traité avec une solution de bisabolangénone à 1 000 ppm, le très petit nombre de papillons n'a pas permis de suivre la fécondité.

C. Dans l'expérience II-5 : traitement du maïs avec une solution à 400 ppm depuis le 13^e j, la croissance est moins rapide et moins importante que celle des témoins (fig. 5, tabl. 1). Le poids moyen maximal des chenilles est faible : 281 mg, il est atteint assez tôt à 26 j.

Les chrysalides ont un poids voisin de celui des populations traitées à 1 000 ppm. Il n'y a donc pas eu formation importante de réserves. Cependant la survie larvaire est très bonne : 88 p. 100 des chenilles se transforment en chrysalides. Mais une crise se manifeste aussi pendant la métamorphose : 56 p. 100 des chrysalides se transforment en papillons contre 100 p. 100 chez les témoins (exp. II-1).

Chez les traités à 400 ppm, la croissance plus rapide, l'absence de mortalité larvaire, la crise limitée de la métamorphose peuvent être attribuées à une meilleure alimentation, assurant une accumulation de réserves un peu supérieure à celle des traités à 1 000 ppm. Mais on peut aussi penser à des effets néfastes atténués de la bisabolangénone sur le développement. De nouvelles expérimentations devraient permettre d'analyser ces phénomènes.

D. Dans 2 expériences (tabl. 1, fig. 2 et 3), les chenilles sont soumises pendant 6 j à un traitement avec une solution à 1 000 ppm : du 7^e j au 13^e j pour l'expérience II-3, du 12^e j au 18^e j pour l'expérience I-3. Pendant la durée du traitement, la prise alimentaire et la croissance sont réduites et la mortalité importante comme dans les expériences II-2 et I-2. La mortalité se poursuit dans les 2 j suivant le retour à l'alimentation nature, surtout dans la population II-3 soumise plus jeune à l'antiappétant, ce qui traduit encore l'action du traitement. Par la suite, les chenilles qui ont survécu conservent toute leur potentialité de développement, leur croissance est retardée d'une durée un peu supérieure à celle du traitement (fig. 2 et 3), elles sont autant capables que les témoins d'accumuler des réserves et d'effectuer la métamorphose avec une mortalité nulle (tabl. 1). Dans ces conditions expérimentales, un contact avec la molécule pendant une période limitée dans un âge jeune n'a pas d'effet sur le devenir des chenilles survivantes. Par contre, un traitement appliqué seulement au dernier stade larvaire (exp. II-4) empêche la mise en place de réserves et perturbe gravement la métamorphose.

E. Des différences de réaction apparaissent entre les tests de courtes durées pour la recherche de l'effet antiappétant et les expériences d'élevages prolongés présentées ici. En tests de courtes durées, une solution de bisabolangénone à 1 000 ppm inhibe la prise alimentaire alors qu'en élevage prolongé des chenilles peuvent s'alimenter et se développer.

Dans le premier cas, la bisabolangénone est solubilisée dans l'acétone. La feuille de maïs est plongée 2 secondes dans la solution, puis séchée. Ces tests qui durent 24 h, sont réalisés en salle climatisée éclairée par des tubes fluorescents « lumière du jour ». Dans ces conditions, les chenilles du 4^e stade ne s'alimentent pas sur du maïs traité avec une solution à 1 000 ppm, alors que du maïs trempé dans le solvant pur est accepté.

Dans les élevages de longue durée, le traitement de la nourriture est différent. La solution de bisabolangénone dans l'acétone est diluée dans l'eau ; il se forme une suspension qui est déposée sur le feuillage par pulvérisation. Ces élevages étant réalisés à la lumière du jour, la décomposition de la substance en produits inactifs n'est peut-être pas négligeable. Dans ces conditions, la nourriture, même traitée avec des solutions à 1 000 ppm, a été acceptée par quelques insectes qui ont cependant eu un développement perturbé. Ces résultats illustrent l'importance du mode de présentation d'une substance phytosanitaire. De nouvelles expérimentations devraient permettre d'analyser ces différences.

V. CONCLUSION

La bisabolangénone apparaît être une substance, qui, dans le cas d'un insecte oligophage comme *M. unipuncta*, peut avoir un effet important dans le contrôle des populations de phytophages.

Les effets néfastes sur le développement peuvent être la conséquence de la réduction de la prise alimentaire, mais aussi d'une action directe de la bisabolangénone sur la régulation de la croissance ; ces 2 actions agiraient ensemble. De nouvelles expérimentations devront mettre en évidence la part de chacun de ces 2 facteurs.

FEENY (1983) décrit deux systèmes de défense dans la famille des ombellifères. Le premier est constitué par des furocoumarines linéaires qui sont toxiques pour beaucoup d'insectes phytophages par leur activité sur l'ADN en présence de rayons ultraviolets. En plus de ces furocoumarines linéaires, des ombellifères renferment des furocoumarines angulaires, qui constituent une deuxième barrière, car elles sont toxiques pour des espèces qui tolèrent les furocoumarines linéaires (BERENBAUM & FEENY, 1981). Enfin quelques espèces : *A. silvestris* (MUCKENSTURM *et al.*, 1981), *A. koreana* Max. (HATA *et al.*, 1970), *Pimpinella major* Huds. (STAHL & HERTING, 1976) synthétisent, en plus, la bisabolangénone qui crée un troisième système de défense par ses activités antiappétantes et peut-être aussi par une action néfaste sur le développement. La bisabolangénone dont la synthèse vient d'être réalisée (RISS & MUCKENSTURM, 1986) constitue sans doute une intéressante molécule « tête de série » pour des recherches de « synthèse orientée » dans le domaine phytosanitaire (GUBLER, 1983 ; METIVIER, 1983).

Reçu le 7 juillet 1986.
Accepté le 2 décembre 1986.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Berenbaum M., Feeny P.**, 1981. Toxicity of angular furanocoumarins to swallowtail butterflies : escalation in a coevolutionary arms race ? *Science*, 212, 927-929.
- Chapman R. F.**, 1974. The chemical inhibition of feeding by phytophagous insects : a review. *Bull. entomol. Res.*, 64, 339-363.
- Dagnelie P.**, 1970. Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2, ed. J. Duculot, Gembloux, 451 p.
- Descoins C.**, 1981. Nouvelles perspectives en phytopharmacie. *Med. Fac. Landbouww. Rijkuniv. Gent*, 46, 7-16.
- Feeny P.**, 1983. Coevolution of plants and insects, in « *Natural products for innovative pest management* », pp. 167-185. Whitehead D. L. & Bowers W. S. ed., Pergamon Press, 586 p.
- Freeman A. B., Andow D. A.**, 1983. Plants protecting plants : the use of insect feeding deterrents. *Sci. Hort.*, 34, 48-53.
- Gubler K.**, 1983. Innovation in pesticide (insecticide) chemistry, in « *Natural products for innovative pest management* », pp. 33-46, Whitehead D. L. & Bowers W. S. ed., Pergamon Press, Oxford, 586 p.
- Hata K., Kosawa M., Baba K., Konoshima M., Chi H. J.**, 1970. Angelikoreanol, a new sesquiterpene keto-alcohol from *Angelica koreana* Max. *Tetrahedron Letters*, 50, 4379-4382.
- Higgins R. A., Pedigo L. P.**, 1979. A laboratory antifeedant simulation bioassay for phytophagous insects. *J. econ. Entomol.*, 72, 238-244.
- Isman M. B., Rodriguez E.**, 1984. Feeding and growth of noctuid larvae on foliar material and extracts of guayule, related species of *Parthenium* and F1 hybrids. *Environ. Entomol.*, 13, 539-542.
- Jermy T.**, 1971. Biological background and outlook of the antifeedant approach to insect control. *Acta phytopathol. Acad. Sci. Hung.*, 6, 253-260.
- Jermy T.**, 1983. Multiplicity of insect antifeedants in plants, in « *Natural products for innovative pest management* », pp. 223-236, Whitehead D. L. & Bowers W. S. ed., Pergamon Press, Oxford, 586 p.
- Koul O.**, 1983. Feeding deterrence induced by plant limonoids in the larvae of *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera : Noctuidae). *Z. angew. Entomol.*, 95, 166-171.
- Koul O.**, 1984a. Azadirachtin : I. Interaction with the development of red cotton bugs. *Entomol. exp. appl.*, 36, 85-88.
- Koul O.**, 1984b. Azadirachtin : II. Interaction with the reproductive behaviour of red cotton bugs. *Z. angew. Entomol.*, 98, 221-223.
- Kramer C.**, 1956. Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics*, 12, 307-310.
- Métivier J.**, 1983. Recherche de produits et moyens nouveaux pour protéger les cultures. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 69, 1449-1454.
- Miller J. S., Feeny P.**, 1983. Effects of benzyloquinoline alkaloids on the larvae of polyphagous Lepidoptera. *Oecologia*, 58, 332-339.
- Muckensturm B., Duplay D., Robert P. C., Simonis M. T., Kienlen J. C.**, 1981. Substances antiappétantes pour insectes phytophages présentes dans *Angelica silvestris* et *Heracleum sphondylium*. *Biochem. Syst. Ecol.*, 9, 289-292.
- Munakata K.**, 1977. Insect feeding deterrents in plants. In « *Chemical control of insect behavior* », pp. 93-102, Shorey H. H., McKelvey J. J. ed., John Wiley, New York, 414 p.
- Nakanishi K.**, 1980. Insect antifeedants from plants. In « *Insect biology in the future* », M. Locke & D. S. Smith ed., pp. 603-611, Academic Press, New York, 977 p.
- Nawrot J., Bloszyk E., Harmatha J., Novotny L.**, 1984. The effect of bisabolangelone, henalin and bakkenolide A on development and behaviour of some stored product beetles. *Z. angew. Entomol.*, 98, 394-398.
- Poitout S., Bues R.**, 1974. Elevage de chenilles de vingt-huit espèces de lépidoptères *Noctuidae* et de deux espèces d'*Arctiidae* sur milieu artificiel simple. Particularités de l'élevage selon les espèces. *Ann. Zool. Ecol. anim.*, 431-441.
- Renou M., Zagatti P.**, 1986. L'avenir des médiateurs chimiques dans la lutte contre les insectes. *Phytoma - Def. Cult.*, 375, 13-17.
- Riss B. P., Muckensturm B.**, 1986. Total synthesis of (\pm) bisabolangelone. *Tetrahedron letters*, 27 (41), 4979-4982.
- Schmutterer H.**, 1981. Some properties of components of the neem tree (*Azadirachta indica*) and their use in pest control in developing countries. *Med. Fac. Landbouww. Rijkuniv. Gent*, 46, 39-47.
- Schmutterer H., Saxena R. C., von der Heyde J.**, 1983. Morphogenetic effects of some partially-purified fractions and methanolic extracts of neem seeds on *Mythimna separata* Walker and *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Z. angew. Entomol.*, 95, 230-237.
- Schoonhoven L. M.**, 1982. Biological aspects of antifeedants. *Entomol. exp. appl.*, 31, 57-69.
- Schoonhoven L. M., Jermy T.**, 1977. A behavioural and electrophysiological analysis of insect feeding deterrents in « *Crop protection agents, their biological evaluation* », pp. 133-146. N. R. McFarlane ed., Academic press, 638 pp.
- Sieber K. P., Rembold H.**, 1983. The effect of azadirachtin on the endocrine control of moulting in *Locusta migratoria*. *J. Insect Physiol.*, 29, 523-527.
- Smith C. M., Kester K. M., Fischer N. H.**, 1983. Insect allelochemic effects of sesquiterpene lactones from *Melampodium*. *Biochem. Syst. Ecol.*, 11, 377-380.
- Stahl E., Herting D.**, 1976. Die Verteilung von Inhaltsstoffen in drei *Pimpinella* Arten. *Phytochemistry*, 15, 997-1001.
- Steffens R. J., Schmutterer H.**, 1982. The effect of crude methanolic neem (*Azadirachta indica*) seed kernel extract on metamorphosis and quality of adults of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitidis capitata* Wied. [Diptera tephritidae]. *Z. angew. Entomol.*, 94, 98-103.
- Vignerot J. P.**, 1978. Substances antiappétantes d'origine naturelle. *Ann. Zool. Ecol. anim.*, 10, 663-694.
- Vignerot J. P.**, 1981. Substances antiappétantes naturelles. *Actua-lité chimique*, 5, 15-19.
- Weseloh R. M.**, 1984. Effects of the feeding inhibitor Plictran and low *Bacillus thuringiensis* Berliner doses on *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera : Lymantriidae) : implication for *Cotesia melanoscelus* (Ratzeburg) (Hymenoptera : Braconidae). *Environ. Entomol.*, 13, 1371-1376.