人工飼料を用いた5種チョウ目害虫の簡易な殺虫剤感受性検定

井 村 岳 男

Takeo Imura: Easy method for measuring insecticide susceptibility
of five lepidopteran species using artificial diet

Abstract

This study assessed an easy method for measuring insecticide susceptibility of cotton ballworm, beet armyworm, common cutworm, cabbage armyworm, and cucumber moth using an artificial diet. Larvae were placed in a petri dish with a disc of artificial diet that was treated with an insecticide at the commercial concentration on the upper side. Several days later, living and dead individual larvae were counted. Larval cannibalism increased according to the larval stage and according to the type of insecticide, but measurement of the susceptibility was not difficult. These results suggest that this method is useful for measuring the susceptibility of five lepidopteran species.

Key words: chemical control, Noctuidae, Pyralidae, toxicity

緒 言

チョウ目害虫において殺虫剤に対する感受性検定を行う場合、対象害虫の餌植物を用いた食餌浸漬法が用いられることが多い(日本植物防疫協会編, 2013)。しかし、この方法は、検定実施日に合わせて、殺虫剤が付着していない餌植物をあらかじめ栽培しておく必要がある。殺虫剤感受性低下が問題化している害虫の場合、生産現場からの感受性検定依頼に迅速に応じる必要があり、いつ依頼されるか分からない感受性検定のために常に餌植物を栽培しておくことは容易でない。

一方、野菜・花き類等で被害が問題となっているオオタバコガ *Helicoverpa armigera* (Hübner)、ハスモンヨトウ *Spodoptera litura* (Fabricius)、シロイチモジヨトウ *Spodoptera exigua* (Hübner)、ヨトウガ *Mamestra brassicae* (Linnaeus)、ワタヘリクロメイガ *Diaphania indica* (Saunders) は、人工飼料による継代飼育が可能である(湯嶋ら編, 1991; 奈良井, 1997; 清水, 2000)。小野本ら(1996)は、市販の汎用性人工飼料であるインセクタ LF (日本農産工業株式会社製) を薬液浸漬することでオオタバコガの殺虫剤感受性検定が可能であったと報告している。市販の人工飼料は入手が容易で長期保存が可能なので、これを用いる感受性検定法は餌植物の栽培を要さず、いつでも実施可能であるというメリット

がある。しかし、先のインセクタ LF、あるいは現在この代替品となっているインセクタ LFS (日本農産工業株式会社製) は、薬液にそのまま浸漬すると崩壊しやすいため、薬液処理時の取り扱いがやや難しく、薬液付着量の均一性に疑問が残る。そこで著者は、より容易な操作で処理薬液量を一定にするため、輪切りにした人工飼料に一定量の薬液を処理する簡易な方法で、先の5種チョウ目害虫の簡易感受性検定を試行したので、その結果を報告する。

材料および方法

検定には、市販の人工飼料インセクタ LFS を使用した。供試虫の由来、供試した齢期および供試薬剤は第1表~第5表にそれぞれ示した。いずれの試験も供試薬液は水道水で希釈して作成し、展着剤は加用しなかった。また、死亡率の算出には共食い等で減少した個体を計算から除外し、水道水処理を対照として Abbott (1925) により補正死亡率を算出した。

試験 1

幼虫の体長が比較的大きいヤガ科4種(オオタバコガ、ハスモンヨトウ、シロイチモジヨトウ、ヨトウガ)については、人工飼料(直径 51 mm)を厚さ 5~7 mm 程度に輪切りし、濾紙を敷いた円筒形のプラスチック製飼育

容器（直径 90 mm，高さ 40 mm）内に置いた。輪切りする際には人工飼料を被覆しているビニールごと切除して、飼料の側面がビニールで覆われているようにした。飼育容器内においた人工飼料の上面に、供試薬液 1 mL がまんべんなく広がるようにピペットで数度に分けて滴下した。その後、人工飼料自体が乾燥しない程度まで薬液を風乾させて、供試する幼虫を人工飼料上に載せて蓋をした。以上のように処理した検定容器を 25℃ 16L8D の恒温器内に置いて 3 日後に生死判定を行った。共食いしやすいオオタバコガ（奈良井，1997）については 1 容器あたり 5 頭×6 反復，その他 3 種については 1 容器あたり 10 頭×3 反復で処理した。

試験 2

幼虫の体長が比較的小さいワタヘリクロノメイガについては、試験 1 よりも小型のプラスチック製飼育容器（内径 50 mm，高さ 16 mm）を使用した。厚さ約 5 mm に輪切りした人工飼料の上から容器を被せてくり抜き、容器の底 5 mm 程度に人工飼料を充填した。この人工飼料の上に、ピペットで供試薬液 0.5 mL を滴下した。人工飼料自体が乾燥しない程度に薬液を風乾させた後に、幼虫 10 頭を人工飼料上に載せた。いずれの薬剤も 3 反復で処理した。検定容器に蓋をした後に 25℃ 16L8D の恒温器内に置き、3 日後、5 日後、7 日後に生死判定を行った。

結 果

試験 1

第 1 表にオオタバコガ 2 齢幼虫の感受性検定結果を示した。対照の水道水処理は、死亡率 0 % で共食いによる供試虫の減少もなかった。供試した殺虫剤の補正死亡率

はいずれも高く、クロルフェナピルが 96.6 % であった以外は全て 100 % だった。また、共食いによる供試虫数の減少は、クロルフェナピルとシアントラニリプロールでそれぞれ 1 頭のみだった。

第 2 表にシロイチモジヨトウ 2 ～ 3 齢幼虫の感受性検定結果を示した。対照の水道水処理は、共食いで供試虫が 1 頭だけ減少したが、死亡率は 0 % だった。供試した殺虫剤の補正死亡率は、スピノサド、クロルフェナピル、インドキサカルブ、シアントラニリプロール、フルキサメタミドが 86 % 以上と高かったが、それ以外の剤は低かった。また、スピノサド、シアントラニリプロール、ピリダリルでは共食いによって供試虫数が 6 ～ 10 頭減少した。

第 3 表にハスモンヨトウ 3 齢幼虫の感受性検定結果を示した。対照の水道水処理は、共食いで供試虫が 3 頭減少したが、死亡率は 3.7 % と低かった。供試した殺虫剤の補正死亡率は、スピノサドとエマメクチン安息香酸塩は補正死亡率が 73 % 以下と低かったが、それ以外の剤は全て 100 % だった。また、スピノサド、エマメクチン安息香酸塩、クロラントラニリプロールでは共食いによって供試虫数が 6 ～ 7 頭減少した。

第 4 表にヨトウガ 3 ～ 4 齢幼虫の感受性検定結果を示した。対照の水道水処理は、共食いによる供試虫の減少はなく、死亡率は 3.3 % と低かった。供試した殺虫剤の補正死亡率は、スピノサドが約 60 % と低かったが、それ以外の剤は全て 96 % 以上と高かった。また、スピノサドでは共食いによって供試虫数が 7 頭減少した。

試験 2

第 5 表にワタヘリクロノメイガ 2 ～ 3 齢幼虫の感受性

第 1 表 オオタバコガ 2 齢幼虫^{※1}に対する 8 種殺虫剤の処理 3 日後の殺虫効果

IRAC ^{※2}	薬剤名 ^{※3}	希釈倍率	供試数	死亡率 ± SE (%)	補正死亡率 (%)
5	スピノサド WG	5000	30	100	100
6	エマメクチン安息香酸塩 EC	2000	30	100	100
13	クロルフェナピル F	2000	29	96.6 ± 3.4	96.6
22A	インドキサカルブ DF	2000	30	100	100
28	クロラントラニリプロール F	2000	30	100	100
28	シアントラニリプロール OD	2000	29	100	100
30	フルキサメタミド EC	2000	30	100	100
UN	ピリダリル F	1000	30	100	100
	対照（水道水）	—	30	0	0

※1 2020 年 7 月に奈良県桜井市の施設トマトで採集した幼虫を，人工飼料（インセクタ LFS）で飼育した次世代

※2 IRAC（2020）による

※3 薬剤名に付したアルファベットは以下の剤型を表す

WG：顆粒水和剤 EC：乳剤 F：フロアブル OD：油脂分散性水和剤

第2表 シロイチモジヨトウ2～3齢幼虫^{※1}に対する8種殺虫剤の処理3日後の殺虫効果

IRAC ^{※2}	薬剤名 ^{※3}	希釈倍率	供試数	死亡率 ^{±SE} (%)	補正死亡率 (%)
5	スピノサド WG	5000	20	90.0±6.7	90.0
6	エマメクチン安息香酸塩 EC	2000	30	6.7±4.6	6.7
13	クロルフェナビル F	2000	28	100	100
22A	インドキサカルブ DF	2000	27	96.3±3.6	96.3
28	クロラントラニリプロール F	2000	29	6.9±4.7	6.9
28	シアントラニリプロール OD	2000	22	86.4±7.3	86.4
30	フルキサメタミド EC	2000	30	100	100
UN	ピリダリル F	1000	24	62.5±9.9	62.5
	対照（水道水）	—	29	0	0

※1 2019年9月に奈良県田原本町の施設グラジオラスで採集した幼虫を、人工飼料（インセクタ LFS）で飼育した次世代

※2 IRAC（2020）による

※3 薬剤名に付したアルファベットは以下の剤型を表す

WG：顆粒水和剤 EC：乳剤 F：フロアブル OD：油脂分散性水和剤

第3表 ハスモンヨトウ3齢幼虫^{※1}に対する8種殺虫剤の処理3日後の殺虫効果

IRAC ^{※2}	薬剤名 ^{※3}	希釈倍率	供試数	死亡率 ^{±SE} (%)	補正死亡率 (%)
5	スピノサド WG	5000	23	52.2±10.4	50.3
6	エマメクチン安息香酸塩 EC	2000	23	73.9±9.2	72.9
13	クロルフェナビル F	2000	30	100	100
22A	インドキサカルブ DF	2000	28	100	100
28	クロラントラニリプロール F	2000	24	100	100
28	シアントラニリプロール OD	2000	30	100	100
30	フルキサメタミド EC	2000	30	100	100
UN	ピリダリル F	1000	30	100	100
	対照（水道水）	—	27	3.7±3.6	0

※1 2019年9月に奈良県五條市の露地サトイモで採集した幼虫を、人工飼料（インセクタ LFS）で飼育した次世代

※2 IRAC（2020）による

※3 薬剤名に付したアルファベットは以下の剤型を表す

WG：顆粒水和剤 EC：乳剤 F：フロアブル OD：油脂分散性水和剤

第4表 ヨトウガ3～4齢幼虫^{※1}に対する8種殺虫剤の処理3日後の殺虫効果

IRAC ^{※2}	薬剤名 ^{※3}	希釈倍率	供試数	死亡率 ^{±SE} (%)	補正死亡率 (%)
5	スピノサド WG	5000	23	60.9±10.2	59.5
6	エマメクチン安息香酸塩 EC	2000	28	100	100
13	クロルフェナビル F	2000	27	96.6±3.4	96.6
22A	インドキサカルブ DF	2000	29	100	100
28	クロラントラニリプロール F	2000	30	100	100
28	シアントラニリプロール OD	2000	30	100	100
30	フルキサメタミド EC	2000	30	100	100
UN	ピリダリル F	1000	30	96.7±3.3	96.6
	対照（水道水）	—	30	3.3±3.3	0

※1 2020年4月に奈良県桜井市の露地ブロッコリーで採集した幼虫を、人工飼料（インセクタ LFS）で飼育した次世代

※2 IRAC（2020）による

※3 薬剤名に付したアルファベットは以下の剤型を表す

WG：顆粒水和剤 EC：乳剤 F：フロアブル OD：油脂分散性水和剤

第5表 ワタヘリクロノメイガ2～3齢幼虫^{※1}に対する13種殺虫剤の殺虫効果

IRAC ^{※2}	薬剤名 ^{※3}	希釈倍率	供試数	処理3日後		処理5日後		処理7日後	
				死亡率(%) ±SE	補正死亡率(%)	死亡率(%) ±SE	補正死亡率(%)	死亡率(%) ±SE	補正死亡率(%)
4A	アセタミプリド SG	2000	30	10.0±5.5	3.6	13.3±6.2	7.1	16.7±6.8	10.7
5	スピノサド WG	5000	29	96.6±3.4	96.3	100	100	100	100
6	エマメクチン安息香酸塩 EC	2000	29	93.1±4.7	92.6	100	100	100	100
11A	BT (クルスターキ系) DF	1000	30	100	100	100	100	100	100
11A	BT (アイザワイ系) F	1000	28	14.3±6.6	8.2	100	100	100	100
13	クロルフェナピル F	2000	30	100	100	100	100	100	100
15	ルフェヌロン EC	2000	29	79.3±7.5	77.8	100	100	100	100
18	メトキシフェノジド F	4000	29	100	100	100	100	100	100
22A	インドキサカルブ DF	2000	28	25.0±8.2	19.6	96.4±3.5	96.2	100	100
28	クロラントラニリプロール F	2000	29	55.2±9.2	52.0	96.6±3.4	96.3	96.6±3.4	96.3
28	シアントラニリプロール OD	2000	29	89.7±5.7	88.9	100	100	100	100
30	フルキサメタミド EC	2000	30	100	100	100	100	100	100
UN	ピリダリル F	1000	30	100	100	100	100	100	100
—	対照 (水道水)	—	30	6.7±4.6	0	6.7±4.6	0	6.7±4.6	0

※1 2019年10月に奈良県桜井市の施設キュウリで採集後、人工飼料（インセクタ LFS）で5世代継代飼育した幼虫

※2 IRAC (2020) による

※3 薬剤名に付したアルファベットは以下の剤型を表す

SG：顆粒水溶剤 WG：顆粒水和剤 EC：乳剤 DF：ドライフロアブル F：フロアブル OD：油脂分散性水和剤

検定結果を示した。対照の水道水処理は死亡率 6.7%と低く、共食いによる供試虫の減少もなかった。供試した殺虫剤の補正死亡率は、アセタミプリドが低かったものの、その他の剤は処理5日後には概ね 100%近くに達した。ただし、BT (アイザワイ系)、ルフェヌロン、インドキサカルブおよびクロラントラニリプロールは、処理3日後の補正死亡率が 80%以下と、やや遅効的だった。共食いによる供試虫数の減少は処理3日後までに起こり、最大でも2頭だった。

考 察

今回実施した検定では、いずれの場合も対照の死亡率が十分に低かったことから、この点については感受性検定法として問題なかったと考えられる。一方、ワタヘリクロノメイガとオオタバコガ以外は、いくつかの処理で共食いによる供試虫の減少が大きかったので、まずこの点について以下に考察する。オオタバコガでは、幼虫を集合飼育していると3齢以上で共食いが頻発することが知られている（阿部，2016）が、今回供試したオオタバコガは2齢幼虫であり、処理3日後の短期間で判定したので共食いは少なかったと考えられる。しかし、3齢以上を使用したシロイチモジヨトウ、ハスモンヨトウ、ヨトウガでは、剤によっては共食いによる供試虫の減少が1/5（6頭）以上となった。今回の検定結果を見る限り、

この共食いによる減少は、供試剤の効果の評価に大きく影響するものではなかったと考えられるが、齢期が進んだ幼虫を供試する場合は、検定容器当たりの個体数を減らすなどの工夫が必要かもしれない。また、総じて対照の水道水処理や、補正死亡率が 20%以下の効果が低い薬剤では共食いは少なく、補正死亡率が 100%であった速効的で殺虫活性が高いと考えられる薬剤でも、同様におおむね共食いが少なかったが、補正死亡率が 50～90%程度の薬剤での共食いが多い傾向にあった。速効的で殺虫活性が高い剤で共食いが少ないのは、共食いを誘発する前に死亡するためだと解釈できる。これに対し、補正死亡率が 50～90%程度の薬剤での共食いが水道水処理や効果の低い薬剤よりも多かったのは、薬剤の影響で弱った個体が摂食の活発な他個体に共食いされやすい可能性を示唆している。速効剤の効果を3日程度の短期間で判定する場合、死亡率がさほど高くない薬剤における共食いに由来する誤差は、効果の高い剤を選抜するという目的においては、さほど考慮する必要はないと考えられる。しかし、効果判定に日数を要する BT 剤や IGR 剤などの遅効的な薬剤の効果を判定する場合は、共食いの少なかったワタヘリクロノメイガ以外では、共食いの影響を回避するために、検定容器当たりの供試個体数を減らすなどの工夫が必要かも知れない。この点については今後さらに検討したい。

次に、本検定法による供試薬剤の効果発現について以下に考察する。今回供試した薬剤は、いずれもチョウ目害虫の基幹防除剤である。害虫種と剤の組み合わせによっては補正死亡率が低い薬剤もあったが、全ての害虫で著しく効果が低い薬剤はなかった。このことは、検定に使用した人工飼料の物理性や化学性が原因となって殺虫活性の発現が阻害されるような殺虫剤がなかったことを示唆している。今回実施した検定では、既存の生植物を用いた検定法との比較は行っていないが、生植物を用いた近年の感受性検定事例と比較した場合の整合性の有無について以下に考察する。まず、オオタバコガは全ての剤において効果が高かった。井村（2018）は同じ奈良県で採集したオオタバコガをインゲン葉の葉液浸漬法で検定した結果、今回供試した剤の全てで効果が高かったと報告しており、これは今回の結果と一致する。

シロイチモジヨトウは、2017年以降に西日本各地でジアミド系に対する感受性低下が問題化しており、抵抗性個体群の飛来侵入が疑われている状況である（井村ら、2020b）。そして今回の結果は、岡本（2018）が報告したジアミド低感受性個体群の検定結果と同じ傾向を示した。

ハスモンヨトウは、今回の感受性検定では、エマメクチン安息香酸塩とスピノサドの効果が低かった。本種は、毎年梅雨前線や台風の影響で海外から飛来するとされており（Murata et al., 1998 ; 井藤ら, 2007）、想定飛来源が複数ある（畠山ら, 2016）。そのため、飛来個体群によって感受性が異なる可能性があり、今回の結果を直ちに過去の知見と関連付けて考察するのは難しい。しかしながら、ハスモンヨトウでは近年、様々な基幹防除薬剤に対する感受性低下が報告されており、今回効果が低かった2剤は、既に国内から感受性低下事例が報告されている（平野ら, 2015）。よって、今回の結果は、過去の検定結果と矛盾するものではないと考えられる。

ヨトウガについては、比較可能な近年の報告はないが、一般に殺虫剤感受性は高い害虫であると考えられている。今回はスピノサドのみ効果が低かったが、オオタバコガやシロイチモジヨトウでは本剤の効果が高かったため、スピノサドが検定法の影響によって過小評価されているとは考えにくい。

ワタヘリクロノメイガの今回供試した系統は、井村ら（2020a）でキュウリの葉片浸漬法での検定結果を報告した個体群を継代飼育したものである。その結果と比較した場合、アセタミプリドのみが両検定法で補正死亡率が大きく異なり、キュウリ葉片浸漬法では100%であったのに対し、今回は16.7%と大きく異なった。本種に対するアセタミプリドの効果が検定事例によって大きく変

動する事例は、過去にも報告されている。清水（2000）では本種に対するアセタミプリドの死虫率が16.7%であったのに対し、行徳・横山（2003）では死虫率100%であった。これに対して行徳・横山（2003）は、LC50算出に用いたプロビット回帰式に清水（2000）の死虫率を当てはめたところ、両個体群間の感受性差は2倍程度であり、感受性に差があるとは言えないと考察している。すなわち、アセタミプリドの本種に対する感受性は、常用濃度付近で大きく変動し、偶発的な要因で死亡率が大きく変わる可能性があることを示唆している。よって、今回の試験結果と井村ら（2020a）における死亡率の差は、検定法の差に由来するものではなく、アセタミプリドの性質に由来する可能性がある。この点についてはさらに検証を行う必要がある。また、井村ら（2020a）では、スピノサド、エマメクチン安息香酸塩、インドキサカルブ、クロラントラニリプロール、シアントラニリプロールの補正死亡率が、処理3日後に100%となったが、今回の検定では、これらの薬剤の効果が十分に発現したのは処理5～7日後だった。清水（2000）は、インセクタLFはキュウリ葉粉末を加えた人工飼料よりも幼虫発育がやや遅いと報告している。また、著者自身の飼育時の観察でも、インセクタLFSはキュウリ生葉よりも幼虫発育が遅かった（井村, 未発表）。このことから、今回のインセクタLFSを使用した薬剤検定は、キュウリ葉を使用した検定よりも日当たりの摂食量が少なく、薬剤の摂取が遅くなるために効果の発現がやや遅れるものと考えられる。その一方で、今回の検定では、剤の性質上遅効的で効果判定に日数を要するBT剤やルフェエロンでも、他の速効剤と同様に処理5日後には補正死亡率が100%となった。こういった事情を勘案すると、総じて実用上問題となるような遅延ではないと考えられる。

以上の結果から、今回検討した人工飼料を用いた簡易感受性検定法は、生産現場からの要望に応じて簡便に実施できる検定法として問題はないと考えられる。井村（2012）は、感受性検定を依頼する生産者のニーズは、死亡率の数値の厳密性ではなく、「効くか効かないか」という大まかな情報をできるだけ迅速に知りたいというものであると論じている。人工飼料を用いた検定法は、餌植物確保の労力がなく、いつでも対応できるという点でこれらのニーズを満たす検定法であると考えられる。

摘 要

オオタバコガ、シロイチモジヨトウ、ハスモンヨトウ、ヨトウガ、ワタヘリクロノメイガの5種について、人工飼料を用いた簡易な殺虫剤感受性検定を試行した。輪切

りにして飼育容器内においた人工飼料の上面に、常用濃度に希釈した供試薬剤を滴下して幼虫を投入し、所定の日数が経過してから生死判定を行った。その結果、幼虫の齢期や薬剤の種類によっては共食いがやや多くなる場合もあったが、効果判定には概ね問題がなく、簡易な感受性検定法として利用可能と考えられた。

引用文献

- Abbott, W. S. (1925) J. Econ Entomol. 18: 265–267.
- 阿部 誠 (2016) 秋田県立大学ウェブジャーナル B 3 : 92–95.
- 行徳 裕・横山 威 (2003) 九病虫研究会報 49 : 96–100.
- 畠山吉則・西本直子・岩野秀俊 (2016) 植物防疫 70 : 659–664.
- 平野忠美・子安英雄・政 美加 (2015) 関西病虫研報 57 : 121–123.
- 井藤麻未・坂巻祥孝・津田勝男・櫛下町鉦敏 (2007) South Pacific Studies 27(2) : 73–82.
- 井村岳男 (2012) 植物防疫 66 : 255–259.
- 井村岳男 (2018) 関西病虫研報 60 : 135–136.
- 井村岳男・玉井喜文・鳥居名実子 (2020a) 関西病虫研報 62 : 173–174.
- 井村岳男・山口貴大・今村剛士・竹中 勲・松村美小夜・國本佳範 (2020b) 奈良農研セ研報 51 : 68–71.
- IRAC (2020) URL: <https://irac-online.org/modes-of-action/> (2020年10月アクセス)
- Murata, M., T. Etoh, K. Itoyama and S. Tojo (1998) Appl. Entomol. Zool. 33: 419–427.
- 奈良井祐隆 (1997) 植物防疫 51 : 488–491.
- 日本植物防疫協会編 (2013) 農業害虫の薬剤感受性検定マニュアル. 日本植物防疫協会, 東京, pp. 179.
- 岡本 崇 (2018) 関西病虫研報 60 : 149–151.
- 小野本徳人・根来淳一・柴尾 学・田中 寛 (1996) 関西病虫研報 38 : 23–24.
- 清水喜一 (2000) 植物防疫 54(3) : 97–17.
- 湯嶋 健・釜野静也・玉木佳男編 (1991) 昆虫の飼育法. 日本植物防疫協会, 東京, pp. 392.