

第6章 ハウスキュウリでの新開発増殖ケージによるチリカブリダニ放飼試験

1. 放飼時期の検討

(1)ハウス試験

キュウリ栽培で一般に使用される殺菌剤、殺虫剤とハダニ防除のための天敵利用を併用し、増殖ケージでチリカブリダニを放飼して防除効果を検討する。

方法

5.4×20mのビニールハウス内にキュウリを畦間1.5m, 株間0.8mで1989年5月29日に定植し、第24表に示した条件で試験を実施した。なお、この条件は第4章においてモデルケースとして確立したものとほぼ同様である。

第24表 ナミハダニ接種および薬剤散布

ナミハダニ接種日:個体数 6月20日:雌成虫50/株

殺菌剤散布

①TPN×600	5月29日, 7月2日, 8月8日
②ポリカーバメート×500	7月10日
③トリアジメホン	×3,000 5月29日
	×2,000 7月2日, 24日, 31日
④トリフルミゾール×3,000	6月26日
⑤プロシミドン	×2,000 6月26日
⑥フェナリモル	×10,000 8月8日

殺虫剤散布

①アプロフェジン	×1,000 5月29日, 7月24日
②MEP	×1,000 6月26日, 7月10日, 24日, 31日, 8月8日, 16日

室内のインゲンで飼育したナミハダニ雌を、細筆を用い実体顕微鏡下でインゲン切葉に50頭移し、切葉ごとキュウリの試験株すべてに接種した。チリカブリダニは、MEP1,000倍で放飼前30日前までに計5回選抜し、飼育ケージで増殖した。各区を以下のように設定した。

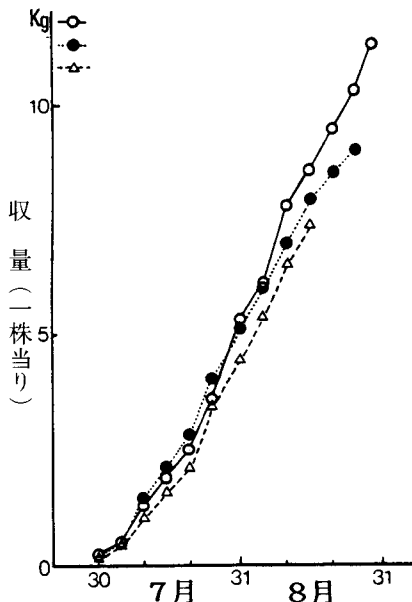
(A):12株,被害指数1.0に達した時期(株当たりナミハダニ雌約1,000頭;7月27日)にカブリダニを9ケージ放飼,放飼比率=20:1,その後4ケージ(チリカブリダニ雌成虫約400頭)を追加した

(B):6株,被害指数0.3に達した時期(株当たりナミハダニ雌約30頭;7月2日)にヘキシチアゾクス・DDVP×1,000を1回散布

(C):4株,ナミハダニ接種(雌50頭;6月20日)チリカブリダニ無放飼

ダニの個体数調査は各区ともほぼ7日間隔で実施し,可能な限り4株全葉を対象とし,雌成虫数を数えた。また,ハダニによる葉の被害指数をHUSSEY and PARR(1963)の方法により調査した。しかしチリカブリダニ放飼後は,ダニ数,被害指数の調査は行わずに収量調査だけを実施した。

結果



第29図 チリカブリダニ放飼試験の収量調査, —○—;放飼区, —●—;ヘキシチアゾクス・DDVP散布区, …△…;無処理区。

第29図に各区の収量調査結果を示した。ニッソランV散布区(B)の収量は7月中は高かった。ナミハダニ接種・チリカブリダニ無放飼区(C)の収量は常に他の2区を下回った。チリカブリダニ放飼区(A)の収量は,8月5日までは(B)区より低かったが,その後(B)区を越えた。(A)区の総収量

を100とすると(B)区は80, (C)区は65といずれも低かった。(B)区の薬剤防除効果は約1カ月で、その後のナミハダニの増殖を抑えられなかったと考えられる。

(2) 現地ハウスキュウリでの増殖ケージによるチリカブリダニ放飼試験とその定着状況

1) 1989年

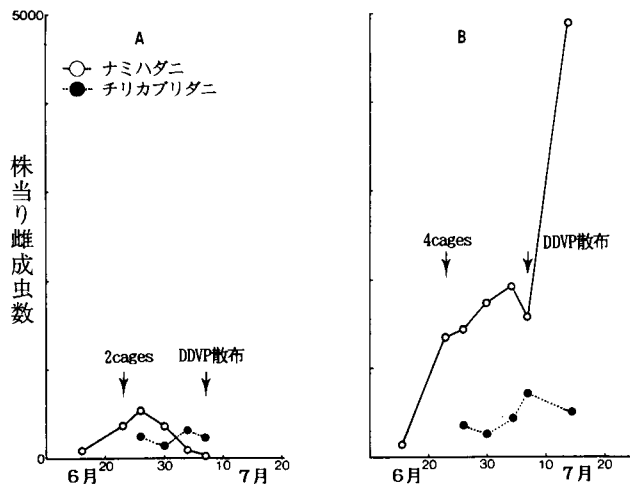
増殖ケージによる放飼を現地の栽培条件下で実施し、チリカブリダニの定着状況を検討する。

方法

三笠市の現地ハウス(6×50m;300株, 4月15日定植)で、ハダニの発生状況を調査し、発生の集中した部分の2株(A株, B株)に各々2, 4ケージずつ6月23日に放飼した。ナミハダニ, チリカブリダニとも雌成虫数を調査した。薬剤散布は以下

第25表 薬剤散布状況

5月23日;クロゲン葉面散布, マンゼブ・ダイセン+DDVP
5月31日;ダコニール
6月 8日;ダコニール, ニッソラン
6月26日, 7月13日;スミレックスくん煙顆粒
7月 7, 14日;DDVP



第30図 現地ハウスキュウリにおけるチリカブリダニ定着試験, -○-;ナミハダニ, -●-;チリカブリダニ。

2) 1990年

増殖ケージによる放飼を現地の栽培条件下で実施し、チリカブリダニのキュウリへの定着状況を確認する。

のとおりであった。

結果

放飼3日後(6月26日)のチリカブリダニ雌成虫数はA株235頭(2ケージ), B株357頭(4ケージ)であった(第30図)。したがって1ケージ当り100頭以上のチリカブリダニが放飼されたことになる。両区の放飼比率は各々ナミハダニ:チリカブリダニ=2:1, 3.5:1で、6月26日には放飼株から隣接株への分散個体が認められた。A株は放飼14日後に完全にナミハダニを防除し、かなりの個体が周辺株へ分散していた。B株はナミハダニが最大で1,925個体に達したあと14日目には減少を示し、チリカブリダニはナミハダニの約半分まで増殖した。しかし、14日目の調査後、アブラムシ防除のためにDDVPが散布されたため、チリカブリダニの個体数が減少し、ナミハダニは急増した。チリカブリダニに悪影響のないアブラムシ剤としてはMEPが使用可能であるが、ワタアブラムシへの効果は必ずしも充分ではない。今後の課題として、現地でのDAS系統チリカブリダニの利用にあたっては、ワタアブラムシを含めたアブラムシ対策を検討する必要がある。

方法

三笠市の現地ハウス(6×50m;300株, 4月16日定植)でハダニの発生状況を調査し、発生が早かった2棟のハウス(A, B)の被害集中部分(A.; 10株,

B：21株対象)にケージを各々2、6個ずつ6月29日に放飼した。

なお、Aハウスには7月4日に3ケージ、7月16日に1ケージを、Bハウスには6月30日に2ケージ、7月4日に15ケージ、7月16日に12ケージを追加して放飼した。

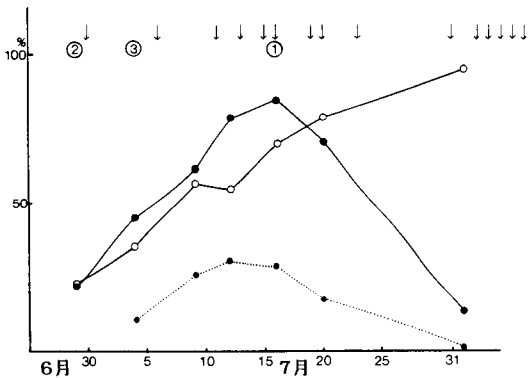
薬剤散布は以下のとおりである(第26表)。

第26表 薬剤散布状況

5月20日；TPN,DDVP
5月31日；TPN,DDVP
6月3日；トリアジン, DDVP
6月10日；TPN,DDVP
6月17日；トリアジン, ニッソランV
6月26日；DDVP
7月5日；MEP
7月12日；プロシミドン

調査は各株(2本仕立て)から12葉をランダムに抽出し、ナミハダニ、チリカブリダニ寄生の有無を調査した。なお、自記温湿度計を用い、試験期間中の気温を測定した。

結果



第31図 Aハウスでのチリカブリダニ放飼試験、—○—；ナミハダニ寄生葉率、—●—；チリカブリダニ寄生株率、…●…；チリカブリダニ寄生葉率、↓；33℃以上が4時間以上あった日、①；放飼ケージ数。

①Aハウス

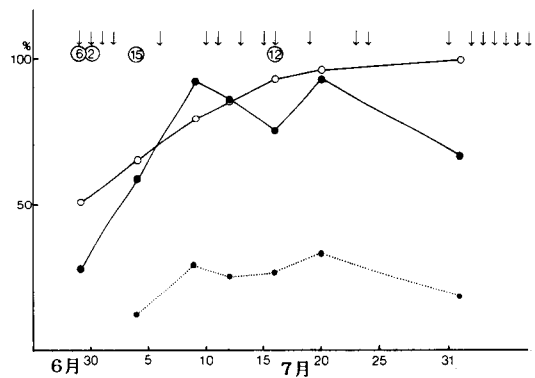
ナミハダニはハウスの入口(北向き)に近い部分の4列のうち1列に発生した。放飼1日後のチリカブリダニ生存雌成虫数調査で、1株は25頭、

もう1株は80頭が確認された。放飼5日後には20本中8本にチリカブリダニが分散していた。その後7月中旬まで増加傾向にあり、チリカブリダニ寄生葉率は30.7%に達し、ナミハダニの寄生葉率も減少する傾向を示した。しかし、これ以降チリカブリダニの増殖は抑えられ、ナミハダニを防除できなかった(第31図)。

この原因として7月中旬は高温となり、ハウス内気温も高くなり、33℃以上が4時間以上の日が続いたことがチリカブリダニの増殖に大きく影響したものと推定された。なお、この間の平均気温は23.6℃であった。

②Bハウス

ナミハダニはハウスの奥側(南向き)の4列に発生した。Aハウスより発生量は多かった。このためナミハダニ寄生葉率は放飼前から50.8%と高かった。放飼1日後のチリカブリダニ生存雌成虫数は6株平均で78.5頭であった。放飼5日後には42本中25本にチリカブリダニが分散していた。しかし、幼若虫がほとんど認められず、十分に増殖していなかった。そこで15ケージを追加して放飼した。



第32図 Bハウスでのチリカブリダニ放飼試験、—○—；ナミハダニ寄生葉率、—●—；チリカブリダニ寄生株率、…●…；チリカブリダニ寄生葉率、↓；33℃以上が4時間以上あった日、①；放飼ケージ数。

放飼10日後までは増加傾向にあり、チリカブリダニ寄生葉率は29.8%に達し、ナミハダニの寄生葉率も79.2%におさえられていた。しかし、かなりの個体数を再放飼したにもかかわらず13、17日

後にチリカブリダニの寄生葉率が減少したため、再度12ヶージを放飼した。

これ以降チリカブリダニの増殖は抑えられ、ナミハダニを防除できなかつた(第32図)。ナミハダニの発生場所はハウスの奥で、南向きで換気が十分にできないため、Aハウスの入口に近い場所と比較して、33℃以上が4時間以上あった日も多く、平均気温は24.4℃と高かつた。また、チリカブリダニ放飼直後に高温条件になったため、増殖に大きく影響したものと考えられる。

これらの失敗から、高温条件がチリカブリダニ利用に大きな障害となる可能性がでてきた。そこで、高温によるチリカブリダニへの影響について以下に詳しく検討することとした。

2. 高温による薬剤抵抗性チリカブリダニ増殖への影響

チリカブリダニの発育可能温度については多くの報告がある。HAMAMURA et al. (1976) はUCR系統では32.5℃(恒温条件)で高温障害を認めている。また、40℃2時間処理で卵および幼虫の発育率が極端に低下することを報告している。実際のハウス栽培では、気温がかなりの高さに達することが予測されること、また、一般農家のハウス放飼試験でDAS系統の増殖が阻害されたことから、高温によるDAS系統の増殖への悪影響について、以下の条件で検討した。

(1) 高温変温条件が増殖におよぼす影響

方法

DF法を用い原則として、15℃で餌ナミハダニを充分に与えて継代飼育したチリカブリダニ雌成虫

を、ナミハダニ寄生葉に接種し以下の条件に移し24時間毎にチリカブリダニの生存、産卵および生育状況を調査した。

- ①31℃:22時間+36℃:2時間, 31℃:20時間+36℃:4時間
- ②29℃:19時間+42℃:5時間, 29℃:20時間+42℃:4時間
- ③25℃:14時間+31℃:6時間+36℃:4時間で連続飼育
- ④25℃:14時間+31℃:6時間+36℃:4時間条件1, 2, 3日処理; その後28℃:24時間
- ⑤26℃:12時間+31℃:12時間
- ⑥26℃:21時間+42℃:3時間, 26℃:22時間+42℃:2時間

結果

①31℃:22時間+36℃:2時間, 31℃:20時間+36℃:4時間処理結果

31℃:22時間+36℃:2時間, 31℃:20時間+36℃:4時間飼育では、雌成虫の生存率は高かつたが新成虫はまったく出現しなかつた。また、卵および幼若虫の死亡は著しく高かつた(第27表)。6日目から30℃以下で飼育したところ、36℃2時間処理は生き残った雌に産卵が認められ増殖したが、4時間処理では全く産卵が認められなかつた。

②29℃:19時間+42℃:5時間, 29℃:20時間+42℃:4時間処理結果

29℃:19時間+42℃:5時間では、処理1日後の雌成虫の生存率が35%と低く、6日後に新成虫は出現せず8日後にようやく認められた。また、卵幼若虫の死亡も高かつた。しかし、29℃:19時間+42℃:4時間では、処理1日後の雌成虫の生存率は71%であり、4日後から新成虫が出現し、42℃5時間処理と比較するとかなりよい増殖を示した(第28表)。

第27表 高温処理飼育結果(5日後雌1頭当り増殖数; 処理以外は31℃で飼育)

処理温度	5日後生育数	
	2時間(平均気温31.4℃)	4時間(平均気温31.8℃)
36℃	卵0.05, 若虫0.2 雌0.76 (1.01)	卵0.06, 幼若虫0.06 雌0.66 (0.78) *
1日後雌生存率	100%	90%

* () 内は全stageの合計

第28表 高温処理飼育結果（雌1頭当たり増殖数；処理以外は29℃で飼育）

処理温度	5時間（平均気温31.7℃）		4時間（平均気温31.2℃）	
	6日後生育数		8日後生育数	
42℃	卵 7.4, 幼若虫 3.4	卵 4.5, 幼若虫 3.8	卵 3.0, 幼若虫 2.2	
	雌 1, 雄 0.5(12.3)	雌 2.5, 雄 0.5(11.7)	雌 5.6, 雄 3.0(13.8) *	
1日後雌生存率	35%		67%	

*（ ）内は全stageの合計

第29表 25℃14時間+31℃6時間+36℃4時間条件（処理以外は28℃で飼育）

処理日数	5日後生育数（雌1頭当たり）			
	連続（平均気温28.3℃）	3日（28.2℃）	2日（28.1℃）	1日（28.0℃）
	卵0.4, 幼若虫2.2	卵4.2, 幼若虫3.0	卵8.8, 幼若虫6.0	卵7.5, 幼若虫3.3
	雌4.0, 雄1.4(7.9)	雌2.3, 雄1.2(10.7)	雌2.2, 雄0.7(17.7)	雌1.8, 雄1.0(13.6)
雌生存率 (1, 2, 3, 4日後)	75, 40, 5, 5%	88, 62, 46, 28%	47, 47, 40, 33%	53, 40, 40, 40%

*（ ）内は全stageの合計

第30表 25℃14時間+31℃6時間+36℃4時間条件（処理以外は28℃で飼育）

処理日数	6日後生育数（雌1頭当たり）			
	連続（平均気温28.3℃）	3日（28.2℃）	2日（28.1℃）	1日（28.0℃）
	卵 0, 幼若虫0.1	卵3.9, 幼若虫3.3	卵8.6, 幼若虫6.7	卵8.0, 幼若虫6.7
	雌3.0, 雄0.6(3.7)	雌3.9, 雄2.3(13.4)	雌4.6, 雄1.7(21.6)	雌3.7, 雄1.0(19.4)
雌生存率 (1, 2, 3, 4日後)	75, 40, 5, 5%	88, 62, 46, 28%	47, 47, 40, 33%	53, 40, 40, 40%

*（ ）内は全stageの合計

③25℃:14時間+31℃:6時間+36℃:4時間で連続飼育結果

31℃:6時間, 36℃:4時間(31℃以上計10時間)処理を連続すると雌の死亡が高く, 5日後にはすべて死亡した。また, 4日目から新成虫が出現したが6日目になっても産卵は少なく死亡率が高かった。

④25℃:14時間+31℃:6時間+36℃:4時間条件1, 2, 3日処理; その後28℃:24時間処理結果

一方31℃:6時間, 36℃:4時間(31℃以上計10時間)の1日, 2日処理では雌成虫の死亡率は高かったものの, 生き残った雌の増殖に悪影響は少なく, 6日目には順調な増殖を示した(第29, 30表)。

⑤26℃:12時間+31℃:12時間処理試験結果

26℃:12時間+31℃:12時間処理では雌の死亡率も低く, 増殖に全く悪影響が認められなかった。これに対し31℃24時間処理の増殖はやや悪く, 卵の死亡率が高かった(第31表)。

⑥26℃:21時間+42℃:3時間, 26℃:22時間+42℃:2時間処理試験結果

26℃:22時間+42℃:2時間および26℃:21時間+42℃:3時間処理では雌成虫の死亡率が低く, まったく悪影響は認められずに5日目に新成虫が出現し, 26℃:12時間+31℃:12時間飼育と同様の増殖をした(第32表)。

第31表 高温処理飼育結果 (6日後雌1頭当り増殖数; 処理以外は26℃で飼育)

処理 温度	6 日 後 生 育 数	
	12時間 (平均気温28.5℃)	24時間 (平均気温31.0℃)
31℃	卵 7.8, 幼若虫 10.6 雌 3.2, 雄 1.5(23.1)	卵 5.6, 幼若虫 7.0 雌+雄 4.7(17.3)*
1日後 雌生存率	80%	90%

* () 内は全stageの合計

第32表 高温処理飼育結果 (6日後雌1頭当り増殖数; 処理以外は26℃で飼育)

処理 温度	6 日 後 生 育 数		
	2時間 (平均気温27.3℃)	3時間 (平均気温28.0℃)	12時間 (平均気温28.5℃)
42℃	卵 6.9, 幼若虫 9.2 雌 3.7, 雄 1.6(21.4)	卵 6.8, 幼若虫 11.5 雌 2.9, 雄 0.8(22.0)*	
31℃			卵 7.8, 幼若虫 10.6 雌 3.2, 雄 1.5(23.1)
1日後 雌生存率	85%	90%	80%

* () 内は全stageの合計

(2)高温飼育が増殖におよぼす影響**方 法**

リーフディスク法を用い原則として、15℃で餌ナミハダニを十分に与え継代飼育したチリカブリダニ雌成虫を、ナミハダニ寄生葉に接種し以下の条件下に移し、24時間毎にチリカブリダニの生存、産卵および生育状況を調査した。

⑦31℃:24時間; 試験を2回行った。2回目には1回目処理個体から増殖(20℃:12時間+25℃:12時間)したものを供試した。

⑧33℃:24時間; 試験を3回行った。2, 3回目には各々前回の処理個体から増殖(20℃:12時間+25℃:12時間)したものを供試した。

結 果**⑦31℃:24時間処理結果**

15℃で継代飼育した個体群を31℃で飼育したところ、5日後に新成虫が出現したが、卵の死亡率が大きく増殖は十分でなかった。これらを20~25℃で8日間飼育した個体群を用い、再度処理をしたところ、1回目と比較し卵の死亡率は低くなり、かなりよい増殖を示した(第33表)。

⑧33℃:24時間処理結果

33℃の連続飼育では、試験を繰り返すことで(試験2は試験1の生存個体)増殖はよくなった(試験1~試験3)。1日後の雌成虫の生存率はどの試験でも約半分と低かった。しかし、生存した雌成虫は十分な増殖を示し5日後には新成虫が出現した。試験1では生き残った雌の産卵が4~5日後にほとんど認められなくなったために、増殖がやや低かった(第34表)。

第33表 高温処理飼育結果 (雌1頭当り増殖数; 31℃で飼育)

	5 日 後 生 育 数	
	第1回試験	第2回試験
	卵 0.8, 幼若虫 0.7 雌+雄 3.1(4.6)	卵 6.9, 幼若虫 5.7 雌+雄 1.7(14.3)*
1日後 雌生存率	100%	100%

* () 内は全stageの合計

第34表 高温処理飼育結果（雌1頭当り増殖数；33℃で飼育）

6 日 後 生 育 数			
試験 1	試験 2	試験 3	
卵 3.0, 幼若虫 0.6	卵 7.0, 幼若虫 3.7	卵 8.0, 幼若虫 2.6	
雌 4.8, 雄 2.4(10.8)	雌 2.0, 雄 1.7(14.4)	雌 3.6, 雄 2.0(16.2) *	
1 日後 雌生存率	50%	60%	50%

* () 内は全stageの合計

第35表 ハウス気温（33℃をこえた日；30℃，33℃，35℃をこえた時間）

1986年農試ハウス	1987年農試ハウス	1988年農試ハウス	1990年現地Bハウス
月日30℃<-33℃<	月日30℃<-33℃<	月日30℃<-33℃<	月日30℃<-33℃<
7月6日 5-1	6月21日 5-3	6月22日 3-1	6月29日 6-4 (3)
8月1日 8-1	22日 6-3	23日 6-2	30日 4-2 (1)
13日 2-1	23日 6-3	25日 4-1	7月1日 10-7 (5)
	24日 8-5	26日 3-1	2日 10-8 (6)
	26日 7-3	29日 5-1	6日 9-5 (4)
	7月9日 4-1	7月1日 7-3	11日 9-4 (2)
	15日 3-1	16日 3-2 (2)	13日 10-7 (5)
	19日 7-5 (5) *	17日 4-1	15日 9-4 (2)
	26日 9-5	8月3日 8-4	16日 7-6 (2)
	27日 7-4 (1)	4日 9-6 (4)	17日 9-4 (3)
	28日 9-4	5日 4-1	19日 9-7 (2)
	8月14日 5-1	6日 3-1	20日 10-7 (5)
		7日 9-5 (1)	23日 9-8 (7)
			24日 10-6 (3)
			31日 9-4
			8月2日 11-9 (8)
			3日 11-8 (4)
			4日 10-7 (4)
			5日 11-9 (3)
7月平均気温17.6℃	7月平均気温20.1℃	7月平均気温17.6℃	7月平均気温19.8℃ **
平均最高気温21.5℃	平均最高気温24.1℃	平均最高気温22.3℃	平均最高気温24.0℃
日照時間168.7	日照時間178.2	日照時間227.3	日照時間209.7

*35℃をこえた時間，**試験場観測値

(3) まとめ

浜村・真梶(1977)はUCR系統チリカブリダニで発育試験を行い、卵から成虫までの最短は30℃に

おける3.5日で、35℃では成虫まで発育せず、32.5℃でも高温障害を認めている。また、一時的な高温による孵化、発育への悪影響が40℃：2時間処理(処

理以外は25℃)で認められ、35℃、37.5℃の24、6時間処理では認められなかったと報告している。

薬剤抵抗性チリカブリダニは31℃の1回目飼育で増殖が悪かった。しかし、1回目で増殖した個体群で試験した2回目はかなり増殖がよくなった。33℃でも同様の傾向が認められたが、供試した雌成虫の生存率が低く、増殖も31℃2回目飼育より悪かった。これには高温による卵の高い死亡率が大きく影響している。したがって31℃以上の高温が連続する条件下では増殖に適さないといえる。

実際のチリカブリダニの利用場面としての農業施設内は変温条件であり、一時的な高温による影響が問題となる。今回の調査では、26℃飼育22時間・21時間+42℃飼育2・3時間処理をしても増殖への悪影響はほとんど認められなかった。また、29℃飼育20時間+42℃飼育4時間処理で雌成虫の生存率はやや低かったものの、増殖に大きな悪影響はなかった。しかし、29℃飼育19時間+42℃飼育5時間処理は雌成虫の生存率が低く、卵、幼若虫の死亡も多く増殖は低く抑えられた。さらに、31℃飼育22時間・20時間+36℃飼育2・4時間処理でもほとんど増殖を示さず、4時間処理ではその後飼育温度を低くしても個体数の回復が認められなかった。

31℃:6時間飼育+36℃:4時間飼育(31℃以上10時間)処理を連続すると雌の死亡率が高く、5日後にはすべて死亡した。また、4日目から新成虫が出現したものの死亡率が高かった。しかし、上記処理が1日、2日間だけの場合には成虫の死亡率は高かったが、生き残った雌の25℃での増殖に悪影響はなかった。

DOSSE (1958), BREVENBOER and DOSSE (1962) は35℃でチリカブリダニが発育したと報告しているが、松崎 (1977) はハウス内ナスにおけるUCR系統の放飼試験で、7月中旬の放飼個体群はまったく増殖しなかったことを報告し、この原因は平均気温が30℃を越えたための高温障害によると考察している。また、逸見 (1977) のガラス室ブドウの試験でも、8月放飼では8日後にチリカブリダニが全く確認されなかったと報告している。この時の最高気温は37.5℃に達しており、

高温障害があったためとも考えられる。以上のことから、UCR系統、DAS系統チリカブリダニとも31℃以上の高温が連続する条件下では増殖に適さず、変温条件下でも、少なくとも33℃以上の高温が4時間以上連続すると増殖に悪影響があることが明かになった。実際の利用にあたってこのような栽培条件下における使用は避けるか、温度管理をしてチリカブリダニ適用可能範囲に温度条件を合わせる必要がある。

1) 悪影響があった温度条件

①31℃:22時間+36℃:2時間

②31℃:20時間+36℃:4時間

③29℃:19時間+42℃:5時間

④25℃:14時間+31℃:6時間+36℃:4時間で連続飼育

悪影響がわずかに認められた温度条件

⑤29℃:20時間+42℃:4時間

⑥25℃:14時間+31℃:6時間+36℃:4時間条件1, 2, 3日処理; その後28℃:24時間

⑦31℃:24時間

⑧33℃:24時間

ところで、これまでにチリカブリダニによる防除試験を実施したハウス内の気温を第35表に示した。農試ハウスの試験はいずれもナミハダニを防除できたが、1990年の農家ハウスでは防除できなかった。ハウス内気温はもちろん各年の気象条件に左右されるが、なかでも日最高気温、日照時間の影響が大きいことが推測される。データをみると1990年は夏期の気温がかなり高く、それがチリカブリダニによるハダニ防除失敗の大きな原因であると判断される。

また、農試ハウスは両端に入口があり、サイドとともに入口も開けてハウス内気温の調節をしていたが、農家のハウスは規模が大きく、入口が1ヶ所であることなどから換気が十分にできずハウス内温度が高くなった。とくに、30℃を越える時間、33℃を越える時間、35℃を越える時間が長く高温による増殖への悪影響があったことは明らかである。

第7章 他作物での薬剤抵抗性チリカブリダニ利用可能性

1. イチゴにおけるナミハダニの変動要因

イチゴのハダニによる被害推移と収量との関係を明かにし、チリカブリダニ利用のための基礎資料とする。

方法

ハウス内にナミハダニの寄生密度の異なる試験区をもうけ、寄生量、小葉数、収量を調査した。

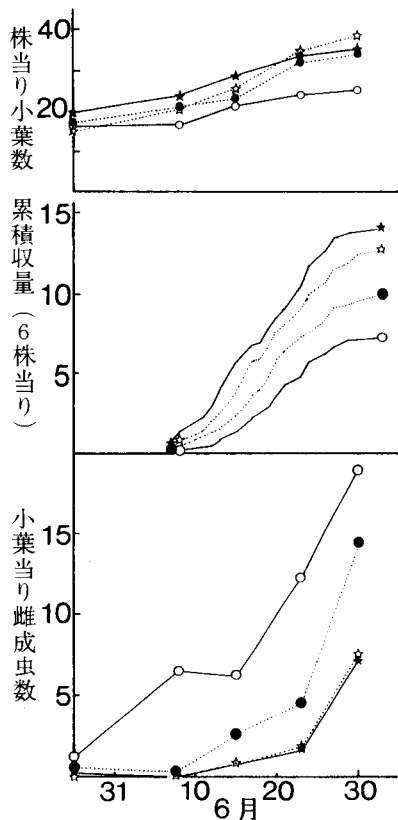
(A):ナミハダニ雌成虫1.23頭/小葉当り(20♀/株)

(B):ナミハダニ雌成虫0.59頭/小葉当り(10♀/株)

(C):ナミハダニ雌成虫0.26頭/小葉当り(5♀/株)

(D):ナミハダニ雌成虫0.07頭/小葉当り(1♀/株)

結果および考察



第33図 ナミハダニ寄生量とイチゴ葉数、収量の推移、—○—;株当り20雌成虫寄生区、—●—;株当り10雌成虫寄生区、—☆—;株当り5雌成虫寄生区、—★—;株当り1雌成虫寄生区

第33図にナミハダニの寄生および株当り小葉数の推移と累積収量を示した。寄生密度が最も高かった(A)区の収量は、最も少なかった(D)区の54%で、株当りの小葉数も少なく経過した。(B)区は6月中旬に小葉当りナミハダニ雌成虫数が2頭を越え、小葉数も少なく収量は(D)区の78%であった。初期の密度が最も低かった(C)区の収量は、(D)区の106%と高くなった。これは区全体の小葉数が初めから多かったためと推定される。(C)区、(D)区とも、6月24日頃に1小葉当りの雌成虫が2頭を越えたが、収穫後期であったため収量に大きな影響はなかった。他府県の調査によると、静岡県農試の結果から5%減収密度は小葉当り1~3頭、栃木農試では1.5頭とされており(沢木・佐藤, 1986)、今回の結果はこれにほぼ一致した。イチゴではダニによる食痕がキュウリほど明瞭に現れないため、被害程度を指数化しても必ずしも正確にハダニ個体数を反映していると考えられない。また調査に経験が必要になることなどから、簡便で正確な方法とは言えない。井上(1988)も高温期のイチゴは葉肉が厚く食痕が現れにくいことを報告し被害指数を求めても、被害葉率と比較して適合性は高まらず、被害葉率による密度推定をすすめている(井上・杉浦, 1986)。さらに、実際の栽培においてナミハダニはある株に集中分布して増殖し、いわゆる“坪”を形成する。これらを発見することで部分防除も可能であるとしている。このような作物においてチリカブリダニを利用するには、発生状況を予測して予防的に放飼するようなシステムの確立が必要であろう。

2. メロンにおける増殖ケージでのチリカブリダニ放飼試験

メロン栽培で一般に使用される殺菌剤、殺虫剤を併用し、増殖ケージでチリカブリダニを放飼してハダニの防除効果を検討する。

方法

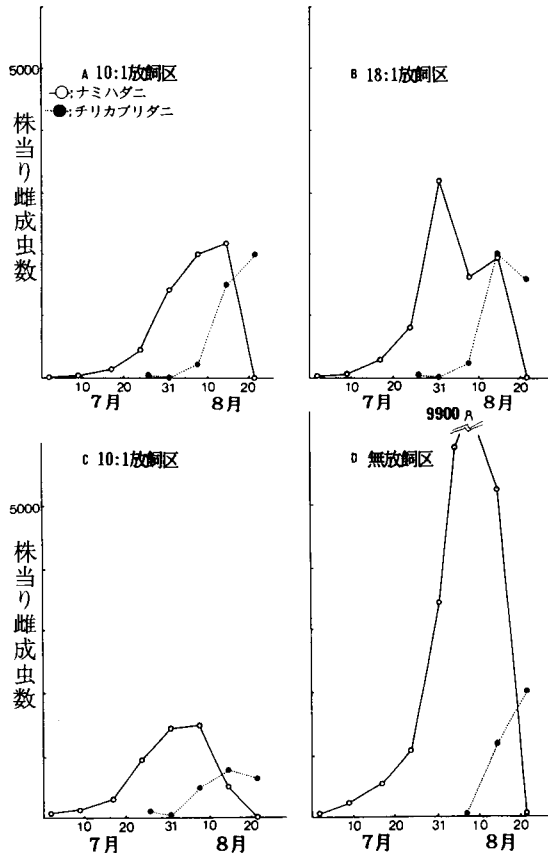
5.4×20mのハウスにメロンを畦間1.5m, 株間1mで1989年6月13日に定植し, 2本仕立てとし第36表に示した条件で試験を実施した。

自然発生したナミハダニを調査し寄生数を調整して, 以下のように試験区を設定した。

第36表 薬剤散布状況

殺菌剤散布	
①TPN×600	7月2日, 8月8日
②ポリカーバメート×500	7月10日
③トリアジメホン×2,000	7月2日, 24日, 31日
④トリフルミゾール×3,000	6月26日
⑤プロシミドン×2,000	6月26日
⑥フェナリモル×10,000	8月8日
殺虫剤	
①アプロフェジン×1,000	7月24日, 8月2日
②MEP×1,000	6月26日, 7月10日, 24日, 8月2日, 8日, 16日

- (A) : 7月2日にメロンのつる1本だけの寄生ナミハダニ雌成虫数を15頭にし, 7月26日(7月24日雌成虫450頭寄生)約50頭のチリカブリダニ雌成虫入りケージを接種した。放飼比率=10:1
- (B) : 7月2日にメロン株当たり寄生ナミハダニ雌成虫数を20頭にし, 7月26日(7月24日雌成虫790頭寄生)に約50頭のチリカブリダニ雌成虫入りケージを接種した。放飼比率=18:1
- (C) : 7月2日にメロン株当たり寄生ナミハダニ雌成虫数を30頭にし, 7月26日(7月24日雌成虫950頭寄生)に, 約100頭のチリカブリダニ雌成虫入りケージを接種した。放飼比率=10:1
- (D) : 7月2日にメロン株当たり寄生ナミハダニ雌成虫数を30頭にした。チリカブリダニ無放飼。



第34図 メロンでのチリカブリダニ放飼による防除試験, -○-;ナミハダニ, ...●...;チリカブリダニ。

結 果

無放飼区のナミハダニ雌成虫数は、最大で9,900頭(8月7日)に達した。しかし、その後は隣接した(A),(B),(C)区から分散してきたチリカブリダニが侵入し、8月21日には激減した。(A)区ではチリカブリダニの増殖はやや遅かったが、8月10日以降急増しナミハダニを完全に抑えた。10:1の比率になるように放飼した(C)区では、ナミハダニの寄生数が多かったにもかかわらず十分に抑えた。この違いは、チリカブリダニの放飼にあたってケージ内の雌成虫数だけを数えたため、それ以外のステージ(卵,幼虫,若虫)、特に若虫の個体数が(C)区のケージで多かったものと推定される。(B)区は放飼比率が低かったため、ナミハダニの寄生数

は3000頭を越えた。しかし、8月10日以降にチリカブリダニが増加したため、ナミハダニは完全に抑えられた(第34図)。通常の薬剤散布条件下のメロンにおけるナミハダニの防除も、チリカブリダニによって十分に可能であることがわかった。なお、この試験では無放飼区への急速なチリカブリダニの侵入がみられ、はからずもチリカブリダニの分散能力が極めて高いことが再確認された。

なお、メロンのダニによる食痕もイチゴと同様に葉表に明瞭に現れないため、被害の指数化は困難であった。今後、予防的放飼法の導入もしくは防除時期の目安にするための簡便な密度推定法の開発が必要と考えられる。

第8章 施設野菜におけるハダニ防除のシミュレーションモデルの作成および適合性の検討

害虫の発生パターン、生物学的および化学的防除のプロセスや効果を知るために、近年コンピューターを用いたシステムズシミュレーションの手法が導入されるようになった。(DOVER et al., 1979; FURUHASHI et al., 1981; 斎藤ら, 1986)。システムズシミュレーションによって予測性の高いシステムズモデルを構築するプロセスは、同時にハダニとカブリダニの諸生物学的特性についての基本データの集積と統合という作業でもあり、その作業自体が両者の関係の詳細を明らかにするという効果をもっている。また、ハダニとカブリダニの関係が、ここで完成したモデルによって再現できることになれば、微妙なためになかなか実態のつかみにくい防除プロセスや、その効果の表われる時期等について予測を立てて明示することができ、防除の実用上にも役立つと考えられる。

また、薬剤と天敵、薬剤とハダニ、天敵とハダニといった複雑な相互作用系を調べる場合、その組み合わせは無数に考えられ、そのためにはかなりの労力と時間を要するため、すべてを調査することは不可能である。このような目的のために天敵とハダニの相互作用系を記述し、その結果を予測できるモデルの開発が急務であると考えた。

1. 薬剤散布環境下におけるチリカブリダニによるハダニ防除のシミュレーション

薬剤散布環境下で実施したハウスにおける防除試験結果に適合するシミュレーションモデルを作成し、薬剤散布時期、DAS系統チリカブリダニ放飼時期、放飼比率など、多くの組合せについてモデル上で検討を可能にし、最も効果的な利用方法を作成する。

方法

シミュレーションにはパーソナルコンピューター (NEC9801) を使い、プログラム言語はBASICによった。システムズモデルは斎藤ら(1986)が作成した常微分連立方程式型のモデルを用いた(モデル

の基本形式はFURUHASHI et al., 1981のミカンハダニのモデルと同様である)。このモデルでは、ハダニおよびカブリダニを各々7ステージ(卵~産卵終了雌)に分け、これを状態変量とした。それぞれのステージの発育および雌の産卵は、ハダニは基本的に温度に依存させ、カブリダニは捕食ハダニ数と温度の双方に依存させてある。

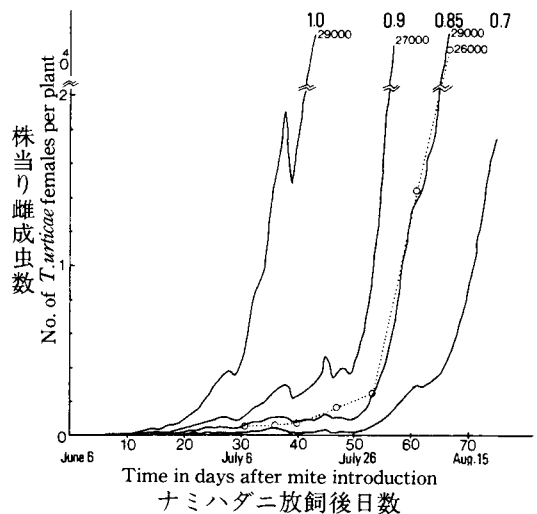
また、ハダニおよびカブリダニの農薬による影響は、その効果が速効的であることから微分方程式内に組み込まず、各散布日の状態変量の初期値に直接作用させることとした。

ハダニとカブリダニの温度と発育・産卵との関係およびカブリダニの捕食数と発育・温度の関係は、従来の研究データを用いた(主な出典は結果で述べる)。

なお、システムズモデルの基本骨格は北海道大学の斎藤 裕博士の協力によって作製されたものである。モデルの詳細については本論文では煩雑となるので省略し(斎藤ら, 1986参照)、シミュレーションの過程と結果だけを報告することとした。

結果

①平均気温の修正

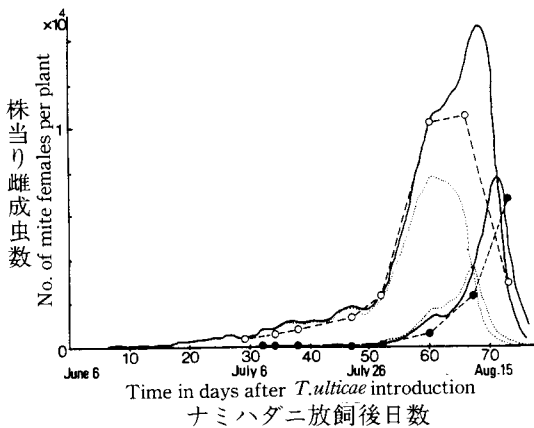


第35図 平均気温の修正による実測値との適合

斎藤ら(1986)のモデルに1986年のハウス試験の(C)区(ナミハダニだけを接種)の初期条件, 平均気温および農薬の影響を与えてシミュレートした(第35図)。その結果実測データ(○)と比べてナミハダニの増加速度がきわめて速く, このままではこのモデルが使用できないことがわかった。

この原因は大きくわけて二つ考えられる。一つは, モデルに組み込まれているハダニ・カブリダニの発育速度を決める率変数(rate variable)の式に問題があることが考えられる。もう一つは平均気温が, 実際にハダニの生息しているキュウリ葉面と異なっていることが考えられる。この問題については後で述べる。ここでは妥当な改良の一つと判断された以下の仮定に従うことにした。すなわち, ハウス内の温度と葉面温度に差があったとして, 平均気温のデータを修正する。実測値に0.85の係数をかけた値がよく一致した(第35図)。これらの詳細については, 以下でさらに検討するが, ここでは仮にこの係数を用いておく。

②放飼チリカブリダニ定着率の修正



第36図 放飼チリカブリダニ定着率の修正による実測値との適合,

—○—; ナミハダニ実測値, —●—; チリカブリダニ実測値, ……; 定着率100%, —; 定着率80%。

第36図に示したように, 放飼無散布区におけるハダニ, チリカブリダニの変動パターンを前述の修正した平均気温でシミュレートしたところ, ハダニ, カブリダニともにピークがかなり早くなっ

た。これは, カブリダニの効果が高すぎたということで, 不一致の原因として最も考えられるのは, 放飼したカブリダニが多すぎた場合である。すなわち, ハウス内で直接筆で放飼したカブリダニの定着率を考慮する必要がある。定着率を80%としてシミュレートすると, ハダニ, カブリダニともほぼ実測値に近似する理論値が得られた(第36図)。

③実測値とシミュレーションによる理論値の比較

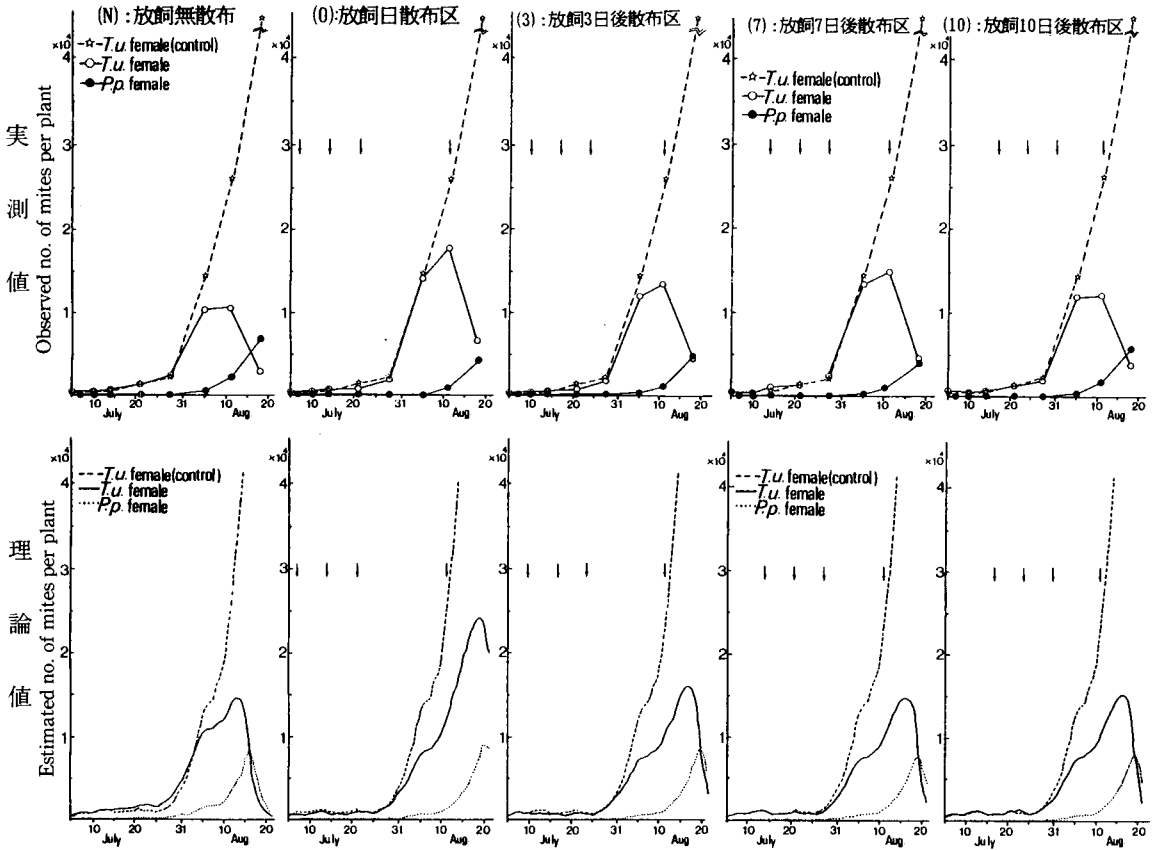
前記の2点の修正を行い, 1986年の試験の(N), (0), (3), (7), (10)区についてそれぞれの初期条件, 薬剤散布条件でシミュレートした結果が第37図である。どの区についても, 若干ハダニとカブリダニの増殖が遅れ気味であるが, ピークの高さ, パターン, 防除時期等については良い一致が認められ, モデルの適正さが示唆された。これによって, 防除試験実施上の問題点であるDASシステムの放飼のタイミング, 放飼比率, 薬剤散布時期等についても, モデル上での検討ができるため, より効果的に実験計画を作成することが可能になった。

2. 薬剤散布環境下におけるチリカブリダニによる防除におけるキュウリの被害推移のシミュレーション

前述したモデルに, さらにキュウリの葉の被害指数をシミュレートできるようにモデルを改善し, 被害指数によって放飼時期・放飼比率を予測できるモデルを開発し, さらに, キュウリ裏面(ハダニ寄生部位)の気温とハウス内気温の差を明確にすることを試みた。

方法

シミュレーションで開発したハダニ・カブリダニのシステムズモデルを基本とし, そこに植物の生育量に関する状態変数を加えたものを作成改良した。なお本年の調査で, キュウリの被害指数LDI=2.0前後からナミハダニがかなり激しく分散することが観察されたため, モデルでもLDI=2.0から一定の割合で分散するようにした。さらに, 前項で問題となった温度補正の仮定を裏付けるために平均気温測定器を用い, キュウリ葉裏の気温とハウ



第37図 第37図 実測値とシミュレーションによる理論値の比較,
 …☆…; ナミハダニ (C) 区, -○-; ナミハダニ, -●-; チリカブリダニ.

ス内気温を測定した。

また、ハウス内のキュウリを定期的に抜き取り葉面積を葉面積計で計測し、キュウリの生育推移をモデルに組み込む基礎データとした。

結果

①キュウリ裏面の葉面温度

平均気温測定器によるキュウリ裏面の葉面温度は、全調査期間を通してハウス内気温より低く(0~1.3℃)、平均では0.6℃低かった。また、毛髮式自記温湿度計と比較すると1.1℃低かった。したがって以後のシミュレーションにはこの葉面温度を用いることとした。

②平均気温の修正

前項で示したモデルでは、ハウス内平均気温に0.8をかけることでよい一致を示したが、ここでは1987年のハウス試験(C)区(ナミハダニだけを接種)

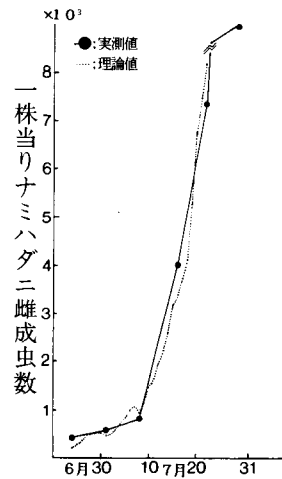


図38 葉面(葉裏)平均温度への修正による実測値との適合, -●-実測値, -----; 理論値

の初期条件，葉裏の平均気温および農薬の影響を与えて改めてシミュレートしてみた。その結果，理論値は実測データと比べてナミハダニの増加速度がかなり速く，葉裏の平均気温の実測値に0.875の係数をかけると比較的よい一致をみることがわかった(第38図)。それでも，後半の適合性がやや悪く，ナミハダニ個体数は逆に理論値の方が多めであった。この改良によって温度修正はかなり少なくなったが，まだ葉裏の平均気温の12.5%の減少修正が必要であった。したがって更に別の不適合の原因を探る必要があった。

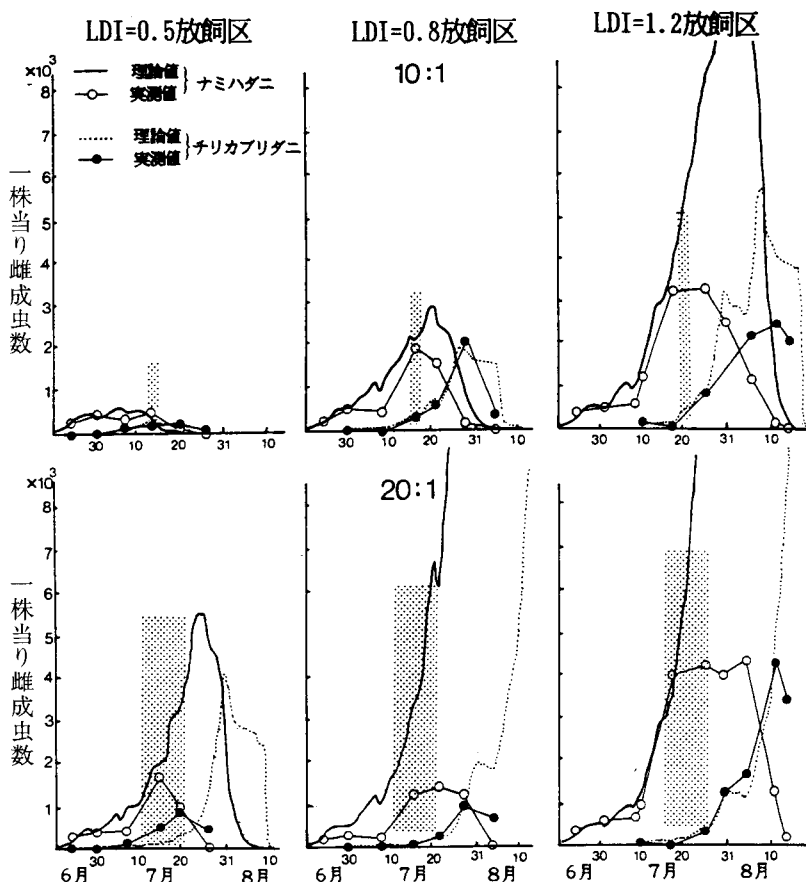
後述するよう，この修正はキュウリでのナミハダニの発育に問題があることが判明したが，以下のシミュレーションではとりあえずこの係数を用いた。しかし，チリカブリダニのキュウリへの定着率の修正は必要としなくなった。

③実測値とシミュレーションによる理論値の比較 (10:1 放飼区)

(0.5)，(0.8)放飼区は実測値とよく一致した。(1.2)放飼区では7月中旬まではほぼ一致しているが，7月下旬以降の適合性がよくなかった。

(20:1 放飼区)

いずれの放飼区とも，ナミハダニ，チリカブリダニのピークは実測値が低く，ピークも早くなっている。この原因として，試験区の配置により(第13図参照)，ほぼ同時期に放飼した10:1の区においてチリカブリダニがナミハダニを早く抑えてしまったため餌不足となり，(0.5)，(0.8)放飼区では7月10日前後，(1.2)放飼区では7月20日前後(図の陰で示した時期)から20:1の区へのチリカブリダニの侵入があったためと考えられる(第39図)。

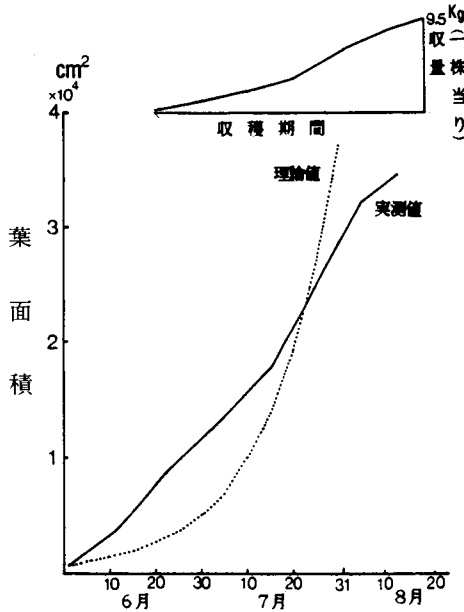


第39図 実測値とシミュレーションによる理論値の比較 (10:1, 20:1放飼区)

③キュウリ被害指数のシミュレーション

6月3日の定植期から、おおむね10日毎にキュウリの生育調査を実施し、葉面積を測定した。こ

れをもとに第40図に示した手順で、キュウリの生育量とハダニ被害量をモデルに組み込み被害指数をシミュレートした。



葉の被害指数のシミュレーションの手順

1. 植物体の生長のモデル化

$$\frac{d(\text{葉の面積})}{d(\text{時間 } t)} = \text{生長速度} \times \text{現在の葉の面積}$$

2. ハダニによる加害量のモデルへの組み込み

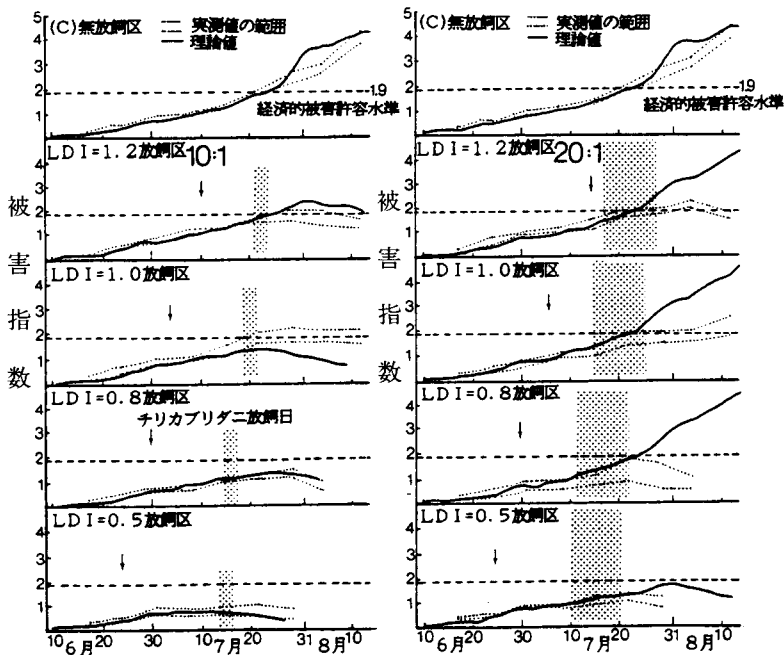
$$\frac{d(\text{葉の面積})}{d(\text{時間 } t)} = \text{生長速度} \times \text{現在の葉の面積} - (\text{ハダニの加害面積} \times \text{ハダニ数})$$

3. 葉の被害指数の計算

実測値に近似する式として以下の式が導かれた。

$$\text{理論被害指数} = \ln \left\{ \left(\frac{\text{枯死部面積}}{\text{現在生葉面積}} \right) \times 30 + 1 \right\}$$

第40図 キュウリ生育モデルの理論値と実測値 —；実測値 ----；理論値



第41図 被害指数の実測値とシミュレーションによる理論値の比較

④被害指数の実測値とシミュレーションによる理論値の比較：(LDI=10:1放飼区)

(LDI=1.0), (LDI=1.2)放飼区で若干ずれているが、全般的には実測値とよく一致した(第41図)。なお、(LDI=1.0)放飼区でも被害指数の理論値は1.9を越えないが、1988年の調査結果に基づき実際の利用に当たっての危険性等を考慮すると第5章での結論と同様に(LDI=0.5), (LDI=0.8)放飼区で十分な防除効果と収量が期待されると考えられる。

⑤被害指数の実測値とシミュレーションによる理論値の比較：(LDI=20:1放飼区)

同様にシミュレートした結果を第41図に示した。いずれも実測値が理論値より低かった。このうち(LDI=0.5)放飼区だけが理論値でも被害指数1.9を越えなかった。しかし、(0.8), (1.0), (1.2)放飼区とも被害指数は理論値で1.9を大きく越えている。この差は、前章でも述べたようにチリカブリダニの侵入があったため、実際には試験が完全に実施できなかったことを示すものといえよう。

3. ナミハダニのキュウリでの生活史

チリカブリダニとナミハダニの変動に適合するシミュレーションモデルを作成したが、実際に測定したハウス内平均気温あるいは葉面平均気温ではナミハダニの増加速度が早すぎるため、実測値にそれぞれ0.85, 0.875の係数をかける必要があった。この原因として最後に残ったのは、キュウリでのナミハダニの生育が悪い(モデルではSAITO, 1979のインゲンでの生育データを使用)という可能性であった。そこで、シミュレーションの精度をさらにあげるためには、この問題の解決が不可欠である。以下にキュウリでのナミハダニの増殖率

についての検討をおこなった。

方法

試験はすべて温度25℃の恒温室で行った。飼育はDF法を用い、バットに水をはりスポンジにキュウリ切り葉を置き、その上にナミハダニを接種して行った。なお、試験開始前に平均気温測定器を用いて葉の表面温度の測定を繰り返し、恒温室の温度を調整することで正確に25℃になるように設定した。24時間内に産卵させた1卵を別々のキュウリ葉に移し発育状況を1日1回、同時刻に調査した。産卵の調査は、第2若虫が静止期に入った個体に雄成虫を入れて、雌が成虫化直後に交尾できるようにした。産卵開始後は、5日毎に雌成虫を新しいキュウリ葉に移動させ、毎日の産卵数、卵の孵化率等を調査した。

結果

発育期間は雌雄とも約12日、産卵前期間は1.06日、産卵期間は11.65日、後産卵期間は1.59日、総産卵数は平均51.94個、1日当り産卵数は4.46個であった。SAITŌ(1979)のインゲンにおける調査結果と比較し、発育期間は約2日長く、逆に産卵期間は5日短いため総産卵数は約半分であった。第38表および第42図から、内的自然増加率 $r_m=0.1959/\text{日}$ 、純繁殖率 $R_0=24.1307$ 、平均世代期間 $T=16.254$ であった。初期のシミュレーションモデルにおけるナミハダニの発育は、SAITŌ(1979)のインゲンのデータを用いたが、キュウリでのナミハダニの発育がかなり遅いことが明らかになったため、このデータをもとにして、すべての温度条件でのナミハダニの発育速度のデータを補正してモデルを修正することとした。すでに述べた(53頁)ように、温度修正係数0.875では、チリカブリダニの定着率補正を必要としなかったが、今度は温度修正係数0.95(葉面温度修正のみ)としたため、チリカブリダ

第37表 キュウリでのナミハダニの発育日数

性別	供試個体数	卵期	幼虫	第1若虫	第2若虫	合計	参考**
雌	25	5.54±1.31*	2.10±0.56	2.02±0.44	2.48±0.77	12.14±1.96	9.86
雄	22	5.83±0.94	2.30±0.90	2.18±0.72	2.11±0.65	12.42±1.68	9.54

*平均±S. D., **SAITŌ, 1979のインゲンでのデータ；第38, 39表, 第42図も同じ。

第38表 雌成虫期の平均日数

	供試個体数	平均±S.D.	参考
前産卵期間	22	1.06±0.43	1.07
産卵期間	17	11.65±3.94	16.71
後産卵期間	17	1.59±1.33	1.65
生存期間	17	14.29±3.78	19.41

第39表 雌成虫の産卵

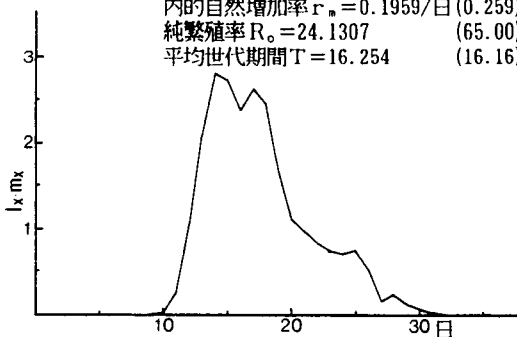
	供試個体数	平均±S.D.	参考
全産卵数	17	51.94±20.59	109.76
1日当り産卵数	17	4.46± 3.37	6.62

第40表キュウリにおけるナミハダニ生命表(25℃)

X	l_x	m_x	$l_x m_x$
10	0.908	0.023	0.0209
11	0.908	0.258	0.2343
12	0.908	1.155	1.0487
13	0.908	2.290	2.0793
14	0.908	3.065	2.7830
15	0.908	2.990	2.7149
16	0.908	2.600	2.3608
17	0.870	3.000	2.6100
18	0.832	2.930	2.4378
19	0.784	2.100	1.6464
20	0.649	1.850	1.2007
21	0.476	2.010	0.9568
22	0.423	1.950	0.8249
23	0.423	1.730	0.7318
24	0.423	1.630	0.6895
25	0.389	1.910	0.7430
26	0.346	1.470	0.5086
27	0.303	0.483	0.1467
28	0.173	1.230	0.2128
29	0.086	1.300	0.1118
30	0.086	0.695	0.0598
31	0.048	0.175	0.0084

参考

内的自然増加率 $r_m = 0.1959/\text{日}$ (0.259)
 純繁殖率 $R_0 = 24.1307$ (65.00)
 平均世代期間 $T = 16.254$ (16.16)



第42図 ナミハダニのキュウリでの $l_x \cdot m_x$ 曲線

ニの定着率補正もしくはチリカブリダニの増殖率補正のどちらかが必要となる ($0.95 - 0.875 = 0.075$ の温量分だけチリカブリダニの増殖が速くなる)。

4 モデルの予測性と今後の問題

これまでに得られた諸修正点をもとにして、ハウスの試験結果に適合するシミュレーションモデルを作製し、薬剤散布時期、DAS系統チリカブリダニ放飼時期、放飼比率など、多くの組合せについてモデル上での検討を可能にし、最も効果的な利用方法を検討できるようにする。

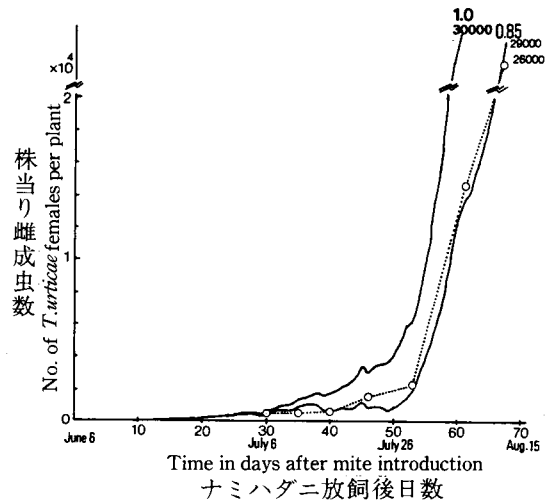
方法

前述のモデルを用い、キュウリにおけるナミハダニの生育データを組み込み、これまでに得られたナミハダニの増殖についてシミュレーションを実施した。

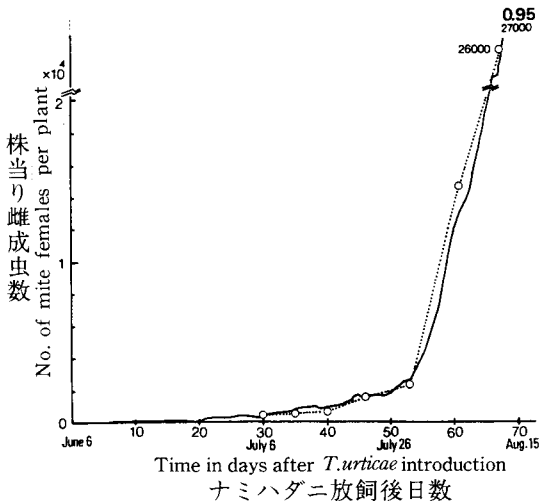
結果

キュウリでのナミハダニ生育データを組み込んだ結果を第43図に示した。しかし、ハウス内中央の地上で測定した平均気温を用いるとナミハダニの増加は速すぎた。

平均気温測定器によるキュウリ裏面の葉面温度は、全調査期間を通してハウス内気温より低く (0~



第43図 ナミハダニ生育データによる修正、
 …○…；ナミハダニ実測値，—；理論値。



第44図 キュウリ葉面温度による修正,
 …○…; ナミハダニ実測値, —; 理論値.

-1.3℃), 平均では0.6℃低かった。また, 毛髪式自記温湿度計と比較すると1.1℃低かったというデータに基づき, 1986年の毛髪式自記温湿度計の平均気温に0.95の係数をかけた値をキュウリ裏面の葉面温度の実測値と推定し, シミュレーションにこの葉面温度を用いた結果が第44図である。葉面温度への補正によって, 実測葉面温度の修正をしなくても実測値とよく一致した結果が得られることが分かり, ナミハダニの増殖についてはほぼ完成したモデルが得られた。

5. まとめ

シミュレーションモデルについては, 斎藤 (1989) が平易な解説をしている。それによれば, シミュレーションはシステムズモデルの開発と実際の実験データに近づけるためのプログラムの改良, 最後にできあがったモデルを利用しての種々の作業に大きく分けられる。今回の主な作業は実際のデータに適合するプログラムの改良であった。第1の修正点であったハウス内の温度条件について考えてみる。測定された平均気温を15%低下させることで実測値と理論値を一致させることができた。この原因としては, モデルのなかで用いられてい

るハダニとカブリダニの発育速度に関するパラメータの過大評価 (温度に対して発育速度が速すぎる), あるいはハウスで測定した気温がダニ類の生息している葉の表面温度と食い違っている二つの場合が考えられた。モデルに使用した基礎データ (ハダニはHAZAN et al., 1973; SAITO, 1979, カブリダニは上遠野ら, 1975; HAMAMURA et al., 1976) が実験室の恒温条件下で得られたものであり, 実際の変温条件と一致しない可能性が考えられる。しかし, TANIGOSHI et al. (1976) は平均気温が同じである変温条件と恒温条件における *Tetranychus mcdanieli* の発育モデルを作り, これを実際の変温条件下のデータと比較し, 変動範囲が5~20℃では明かに恒温条件における発育速度が過小評価となっており, 変動範囲が15~35℃ではほとんどなくなると報告している。このことから, 恒温条件で得られたデータが変温条件での発育速度を過大評価している可能性は低いと考えられる。また葉面温度とハウス内温度の差の有無については, キュウリの葉の蒸散作用, 夜間から朝にかけての露の付着・蒸発によって表面温度が下がる可能性があるため, 平均気温測定器による調査を実施した。その結果, 平均気温で約0.6℃ハウス内気温より低いことが確認され, モデルに組み込むことで平均気温の修正 (つまり誤差) は12.5%低下まで改善された。矢野ら (1986) の報告によると, スイカでのナミハダニの内的自然増加率は24℃で0.187, 27℃で0.231であり, 温度が高いにもかかわらずインゲンでの25℃における0.259 (SAITO, 1979) と比較してかなり低い。そこで, キュウリにおけるナミハダニの発育調査を実施した。その結果, 25℃における内的自然増加率は0.1959と低いことが確認された。このデータをモデルに組み込み, 葉面温度でシミュレーションしたところ, ナミハダニの発生推移については適合性の高いモデルであることが確認された。また, キュウリの被害程度について, 当初のモデルではシミュレーションできなかったが, キュウリの生育データとハダニ被害量を組み込むことで, 適合性の高いモデルに改良され, 被害指数とカブリダニの放飼時期および放飼比率等をモデルで再確認できるよう

になった。

しかし、カブリダニについては温度の修正（12.5%の低下）が必要であり、葉面温度への補正（5%の低下）との差がまだある。この原因として、一時的な高温による増殖の抑制、チリカブリダニの定着率の過大評価などが考えられるが、今後の検討により改良されるであろう。

第9章 総合考察

本研究は、施設野菜栽培環境において難防除害虫となっているハダニ類問題解決のために薬剤抵抗性チリカブリダニを利用し、他病害虫を含めた総合防除技術の確立をその基本目的とした。このためには、ハダニおよび天敵の基本的な生物学的特性の検討、農業環境における農薬を含めた人為的要因に対するそれぞれの反応、さらにこれらを総合した農業系（農生態系）のモデルによる記述が必要とされた。また、実用上の問題として、具体的な放飼試験、天敵の増殖、普及方法に関する諸技術の開発をおこなった。それぞれの結果は各章において記述したので、ここでは本研究が天敵利用上の諸問題をどの程度解決し、また今後に残された問題がどこにあるかについて総合的に論議する。

実際にチリカブリダニを農業の現場に導入する上で、以下に示す2つの立場から考えられる問題点が解決される必要がある。

A. 天敵を供給する側

1. チリカブリダニの大量生産方法とそのコスト
2. 製品化にあたっての問題点；農薬登録をクリアーする手続き、製品化のためのコスト
3. 需要拡大のための宣伝コスト、需要の季節性およびその年変動の予測の難しさ
4. 利用技術の困難さおよび利用可能条件に関する情報の不足（他病害虫防除法との関連における天敵併用の可能条件の設定）

B. 天敵利用者側

1. 農薬防除と天敵利用とのコストの違い
2. 天敵導入タイミング決定の難しさ（ハダニ類発生 of 簡便なモニター方法の欠如）
3. 天敵導入時におけるハダニ類同時導入の危険性
4. 生物的防除技術への基本的な理解不足
5. 防除効果の不明確さ（農薬防除のような効果を期待しがちである）および効果予測の難しさと効果の現れかたに対する理解不足
6. 防除失敗時の収益減補償の問題

7. 他病害虫防除との関係および栽培環境の管理

これらの多くの問題の中で

A-2. 製品化にあたっての問題点；農薬登録をクリアーする手続き、製品化のためのコスト

B-6. 防除失敗時の収益減補償の問題

は研究者レベルで解決できる問題ではないので、これ以外の諸問題が本研究によってどの程度解決されてきたかを考察する。

A-1. チリカブリダニの大量生産方法とそのコスト

B-1. 農薬防除と天敵利用とのコストの違いについては第5章において詳細に記述したように、新たな簡易増殖法の開発およびそれを使った増殖システムの構築に成功した。今回の方法で、実際に小規模に実施した飼育試験では、現地の農家に容器ごと配布可能な状態にするまでのチリカブリダニ1頭（雌）のコストは5.5円と計算され、全ステージでは約1.5円となった（今回の方法では卵の一部も有効に利用できる）。また、飼育条件などの改良によって、チリカブリダニ雌1頭当り0.5～3円の範囲になると推定された（NAKAO et al., 1990）。また、理論的に計算された最大生産体制では1雌2.5円（同時に生産される他のステージを含めれば0.5円/頭）となった。従来の方法によるチリカブリダニ1頭当り（雌成虫+幼若虫）の飼育経費は、1.7～2.5円と試算されている（刑部ら, 1984; 矢野・東1982）。しかし、これらは増殖にかかる経費しか含まず、配布容器を含めた配布可能な状態にするまでの経費は計算されていない。オランダではアドバイス料を含めて約20円（矢野, 1984年）、アメリカのリンカン・バイトバ天敵販売会社では約5セント（古橋, 1979）で販売しているといわれている。これらと比較してもコスト面での問題は全くなく、本天敵が放飼後きわめて急速に増加することを考えれば、経験的には充分実用可能であることが示された。

A-3. 需要拡大のための宣伝コスト、需要の季

節性およびその年変動の予測の難しさ

B-2. 天敵導入タイミング決定の難しさ (ハダニ類発生 of 簡便なモニター方法の欠如)

この問題は互いに密接に関連している。本研究においては、主にキュウリを対象としたので、葉の被害指数を従来の研究で提案されている方法によってモニターし、その指数に応じて適切な数のチリカブリダニを放飼することで、十分な防除効果をあげるられることが判明した。しかし、第7章で述べたように、作物によってはハダニの被害(すなわちハダニの発生量)が葉に現れにくいものがあり(被害指数として)、被害指数でのモニターがしにくい場合がある(井上, 1988; 井上・杉浦 1986)。また、ハダニ自体の存在を確認することが一般にはきわめて難しいこともあり(井上, 1990)、簡便かつ適切なハダニ類発生 of モニター法が開発される必要がある。それが可能となれば、生物的防除のみならず薬剤防除においても適切な防除が可能となり、薬剤使用量の削減に大いに役立つものであるが、この問題については今後の大きな検討課題である。

このように簡便で適切なモニター法がない現段階においては、次善の方法として防除効果の安全性を見込んだ天敵の早期放飼が考えられる。この放飼方法は、作物の栽培時期、栽培管理状況およびそれまでの経験などからハダニ類の発生時期を推定して、早めにチリカブリダニの放飼を行うもので、十分な防除効果が認められない場合にはチリカブリダニを追加放飼する。このような方法がコストの面から可能となれば、天敵供給側には需要の安定化にむすびつき、より安価でコンスタントな天敵生産と供給が可能となるであろう。

A-4. 利用技術の困難さおよび利用可能条件に関する情報の不足(他病害虫防除法との関連における天敵併用の可能条件の設定)

B-4. 生物的防除技術への基本的な理解不足

B-7. 他病害虫防除との関係および栽培環境の管理

これらの問題は、天敵の薬剤抵抗性、天敵放飼可能環境条件、適用可能作物と発生するハダニの種類、天敵利用による防除効果の予測などに関係するも

ので、本研究において最も重点をおいて検討したものである。

まず、DAS系統チリカブリダニ放飼中に病害防除に使用可能な殺菌剤はTPN、ポリカーバメート、トリアジメホン、マンゼブ・メタラキシル、トリフルミゾール、マンゼブ、ホセチル・マンゼブ、銅・カスガマイシン、プロシミドン、キャプタン、フェナリモルで、ハダニ以外の害虫防除に使用可能な殺虫剤はMEP(アブラムシ、スリップス剤)、プロフェジン(オンシツコナジラミ剤)、イミダプロクリド粒剤(アブラムシ剤)であった。これらの薬剤はチリカブリダニ放飼前および放飼後1週間以降に使用すれば、放飼チリカブリダニの定着と増殖のために望ましいことが明らかになった。また、薬剤散布に際しては、カブリダニへの影響を軽減するため、温度の低い時間を選ぶことが必要である。これらの薬剤を組み合わせる使用することによって、ハダニ以外の病害虫を制御しながら、ハダニをチリカブリダニによって生物的に防除できることが、ハウス放飼試験で実証された。

しかし、合成ピレスロイド剤ペルメトリンの直接散布における死亡率は100%(10,000倍液)で、残効期間(2,000倍液)も50日以上であった。わが国の土着天敵であるケナガカブリダニ *Amblyseius longispinosus* (EVANS) は有機リン系殺虫剤、カーバメート系殺虫剤で抵抗性が報告されており(浜村, 1986)。諸外国でもファラシスカブリダニ (MOTOYAMA et al. 1970; CROFT et al., 1976)、オクシデンタリスカブリダニ (CROFT and JEPSON, 1970)、パイライカブリダニ (WEARING et al., 1978) の抵抗性個体群が発見され、総合的害虫管理体系の一環として、ハダニ類防除に利用されている(CROFT, 1982; FIELD and HOY, 1986)。一方、合成ピレスロイド剤の使用によってハダニ類のリサーチエンスが問題となってきたが、合成ピレスロイド剤(ペルメトリン)に対する抵抗性カブリダニ(ファラシスカブリダニ: STRICKLER and CROFT, 1982, オクシデンタリスカブリダニ: HOY and KNOP, 1981)が発見されている。わが国でも、チャ園でペルメトリン抵抗性系統のケナガカブリダニが発見され(望月, 1990)今後の利用が期待

されている。しかし、チリカブリダニでは合成ピレスロイド剤抵抗性系統の報告はない。また、前述のように極低濃度においてもDAS系統の死亡率は100%で、薬剤による選抜ができない。Koppert系統で抵抗性選抜が検討されているが、DAS系統と変わらない感受性レベル（Koppert社資料）にとどまっている。このようなことから、チリカブリダニを利用する場合には合成ピレスロイド剤の使用を避けなければならない。さらに、DAS系統の抵抗性に関しては、MEPに対する抵抗性が薬剤散布停止によって消失する現象が認められており、薬剤抵抗性の発達に関する遺伝的な研究が必要である。

天敵利用可能条件については、ハダニ以外の病害虫防除薬剤の問題以外に、ハウス内の温度管理の必要性が本研究により明確になった。この問題については浜村・真梶（1977）、矢野・東（1982）が言及しているが、北海道という寒冷地においてもこの問題が無視できないことが実証された。従って、薬剤抵抗性チリカブリダニ利用可能な温度範囲として31℃以上の高温が連続せず、33℃以上の高温が4時間以上連続しないことが要求される。

B-5. 防除効果の不明確さ（農薬防除のような効果を期待しがちである）および効果予測の難しさと効果の現れかたに対する理解不足

天敵の利用については森（1977）が詳細に考察し、導入天敵のチリカブリダニは日本の気象条件で越冬できないことなどから、生物農薬的な利用が基本となると述べている。チリカブリダニが餌の過剰捕食によってみずから絶滅してしまう短所を補うために、土着天敵を併用する方法も検討されている（森・斎藤, 1977）。施設栽培のハダニ防除のために、チリカブリダニは必要な時期に大量生産され、配布を受けた農家が施設内に放飼することになる。しかし、日本における天敵利用の事例は少なく、これまで農薬防除に依存してきた農家は、天敵そのものに対してほとんど理解していない現状にある。現地ですべてチリカブリダニ放飼がうまくいかなかった原因には、薬剤の問題が大きかったと考えられるが、天敵利用による生物的防除への農家の理解不足もその一因になって

いる。農薬による防除と天敵による防除の基本的なちがいを明確にし、被害をゼロにするのではなく、経済的被害を受けないレベル以下に害虫の発生を抑えながら、最終的に防除する方法であることを十分に理解させる必要がある。また、天敵利用中に使用できる農薬、出来ない農薬、残効により悪影響を与える農薬（合成ピレスロイド剤）、高温障害など本研究で明らかにされた点を積極的に農家に理解させるための資料を作ることが必要である。これらの点を守るように現場で積極的な指導をして、天敵利用への理解を深めるべきであろう。

天敵による防除ではゆっくりと累積的に効果があらわれ、すでにハダニ発生モニターの困難さで述べたようにハダニもカブリダニも微小であるため、その実態や防除予測を農家に明示することは難しい。例えば、本研究で実施した試験でも、試験協力農家からハダニ防除の可否を問われることがしばしばあった。また、チリカブリダニ放飼中であっても、ハダニの発生量が初期には増えるため、薬剤による防除が必要ではないかと問われることがあった。さらに、放飼試験を実施した研究者本人にとっても、これらの発生動態の調査はきわめて時間のかかる作業であり、様々な条件における試験をすべて実施することは困難であろう。そこで、本研究では、ハダニとカブリダニの温度、薬剤に対する反応、作物の生育量と被害を定量化し、コンピューターによるシステムズモデルを開発した。その結果、かなり整合性の高いモデルが完成され、ハダニ密度とカブリダニ放飼密度があたえられれば、その後は温度環境を入力することで、防除に要する日数および防除完了までのハダニによる被害程度について、かなり正確な予測が可能となった。このモデルを用いることで、1つは農業の現場にいる農家側の不安を取り除くことと、様々な条件における天敵の反応についてシミュレーションが可能となり、研究および実用の両面において有効な手段になっていくものと考えられる。

B-3. 天敵導入時におけるハダニ類同時導入の危険性

カブリダニ類のうち *Typhlodromus* 属や *Amblyseius* 属のある種類がハダニ類以外にフシダニ類、花粉やカイガラムシなどのハニーデューを餌として増殖することが知られている (COLLYER, 1964; DOSSE, 1961; McMURTRY and SCRIVEN, 1964; 斎藤・森, 1975)。しかし、チリカブリダニはハダニ類でしか増殖できない。したがって、大量増殖したチリカブリダニとともにハダニが持ち込まれる問題が実際の場面では考えられる。今回の飼育ケージでは、現場での放飼までにチリカブリダニがナミハダニを食い尽くすように餌の量を調整することで、この問題は解決可能である。また、チリカブリダニはササにしか寄生しないミドリハダニ *Panonychus akitanus* EHARA で飼育可能であ

り (ナミハダニを餌とした場合より増殖率は悪い)、飼育ケージの出荷にあたってミドリハダニを餌として入れることでもこの問題は解決可能である。

以上述べてきたように、わが国の施設野菜におけるチリカブリダニによるハダニ防除技術は、その基本的な点においては完成したといえる。残された問題は、チリカブリダニの実用が、どのような形で、農業という産業構造の中でその採算面を中心として問題が解決され、実用化されていくかという点にある。欧米においてチリカブリダニが既に商品化されている現状を考えると、わが国においてもこれが実用化することをおおいに期待する。

摘 要

薬剤抵抗性チリカブリダニ利用による施設野菜ハダニ類の生物的防除に関する研究を実施し、以下の結論を得た。

1. 薬剤抵抗性チリカブリダニに対する農薬の影響

(1) 薬剤抵抗性チリカブリダニに使用可能な農薬

1) 薬剤抵抗性チリカブリダニに使用可能な殺虫剤

MEP；アブラムシ，スリップス剤

プロフェジン；オンシツコナジラミ剤

イミダプロクリド粒剤；アブラムシ剤

2) 薬剤抵抗性チリカブリダニに使用可能な殺菌剤

TPN，ポリカーバメート，トリアジメホン，マンゼブ・メタラキシル，トリフルミゾール，マンゼブ，ホセチル・マンゼブ，銅・カスガマイシン，プロシミドン，キャブタン，フェナリモル

3) 抵抗性チリカブリダニのMEPによる死虫率は、散布を繰り返すことにより低くなった。しかし、4～6ヶ月の散布停止によって感受性の復元が認められた。

(2) 薬剤抵抗性チリカブリダニに悪影響が認められた農薬

1) DDVPでは死虫率が高かった。しかし、殺卵力はほとんどなかった。

2) キノキサリン系では、死虫率はさほど高くなかったが、活動性が悪くなり産卵数が減少するなどの悪影響が認められた。

3) 合成ピレスロイド剤のベルメトリンは、直接散布の死亡率は100%（10,000倍液）で、残効期間（2,000倍液）も50日以上のため、チリカブリダニを利用する場合に使用を避ける必要がある。

2. 薬剤抵抗性チリカブリダニによるナミハダニの生物的防除

(1) 5.4×20mのビニールハウス内で、殺菌剤7回、MEP4回散布条件のもと抵抗性チリカブリダニをキュウリ葉の被害指数1.3で、（ハダニ雌：チリカブリダニ雌；以下同じ）10：1の比率になるよう放飼したところ、ナミハダニを十分に抑制することができ、放飼7～10日後のMEP散布ではほぼ経済的被害許容水準以下に被害指数を抑えられ、MEP無散布区同様の効果が認められた。

(2) 5.4×20mのビニールハウス内で、殺菌剤8回、殺虫剤6回散布条件で、チリカブリダニをキュウリの被害指数（0.5），（0.8）で10：1の比率になるよう放飼し、十分な防除効果と収量がえられることが確認された。

(3) 20：1の比率の放飼では、被害指数（0.5）で十分な防除効果と収量がえられることが確認された。

3. 薬剤抵抗性チリカブリダニの簡易大量増殖法に関する試験

(1) 簡易大量増殖法

1) 透明プラスチックと紙を用いた増殖ケージを開発した。

2) ナミハダニ *Tetranychus urticae* KOCHが充分増殖したインゲン小葉を葉柄ごと切り、これを容器に封入し、葉柄部分を容器の穴から外に出して、葉柄と容器の間の隙間を接着剤（酢酸ビニルエマルジョン）で閉じる。

3) 箱の底面は通気性のある薄い紙でとじる。

4) 容器には開閉部（窓）をもうけ、はりはがしのできるスプレーのりを用いポリエチレン膜で閉じこの窓から天敵のチリカブリダニを導入する。

5) 葉を封入したケージは、葉柄部を栄養液循環装置つきの水耕栽培用の水槽に挿す。

6) チリカブリダニの増殖と餌の多少に応じて容器の窓からハダニ寄生葉を随時追加する。

7) 今回開発した方法で、飼育未経験者でもケージ当り100～200頭のチリカブリダニ雌の増

殖が可能であった。

(2) 薬剤抵抗性チリカブリダニの保存方法および配布方法に関する試験

1) 薬剤抵抗性チリカブリダニは、5℃で約60日まで生存可能で、その後の飼育温度を上昇させることにより、飼育個体数を急増できることが明かになった。

2) 10℃では約90日生存可能で、飼育温度を少なくとも12℃にすれば個体数の増加が可能であった。

3) 増殖ケージのままの保存試験を9℃で実施したが、ビニールに入れた場合に成虫の生存期間は長かった。また、保存期間中に餌のハダニを追加することで、生存期間を長くすることができた。

4) 保存期間中に餌を追加し、温度をあげることによってカブリダニの再増殖が可能であった。

5) 増殖ケージによる送付、郵送が可能であるが、ケージの紙が破けないように梱包する必要がある。

6) このケージの最も有利な点はそのコンパクトさにある。ケージは必要な条件下に容易に移動可能である。さらに、増殖から配布、保存、放飼が一貫して可能である。

(3) 簡易大量増殖法による生産費

1時間当りのケージ生産数は0.73で、成虫1個体当りの生産費（設備、減価償却費は除く）は5.5円となった。このケージではカブリダニの全ステージ（成虫、卵、幼虫、若虫）が実際には利用可能で、これらを含めた個体数は成虫数を150とすれば、少なく見積っても600には達し、生産費は約1.5円程度と計算された。十分に餌を与えれば、1ケージ当り500成虫程度の生産が可能で、増殖温度を上げることで増殖スピードはより速くでき、生産費の低減がさらに可能である。

4. 増殖ケージによる薬剤抵抗性チリカブリダニ利用試験

(1) キュウリでの防除試験

1) キュウリでの増殖ケージによるチリカブリダニ放飼試験

殺菌剤11回、殺虫剤8回散布条件下での増殖ケージによる放飼区のキュウリ収量は、殺菌剤1回散布区の1.25倍、無処理区の1.54倍と高く、チリカブリダニの定着・分散に問題はなかった。

2) 現地ハウスキュウリでの増殖ケージによるチリカブリダニ放飼試験とその定着状況

①現地ハウスでの放飼後の定着・分散は良好であったが、チリカブリダニに悪影響のあるアブラムシ防除剤の散布によりチリカブリダニが減少した。現地でのチリカブリダニ放飼中のアブラムシ対策を明確にして指導する必要がある。

②チリカブリダニの増殖はハウス内温度が長時間30℃を越える条件下で悪影響が認められた。特に、4時間以上33℃を越えるような栽培条件を避ける必要がある。

(2) 高温による薬剤抵抗性チリカブリダニの増殖への影響

薬剤抵抗性チリカブリダニは31℃以上の高温が連続する条件下では増殖に適さず、変温条件下でも少なくとも33℃以上の高温が4時間以上連続すると増殖に悪影響があることが明かになった。

5. 他作物での薬剤抵抗性チリカブリダニの利用可能性

(1) イチゴのナミハダニ寄生程度別収量調査

1小葉当りに雌成虫が2頭以上になると減収することが明かになった。

(2) イチゴではダニによる食痕がキュウリのように葉に明瞭に現れないため、被害の指数化は困難と考えられた。

(3) メロンでの増殖ケージによるチリカブリダニ放飼試験で、チリカブリダニはメロンのナミハダニを防除できた。しかし、防除時期の目安となる被害の指数化は十分にできなかった。

6. システムズモデル

(1) 斎藤ら（1986）のモデルを基本として、システムズモデルの検討を行った結果、平均気温と

抵抗性チリカブリダニ放飼後の定着率の2点を修正することで、実測値とほぼ一致する理論値が得られ、本モデルの適用可能性が示された。

- (2) 被害指数もシミュレーションできるモデルを開発し、葉の表面の平均気温を補正することで実測値とよく一致する結果がえられた。
- 1) 10:1放飼区ではシミュレーションとよく一致したが、20:1放飼区では差が大きかった。
 - 2) 被害指数のシミュレーションでも、10:1放飼区ではよく一致したが、20:1放飼区では初期によく一致したが、後期は全く一致しなかった。この原因は、実際には10:1区からチリカブリダニの侵入があったためであった。
 - 3) 以上のことから、葉の被害指数(0.5)では10:1, 20:1の放飼比率で、(0.8)では10:1の放飼比率でチリカブリダニを放飼すれば、十分な防除効果と収量がえられることがモデルの計算結果により確認された。このモデルで放飼比率と防除効果を評価することが可能であった。
 - 4) さらに、ナミハダニの増殖はキュウリでの生育データを使用し、ナミハダニの生息部位であるキュウリ裏面の葉面温度を用いることで実測値と一致するシミュレーションが可能になった。

引用文献

- 1) AMANO, H. and CHANT, D. A. (1978) Some factors affecting reproduction and sex ratio in two species of predacious mites, *Phytoseiulus persimilis* A. H. and *Amblyseius andersoni* (CHANT) (Acarina : Phytoseiidae). Can. J. Zool., **56** : 1593~1607.
- 2) 芦原 亘・真梶徳純・浜村徹三 (1976) チリカブリダニの捕食量と産卵数について. 果樹試報 E 1 : 135~144.
- 3) 芦原 亘・井上晃一・刑部正博 (1983) チリカブリダニに対する農薬の影響. 果樹試報 E 11 : 50~52.
- 4) 芦原 亘・井上晃一・刑部正博 (1986) チリカブリダニの増殖法, 第1報 餌ハダニの増殖用植物と餌ハダニの種類の検討. 果樹試報 E 6 : 91~102.
- 5) 芦原 亘・井上晃一・刑部正博 (1988) チリカブリダニの発育と産卵に及ぼす数種農薬の影響. 果樹試報 E 7 : 51~58.
- 6) ATHIAS-HENRIOT, C. (1957) Phytoseiidae et Acesejidae (Acarina, Gamasia) d'Algerie I. Genres *Blattisocius* KEEGAN, *Iphiseius* BERLESE, *Amblyseius*, BERLESE, *Phytoseius* RIBAGA, *Phytoseiulus* EVANS. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord, **48** : 319~352.
- 7) BRAVENBOER, L. and G. DOSSE (1962) *Phytoseiulus riegei* DOSSE als Pradator einiger Schadmilben aus der *Tetranychus urticae*-gruppe. Entomol. Exp. Appl., **5** : 291~304.
- 8) BURGESS, H. D. (1974) Modern pest control in glasshouse. Span17 **1** : 32~34.
- 9) CHANT, D. A. (1961) An Experiment in biological control of *Tetranychus telarius* (L.) (Acarina : Tetranychidae) in a greenhouse using the predacious mite *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT (Phytoseiidae). Can. Ent., **93** : 437~443.
- 10) CROFT, B. A., A. W. BROWN and S. A. HOYING (1976) Organophosphorus resistance and its inheritance in predaceous mite *Amblyseius fallacis*. J. Econ. Entomol. **69** : 64~68.
- 11) CROFT, B. A. (1982) Arthropod resistance to insecticides : A key to pest control failures and successes in North American apple orchard. Entomol. exp. appl. **31** : 88~110.
- 12) CROFT, B. A. and L. R. JEPPESON (1970) Comparative studies on four strain of *Typhlodromus occidentalis*. II. Laboratory toxicity of ten compounds common to apple pest control. J. Econ. Entomol. **63** : 1528~1531.
- 13) DITTRICH, V. (1961) Populations genetische untersuchungen an mornalen und phosphorsaureester-resistenten Stammen von *Tetranychus urticae* KOCH. Z. Angew. Entomol. **48** : 34~57.
- 14) DOSSE, G. (1958) Uber einige neue Raubmilbenarten (Acar. Phytoseiidae). Pflanzenschutzber., **21** : 44~61.
- 15) DOVER, M. J., B. A. CROFT, S. M. WELCH and R. L. TUMMALA (1979) Biological control of *Panonychus ulmi* (Acarina : Tetranychidae) by *Amblyseius fallacis* (Acarina : Phytoseiidae) on apple : a prey-predator model. Environ. Entomol. **8** : 282~292.
- 16) 江原昭三・真梶徳純 (1975) 農業ダニ学. 全国農村教育協会, 328pp.
- 17) EVERSON P. R. and N. V. TONKS (1981) The effect of temperature on the toxicity of several pesticides to *Phytoseiulus persimilis* (Acarina : Phytoseiidae) and

- Tetranychus urticae* (Acarina : Tetranychidae). Can. Ent. 113 : 282~292.
- 18) FIELD, R. P. and M. A. HOY (1986) Evaluation of genetically improved strains of *Metaseiulus occidentalis* (NESBITT) for integrated control of spider mites on roses in greenhouses. Hilgardia 54, 2 : 1
 - 19) 藤本 清・広瀬敏晴・足立年一・伊藤祐孝 (1977) 施設内作物へのチリカブリダニの放飼—ハウス内カーネーション及びバラ—, チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除(森樊須, 真梶徳純編), 日本植物防疫協会 : 70~74.
 - 20) 深沢永光 (1974) ダニ類による野菜の被害の実態と防除. 植物防疫 28 : 21~23.
 - 21) 深沢永光 (1977) 施設内作物へのチリカブリダニの放飼—促成及び半促成栽培イチゴ—, チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除(森 樊須, 真梶徳純編), 日本植物防疫協会 : 53~61.
 - 22) 古橋嘉一 (1979) アメリカにおける天敵の大量増殖とその利用. 植物防疫 33 : 17~22.
 - 23) 古橋嘉一 (1984) ミカンハダニの数種殺虫剤散布後におけるResurgenceについて. 関西病虫研報 26 : 69.
 - 24) 古橋嘉一 (1988) 合成ピレスロイド剤の散布は, 何故ミカンハダニを増やすか? 関西病虫研報 30 : 116.
 - 25) 古橋嘉一・森本輝一 (1989) ハダニ類の合成ピレスロイド剤によるリサージェンスと防止対策. 植物防疫 43 : 375~379.
 - 26) FURUHASHI, K., M. NISHINO, Y. MURAMATSU and M. SHIYOMI (1981) Simulation model for forecasting of occurrence of citrus red mite, *Panonychus citri* (MCGREGOR) in citrus orchards. Proc. Int. Soc. Citriculture 2 : 653~655.
 - 27) GARMAN P. (1950) Parathion resistant red spider. J. Econ. Ent. 43 : 53~56.
 - 28) GOULD, H. J., N. W. HUSSEY and W. J. PARR (1969) Large-scale commercial control of *Tetranychus urticae* KOCH on cucumbers by predator *Phytoseiulus persimilis* A.-H. Proc. 2nd Intern. Congr. Acarology, Sutton-Bonington, England (1967) : 383~388.
 - 29) 浜村徹三 (1985) チャに寄生するカンザワハダニの水酸化トリシクロヘキシルスズ(ブリクトラン)に対する抵抗性発達の地域差. 茶業研究報告. 62 : 46~56.
 - 30) 浜村徹三 (1986) 薬剤抵抗性ケナガカブリダニによる茶園のカンザワハダニの生物的防除に関する研究. 茶試研報 21 : 121~196.
 - 31) 浜村徹三・真梶徳純 (1977) チリカブリダニの大量増殖と貯蔵. チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除(森樊須・真梶徳純編). 日本植物防疫協会 : 46~49.
 - 32) 浜村徹三・真梶徳純・芦原 亘 (1978) チリカブリダニの低温貯蔵. 果樹試報E 2 : 83~90.
 - 33) 浜村徹三・真梶徳純・芦原 亘・井上晃一 (1980) チリカブリダニの園芸作物上における分散. 果樹試報E 3 : 83~98.
 - 34) HAMAMURA, T., N. SHINKAJI and W. ASHIMARA (1976) The relationship between temperature and development period, and oviposition of *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT (Acarina : Phytoseiidae). Bull. Fruit Tree Res. Stn., E1 : 117~125.
 - 35) 八田茂嘉 (1973) 和歌山県におけるミカンハダニの薬剤抵抗性. 果樹ハダニ類の薬剤抵抗性に関する研究. 東京 : 日本植物防疫協会 pp30~32.
 - 36) HAZAN, A. U., U. GERSON and A. S. TAHORI (1973) Life history and life tables of the carmine spider mite. Acarologia 15 : 414~440.
 - 37) HOY, M. A., D. CASTRO and D. CAHN (1982) Two methods for large-scale production of pesticide-resistant strains of spider mites predator *Metaseiulus occidentalis* (NESBITT) (Acarina : Phytoseiidae).

- Zeitschrift fur Angewandte Entomologie
94 : 1 ~ 9.
- 38) HOY, M. A. and N. F. KNOP (1981) Selection for and genetic analysis of permethrin resistance in *Metaseiulus occidentalis* : genetic improvement of a biological control agent. Entomol. exp. appl. 30 : 10~18.
- 39) HOYT, S. C. and B. A. CROFT (1985) Cyhexatin resistance in orange population of *Tetranychus urticae* KOCH (Acarina : Tetranychidae). J. Econ. Ent. 78 : 656~659.
- 40) HUSSEY, N. W. and W. J. PARR (1963) The effect of glasshouse red spider mite (*Tetranychus urticae* KOCH) on yield of cucumbers. Jour. Hort. Sci. 38 : 255~263.
- 41) HUSSEY, N. W., W. J. Parr and H. J. GOULD (1965) Observations on the control of *Tetranychus urticae* KOCH on cucumbers by the predator mite *Phytoseiulus riegeli* DOSSE. Ent. Exp. Appl. 8 : 271~281.
- 42) HUSSEY, N. W. and N. SCOPES (1985) Mite management for greenhouse vegetables in Britain. In : Spider Mites. Vol. 1b (W. Helle and M. W. Sabelis, eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 285~297.
- 43) 井上晃一(1980)ミカンハダニ, *Panonychus citri* (MCGREGOR) のジコホル抵抗性の集団遺伝学的研究. 果樹試報D 2 : 111~137.
- 44) 井上晃一(1989)ハダニ類の薬剤抵抗性の機構—遺伝的特性を中心として—. 植物防疫 43 : 367~368.
- 45) INOUSE, K. (1980) Relationship between dicofol-resistance and fitness in citrus red mite, *Panonychus citri* (MCGREGOR). J. Pesticide Sci. 5 : 165~175.
- 46) 井上雅央(1990)襟状の折り返しを備えたビニール障壁“ダニがえし”によるハダニの移動防止効果. 応動昆 34 : 49~54.
- 47) 井上雅央(1988)生態特性からみた促成栽培イチゴにおけるハダニの効率的防除. 植物防疫 42 : 33~37.
- 48) 井上雅央・杉浦哲也(1986)イチゴの食害痕によるハダニ類の簡易密度推定法. 植物防疫 40 : 554~557.
- 49) 石井敬一郎(1965)殺ダニ剤に対する抵抗性の問題. ダニ類(佐々学編), 東京大学出版会, 445~452.
- 50) 石黒丈雄(1988)有機スズ抵抗性カンザワハダニの生理・生態的特性. 植物防疫 42 : 399~402.
- 51) 逸見 尚(1977)施設内作物へのチリカブリダニの放飼—ガラス室ブドウ—, チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除(森 樊須真梶徳純編), 日本植物防疫協会 : 75~78.
- 52) 上遠野富士夫・清水喜一・野村健一(1975)ケナガカブリダニの発育に及ぼす温度の影響. 関東東山病害虫研報 22 : 90~91.
- 53) KENNETT, C. E. and L. E. CALTAGIRONE (1968) Biosystematics of *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT (Acarina : Phytoseiidae). Acarologia 10 : 563~577.
- 54) 小林義明(1982)野菜ハダニ類の発生と防除上の問題点. 植物防疫 36 : 435~439.
- 55) 小林義明・深沢永光(1981)野菜を加害するハダニ類の生態と防除(第2報)イチゴ産地におけるハダニ類の薬剤抵抗性. 静岡農試研報 26 : 35~42.
- 56) KOPPERT, P. C. (1980) Biological control in glasshouses in Netherlands. In : Proc. Int. Symp. IOBC/WPRS on Integrated Control in Agriculture and Forestry. Vienna, 8th-12th October, 1979, p484.
- 57) 河野 哲(1985)ディコホル抵抗性ナミハダニの各種薬剤に対する感受性と防除効果. 応動昆 29 : 150~157.
- 58) 河野 哲(1987)ディコホル感受性および抵抗性ナミハダニの増殖能力. 応動昆 31 : 333~338.
- 59) 河野 哲・斎藤哲夫・宮田 正(1981)ナミ

- ハダニにおけるディコホル抵抗性の作用機
作. 応動昆 **25** : 101~107.
- 60) 桑原雅彦 (1977) クロロジメホルム, ジコホル
およびフェントエートで淘汰したカンザワ
ハダニの薬剤抵抗性の発達と遺伝様式. 応動
昆 **21** : 163~168.
- 61) 桑原雅彦・沢田正明・久保田篤男・岩田直記
(1983) 野菜・花きに寄生するカンザワハダ
ニの薬剤感受性. 応動昆 **27** : 289~294.
- 62) LAING, J. E. (1968) Life history and life
table of *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-
HENRIOT. *Acarologia* **10** : 578~588.
- 63) MARKKULA, M. and K. TITTANEN (1976)
"Pest in first" and "Natural infestation"
methods in the control of *Tetranychus*
urticae KOCH with *Phytoseiulus persimilis*
ATHIAS-HENRIOT on glasshouse cucum-
bers. *Ann. Agr. Fenn.* **15** : 81~85.
- 64) 松崎征美 (1977) 施設内作物へのチリカブリ
ダニの放飼—ハウス内ナス—, チリカブリダ
ニによるハダニ類の生物的防除 (森 樊須,
真梶徳純編), 日本植物防疫協会 : 65~69.
- 65) 松崎征美・高井幹夫 (1977) 施設栽培におけ
るナス・ピーマンのハダニの被害. 高知農試
研報 **9** : 45~56.
- 66) MCMURTRY, J. A. and G. T. SCRIVEN
(1965) Insectary production of Phytoseiid
mites. *J. Econ. Entmol.* **58** : 282~284.
- 67) MCMURTRY, J. A. and G. T. SCRIVEN
(1975) Population increase of *Phytoseiulus*
persimilis of different insectary feeding
programs. *J. Econ. Entmol.* **68** : 319~
321.
- 68) MIZUTANI, A., S. HIROSE, K. OHBA, T.
ISHIGURO and Y. HAYASHI (1988) Compar-
ative studies on biotic potential of chyx-
atin susceptible and resistant strain of
kanzawa spider mite, *Tetranychus kanz-
awai* KISHIDA (Acarina : Tetranychidae).
Appl. Ent. Zool. **23** : 357~360.
- 69) MIZUTANI, A., F. KUMAYAMA, K. OHBA, T.
ISHIGURO and Y. HAYASHI (1988) Inheri-
tance of resistance to cyhexatin in kanz-
awa spider mite, *Tetranychus kanzawai*
KISHIDA (Acarina : Tetranychidae). *Appl.*
Ent. Zool. **23** : 251~255.
- 70) 望月雅俊 (1990) チャ園から発見された, ケ
ナガカブリダニのpermethrin抵抗性系統. 応
動昆 **34** : 171~174.
- 71) 森 樊須 (1968) カブリダニ類によるハダニ
類の生物的防除. 植物防疫 **22** : 517~522.
- 72) 森 樊須 (1977a) ハダニ類の生物的防除「ダ
ニ学の進歩」(佐々学・青木淳一編), 図鑑の
北隆館, pp279~319.
- 73) 森 樊須 (1977b) 農生態系における捕食性
ダニ類の役割と利用. 「人間の生存にかかわ
る自然環境に関する基礎的研究」, 佐々・内
藤・安野編, 東京大学出版 : 225~236.
- 74) 森 樊須・後藤哲雄 (1986) 西ドイツDarm-
stadtより導入したチリカブリダニの薬剤抵抗
性. 応動昆 **30** : 57~59.
- 75) 森 樊須・真梶徳純 (1974) ハダニ類の生物
的防除—チリカブリダニの利用を中心とし
て—. 植物防疫 **28** : 102~106.
- 76) 森 樊須・真梶徳純 (1977) チリカブリダニ
によるハダニ類の生物的防除. 日本植物防疫
協会, pp89.
- 77) MORI, H., and D. A. CHANT (1966a) The
influence of prey density, relative humid-
ity, and starvation on the predacious
behavior of *Phytoseiulus persimilis*
ATHIAS-HENRIOT (Acarina : Phytoseiidae).
Can. Jour. Zool. **44** : 483~491.
- 78) MORI, H., and D. A. CHANT (1966b) The
influence of humidity on activity of
Phytoseiulus persimilis ATHIAS-HENRIOT
and its prey *Tetranychus urticae* (C. L.
KOCH), (Acarina : Phytoseiidae, Tetrany-
chidae). *Can. Jour. Zool.* **44** : 863~871.
- 79) MORI, H. and S. IMABAYASHI (1975)
Suppression of tetranychid populations
using the predacious mite *Phytoseiulus*

- persimilis* ATHIAS-HENRIOT in some agroecosystems of Hokkaido (Acarina : Tetranychidae, Phytoseiidae). J. Fac. Agr. Hokkaido Univ. **58** : 271~282.
- 80) 森山 知・森 樊須 (1986) 西ドイツDarmstadtより導入したチリカブリダニの薬剤抵抗性(第2報). 第30回応動昆大会 p.180 [講要].
- 81) MOTOYAMA, N., G. C. Rock and W. C. DAUTERMAN (1970) Organophosphorus resistance in apple orchard population of *Typhlodromus (Amblyseius) fallacis*. J. Econ. Entmol. **63** : 1439~1442.
- 82) 中尾弘志・斎藤裕・森 樊須 (1987) 薬剤散布環境下における薬剤抵抗性カブリダニによるハダニの生物的防除. I. 西ドイツ系チリカブリダニによる防除試験およびそのシミュレーション. 応動昆 **31** : 359~368.
- 83) NAKAO H., Y. SAITŌ and H. MORI (1990) Mass production of predatory mites. FFTC Book Series No. **40** ; The Use of Natural Enemies to Control Agricultural Pests. 184~189.
- 84) 野村健一・斎藤哲夫 (1977) ハダニ類の薬剤抵抗性. 「ダニ学の進歩」(佐々 学・青木淳一編), 図鑑の北隆館, pp311~326.
- 85) 大谷 徹・高藤晃雄・井上雅央 (1991) 合成ピレスロイド剤散布下の露地栽培ナスにおけるカンザワハダニと天敵2種の発消長. 応動昆 **35** : 153~159.
- 86) 刑部 勝 (1967) カンザワハダニの生態的研究. 茶試研報 **4** : 35~156
- 87) 刑部 勝 (1973) カンザワハダニの薬剤抵抗性に関する研究. 茶試報 **8** : 1~95.
- 88) 刑部 勝 (1974) ハダニ類の薬剤抵抗性. 植物防疫 **28** : 119~124.
- 89) 刑部正博・井上晃一・芦原 亘 (1984) チリカブリダニの増殖のためのモデル実験. 果樹試安芸津年報報 **12** : 51~52.
- 90) 刑部正博・井上晃一・芦原 亘 (1988) チリカブリダニの増殖法. 果樹試報 E **7** : 59~70.
- 91) OVERMEER, W. P. J. (1985) Rearing and handling. In Spider Mites. Vol.2 (W. Helle and M. W. Sabelis, eds.), Elsevier, Amsterdam, pp.161~171.
- 92) OVERMEER, W. P. J. and A. Q. VAN ZON (1973) Genetics of dicofol resistance in *Tetranychus urticae* KOCH (Acarina : Tetranychidae). Z. Anger. Entomol. **73** : 225~230.
- 93) Penman, D. R., R. B. CHAPMAN and K. E. JESSON (1981) Effect of fenvalerate and azinphosmethyl on two-spotted spider mites and phytoseiid mites. Entomol. Exp. Appl. **30** : 91~97.
- 94) ROUSH, G. C. and M. A. HOY (1978) Relative toxicity of permethrin to a predator, *Metaseiulus occidentalis*, and its prey, *Tetranychus urticae*. Environ. Entmol. **7** : 287~288.
- 95) RIPPER W. E. (1956) Effect of pesticides on balance of arthropod population. Ann. Rev. Ent. **1** : 403~438.
- 96) 斎藤 裕 (1989) ハダニ防除のためのシミュレーションの利用. 植物防疫 **43** : 380~383.
- 97) SAITŌ Y. (1979) Comparative studies on life histories of three spider mites (Acarina : Tetranychidae). Appl. Ent. Zool. **14** : 83~94.
- 98) 斎藤 裕・森 樊須 (1975) 3種のカブリダニの発育と産卵に及ぼす交替餌としての花粉の効果. 北大農学部邦文紀要 **9** : 236~246.
- 99) 斎藤 裕・高藤晃雄・森 樊須 (1986) 薬剤散布環境下におけるハダニと天敵カブリダニ類の相互作用系を記述するシステムモデルの開発. 薬剤抵抗性カブリダニ類の探索とハダニ類の生物的防除への利用(森 樊須編), 昭和60年度科学研究費補助金(試験研究1)研究成果報告書, pp.48~62.

- 100) SAITO Y. and R. SUZUKI (1987) Reexamination of several rearing methods for studying the life history of spider mites (Acarina : Tetranychidae). *Appl. Ent. Zool.* **22** : 570~576.
- 101) 沢木忠雄・佐藤允通 (1986) イチゴのハダニ類の発生消長と要防除密度. *植物防疫* **40** : 558~562.
- 102) SCHLISSKE, J. (1980) Untersuchungen zur Kuhlagerung von *Phytoseiulus persimilis* A.-H. (Acarina : Phytoseiidae). *Proc. Int. Symp. IOBC/WPRS on Integrated Control in Agriculture and Forestry, Vienna, 8th-12th October, 1979*, pp.500~501.
- 103) SCHULTEN, G. M., Van ARENDONK, R. C. M., RUSSELL, V. M. and ROORDA, F. A. (1978) Copulation, egg production and sex ratio in *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius bibens* (Acarina ; Phytoseiidae). *Entomol. Exp. Appl.*, **24** : 145~153.
- 104) 関 道生 (1958) ミカンハダニの防除. 応動昆虫第2回シンポジウム講演要旨, 59~62.
- 105) 真梶徳純 (1970) ハダニ類の薬剤抵抗性とその対策. *植物防疫* **24** : 455~460.
- 106) 真梶徳純 (1976) チリカブリダニに対する農薬の影響. *果樹試報 E 1* : 103~116.
- 107) 真梶徳純 (1981) 捕食性天敵の利用—チリカブリダニ—. *植物防疫* **35** : 368~371.
- 108) STRICKLER, K., B. A. CROFT (1982) Selection for permethrin resistance in the predatory mite *Amblyseius fallacis*. *Entomol. Exp. Appl.* **31** : 339
- 109) 菅原寛夫 (1971) りんご害虫の変遷と防除 ; 日本農業技術懇談会年報 (昭和46年版) : 19~32.
- 110) TAKAFUJI, A. (1977) The effect of the rate of successful dispersal of Phytoseiid mite, *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT (Acarina : Phytoseiidae) on the persistence in the interactive system between the predator and its prey. *Res. Popul. Ecol.* **18** : 210~222.
- 111) TAKAFUJI, A. and D. A. CHANT (1976) Comparative studies of two species of predacious phytoseiid mites (Acarina : Phytoseiidae), with special reference to their response to the density of their prey. *Res. Popul. Ecol.* **17** : 255~310.
- 112) TANIGOSHI, L. K., R. W. BROWN, S. C. HOYT and R. F. LAGIER (1976) Empirical analysis of variable temperature regimes on life stage development and population growth of *Tetranychus mcdanieli* (Acarina : Tetranychidae). *Ann. Entm. Soc. Am.* **63** : 1385~1389.
- 113) VAN de VRIE M., J. A. MCMURTRY and C. B. HUFFAKER (1972) Ecology of tetranychid mites and their natural enemies : a review III. Biology, ecology, and pest status, and host-plant relations of tetranychids. *Hilgardia*, **41** : 343~432.
- 114) WEARING, C. H., J. T. S. WALKER, E. COLLYER and W. P. THOMAS (1978) Integrated control of apple pests in New Zealand. 8 Commercial assessment of an integrated control programme against European red mite, using an insecticide-resistant predator. *N. Z. J. Zool.* **5** : 823~837.
- 115) 矢野栄二 (1984) 導入天敵の利用による施設園芸害虫の総合防除. *植物防疫* **38** : 267~274.
- 116) 矢野栄二 (1986) 野菜の害虫管理. *植物防疫* **42** : 543~546.
- 117) 矢野貞彦・東勝千代 (1982) チリカブリダニの利用による野菜類のハダニ防除. *植物防疫* **36** : 217~220.
- 118) 矢野貞彦・森下正彦・谷口達雄 (1986) スイカのハダニ類の密度推定法と要防除密度. *植物防疫* **40** : 563~568.

Studies on Biological Control of Spider Mites on Greenhouse Vegetables by the Resistant Strain of *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT

Hiroshi NAKAO

Hokkaido Central Agricultural Experiment Station,
Naganuma, Hokkaido 069-13, Japan

Summary

Studies on biological control of spider mites by use of the resistant strain (hereafter called the DAS-strain) of *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT which was introduced from West Germany were conducted on greenhouse vegetables. The results obtained were as follows.

1. Toxicity of some chemicals to the DAS-strain of *Phytoseiulus persimilis*

Toxicity of chemicals was assessed by adult female mortality at 72 hr after treatment and by the developmental rate of eggs laid on the treated leaf-disk during the test period.

(1) Non-toxic chemicals to the DAS-strain of *P. persimilis*

1) Non-toxic pesticides to the DAS-strain

Fenitrothion; for aphids and thrips

Buprofezin; for greenhouse whitefly

Imidacloprid; for aphids

2) Non-toxic fungicides to the DAS-strain

Chlorothalonil, polycarbamate, triadimefon, manzeb · metalaxyl, triflumizole, manzeb, fosetyl · manzeb, oxine-copper · kasugamycin, procymidone, captan and fenarimol.

3) The resistance level of the DAS-strain against fenitrothion increased with the replications of the fenitrothion treatment. However, it diminished to the level before the selection by the pesticide, if the selection was stopped for about 4-6 months.

(2) Toxic chemicals to the DAS-strain of *P. persimilis*

1) DDVP was toxic to the adult stage of the DAS-strain. Since residual toxicity was decreased in a short period, the eggs of this strain could survive and develop.

2) Toxicity of chinomethionat was not high, but activity of adult female was diminished and oviposition rate was decreased.

3) Contact toxicity of permethrin was so high that mortality at dilution 1/10,000 was 100%. Furthermore, residual effects on all stages of the DAS-strain were continued over 50 days, when permethrin (dilution 1/2,000) was sprayed on the kidney bean leaves. Therefore, when the DAS-strain are inoculated, application of synthetic pyrethroid insecticides should be avoided.

2. Biological control of the two-spotted spider mites *Tetranychus urticae* KOCH by the DAS-strain of *P. persimilis* on cucumber plants cultivated in a vinyl house

(1) Under chemicals spraying condition, i.e. 7 times of fungicide applications and 4 times of fenitroth-

ion applications, the DAS-strain effectively controlled the spider mites population, when females of *T. urticae* and the DAS-strain were introduced at the ratio of 10:1 in a cucumber vinyl house(5.4×20m). Furthermore, the DAS-strain could suppress the prey population more effectively if the first fenitrothion application was done on the seventh or tenth day after the DAS-atriain introduction. In these two cases, the leaf damage indices (LDI) did not exceed 2.0 during the course of experiments, although the LDI level at the time of the DAS-strain introduction was 1.3.

(2) Under chemicals spraying condition, i.e. 8 times of fungicide applications and 6 times of fenitrothion applications, when the DAS-strain were introduced at the ratio of 10:1 (*T. urticae* females:the DAS-strain females), the LDI level at the time of the DAS-strain introduction were 0.5 or 0.8, the DAS-strain effectively controlled the spider mites population and the yield of cucumber was not affected.

(3) Under the above conditions, the DAS-strain more effectively controlled the spider mites population and the yield of cucumber was not affected, when they were introduced at the ratio of 20:1 (*T. urticae* females: the DAS-strain females), the LDI level at the time of the DAS-strain introduction was 0.5.

3. Mass production of the DAS-strain of *P. persimilis*

(1) Method of a mass production

A system for mass production of predators was developed.

1) A cage made with a thin sheet of hard, transparent plastic (vinyl chloride) and a sheet of paper were devised for rearing predatory mites.

2) Detached kidney bean leaves with petiole infested by spider mites are placed into the cage and the petiole is pulled through the small hole made on one side of the cage. The space between the petiole and the edge of the hole is stuffed with a bond used in wood craft.

3) The bottom of the cage is closed with a sheet of paper.

4) Predatory mites are introduced into the cage through the window which was cut in the top of the cage and also closed with a sheet of polyethylene film.

5) Then the petiole is inserted into the water and nutrients of a small hydroponic system.

6) An additional supply of prey is possible through the window if the leaves within the cage deteriorated and/or the number of prey mites decreased.

7) According to this method, 100–200 adult of the predatory mites per cage was able to produce by non-expert laborer for 15 days under $22 \pm 1^\circ\text{C}$.

(2) Storage and distribution of the DAS-strain of *P. persimilis* by the cage

1) About a half of the adults females of the DAS-strain survived for 60 days, when they were stored with kidney bean leaflets infested with sufficient prey at 5°C . After the storage, the DAS-strain could increase again under the conditions of 15°C .

2) At 10°C , about a half of the adult females of the DAS-strain survived for 90 days. After the storage, the DAS-strain could reproduce under the conditions of 12°C .

3) The DAS-strain massproduced in the cage were kept in a refrigerator at a controlled temperature of 9°C . If the cages were packed into a polyethylene bag to avoid drying, predators survived more longer(3–6days) than without the bag.

4) In the course of storage period, the DAS-strain could reproduce again, when they were supplied additional prey under high temperature.

5) The cage can be easily packed for postage, but it is necessary to take care of tearing the paper and stripping the polyethylene film of the cage window.

6) The advantage of this cage method is that the apparatus is compact. The cage can be easily moved into a certain environment and condition, so that the development and oviposition rates of the predator can be controlled according to user's demand. Furthermore, the cage can be used directly for distribution, for preservation and for releasing of predators to crops.

(3) Cost of mass production

1) The cost of mass production including the total labor and materials in the procedure from cultivation of the host plants to release of predatory mites, is roughly estimated at 5.5 yen per predator adult.

2) If there are 150 adult females in the cage, number of individuals including whole developmental stages are estimated as at 600, so that the cost roughly equals to 1.5 yen per predator adult.

3) If enough prey were supplied, it was considered feasible to produce the predators more than 500 adults per cage. On the other hand, more than 3 cages per hour can be made by non-expert laborer. It is feasible to reduce the cost of mass production under optimum conditions, i.e. optimum temperature for rearing, enough prey supply and high skill of operators.

4. Biological control of the two-spotted spider mites *Tetranychus urticae* by releasing the DAS-strain of *P. persimilis* in the mass-production cages

(1) Cucumber

1) Experiment on cucumber in vinyl house(5.4×20m)

Under chemicals spraying conditions, i.e. 11 times of fungicide applications and 8 times of pesticide applications, the DAS-strain were introduced in a vinyl house by the use of the cages equipped. The ratio of prey and predator was 20:1. The DAS-strain had established in the plants, and thereafter dispersed widely to the plants. As a result, the yields of cucumber in which the DAS-strain were introduced increased to 1.25 times as much as that of the plants in which acaricide (hexythiazox · DDVP) were sprayed (one time). Furthermore it was corresponded to 1.54 times of that in non-acaricide and non-predator applied plants(control).

2) Biological control of the two-spotted spider mites by the DAS-strain massproduced in the cages in a commercial cucumber vinyl house(6.0×50m)

① The DAS-strain massproduced in the cages were well established and dispersed in a commercial cucumber vinyl house for a period. However, predators drastically decreased after the application of DDVP for controlling aphids. This failure suggested that it is necessary to establish a full program of chemical application for other insects pests and fungal diseases in order to ensure the biological control of spider mites by the use of the DAS-strain in the commercial cucumber vinyl house.

② Reproduction of the DAS-strain were affected by high temperature conditions, i.e. more than 30 °C for many hours, more than 33 °C over 4 hours in vinyl house. For the practical use of the DAS-strain, such high temperature conditions should be avoided.

(3) Experiment on the effect of high temperature on the reproduction of the DAS-strain of *P.*

persimilis

The oviposition, hatchability and immature survival of the DAS-strain decreased under the constant temperature of 31°C. Under temperature varying condition, such effects were also detected when the temperature exceeded 33°C for more than 4 hours.

5. Availability of the DAS-strain to other crops

(1) The effect of the two-spotted spider mites on yield of strawberry was evaluated. The yield decreased when the number of spider mite females exceeded 2 per leaflet.

(2) Symptom of leaf damage of strawberry by the spider mites was not clear from the view of leaf surface. Therefore, it was difficult in this plant to know the timing of introduction of predators for controlling spider mites.

(3) The DAS-strain could suppress two-spotted spider mites on melon when they were released by the use of the cages at the ratio of spider mite females : the DAS-strain females=10:1. However, as shown in strawberry, it was difficult to evaluate leaf damage by the use of LDI used generally in cucumber plants.

6. Systems model

(1) A systems model by using a personal computer, which had been developed by Saito et al. (1986), was improved to simulate the biological control processes. This model successfully simulated the processes and results of some experiments mentioned before, when the value of mean daily temperature (measured in the vinyl house) was decreased to 85% and the number of predator introduced was decreased to 80%.

(2) The model was further improved to simulate the change of plant resources and leaf damage by spider mites. Then the model became to be able to simulate the leaf damage index of cucumber plants.

1) By using the new version of systems model, the number of prey and predators as well as the leaf damage index in the experiment of biological control at the ratio of *T. urticae* : the DAS-strain=10:1 was fairly simulated. However, the experiment at the ratio of *T. urticae* : the DAS-strain=20:1 did not agree with the simulation data.

2) Comparison between actual data and simulation data revealed that the discrepancy between them was caused by invasion of the DAS-strain from the other experiment plots, i.e. the plot of 10:1 to 20:1.

3) In consideration of above results, the DAS-strain of *P. persimilis* can effectively control *T. urticae* in cucumber plants in the situation as follows: leaf damage index 0.5 ; at the ratio of *T. urticae* : the DAS-strain=10:1 and/or 20:1, leaf damage index 0.8 ; at the ratio of *T. urticae* : the DAS-strain=10:1.

薬剤抵抗性チリカブリダニの簡易大量増殖法の概略



インゲン小葉の封入

カブリダニ増殖ケージに封入したナミハダニ寄生インゲン小葉。



カブリダニの取り出し

カブリダニを増殖したケージに低温でナミハダニ寄生インゲン小葉片を入れ、1時間程度室温（20～25℃）に置きカブリダニを移動させ、再び低温条件下で先に入れたインゲン小葉片を取り出す。



増殖ケージへのカブリダニの導入

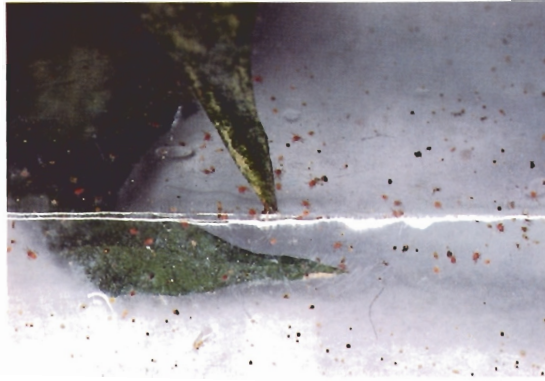
カブリダニの寄生したインゲン小葉片を窓から入れる。



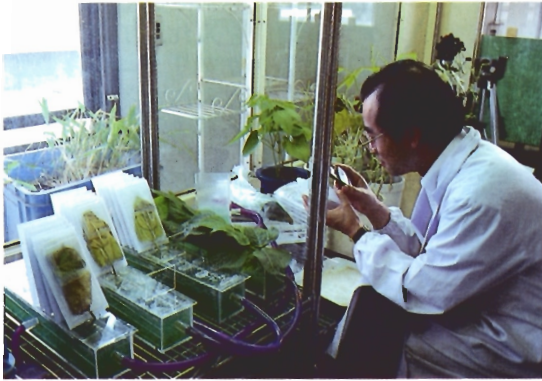
カブリダニの初期増殖

インゲン葉柄を挿して増殖中の循環水槽。





ケージ内で増殖したチリカブリダニ



ケージ内の増殖状況調査

状況によって餌の追加が必要になる。



ナミハダニの追加給餌

ケージを低温条件にし、ナミハダニ寄生葉を窓から入れる。



増殖ケージでの低温保存