

3章 省農薬園における病害虫発生状況

1. はじめに

ミカンをはじめとする果樹は、生育期間が数年あるいは数十年以上におよび、穀類、蔬菜などとは異なり、室内で実験的に取扱うことも難しい。そのため、省農薬栽培が病害虫の発生にあたる影響を評価するためには、野外を中心とした大規模で長期間の調査が必要となる。そうした理由で、効率性を重視する科学者はこのような調査研究に積極的に取り組むことがほとんどなかった。果樹栽培における省農薬栽培の実証的研究は、ごくわずかの例外[3-1,2,3]を除いて、ほとんどなされていないのが現状である。

本章では、省農薬法によるミカン栽培における病害虫の発生動態を12年間、年2回の定期的密度調査によって明らかにし、慣行的栽培での病害虫発生と対比しながら、その特性や栽培上の問題点を評価した。この調査では、省農薬園で発生量の比較的多かった7種のカイガラムシと3種の病害を主に対象としたが、それ以外の害虫についても補足的に発生量を調査した。定期調査ではそれぞれの種の密度を簡易推定したが、この推定を補強するために、サンプリング調査を追加した。また、慣行栽培との比較を行なうために、慣行園において簡単な病害虫発生量調査を行なった。

2. 調査方法

(1) 病害虫の特性

a. カイガラムシ類

・ヤノネカイガラムシ *Unaspis yanonensis* (KUWANA)

ヤノネカイガラムシは、柑橘類 (Citrus 属) の一部のみを寄主植物とする固着性カイガラムシの1種である[3-1]。本種の原産地は中華人民共和国の揚子江流域といわれ[3-1,2]、20世紀初頭に日本に侵入した[3-1,2]。侵入後またたく間に日本の柑橘栽培地の全域にその分布域を拡大し、大きな被害を与えてきた[3-1]。何らかの防除策を講じない場合、本種の個体数は指数的に増加する。寄主植物株内の密度の上昇に伴い、葉や枝の先端が枯れ始めるが、密度依存的な個体群の抑制効果はあまり働かず、2~3年 (5~10世代) 後にはその株は枯れてしまう。このような激烈な被害をもたらす増殖力をもつため、本種は日本の柑橘栽培上もっとも重要な害虫のひとつとして位置づけられ、殺虫剤散布による防除対象となってきた。また、本種の第2、第3世代の個体が果実に定着

してその品位を下げることから、防除が徹底して行なわれてきた[3-1,3,4]。

主に葉を定着場所として固着吸汁生活を送るが、寄主となった株上の密度が上昇してくるとさまざまな部位を定着場所として利用する個体が現れてくる。ただし、第2世代と第3世代では、密度が低い状態でも果実を定着場所として利用する個体が頻繁に見られる。本種は、和歌山県海草郡下津町付近では年2回または3回世代を繰り返す。越冬直前には、第2世代と第3世代が重なり、さまざまな発育段階の個体が見られるが、雌成虫以外の個体の大部分は越冬に成功せずに死亡する[3-1]。

1980年に原産地より、本種を寄主とする2種の寄生蜂が日本に導入され[3-5]、それらの防除能力の有効性が確認されている[3-5,6,7,8]。しかし、2種の寄生蜂は、多くの他の寄生蜂同様に薬剤に対して耐性が低く、病気を対象とする薬剤が多用される慣行園では2種の導入寄生蜂の密度は非常に低く、それらによる防除効果は期待できないと考えられており、慣行園では、今なお、ヤノネカイガラムシは重要な防除対象害虫となっている[3-1,4] (表1-2)。

・ ルビーロウムシ *Ceroplastes rubens* MASKELL

ルビーロウムシは、前種同様1900年前後に日本に侵入し、20年余りの間に全国の柑橘栽培地に分布を広げ、各地で多大な被害をもたらした[3-1]。吸汁によって樹勢を弱める一方、排泄する甘露に糸状菌の一種であるすす病が発生し、それが果実の外観を著しく損なうために、重要な防除対象害虫となってきた。しかし、体表が分厚いロウ状のカイガラで覆われているため、本種を餌とする天敵は非常に少ないうえに薬剤も効きにくく、本種を特異的に利用するルビーアカヤドリコバチが発見、利用されるまで防除は困難をきわめた[3-1,9,10]。1946年に安松京三によって偶然発見されたルビーアカヤドリコバチの増殖・放飼事業によって本種の密度は激減し、その被害は抑えられた[3-9,10,11,12]。しかし、現在の慣行的な柑橘栽培では、他の病害虫を防除するために多くの薬剤が散布されており、薬剤に対して感受性の高いルビーアカヤドリコバチの防除効果を期待できなくなっている。また、ルビーロウムシは柑橘類以外にも広範な分類群の植物を寄主としており、柑橘園の外から本種個体に移入する機会も多いと考えられ、慣行園においても増殖する潜在力を秘めていると考えられている。したがって、ほとんどの慣行園では、6月の殺虫剤散布によってヤノネカイガラムシとともに本種の防除が図られている。

本種は年1回世代を交代する。省農薬園では、6月下旬から7月中旬にかけて1令幼虫が出現する。主に若い枝（その年の春に展開した当年枝）を定着場所として利用し、しばしば個体が密集した集団を形成する。定着後数日でカイガラを形成する。晩秋には、成虫に達してそのまま越冬する。

・ ツノロウムシ *Ceroplastes ceroplastes* (FABRICIUS)

・ カメノコロウムシ *Ceroplastes japonicus* ANDERSON

この2種は、ルビーロウムシと近縁であるが、いずれも日本在来種であると考えられている[3-

4)。そのため、寄生蜂をはじめとする有効な天敵がいくつか存在し、これら2種の個体群の増殖を抑制している。したがって、ルビーロウムシと異なり、樹勢の衰弱や果実収量の低下をもたらす段階までこれら2種が増殖を続けることはほとんどない。ただし、ルビーロウムシ同様、甘露を排泄してすす病の発生を誘発するので、「均質な」、「品位の高い」果実を生産するという現在の生産目標においては、わずかの発生量でも、被害をもたらすことになる。

これら2種は、ルビーロウムシと類似の生活形態をとり、年1世代で成虫越冬、初夏に1令幼虫が発生し、ロウ状の厚いカイガラをもつ。ルビーロウムシが若い当年枝を定着場所として好むのに対し、ツノロウムシは展開後1年から2年経った枝を、カメノコロウムシは葉を主に利用する。ツノロウムシはルビーロウムシ同様しばしば密な集団を形成するが、カメノコロウムシは比較的分散して定着する傾向がある。後者は、成虫に至っても移動能力を持ち続けており、令が進むにつれて個体の分散傾向はより顕著になる。

・ イセリアカイガラムシ *Icerya purchasi* MASKELL

イセリアカイガラムシは20世紀初頭に日本に侵入し、その後全国に広がって柑橘をはじめとする果樹栽培に被害を与えた[3-1]。吸汁により樹勢を弱めるほか、甘露を排泄してすす病を誘発する。ヤノネカイガラムシやルビーロウムシと同様に日本には有効な天敵がいなかったため、本種の原産地であるオーストラリアに生息するベダリアテントウが導入されるまでは、深刻な被害をもたらした[3-4,10]。ベダリアテントウの放飼により、被害が鎮静化したあとは本種による被害はあまり問題とされなくなり、現在の慣行園でもきわめて低い密度が保たれている。しかし、ルビーロウムシ同様、本種においても、柑橘園外からの移入個体が多い（本種もきわめて広範な植物を寄主とする）と考えられ、また、天敵であるベダリアテントウはやはり薬剤に対する耐性が低く、慣行園では個体数がきわめて少ない。したがって、慣行園では、ヤノネカイガラムシなどに対する多量の薬剤散布の副次的な効果によって本種の増殖を抑えているのが現状である[3-1]。

越冬態は一定していない。生涯を通じて歩行することができ、主にミカンの株内で移動する。葉、枝、幹など地上部のさまざまな部位を吸汁場所として利用している。調査地では年に3世代を繰り返す。

・ ミカンヒメコナカイガラムシ *Pseudococcus citriculus* GREEN

これまで本種が柑橘栽培において深刻な被害をあたえた事例は報告されていない。しかし、慣行園においても、しばしば密度が上昇することが知られている[3-2,13]。他のカイガラムシと同様、吸汁による植物体への直接的な加害とともに、大量の甘露を排泄するためにすす病を誘発することによる果実品位の低下が主に問題とされる。

本種は、省農薬園では、年3世代から4世代を繰り返す。カイガラを形成しないため、さまざまな捕食者の餌となっていると考えられる。地上部のさまざまな部位を生息場所として利用するが、樹皮の割れ目や葉が密に茂ったところなど、遮蔽された場所に密な集団をつくることが多い。おそら

く、そうした場所に生息するために薬剤が行き届きにくく、それが密度上昇につながっていると考えられる。生涯、移動が可能で、ミカン株内を歩行移動する個体を頻繁に観察できる。

・ヒラタカタカイガラムシ *Coccus hesperidum* GREEN

世界中の熱帯、温帯に分布し、いくつかの地域では柑橘などの果樹栽培に大きな被害を与えていることが報告されている[3-2]が、日本では、前種と同様、本種による大きな被害が問題となったことはない。しかし、時には密度が局所的に高くなることもあり、やはり、排泄した甘露にすす病が発生し、果実の品位を低下させる。

主に、葉や若い枝を生息場所として利用する。成虫になっても歩行移動することができるが、その頻度、距離は非常に小さく、ほとんどの場合、樹内でわずかに位置を変えるにとどまる。省農薬園では年3世代を繰り返す。

b. 病気 (植物病原菌)

・そうか病菌 *Elsinoe fawcettii* BITANCOURT et JENKINS

そうか病は柑橘類の重要病害の一つであり、子のう菌類に属す糸状菌によって発生する。被害はミカンの樹全体にわたって表われ、葉、果実、枝といった各部位にそれぞれ特徴的な病斑を形成する。本病害の第一次感染源は、葉や枝の病斑で越冬した前年の菌であり、4月の中旬頃より降雨時にそれらの菌が多量の胞子を作り始める。胞子は微細な雨滴や霧によって運ばれ、若葉や果実の上で発芽し侵入する。侵入した病原菌は、病斑を形成し、その上に分生胞子を作り二次感染を繰り返す。一般に葉の成長が止まる6月頃には発病が止まるが、雨さえ降れば夏に成長する夏枝や秋に成長する秋枝にも発病する。これらは翌年の伝染源として重要である。

ミカン葉での病斑は、組織が若い間に感染したものでは突起状のいぼ型病斑となり、それ以後に感染したものは、かさぶた状のそうか型病斑となる。果実にこのような病斑がたくさんできると肥大せず、激しいときには早期に落果する。また、残った果実も果皮が厚く、小型で外観が悪くなり、商品価値を失ってしまう。これらのことから、かつてはミカン園経営に大きな被害を与えうる重要病害であったが、現在では薬剤(ベノミル剤、チオファネート剤など)によって容易に防除できるため、本病害によって大きな被害が出ることは稀である。長期にわたる薬剤散布による強度薬剤抵抗菌の出現は、現在のところ確認されていない。

・すす病菌 *Capnodium salicinum* MONTAGNE ほか数種

すす病はいくつかの病原菌によって発生する症状の総称であり、現在わが国では10種類の菌が本病の病原菌として確認されている。これらはすべて子のう菌に属する糸状菌であり、カイガラムシ、アブラムシ、コナジラミなどの排泄物に寄生的に繁殖し、その名の通りミカン葉の表面に黒いすす状の菌叢をつくる。これらのスス(菌叢)は容易に葉の表面から剥離し、ミカン葉組織への菌糸の侵入、進展は認められないが、ミカン葉への太陽光照射を減少させ、その同化作用を

妨げるとともに、果実に発生した際にはその商品価値を著しく低下させる。本菌は柑橘害虫に付属的に発生する病害であり、害虫防除が行なえれば本病害が発生することはない。

・ かいよう病菌 *Xanthomonas campestris* pv. *citri*

かいよう病は細菌によって起こる流行病であり、年次による発生変動が大きいのが特徴である。葉、枝、果実の各部位に病斑が発生する。春葉では淡黄色水浸状の丸い小さな斑点の病斑であるが、その後コルク化して粗造となり、その周囲にかなり広いハローを生じる例が多い。本菌は、葉、枝梢の病患部で潜伏越冬し、春先の雨で分散し傷口や気孔から侵入する。傷口感染の例として、ハモグリガの食害による傷口からの侵入がよく知られている。本病が発生すると葉が落ちやすくなり、枝も折れやすくなることが報告され、また、果実も外観が悪くなるだけでなく、幼果時に感染すると落果が多くなる。いったん侵入した病原菌には、薬剤による防除の効果が薄いいため、柑橘病害のなかで最も難防除病害として知られている。

c. カイガラムシ類以外の害虫

・ ゴマダラカミキリ *Anoplophora malasiaca* (THOMSON)

本種の幼虫は、主に幹に穿入してその内部を食害する。幼虫の食害を受けた株は、樹勢が弱まり、その成長や果実の収量が低下する。羽化後に成虫も葉や枝を摂食するが、幼虫の穿入による被害に比べればその被害程度は小さい。複数の幼虫個体が穿入するなどして、幹の維管束部が激しく食害されると、株全体が枯れることもある。したがって、発生密度が高くなると大きな被害をもたらすことになる。本種は、ミカン以外にも多くの果樹、広葉樹を寄主植物として利用することができるため、慣行園へも、ある程度の個体は絶えず侵入していると考えられる。幹内部に穿入した幼虫は、防除することが難しく、また、成虫は断続的に飛来してくるので、防除は、幹に産下された卵や穿入して間もない時期の幼虫に対してなされることになる(1章参照)。

成虫は6月中旬から7月中旬に出現する。幹から脱出した成虫は、枝や葉を摂食しつつ、飛翔によって頻繁に移動する。7月中旬から8月上旬にかけて、卵が地表近くの幹に生みつけられる。8月下旬頃までには孵化した幼虫が幹内に穿入する。穿入した幼虫は幹内で1ないし2度越冬したあと羽化する。羽化の際には、幹に約1cmほどの円形をした明瞭な脱出孔がつくられるので、株ごとに羽化成虫数を過去に遡って計測することができる。

・ ミカンハダニ *Panonychus citri* MCGREGOR

ヤノネカイガラムシと並び重要な防除対象害虫となっている。幼虫、成虫ともに、主に葉に口を挿入して、細胞液や葉緑体を吸収する。加害を受けた葉は光合成能力が減少し、ひどく加害された場合には落葉しやすくなる。本種が激しく発生すると樹勢はおとろえ、収量も著しく減少する。世代期間が短く(年間10世代以上を繰り返す)増殖力にすぐれているため、薬剤に対する抵抗性が発達しやすく[3-14]、同じ薬剤を連用すると大発生することがある[3-14,15,16]。このため、薬剤を多用する慣行園ではしばしば大きな被害をもたらす。

・アブラムシ類

ミカンにはいくつかの種類が発生するが、省農薬園では、ミカンミドリアブラムシ *Aphis citricola* VAN DER GOOTとミカンクロアブラムシ *Toxoptera citricidus* (KIRKALDY)が普通に確認された。両種とも、主に新梢を吸汁場所としており、そこでコロニー単位で増殖する。十分に枝・葉が伸長する前にコロニーが大きくなると、枝・葉は変形したり枯れてしまったりする。そのため、とくに株が若い間はその被害が大きい。年間10世代から20世代を繰り返す。世代期間が短く、園外からの飛来も多いので、慣行園でもしばしば発生する。

・その他の病害虫

省農薬園においては、調査期間を通じて、以上にあげたもの以外の病害虫はきわめて密度、発生量が少なかった。鱗翅目のアゲハチョウ *Papilio xuthus* LINNAEUS、ミノガ *Bambalina* sp.、クワゴマダラヒトリ *Spilosoma imparilis* (BUTLER)の幼虫、半翅目のアオバハゴロモ *Geisha distinctissima* WALKER、ホソヘリカメムシ *Cletus punctiger* DALLAS、チャバネアオカメムシ *Plautia crossata* stali SCOTTなどがわずかに発見されたが、その密度はきわめて低かった。これらの種類は、薬剤散布の多い慣行園では、ほとんど生息していないものと考えられる。チャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* HOODは、調査地周辺の慣行園では果実に加害して品位を下げる害虫として防除の対象となっている（表1-2）が、薬剤散布の徹底により現状では密度は低く抑えられていると思われる。省農薬園では、この種はほとんど観察されなかった。

（2）グレイド法による省農薬園の病害虫調査

1980年から1991年までの12年間、省農薬園における7種のカイガラムシ密度と3種の病気の発生度合を毎年7月下旬と11月上旬に調査した。7月下旬の調査では、ロウムシ属3種以外のカイガラムシについては、各種の第1世代の新成虫を、ロウムシ属3種については、各種の孵化後1ヶ月未満の2令幼虫を、それぞれ対象とした。また、11月上旬の調査時には、いずれのカイガラムシにおいても、それぞれの成虫を対象とした。病気については、2つの調査時期の間に、特記すべき方法・対象などの違いはなかった。この調査は、短時間の見回り調査による簡易推定法であるグレイド法 [3-17]を用いて、省農薬園の全株について行なった。この方法では、カイガラムシ各種の密度と病気各種の病斑葉発生頻度が、1株ごとに、それらの相対的なレベルの違いを表わす4段階（病気では5段階）の密度グレイドで記録した。実際の調査では、3~4人の調査者が1組になって、1株について約3分を費やし、それぞれが株全体を見回って概観した後、各部位を分担して葉・枝を精査し、あらかじめ設定した基準（表3-1）にもとづいて、調査者全員で相談の上、密度グレイドを決定した。

表3-1 グレイド法による個体群密度調査におけるグレイドの基準

密度グレイド	グレイドの基準
<害虫の場合>	
0	約3分間の見回り調査の間に対象とするカイガラムシを1頭も発見することができない。
1	各調査員は、葉または枝をよく見ることなしに、対象とするカイガラムシを発見することはできない。あるいは、対象種が高密度に発生している単位枝が何箇所かあっても、それが株内の全単位枝に占める割合は25%に満たない。
2	いずれの調査員も株全体の見回りだけで、容易に対象種を発見することができる。容易に対象種を見つけることのできる単位枝や対象種が高密度に発生している単位枝が、株内の全単位枝の約25-75%を占める。
3	容易に対象種を見つけることのできる単位枝や対象種が高密度に発生している単位枝が、株内の全単位枝の約75%以上を占める。
<病気の場合>	
0	約3分間の見回り調査の間に対象とする病斑葉を1枚も発見することができない。
1	病斑葉を発見することができるが、株の全葉に対する病斑葉の割合は、25%未満である。
2	株の全葉に対する病斑葉の割合は、25%以上50%未満である。
3	株の全葉に対する病斑葉の割合は、50%以上75%未満である。
4	株の全葉に対する病斑葉の割合は、75%以上である。

市岡・井上(1989)の方法に準じた。

(3) 省農薬園における枯死原因の推定

各回のグレイド調査では、害虫によって枯死に至った株を検出できた。また、推定が可能であった場合は、どのような原因で株が枯れたのかを同時に記録した。枯死の原因は、枯死発見時の情報だけでは推定することが困難な場合が多い。そこで、枯死の原因を特定するにあたり、枯死以前の害虫の発生状況の記録を検討して、改めて原因の推定を行なった。各回のグレイド調査時の枯死の記録には、記述の曖昧なものもいくつか含まれており、それらについては、とくに詳細に枯死原因の再検討を行なった。そのため、以前に公表したデータ[3-18]と若干異なった結果が得られた。

(4) 密度グレイドにもとづく省農薬園のカイガラムシ密度の推定

調査期間を通じて密度の高かった3種の固着性カイガラムシについては、11月上旬の調査における前項の密度グレイドの精度を検討し、各グレイドの平均密度をもとめることによって単位枝(2歳枝より先の葉と茎の部分をもとめたもの)1本あたりの雌成虫個体数を推定した[3-18](表3-2)。この株ごとの密度にもとづいて3種の省農薬園全体の平均密度の年次変動を明らかにした。

表3-2 固着性カイガラムシ3種の各グレードにおける単位枝あたりの平均雌成虫数

密度グレード	0	1	2	3
ヤノネカイガラムシ	0*	1.842	23.99	96.68
ルビーロウムシ	0*	0.967	9.52	49.8
ツノロウムシ	0*	0.284	2.36	11.53

*グレード0については、平均密度の詳細な推定を行なわなかったが、これを0と定義した。

(5) サンプルングによる省農薬園における害虫密度調査

密度グレードによる密度の推定を補うとともに、グレード法では調査できないアブラムシ、ミカンハダニの発生密度の変動を明らかにするために、省農薬園において、サンプルングによる害虫の個体数調査を行なった。1986年から89年までの各年と91年の、11月のグレード調査とほぼ同じ時期（10月中旬～11月上旬）に、省農薬園においていくつかの株から単位枝のサンプルングを行なった。無作為に選んだ成木20株の樹冠上層部、樹冠下層部、樹冠内部の三つの部位から、部位あたり3本、1株あたり計9本の単位枝を無作為に選び、それらを切りとってポリエチレンの袋にまるごと密閉し研究室にもちかえた。採取後3日以内に、実体顕微鏡を用いて、それらの枝にいるアブラムシ、ミカンハダニ、鱗翅目幼虫などの食植性昆虫の個体数を記録した。対象となる株の選定は1986年の調査開始直前に行ない、以後の調査を通じて同じ株を対象とした。ただし、調査期間の途中で枯死・衰弱などによりサンプルングの継続が不可能になった5株については、その都度、隣接する株に対象を変更した。また、同様の調査を、同じ20株を対象に、5月下旬と7月のグレード調査時期（7月下旬～8月上旬）に実施した。ただし、この調査ではカイガラムシ以外の食植性昆虫のみを対象とした。

(6) すず病の密度グレードとカイガラムシ密度グレードの間の相関

先に述べたとおり、すず病はカイガラムシ・アブラムシなどが排泄する甘露を栄養源として発生することが知られている。カイガラムシの発生がすず病の発生に正の効果を及ぼしているかどうかを明らかにするため、すず病とカイガラムシの間の密度グレードの相関を調べた。すず病と発生ピークの同調したツノロウムシ、個体数の多いルビーロウムシを対象とし、甘露を排出しないヤノネカイガラムシや個体数の少なかったその他のカイガラムシについては分析しなかった。

(7) 慣行園におけるグレード調査

1992年7月の調査時に、和歌山県海草郡下津町大窪の集落近辺にある慣行園2ヶ所（それぞれ松本武氏、仲田芳樹氏所有）からランダムに選んだ各25株について、同様のグレード調査を行なった。これらの慣行園は省農薬園からそれぞれ直線距離で約870mと約1420m離れており、途中は急斜面のミカン慣行園あるいは落葉広葉樹、タケ類を主体とする二次林で隔てられていた。

(8) 慣行園におけるグレイド調査

前項(7)のグレイド調査を補い、省農薬園と慣行園の間のカイガラムシ密度の差をより詳細に明らかにするために、上記(7)でグレイド調査を行なった二つの慣行園において、サンプリングによる害虫の個体数調査を行なった。それぞれの慣行園から各25株を無作為に選び(ただし、慣行園で調査対象とした株は、(7)で用いた株と重複しないようにした)、それぞれの株から、(5)で示した方法にしたがって、調査対象となる枝を選んだ。また、比較対照のために、(5)で用いた省農薬園の20株も調査対象とした。そして、1992年7月26日に、これら70株について1株あたり計9本の単位枝を任意に選び、害虫各種の個体数を記録した。ただし、この調査では枝を切らずに、野外において個体数の計数を行なった。

(9) ゴマダラカミキリの発生頻度調査

1991年の7月下旬に、ミカンの根元の株に残されたゴマダラカミキリの羽化脱出孔の頻度を省農薬園と慣行園(上記(7)(8)でもちいた二つの園)で調査した。この園のミカンの株は栽植後約25年ほどたっており、省農薬園のものとはほぼ同じ年令である。省農薬園と二つの慣行園からそれぞれ無作為に選んだ50株(慣行園は各25株)について、根元に見られるすべてのゴマダラカミキリの羽化脱出孔の数を記録した。

(10) 樹冠のこみあい度とそうか病グレイドとの相関

ミカン株間の樹冠のこみあい度がそうか病発生に正の影響を与えるかどうか明らかにするために両者の相関を調べた。樹冠のこみあい度は隣接する4株のミカン木を単位として次に与える式で算出した。樹冠こみあい度=樹冠面積/株面積。株面積は、4株のミカン木が占める総面積で、株の位置と樹冠の広がりから算出した。また、樹冠面積は、ミカン株の東西南北の4方向の樹冠半径を用いて各方向の扇形の面積を算出し、その4つの扇形の面積を合計して近似的に一本の株の樹冠面積とし、4本のミカン株のそれを合計して求めた。

3. 結果

(1) 省農薬園におけるカイガラムシの密度の年次変化

7月と11月の密度グレイドにもとづく各種カイガラムシの密度の年次変動を示した(図3-1)。また、ヤノネカイガラムシ、ツノロウムシ、ルビーロウムシの3種については、11月の密度グレイドから算出した単位枝あたり雌成虫個体数で示される密度の年次変動も示した(図3-2)。7月の時点では、全種において、それぞれの年次の個体群成長は初期段階にあり、発見が比較的容易な成虫個体は少なく、年2世代以上をもつ種では、令構成の株間のばらつきが11月の時点に比べて大きかった。また、図3-1に示されるように7月の密度グレイドの方が11月のものより年次間の変動

が大きかった。そこで、年次変動の傾向を明瞭にするために、11月の密度グレイドの年次変動を示した(図3-3)。また、1986年から91年まで実施したサンプリング調査の結果もあわせて示した(図3-4)。

a. ヤノネカイガラムシ

ヤノネカイガラムシの密度は、マシン油乳剤を散布していた時期(1985年以前)、天敵導入のためにマシン油乳剤を散布しなかった時期(1986~1988年)、導入した2種の寄生蜂の効果が現われ始めた時期(1989年以降)の3つの時期で大きく異なっている(図3-1,2,3)。

マシン油散布期には、グレイド2以上の株は15%に達せず、グレイド3の割合は3.3%を越えなかった。また、グレイド0の株の割合は37~87%の間で推移した。単位枝あたり雌成虫個体数は、1983年に大きく減少している(値は0.767)ことを除けば、密度変化の振幅は小さく3.048~4.618の範囲にあった。

マシン油停止期には、グレイド0の株が急激に減少するとともに、グレイド3の株が急激に増加し、その割合は1987年11月に26%に達した。単位枝あたり雌成虫個体数は、87年には33.1となり、翌88年もほぼ同じ水準(30.7)が維持された。この2年間には、グレイド2以上の多くの株では、若い枝葉が枯れ始め、88年11月には、グレイド3の株の大部分は、枯死寸前の状態を呈した。

1989年以降は、87年に導入した2種の寄生蜂の寄生の効果により、グレイド2以上の株の割合と単位枝あたり雌成虫個体数が急激に減少した。90年には単位枝あたり雌成虫個体数が2.254となり、83年を除くマシン油散布時の水準を下回った。このように、89年7月以降ヤノネカイガラムシの平均密度は減少を続け、ヤノネカイガラムシの生息が確認できた株数(グレイド1以上の株数)も90年7月には減少した。ただし、後者の値は、91年11月にはわずかに増加した(図3-1)。

サンプリング調査の結果も、グレイドに示される密度の増減と同様の傾向を示した(図3-4)。マシン油散布停止後の87年と88年には、単位枝あたりの雌成虫個体数は100頭を越えたが、導入寄生蜂の効果が現われた89年には14.6頭に激減し、91年には4.1頭へとさらに低下した。

1985年を除くすべての年で、1以上および2以上のグレイドの合計割合は、7月よりも11月で値が高くなった(図3-1)。

b. ツノロウムシ

ツノロウムシでは、7月と11月の間で密度グレイドの割合に大きな違いの見られる年があった(1984, 85, 86, 87, 91年、図3-1)。これらのいずれの年においても、若令幼虫が対象となる7月に比べて成虫が対象となる11月で、2以上のグレイドの割合が大幅に減少していた。

11月の密度グレイドあるいは単位枝あたり雌成虫個体数をみると、ツノロウムシは、1982年と87年に明瞭な山をもつ、幅の大きい個体数変動をしていることが示された(図3-2,3)。

1982年の山では、11月の調査で、グレイド3の株が43.9%を占め、グレイド2を合わせると79.0%に達した(図3-3)。翌83年の11月も、グレイド3は全株の21.1%を占め、グレイド2以上の株の割

合も58.0%と高かった。82年、83年には単位枝あたり雌成虫個体数がそれぞれ5.939, 3.395となり、ヤノネカイガラムシの密度を上回った。

1987年の山は、前の山に比べて水準が低く、また山の翌年の密度減少は前の山よりも激しかった。この山の時点には、11月の調査において、グレード3は24.4%、グレード2を合わせて49.3%に達した(図3-3)。この年に山を示した後、密度は減少し続け、91年には調査期間中でもっとも低い値(0.244)を示した。87年以後の密度の減少はサンプリング調査の結果でも裏付けられた(図3-4)。

グレード0の株は調査期間を通じて少なく、80年と84年、91年のそれぞれ11月の調査以外では、10%前後以下であった(図3-1)。ツノロウムシは早い時期に調査地全体に分布域を拡げており、調査開始時(1980年11月)に、グレード1以上の株は既に57.5%に達していた。

c. ルビーロウムシ

調査を開始した1980年11月には、ルビーロウムシの単位枝あたり雌成虫個体数は前2種に比べて低く(0.142)、グレード1以上の株は全体の4.5%に過ぎなかった(図3-1,3)。しかしその後、83年と89年を除いて、11月におけるグレード1以上の株の割合および単位枝あたり雌成虫個体数はともに緩やかに増加を続け、88年には後者は5.669に達し、また91年には前者が98.6%となった。グレード2、グレード3の割合も、83年と89年を除いて、年を追うごとに徐々に増加し、グレード2以上の割合は、88年と91年にはそれぞれ22.7%、18.0%となった。

サンプリング調査においても、密度は、19.3%(前年比)減少した89年を除くと、86年から91年にかけて増加する傾向が示された(図3-4)。1991年には、単位枝あたり雌成虫数は、平均15.1頭に達し、省農薬園のカイガラムシ類のなかで最優占種となった。

前2種と異なり、各年次内の7月と11月の間の密度グレードの割合の差は比較的小さかった。

以下に示す4種のカイガラムシについては、密度の高い集団が観察されることは調査期間を通じてほとんどなく、グレード2以上の株の割合は各年ともきわめて低かった(図3-1,3)。サンプリング調査においても、個体がまったく発見されない株が多くを占め、年によっては推定誤差が大幅に大きくなった(図3-4)。

d. ミカンヒメコナカイガラムシ

11月の密度グレードは、1982年以降90年までグレード1以上の割合が増加を続け、90年には72.6%に達した(図3-3)。7月の密度グレードも同様の傾向を示し、84年と88年、89年を除いて、82年から90年にかけてグレード1以上の割合が増加を続けた。2以上のグレードの割合がきわめて低く、5%を超えることがなかった(図3-1)。

1984, 88, 89, 90年では、7月に比べて11月の方が1以上の密度グレードが高かったが、それ以外の年では逆に11月の方が高く(ただし、82年は両月ともグレード0が100%)、季節のちがいによる密度グレードの変化の傾向は明瞭ではなかった(図3-1)。

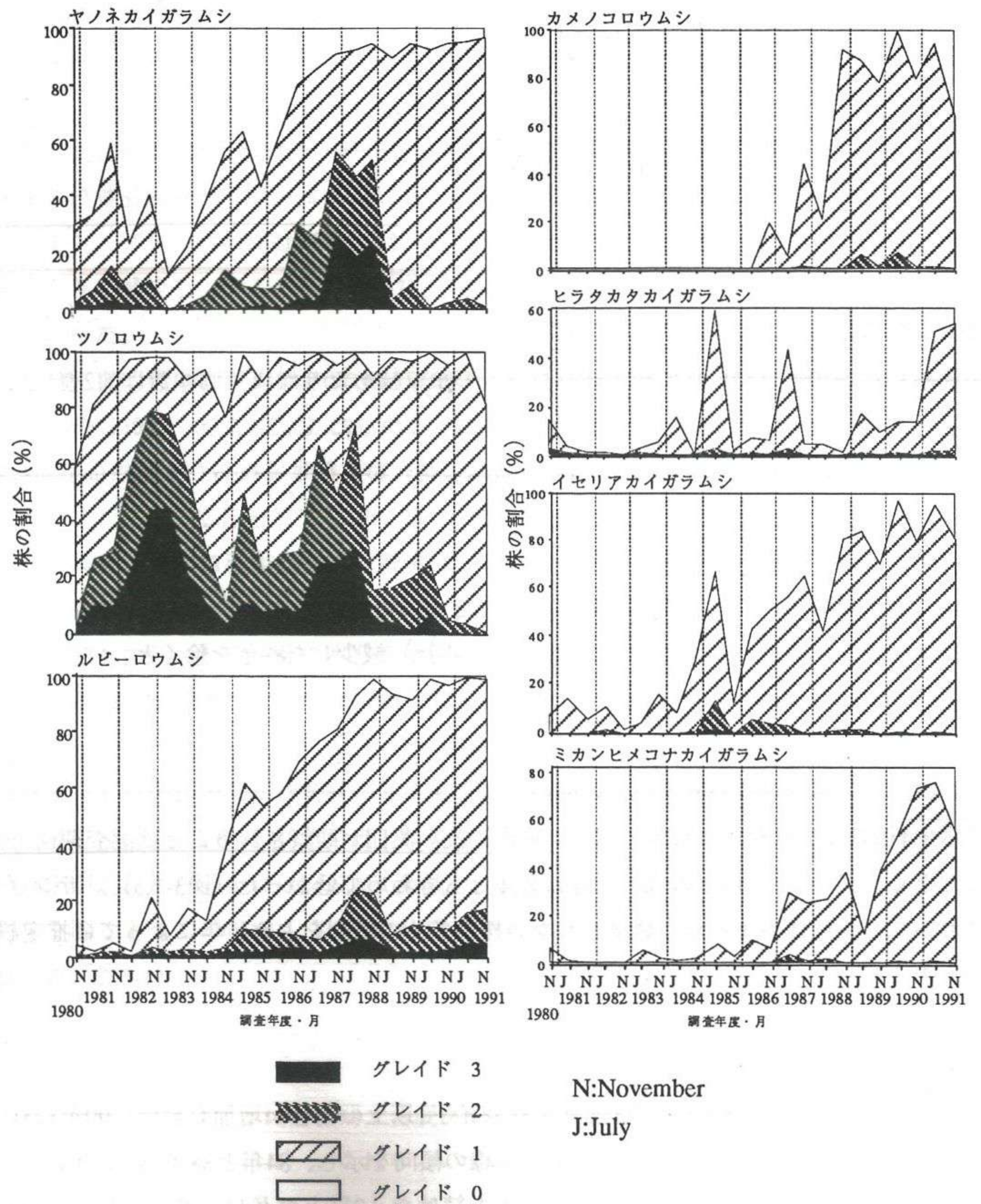


図3-1 カイガラムシの密度グレードの頻度の時間的变化

サンプリング調査の結果をみると、単位枝あたりの老令幼虫と成虫をあわせた個体数は、1986年から91年まで0.23頭から1.61頭の範囲を推移した(図3-4)。いずれの年でも、個体数が1頭も発見されない株が全サンプルの大部分を占めたが、先に述べたように本種はしばしば集団を形成するため、個体数の多い集団が全サンプル中に1,2個でも含まれた場合(1986年と91年)には、全体の推定個体数は他の年に比べて異常に高くなった。

e. カメノコロウムシ

1986年7月以前は全株がグレード0であった(図3-1)。1986年11月以降、調査地内における分布域を急速に拡大し、1989年以降は60~80%の株で生息が確認された。グレード2以上の株は89年7月に5.9%、90年7月に6.8%に達したが、その他の年では約2%以下(最大2.2%)で推移しており、増加傾向は認められなかった。グレード3の株は89年から90年にわずかに見られたが、1%前後にとどまった。

サンプリング調査の結果をみると、1986年から89年にかけては、平均単位枝あたり雌成虫個体数が増加する傾向を示したが、1991年には逆に大きく減少した(図3-4)。

f. イセリアカイガラムシ

1982年以降、85年と89年を除き、グレード0の株の割合が減少しており、91年には80.2%の株で生息が確認された(図3-1)。グレード2の株が、84年、86年と88年にそれぞれ0.41%、3.46%、1.42%とわずかに増加したが、それ以外の年にはグレード2に分類されるほど密集した集団が形成されている株は確認できなかった。

サンプリング調査では、個体を発見できた株が大部分を占めたが、1986年と87年を除いて、単位枝あたりの雌成虫と老令幼虫をあわせた個体数はきわめてわずかだった(88年4株、89年と91年は各3株)。そのため、それらの年では平均個体数の推定幅も大きくなった(図3-4)。86年も株間の発見個体数のばらつきが大きかった。

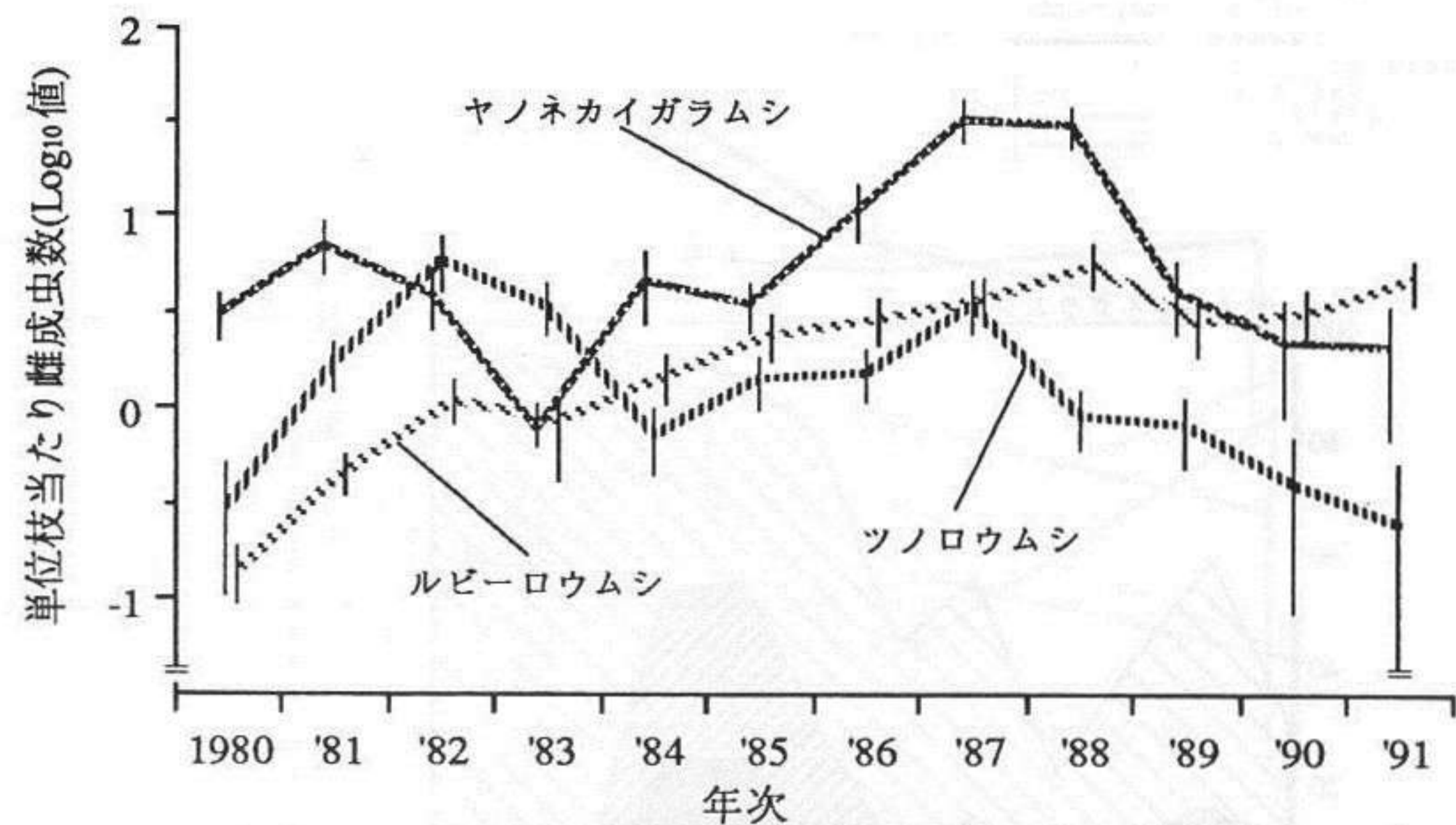


図3-2 省農薬園において個体数の多かった3種のカイガラムシの11月における個体群密度の年次変化

図3-1、3のグレードの頻度より、表3-2の値を使って平均密度を推定した。各点の縦棒は推定値の95%信頼区間を示す。

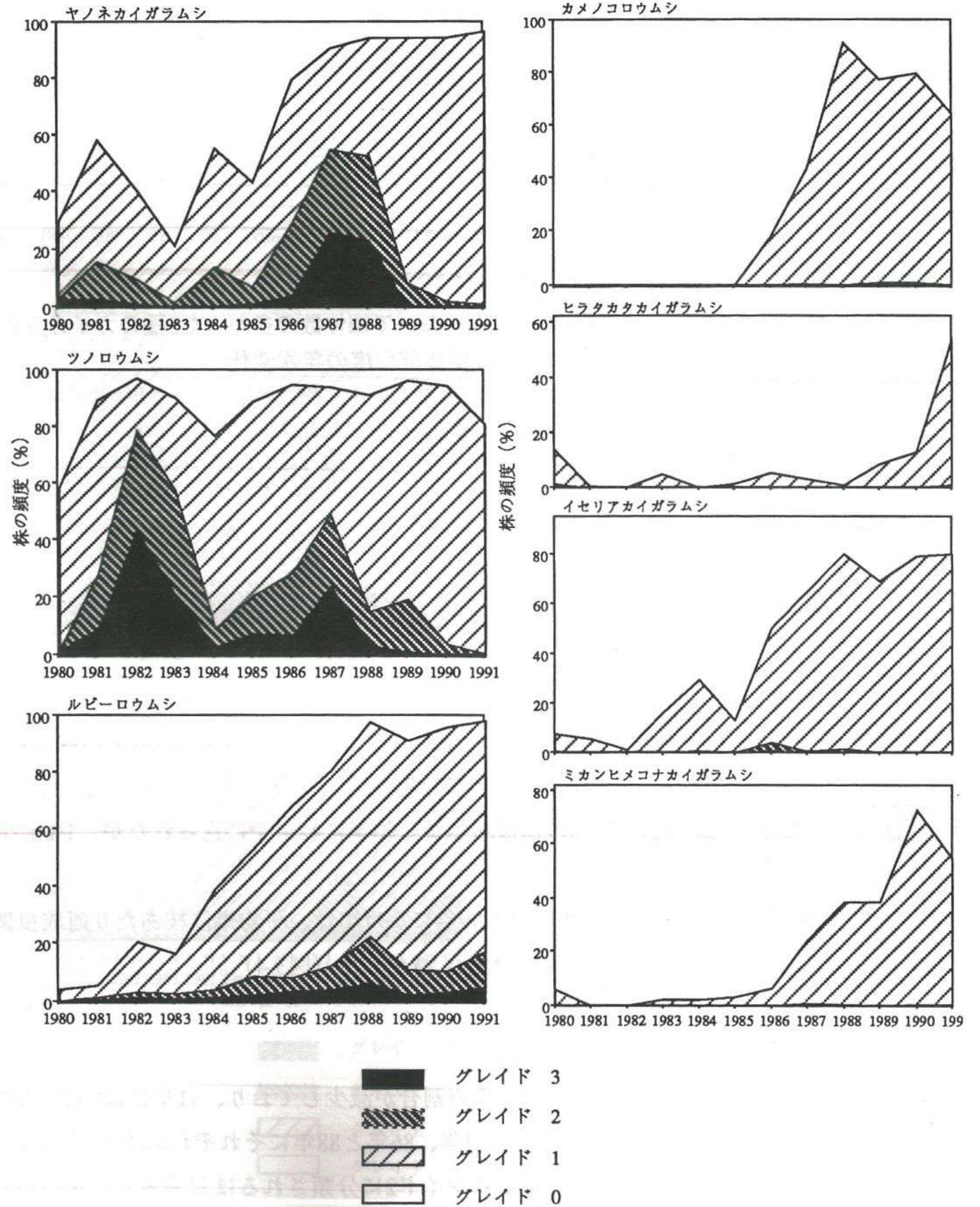


図3-3 カイガラムシの11月における密度グレードの頻度の年次変化

g. ヒラタカタカイガラムシ

1985年と87年の7月、91年の7月・11月にはグレード1以上の割合は40～60%となったが、その他の調査時ではその割合は低く、0～15%で推移した(図3-1)。1983年と91年を除いたすべての年で、11月に比べて7月の方がグレードが1以上である株の割合が高かった(図3-1)。

サンプリング調査の結果においても、1986年から1989年の4年間には、まったく個体の発見できない株が全体の70%以上を占めており、平均単位枝あたり個体数(成虫+老令幼虫)は0.023頭から0.15頭の範囲にあって他種に比べて低かった(図3-4)。

1991年は、平均単位枝あたり個体数は1.01頭となったが、発見個体数が0頭の株と十数頭から数十頭みられる株の両極端に分かれ、その推定幅が大きくなった。

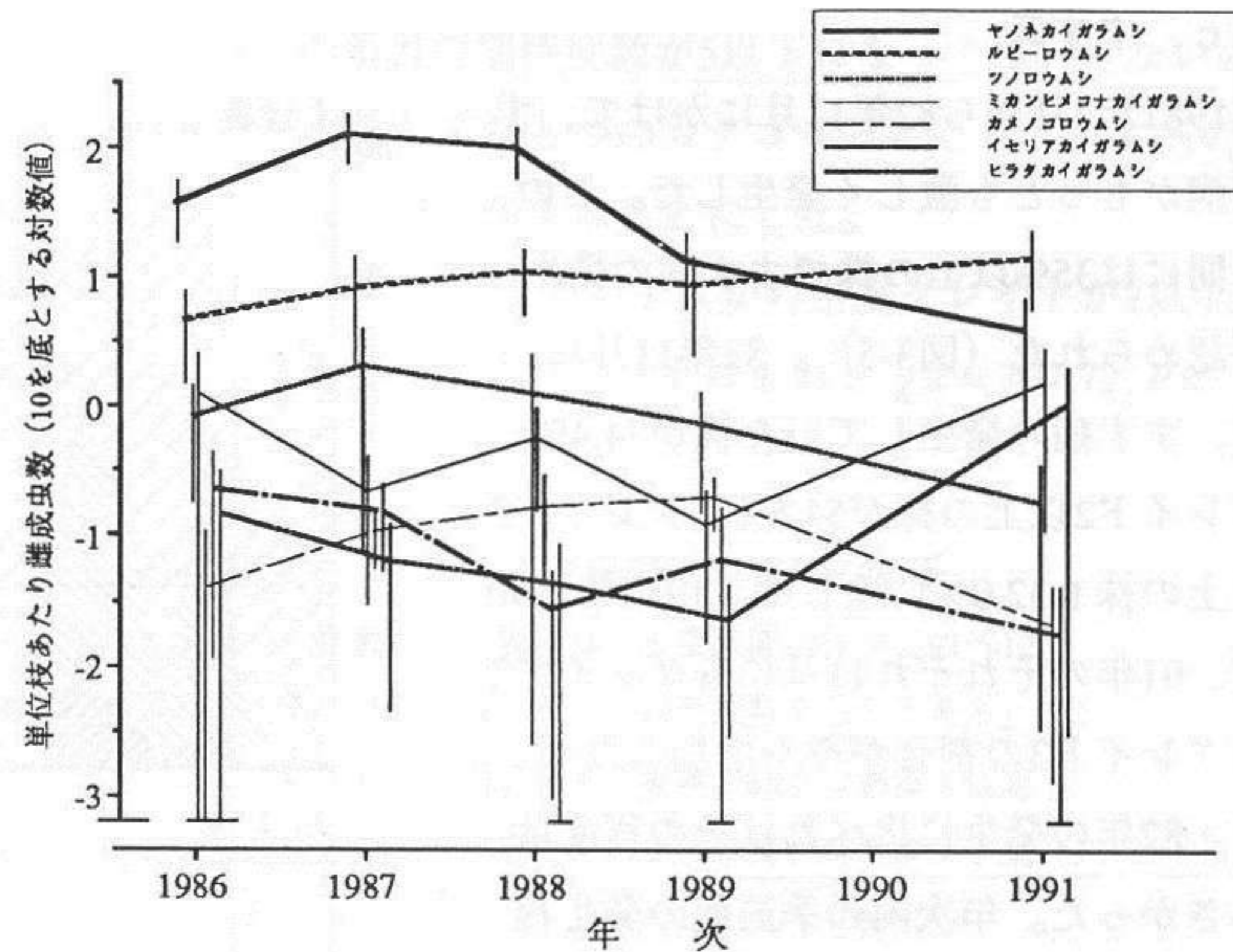


図3-4 省農薬園の20株からの枝のサンプリングによって推定された11月におけるカイガラムシ密度の年次変動
縦棒は95%信頼区間をあらわす

(2) 省農薬園における病気の密度グレードの年次変化

a. そうか病

調査期間を通じて全株の80%以上でそうか病の病斑が認められ、本園でもっとも発生率の高い病害であった(図3-5)。1983年と87年以外は、各年次内のグレード2以上の割合は、7月の方が11月よりもかなり高い値をとった。同様の傾向は、3以上のグレードの割合についても、83年以外のすべての年で認められた。1982年7月、83年7月・11月、86年7月・11月、89年7月から90年7月にかけての調査時にグレード2以上の株の比率が40%を越えた。

b. かいよう病

1980年11月には、全園にかいよう病が拡がり、76.9%の株に病斑が認められ、グレード3の株が1.4%見られた。しかし、この年の例外的な流行を除けば、かいよう病の発生は限られており、病斑の認められた株(グレード1以上の株)の割合は、1981年以降、調査期間を通じて20%を越えることはなかった(図3-5)。さらに83年7月・11月、84年7月を除くと、グレード1以上の株の割合はさらに低くなり、5%を越えることがなかった。

c. すず病

1981年7月から82年11月にかけて、すず病がもっとも激しく発生した。この期間には35%以上の株ですず病の発生が認められた(図3-5)。82年11月には、すず病の発生していた株が74.4%、グレード2以上の株が54.5%、グレード3以上の株も32.0%に達した。1987年と90年、91年のそれぞれ11月にもグレード2やグレード3の割合がやや増加したが、81・82年の発生に比べればその程度は小さかった。年次内の季節間の発生程度の大小についての一般的な傾向は認められなかった(図3-5)。

(3) すず病とツノロウムシ、ルビーロウムシの間の密度グレードにおける相関

ツノロウムシあるいはルビーロウムシの発生程度の違いがすず病の発生の有無に影響を与えているかどうかを知るために、ひとつの株におけるそれぞれのカイガラムシの11月の密度グレードとすず病の発生の有無の相関関係を調べた。対象とするカイガラムシの密度グレードとすず病のグレードの頻度の独立性を、観察度数と期待度数の間の χ^2 値を算出することによって検定した(表3-3)。ここでは、全調査期間

(12年間)のデータを同時に対象とした。ただし、他種のカイガラムシの発生の影響を排除するため、対象種以外のカイガラムシの密度グレードが2以上となった株はこの解析からは除外し

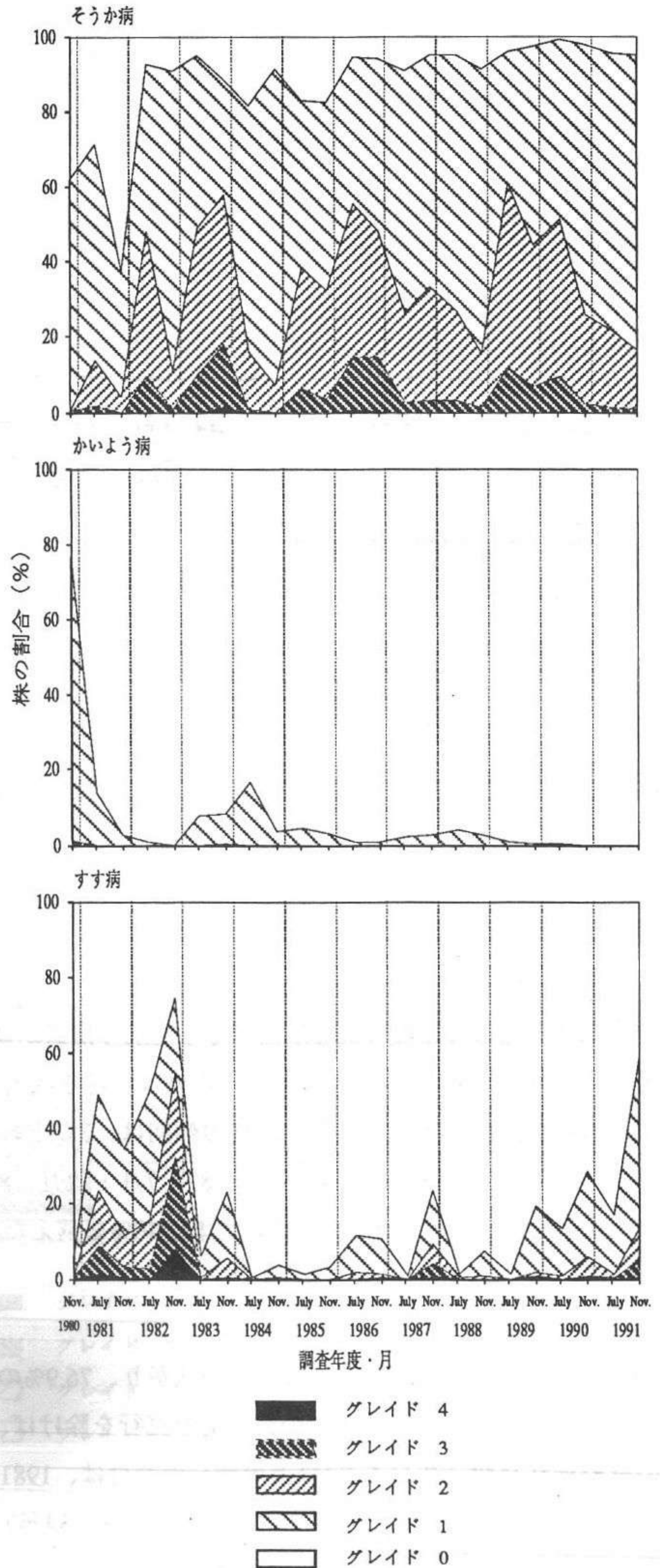


図3-5 病斑の密度グレードの頻度の時間的变化

た。この検定法の制約上、分割表（表3-3）の1つの項目の期待度数が5以下になってはいけな
 いので、カイガラムシの密度グレードの2と3の度数を合算してひとつのカテゴリーとした。すす病の
 発生の有無は、それぞれグレード1以上かグレード0かで分類することにした。

表3-3に示すように、ルビーロウムシあるいはツノロウムシのいずれかの密度グレードが2以上
 の株で、すす病が有意に高い頻度で発生していることが示された（それぞれ、 $\chi^2 = 707.72, P <$
 $0.0001; \chi^2 = 355.259, P < 0.0001$ ）。

表3-3 ツノロウムシ、ルビーロウムシの密度グレードとすす病発生の有無の関係

すす病の有無は、密度グレードの1以上と1未満で区別した。表には、省農薬園全体の、のべ12
 年間の11月のグレード調査の結果をこみにして、あてはまる項目ごとに観測株数を示してある。
 括弧内には、それぞれのカイガラムシの密度グレードとすす病の発生の有無が独立であると仮定
 したときの期待株数を示してある。いずれの種類においても、密度グレードの高い株ではすす病
 の発生頻度が有意に高くなっていることが示された（ツノロウムシ, $c = 702.72, P < 0.0001$; ル
 ビーロウムシ, $c = 355.59, P < 0.0001$ ）。

ツノロウムシ

ツノロウムシのグレード	すす病の有無	
	無	有
0	539 (439.7)	30 (129.3)
1	2412 (2195.4)	429 (645.6)
2,3	545 (860.9)	569 (253.1)
合計	3496	1028

ルビーロウムシ

ルビーロウムシのグレード	すす病の有無	
	無	有
0	1492 (1346.6)	112 (257.4)
1	1459 (1516.2)	347 (289.8)
2,3	110 (198.1)	126 (37.9)
合計	3061	585

(4) 慣行園におけるカイガラムシ・病気の発生状況

5種のカイガラムシ、ミカンヒメコナカイガラムシ、ツノロウムシ、ヤノネカイガラムシ、カメ
 ノコロウムシ、ルビーロウムシ以外のカイガラムシと病気3種については、すべての株で密度グレ
 イドが0となった（図3-6）。発生が確認された5種のカイガラムシについても、2以上のグレード
 に分類される株はまったくなかった。また、ミカンヒメコナカイガラムシを除く残りの4種では、
 省農薬園のものに比べると、グレード1の頻度は大きく下回っていた。

慣行園と省農薬園で同時に行なったサンプリングによる害虫密度調査の結果をみても、ほぼす
 べての害虫について、慣行園では、省農薬園に比べて密度が著しく低くなっていることが明らか
 になった（図3-7）。

(5) カイガラムシ以外の害虫の発生状況

省農薬園のサンプリング調査によって確認できたカイガラムシ以外の害虫は、アブラムシ類、ミカンハダニ、ミノガ、アゲハチョウ、クワゴマダラヒトリ、シャクガの1種の幼虫であった(図3-8)。最後のものは1987, 88, 89年に各1頭が確認されただけだったので図示しなかった。

アブラムシ類は、ほぼ毎回(1986年5月から89年11月の各調査と91年の5・8月)発見された。いずれの年でも5月にもっとも個体数が多く、季節が進むにつれて個体数は減少する傾向が認められた。アブラムシ類は、コロニーを形成するため、発生している株と、していない株の間で個体数が大きく異なっており、個体数の推定幅は大きくなった。

ミカンハダニは1986年5月と8月、87年5月の調査で発見されたが、他の調査においてはまったく発見できなかった。

鱗翅目の幼虫は、1987年5月にクワゴマダラヒトリが比較的多数見られた以外、全期間を通じてきわめて低密度で推移し、アゲハチョウ、ミノガの幼虫がわずかに発生しただけであった。

(6) ゴマダラカミキリ発生頻度の省農薬園 - 慣行園間比較

ゴマダラカミキリの羽化脱出孔の株あたり平均数は、省農薬園で1.82個、慣行園で1.10個となった。脱出孔数の頻度分布をみると、省農薬園の方が、脱出孔のない株数の頻度はきわめて少なく、逆に1~3個の孔をもつ株の頻度は多かった(図3-9)。省農薬園の株の方が、慣行園のものよりも有意に多くの脱出孔をもつ傾向が示された(Man-Whitney検定、 $Z = 2.964, P = 0.003$)。

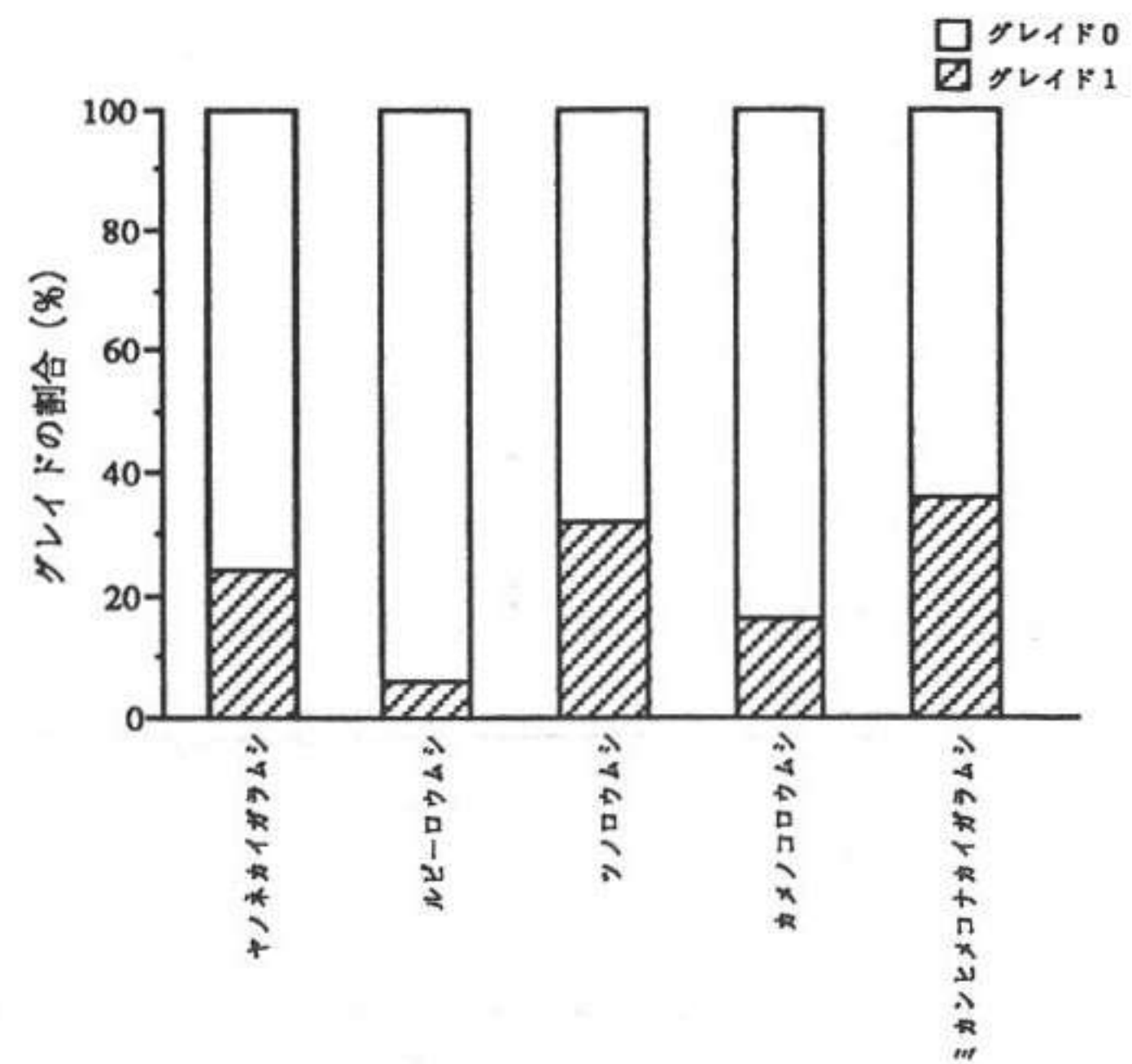


図3-6 慣行園の50株における病害虫のグレード調査の結果

図示していない病害虫についてはすべての株でグレード0を記録した

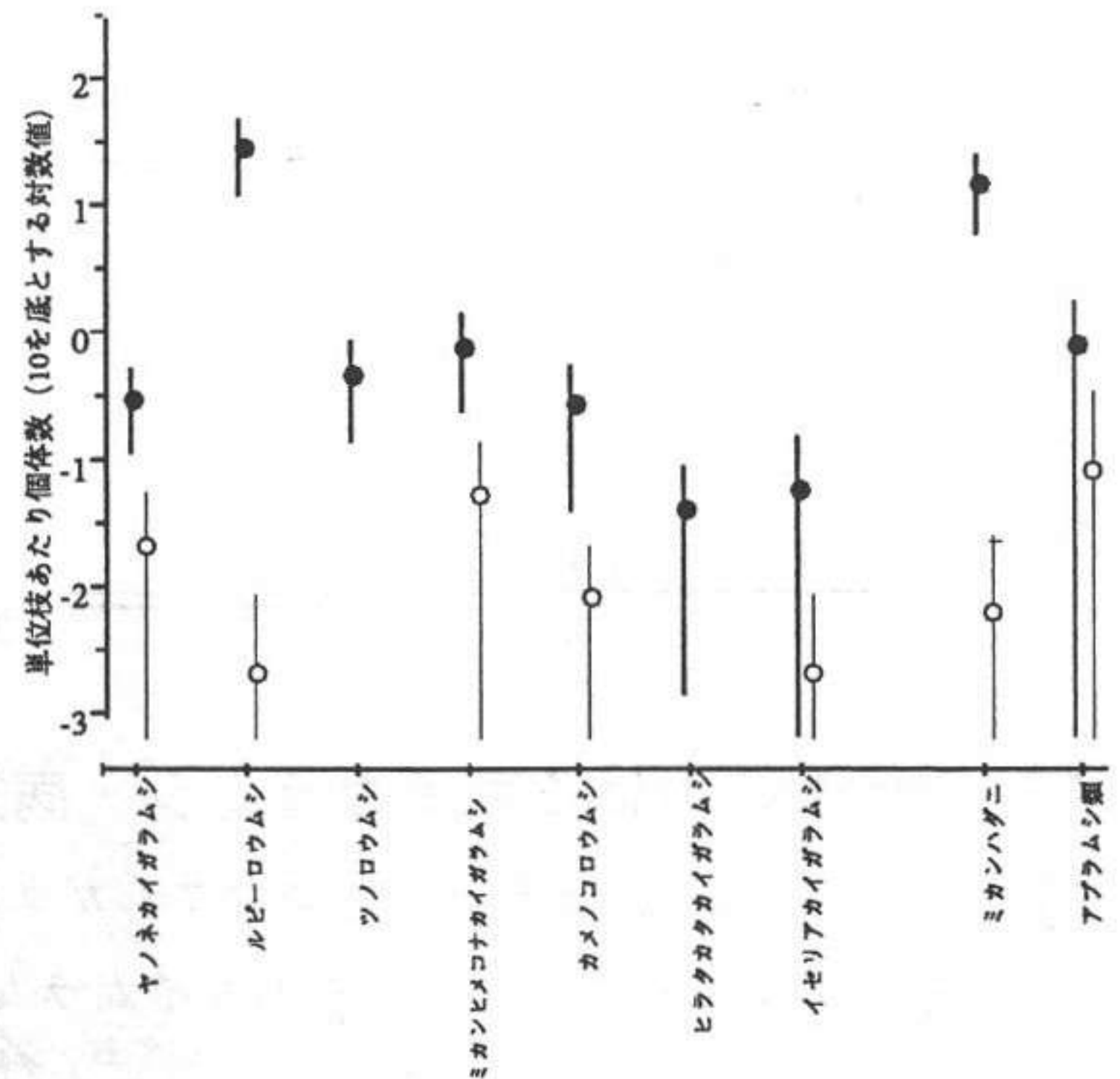


図3-7 省農薬園 (●) と慣行園 (○) における害虫の平均密度

縦線は95%信頼区間を示す

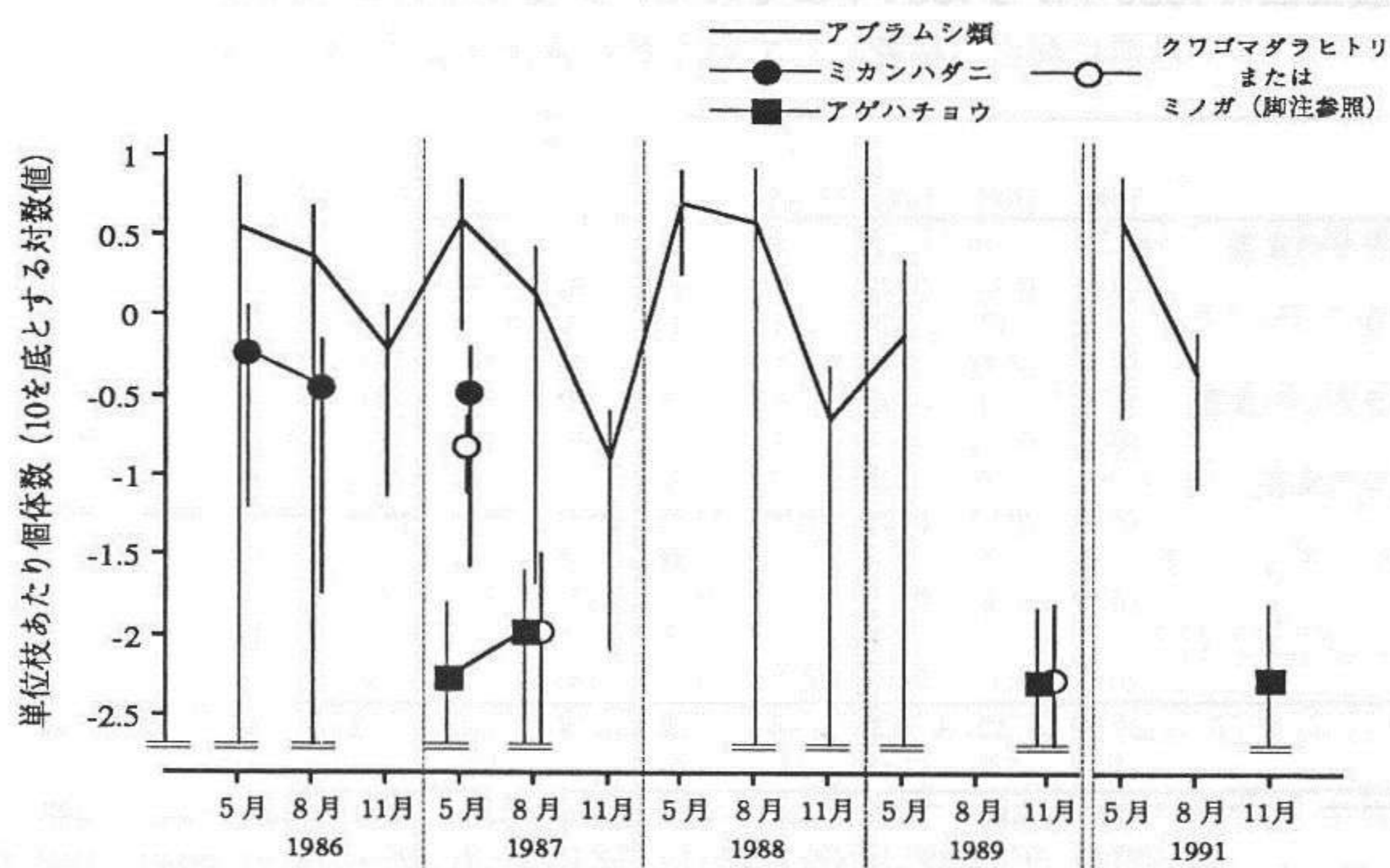


図3-8 カイガラムシ以外の害虫の密度変化

3つの○のうち、1987年5月のもののみクワゴマダラヒトリを表し、残りはミノガを表す。点のない調査月には対象とする害虫が発見されなかったことを示す

(7) 省農薬園における害虫の食害による枯死

省農薬園での調査を開始した1980年以降の各年の株の枯死頻度を原因別に示した(表3-4)。年平均の枯死率は1.7%、のべ99株が枯れた。ゴマダラカミキリの食害による枯死頻度がもっとも高く、のべ40株にのぼり、ついで、幼木の定着不良によるものが34株にのぼった。この2つの原因以外の枯死頻度はこれらに比べてかなり低く、ヤノネカイガラムシの食害による枯死(のべ7株)が3番目に多い枯死原因であった。頻度の高い2つの原因を除けば、それぞれの原因による年あたりの枯死株数は3株をこえることはなかった。

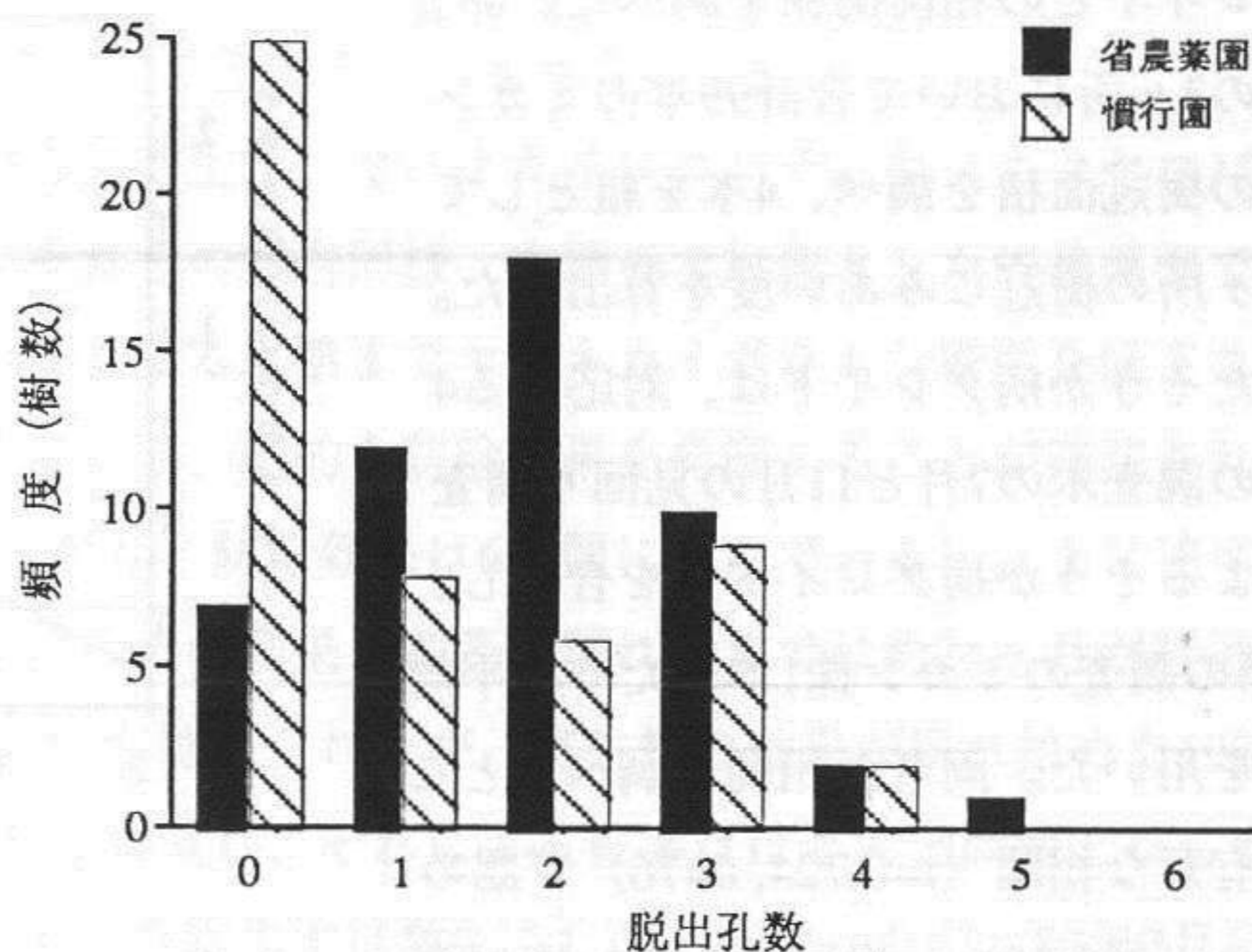


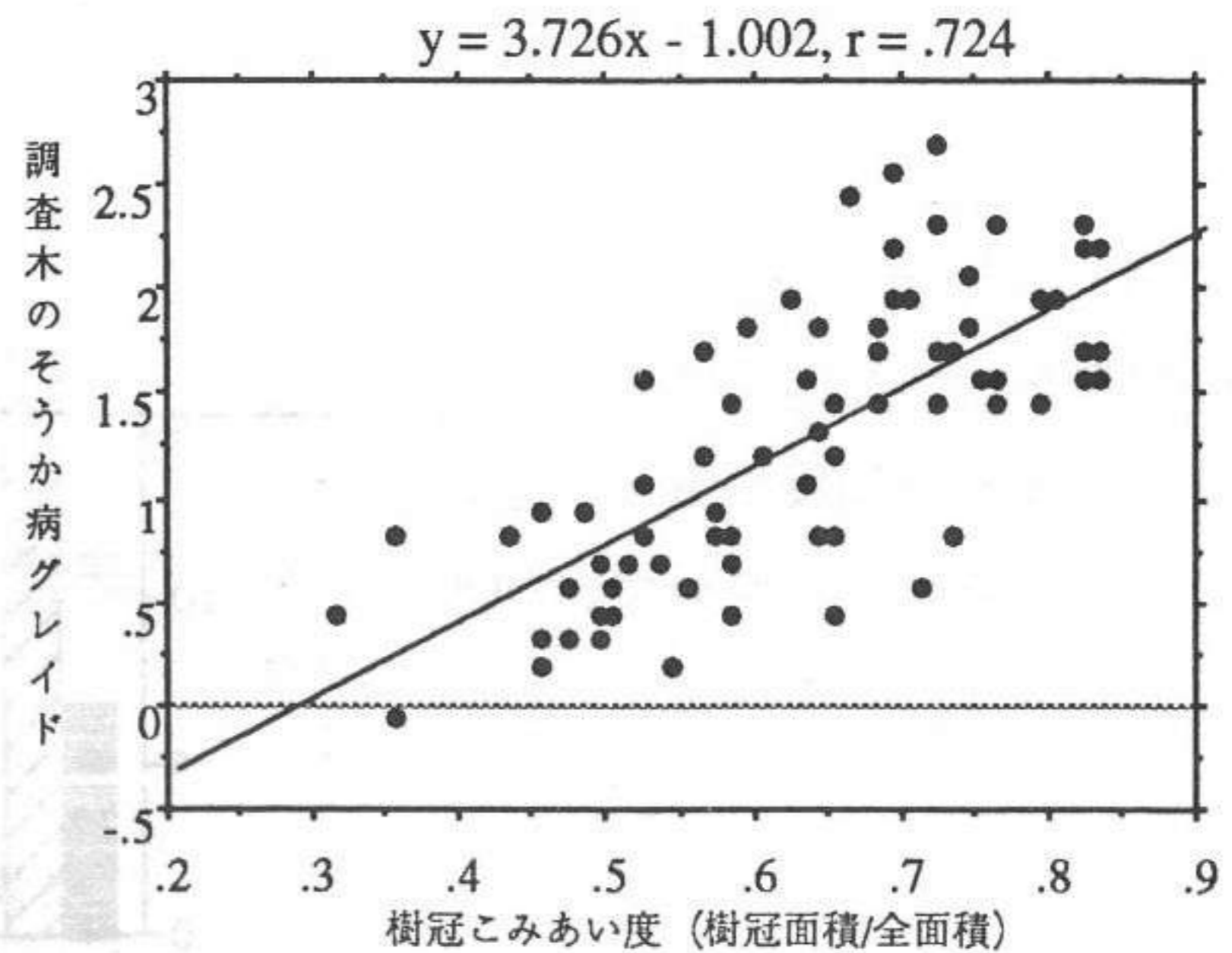
図3-9 省農薬園と慣行園におけるゴマダラカミキリの羽化脱出孔数別の株の頻度分布

表3-4 省農薬園の1980年から1991年までのウンシュウミカン504株の死亡（枯死）状況
以前に死亡（枯死）していながら調査時までの補植されていない株を表す。

死亡要因	年次												合計
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
ゴマダラカミキリの食害	3 (0.6)	0 (0.0)	1 (0.2)	1 (0.2)	2 (0.4)	2 (0.4)	2 (0.4)	1 (0.2)	5 (1.0)	1 (0.2)	12 (2.4)	10 (2.0)	40 (0.67)
幼木の定着不良	2 (0.4)	12 (2.4)	12 (2.4)	1 (0.2)	0 (0.0)	1 (0.2)	2 (0.4)	1 (0.2)	1 (0.2)	0 (0.0)	2 (0.4)	0 (0.0)	34 (0.57)
ヤノネカイガラムシの食害	1 (0.2)	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.4)	3 (0.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	7 (0.12)
ルビーロウムシの食害	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.03)
風倒	0 (0.0)	2 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.2)	5 (0.08)
原因不明	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.4)	3 (0.6)	2 (0.4)	2 (0.4)	1 (0.2)	0 (0.0)	1 (0.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	11 (0.18)
枯死木合計	6 (1.2)	15 (3.0)	13 (2.6)	4 (0.8)	5 (1.0)	9 (1.8)	6 (1.2)	3 (0.6)	8 (1.6)	5 (1.0)	14 (2.8)	11 (2.2)	99 (1.7)
生存木	493 (98.8)	486 (97.0)	480 (97.4)	488 (99.2)	493 (99.0)	489 (98.2)	492 (98.8)	498 (99.4)	493 (98.4)	492 (99.0)	480 (97.2)	489 (97.8)	5873 (98.3)
調査木合計	499	501	493	492	498	498	498	501	501	497	494	500	5972
未補植	3	1	9	10	4	4	4	1	1	5	10	4	56
調査地点合計	502	502	502	502	502	502	502	502	502	502	504	504	6028

(8) 樹冠のこみあい度とそうか病グレードとの相関

樹冠のこみあい度、すなわち株間の空間の大小が、そうか病発生に影響を与えているかを調べるために、樹冠こみあい度とそうか病グレードとの相関関係を調べた。調査園の3ヶ所において合計99本のミカン株の樹冠面積を調べ、4本を組として76ヶ所の樹冠こみあい度を算出した。またそうか病グレードは、対応する4本の調査木の7月と11月の見回り調査によるそうか病グレード値を合計し、1回の調査のミカン株1本当たりの平均値を用いた。両者の相関を調べたところ有意な相関 ($r=0.724, n=76$) が認められ (図3-10)、樹冠こみあい度が高くなるほど、そうか病が発生し易くなることが示唆された。



分散分析結果

Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	17.367	17.367	81.658
RESIDUAL	74	15.739	.213	p = .0001
TOTAL	75	33.106		

図3-10 樹冠こみあい度とそうか病グレードとの相関

4. 考 察

(1) 省農薬園におけるヤノネカイガラムシ

カイガラムシ類のなかでは、ヤノネカイガラムシの密度がもっとも高く、省農薬園においても、慣行園同様、害虫として重要度が非常に高いことが示された。導入寄生蜂の防除効果を実験的に明瞭に捉えるため1985年11月から88年11月にかけてマシン油乳剤の散布を停止した。マシン油散布停止後直後からヤノネカイガラムシの密度は急激に増加し、それ以前に比べて、約10ないし20倍の水準に達した(図3-2)。このときには、半数をこえる株で、葉、枝先、樹冠の一部などが褐色に変色したり、枯れ始めたりする現象が認められた。こうした徴候が認められた株は、そのままヤノネカイガラムシを駆除しないで放置すると、1年以内に枯死に至ることが別に行なった野外実験で確認されている(未発表データ)。また、ヤノネカイガラムシによる枯死7例のうち5例は、この時期の被害によるものである。このように、年1度のマシン油乳剤の散布までも省いてしまうと、別の対策(本調査では導入寄生蜂による防除を行なった、後述)を講じない限り、ヤノネカイガラムシは急激に個体数を増加させ、枯死という壊滅的な被害を与えることが改めて示された。

マシン油乳剤を散布していた1985年以前は、ヤノネカイガラムシの密度は、多少の変動はあるものの、増加傾向を示すことなく、比較的安定していた(図3-1,2,3)。また、ヤノネカイガラムシによる枯死もほとんどなかった。したがって、年1回冬季のマシン油乳剤(50倍)散布のみという省農薬化によっても、十分、ヤノネカイガラムシの密度上昇を抑制し、ミカンの株の成長、生存に激烈な被害を与えない程度に制御することが可能であると考えられる。

多くの地方の柑橘栽培地において、2種の導入寄生蜂、ヤノネキイロコバチ、ヤノネツヤコバチの高い防除効果が報告されてきた[3-6,7,8]。それらの報告同様、本調査で対象とした省農薬園でも、2種の寄生蜂は、防除対象とする必要がなくなる水準までヤノネカイガラムシ密度を低下させ、少なくとも3年間はその水準を維持するという、劇的な防除効果を発揮することが確認された(1994年11月現在も同程度の水準を維持しており、防除効果は6年間に及んでいる)。上に述べたように、87年に2種の導入寄生蜂を放飼してからその効果が顕著に現れるまでに約24ヶ月が経過したため、その間に省農薬園の全体に被害の兆候が認められたが、寄生蜂の効果が現れ始めた1989年の春以降は、ヤノネカイガラムシの個体数は激減し、それによる被害はほとんど問題となくなかった。88年11月までは、寄生蜂2種をあわせた寄生率は数%にも達しなかったが、89年7月には40%を超え、それ以後も寄生率は50~80%を推移した(未発表データ)。1991年11月の段階でも、ヤノネカイガラムシ個体数はマシン油散布時に比べても、少なくとも50分の1以下に減少している(未発表データ)。これら2種の寄生蜂の定着後は、ヤノネカイガラムシによる葉や枝の部分的壊死もほとんど目立たなくなり、ミカンへの被害はほとんど問題となくなかった。以上のように、省農薬栽培下においては、ヤノネカイガラムシの原産地から導入されたこれら2種の寄生蜂を利用することで、マシン油乳剤散布も不必要となり、さらなる省農薬化が達成されることが示

された。

寄生蜂を導入するためには、数十頭から数百頭程度の成虫個体をたかだか2、3度放飼するだけですみ（ここでは、2種の寄生蜂をそれぞれ約200個体、1度放飼しただけである）、その後の特別な管理も必要としない。省農薬栽培においては、これらの寄生蜂の利用価値はきわめて高いと言えよう。一方、農薬を多投する慣行栽培では、寄生蜂は農薬に対しては耐性がほとんどないため、これらの寄生蜂の防除効果を十分に生かすことができないと思われる。

（2）省農薬園におけるヤノネカイガラムシ以外のカイガラムシ

ツノロウムシ、ルビーロウムシは、ヤノネカイガラムシとともに、他の4種のカイガラムシに比べて発生個体数が多かった。これらのカイガラムシがもたらす被害は、すす病を誘発させるという間接的な被害と吸汁によるミカンの株への直接的な被害の二つに大別することができる。

いずれのカイガラムシとも、各個体は甘露を0.2mm以下の小さな水滴にして周囲の枝や葉に飛散させる。また、いずれの種類でも、密度の上昇にともない、枝に個体が密集した集団を形成する傾向があり、そうした集団の周囲には大量の甘露が蓄積している。そうして蓄積された甘露を栄養源として発生しているすす病がしばしば省農薬園で観察された。それぞれのカイガラムシの密度グレードが2あるいは3の株において、すす病の発生が有意に高くなっている点（表3-3）からも、2種のカイガラムシの密度がグレード2を超える程度に上昇すると、それらの排泄する甘露によってすす病の発生が誘発されるものと考えられる。しかし、1981年と82年を除いて、すす病の密度グレードが2以上になった株は20%を超えることがなく（図3-5）、全調査期間を通じてみれば、すす病がミカンの株の成長に与えた悪影響の程度はきわめて小さいものと考えられる。

ツノロウムシとルビーロウムシの吸汁がミカン株の成長に与えた影響については、次章で詳しく述べることにするが、ここでは、ツノロウムシとルビーロウムシの被害の特性について、それぞれの種類の生活史・生態と関連させて比較しておく。

12年間に、ルビーロウムシ密度の上昇にともなう過剰な食害が原因となって枯れた株は、のべ2株である。しかも、それらのルビーロウムシによる枯死は、省農薬園全体のルビーロウムシ密度の低かった1980年から83年までの間に起こっている。一方、この間、ツノロウムシ密度はかなり高いレベルにあったが、ツノロウムシの食害によって枯れた株はまったくなかった。また、次章で述べるように、株ごとのルビーロウムシの密度とその株の平均収穫果実数は有意な負の相関を示したが、ツノロウムシ密度と果実数の間には負の相関は認められなかった。このように、ツノロウムシとルビーロウムシを比較すると、後者の方が、ミカンに対して、より強い被害を与えていることが推定される。ツノロウムシの集団は複数年にわたって同じ部位に形成される傾向が少なく、また、ひとつの株をとってみるとツノロウムシが高密度である状態は長続きしない。一方、ルビーロウムシは毎年春に伸長する枝に複数年連続して集団をつくり、いったんルビーロウムシが高密度になった株ではその状態が持続する傾向がある[3-19]。また、そうしたルビーロウムシの高密度状態が複数年続いた株や単位枝では、枝当たりの新梢数、新梢の伸長量などが減少す

る傾向も認められている（未発表データ）。このように、ツノロウムシは害虫としてそれほど重要ではないが、ルビーロウムシは、ヤノネカイガラムシほどではないにしても、害虫として警戒を要する種であると言える。

ルビーアカヤドリコバチの寄生によって、ルビーロウムシ密度はきわめて低い水準に制御されると言われてきた[3-9,10,12]。しかし、省農薬園では、ルビーアカヤドリコバチの作用はかなり限定されているようで、そこでのルビーロウムシ密度は、図3-2に示されるように、徐々に増加した後、かなり高い水準で安定していた。省農薬園では、ある程度のルビーロウムシの発生とそれによる被害を覚悟しなければならないかもしれない。この被害の程度については、次章で検討する。

その他のカイガラムシの中には、慣行園ではほとんど発見できない種類もいたが（図3-6）、いずれの種類も省農薬園においても発生頻度が低く、ミカンに対して目立った被害を与えていると思われるものはなかった。

（3）省農薬園における病気の発生

1982年7月以降、80%を超える株においてそうか病の発生が認められた。そうか病の発生していない株の大半が補植されてから2年未満の幼木であり、ほぼすべての成木でそうか病が発生していた。また、株中の25%以上の部分で病斑葉が認められる、グレード2以上の株が占める割合もしばしば30%を超えていた。省農薬園では特別なそうか病対策を講じなかったが、結果に示されたように、何らかの対策を立てない限り、省農薬栽培下では、ある程度のそうか病の発生は避けられないと考えられる。本章において、樹冠のこみあい度とそうか病発生との相関が示されており、そうか病対策として省農薬ミカン園では園の設計時にミカン株間の距離を大きく取る等の対策がその一つとして考えられるだろう。慣行園においては、そうか病対策としてトップジンなどの薬剤が散布されている。しかし、この薬剤がカイガラムシの天敵の生存・繁殖に対する影響は未知であり、寄生蜂にヤノネカイガラムシの防除を大きく依存している省農薬園のような場合には、薬剤を安易に使用することはできない。

前述のように、すす病の発生は、調査期間を通じて比較的密度の高かったルビーロウムシ・ツノロウムシの発生と強く相関していた。これらのカイガラムシが発生していない場合でも、すす病の発生部位の周辺には、必ず、甘露を生産するアブラムシ類あるいはヤノネカイガラムシ以外のカイガラムシ類が局所的に密集した集団を形成しており、すす病の発生は、甘露生産性（半翅目）昆虫の発生にほぼ完全に依存していると考えられる。以上述べてきたように、省農薬栽培では、それらの昆虫類がある程度の密度で発生するのが普通であり、それに伴う部分的なすす病の発生は回避できないと思われる。

かいよう病は省農薬園においてもほとんど発生しなかった。1980年には、例外的にかいよう病が多く発生しているが、この年には、日本全国の柑橘産地でかいよう病が多発生していることが報告されており、これは全国的な異常気象によってもたらされたものと考えられている[3-

21]。したがって、80年の発生は省農薬園特有のものではないと推定される。省農薬栽培を行なったために、かいよう病の発生が高まるといったことは、今回の調査からは認められなかった。

(4) 省農薬園と慣行園におけるゴマダラカミキリ

1988年以降の柑橘類輸入自由化にともなう柑橘園の減反政策にともない、調査地のある和歌山県下津町には、管理を放棄された柑橘園が増加した(1章参照)。そうした放置園がゴマダラカミキリの発生源となっている可能性があり、多くの柑橘栽培者が、90年以降、慣行園においてもゴマダラカミキリ成虫の飛来数、発生数が増加したとの感想を述べている(防除暦に関する聞き込み調査時)。慣行園でも1~4個の脱出孔をもつ株がかなりの割合で観察されたが、それらはいずれも新しく、近年発生数を増した個体によってつくられたものが多数を占めると推察された。こうしたことを考慮すると、慣行園では、通常、ほとんどゴマダラカミキリの被害を受けないものと思われる。

1990年以降、省農薬園ではゴマダラカミキリによる枯死株数が急激に増加した。ただし、90年以降、夏期の「見回り防除法」(全株について、幹につけられたゴマダラカミキリの産卵痕および穿入孔の点検して、それに対する殺虫剤の塗布・注入を行なう)を取りやめており(1章参照)、そのために1990年と91年は、先述の飛来数の増加と相まって、例外的に枯死頻度が高くなった可能性が高い。「見回り法」を継続していれば、ゴマダラカミキリによる枯死を以前と同じ水準に抑えることは可能であったろう。他に適当な防除策を講じていない省農薬園にあっては、この方法がゴマダラカミキリによる枯死被害を防ぐ唯一の重要な方法であったと思われる。

ただし、省農薬園では、89年以前につくられたと思われる脱出孔をもつ株は非常に多く、慣行園に比べれば、枯死を含めたゴマダラカミキリによる被害は相当に大きいものと思われる(被害については、貧土壌との相乗効果を含めて、次章で検討する)。慣行園では、ゴマダラカミキリの成虫が活動する7月上旬から8月上旬にかけて、2~3度、殺虫剤や殺菌剤が散布されており、これらの、本来ゴマダラカミキリ用ではない薬剤が、ゴマダラカミキリに対してもある程度の効果を発揮すると言われている。また、慣行園においても「見回り防除法」は実施されている。慣行栽培下でも、幼木の期間にはある程度の枯死が生じるが[3-22,24]、成木が枯れることは稀であるとのことである[3-22,23,24]。

(5) 省農薬園におけるその他の害虫

省農薬園で発生した主な害虫は、カイガラムシ類とゴマダラカミキリであった。その他の害虫については、サンプリング調査の結果(図3-8)が示すように、アブラムシ類を除いて、いずれの食植性昆虫の密度もきわめて低く、ほとんどの年次でごく少数の個体が発生するだけで、目立った被害を与えるには至らなかったと考えられる。データをとれないほど密度の低い食植性昆虫は他にも数多くの種類がいたが、これらについても、頻繁に観察された何種類かの捕食者、捕食寄生者などの天敵によって、個体数増加が抑制されていたと推定される。

アブラムシ類は、春先、伸長し始めて間もない新梢にコロニーを形成する。枝・葉が十分に展開した後はその個体数が減少し、夏期に新たに伸長を開始する夏枝の芽に発生場所を移す。多くの場合、これらの枝は、アブラムシ類の吸汁を受けても正常に発育することが多く、アブラムシ類も、被害が問題になるのは、新梢数、葉数の少ない幼木の期間だけであると思われる。

ミカンハダニには薬剤抵抗性がきわめて短い期間で発達するため、天敵相の貧弱な慣行園では、ミカンハダニが、ときおり（とくに、同じ薬剤を連用した時に）、突発的な大発生を起こして落葉などの重い被害をもたらすことが知られている[3-14,15,16]。省農薬園では、1986年5・8月、87年5月（図3-8）と92年7月（図3-7）に、ミカンハダニの発生が確認された。しかし、いずれの年の密度も、著しい被害を与えるような水準にはほど遠いものであった。しかも、その発生は長続きせず（92年7月以降については未発表データによる）、発生のまったく確認されない時期が大部分を占めた。省農薬栽培下では、薬剤抵抗性の発達もないうえに、多様で安定した天敵相が形成されていると考えられ、省農薬園で見られたように、ミカンハダニの密度は、一時的に上昇することはあっても大発生に至ることはなく、通常は低い水準に保たれていると思われる。

（6）省農薬園と慣行園の病害虫発生状況の比較

慣行園では、さまざまな農薬が散布されており、resurgenceによるミカンハダニの大発生や、果実の品位を問題にした場合に、防除の困難なチャノキイロアザミウマの発生を除けば、省農薬園でみられたような病害虫はほとんど発生しておらず、被害がもたらされることはほとんどないと考えられる。実際、図3-6と図4-7に示したように、慣行園における病害虫の発生水準は、省農薬園に比べて著しく低くなっていることが確認された。省農薬園での病害虫密度の12年間に対応するデータはないが、一般的に行われている防除手段（2章参照）を講じている限り、慣行園では、ここで示されたような低い水準の病害虫密度が毎年維持されていると考えられる。

本章では、省農薬園における病害虫密度の12年間の年次変動を記述するとともに、慣行園における密度との差を明らかにした。また、開園直後から20年近く継続したミカンの省農薬栽培においても、樹の成長を著しく阻害し、栽培を不可能にするような病害虫の指数的あるいは暴発的な増加が生じないことを示した。ただし、ヤノネカイガラムシ、ルビーロウムシ、ゴマダラカミキリの3種は、省農薬栽培において、とくに警戒を要する害虫であることが示唆された。これらのうち、ヤノネカイガラムシについては、導入寄生蜂による生物的防除によって、きわめて低い水準に密度を制御できることが示された。

これらの害虫を含めた主要な病害虫が果実の収量に与える影響は、土壌の効果とともに、次の5章で解析する。また、そうか病の発生は、果実の品位を著しく落とす水準までに達していることが推定されたが、病原菌と果実の品位および品質との関係については、6章で考察する。