

アブラナ科野菜の鱗翅目害虫による被害の解析

—ブロッコリーとキャベツのヨトウガ幼虫の食害実態と 人為的穿孔・切葉処理による生育・収量の比較—

小谷野 伸二

緒 言

最近の消費者の農産物の安全性に対する意識の動向や、生産圃場近隣の住宅化などによって、病害虫防除における農薬の使用環境は厳しいものとなっている。特に、東京ではキャベツやコマツナを中心とした葉菜類の生産が大きな比重を占めており、コマツナは江東区で、キャベツは、練馬区、保谷市で、ブロッコリーは三鷹市、練馬区でというように、区部や区部の周辺の人口密度の高い市街地の中で多く生産されている。このため、農薬の使用環境は他県と比べてもいっそう厳しく、農薬に頼らない無農薬栽培や必要最低限の薬剤散布で病害虫を抑えていく減農薬栽培が、消費者はもとより生産者側からも求められている。しかし、これまでの各地のキャベツに対する試験で、無農薬栽培の場合の病害虫による被害で25~75%の減収（出荷可能品収量）という結果が得られており（日植防、1993）、生産現場としては防除は欠かせないことになる。しかし、環境に対するインパクトを最小限に抑える栽培技術（低投入持続型農業 LISA）が求められている現在、様々な特性を持つ防除素材（中村和雄、1996）を活用するため総合的害虫管理(IPM)が必要であるといわれている。これまでも国内では経済的被害許容水準EIL(あるいは要防除水準CT)などのIPMの基本概念についての理論的解析（城所ら、1982；足立ら、1985）やそれらの生産現場への応用として数種類の食葉性害虫による被害解析の試みがなされてきた（農林水産技術会議事務局、研究成果82、1975；同、研究成果115、1979；川本、1987；河合章、1991；森下、1999；岡留、2000）。

アブラナ科野菜の主要害虫であるコナガ、ヨトウガ、モンシロチョウなどの鱗翅目害虫に対し、沼沢ら（1998）は、化学農薬に替わる生物的な防除手段として、いくつかの糸状菌を組み合わせて用いることで一定の効果を得た。しかし、これらの糸状菌は化学合成農薬に比べ殺虫効果が遅効的であるため、糸状菌を処理した後、殺虫効果が現れるまで害虫による食害が進行し、収量への影響はある程度避けられないと予想された。このため、害虫

による食害の実態とそれによる作物収量への影響を予め把握しておくことが、糸状菌等の微生物的防除手段としての評価、および今後確立が期待されるIPM技術やEILの設定に必要となる。

本報告では、主に秋作期に発生するヨトウガの被害を想定し、ヨトウガ幼虫の放飼試験によるブロッコリーの被害解析を行い、併せてブロッコリーとキャベツに人為的な穿孔・切葉処理を施し、これらの処理がどのように生育や収量に影響するかを調べた。

本文に先立ち、本論文をまとめるにあたり種々の御助言をいただいた東京都農薬試験場土生昶毅氏、沼沢健一氏に厚くお礼申し上げる。

材料および方法

1. ヨトウガ幼虫の放飼によるブロッコリーの食害試験

夏まき冬どりのブロッコリーが、生育の半ばに一定密度のヨトウガ幼虫により、短期間食害を受けた場合を想定し試験を行った。供試ブロッコリー株（品種：緑笛）は本葉3~4枚期の1998年8月17日5号鉢に鉢上げし、雨よけハウス内に設置した。1998年9月22日（鉢上げ後36日）に、20°Cの室内で人工飼料により累代飼育した3~4令のヨトウガ幼虫を株当たり1、5、10、20頭株元に放飼し、鉢全体を捕虫網で覆った。各放飼数に対してそれぞれ6鉢を供試した。9月28日に放飼した幼虫を除去し、放飼期間を6日間とした。幼虫放飼時のブロッコリー供試株の平均展開葉数は11.0枚であった。幼虫除去時の被害量（面積）を測定するため、幼虫除去時に、各株の全ての葉を株から切り取らずにデジタルカメラで撮影し、パソコンで画像処理し、葉ごとの総面積（デジタル画像を用いて、食害葉の残った部分の葉脈、葉縁等から推定）、食害部分の面積を測定し、食害面積率（食害面積/総面積×100）を算出した。

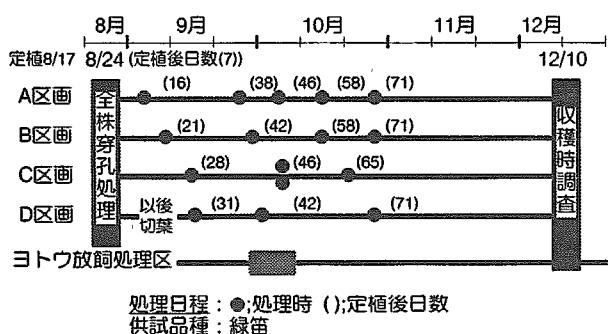
1998年12月10日に地植えに移し、以降の生育調査として、適宜、株高、株幅、花蕾形成日、花蕾径、収穫調査時（1999年3月10日）に、全株重、花蕾重を調査した。

2. ブロッコリーの人為的な穿孔・切葉試験(第1図)

夏まき冬どりのブロッコリーが、冬までに連続的に展開葉を食害された場合を想定し、穿孔・切葉処理を行った。1998年8月17日、本葉3～4枚期のブロッコリー(品種：緑笛)を雨よけハウス内ベット(A～D区画)に各15株ずつを定植した(畝間40cm×株間50cm)。まず、1998年8月24日に4区画全てについて、葉脈を避けパンチャー(穴面積1cm²)で葉当たり2、4、6、8個の穿孔処理を施した。各穴数の穿孔処理に対し株当たり3葉、3株ずつとした。その後、9月から10月にかけてA～C区画について、さらに4回から5回、新たな展開葉に前述と同様の穿孔処理(各穴の穿孔処理に対し株当たり3葉、3株ずつ)を施した。また、2回目以降の穿孔処理は時期をA～C区画でおよそ5～7日ずつ順次ずらした。

また、D区画については、大きな割合で葉を切り取るため2回目以降の処理について葉を葉柄部分から切り取る切葉処理を施した。9月から10月にかけて3回、目安として葉の総数の2、4、6、8割の葉を切除した。

いずれの処理においても、葉の面積は、デジタルカメラで撮影し、パソコンで画像処理により算出した。前項と同様、除去葉面積(穿孔率)は穿った穴数から、切葉程度は切り取った葉の枚数とその合計面積から算出した。生育調査については、適宜、株高、株幅、花蕾形成日、花蕾径、収穫調査時(1998年12月10日)に、上記に加え、全株重、花蕾重を調査した。



第1図 ブロッコリーの穿孔・切葉試験の処理日程

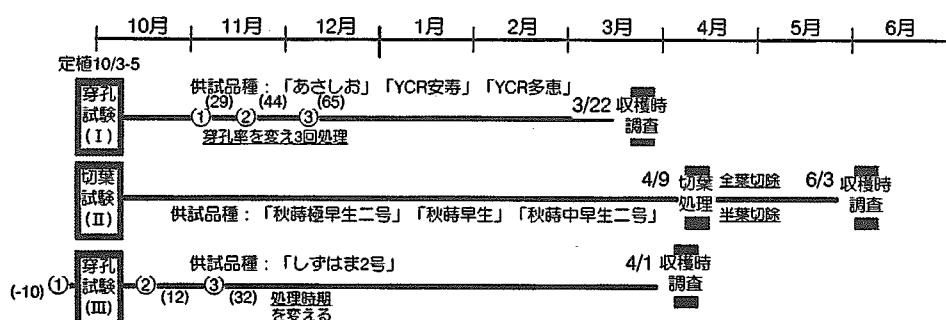
3. キャベツの人為的な穿孔・切葉試験(第2図)

試験は次の3つの方法で行った。

試験Ⅰとして、秋まき春どりキャベツが冬までに連続的に展開葉を食害された場合を想定して穿孔処理を行った。1994年10月3日露地定植のキャベツに対し11月1日、15日そして12月5日の3回、本葉3枚ずつに穿孔処理を施した。穿孔処理は、葉脈を避けパンチャー(穴面積1cm²)で1枚の葉に4、6、8、12個の穴を穿った。いずれの処理においても、葉の面積は、ジアゾ感光紙(超高速、ドライタイプ)で日光撮影し即座にトレースした後、後日トレース部を切り抜き、自動葉面積計により算出した。そして、これら全ての葉ごとの穿孔率をまとめて株の切葉率とした。また、生育調査については、適宜、株高、株幅、穿孔処理をした葉の面積などを調査した。翌1995年3月22日に収量調査を行った。キャベツの供試品種として、「あさしお」「YCR安寿」「YCR多恵」を用い、1区8株を用いた。

試験Ⅱとして、秋まき春どりキャベツの初期展開葉5～6枚が、春先(実際のヨトウガ幼虫の発生はこれよりやや遅いが)に主脈を残して5割または10割の食害を受けた場合を想定して切葉処理を行った。1995年10月3～5日に露地に定植したキャベツを、翌1996年4月9日に展開していた全ての葉の葉柄部より全葉または主脈沿いに半葉切除して、その後6月3日に収量調査を行った。キャベツの供試品種として、「秋蒔極早生二号(以下、極早生)」「秋蒔早生(早生)」「秋蒔中早生二号(中早生)」を用い、1区8～10株を用いた。

試験Ⅲとして、処理時期による影響を見るため、処理時のキャベツの株の生育ステージに差があるように20日前後の間隔をあけて穿孔処理をした。1995年10月5日雨よけハウス定植のキャベツに対し、定植10日前(展開葉4葉)、定植12日後(5～6葉)、32日後(9～11葉)に、パンチャーで葉に穴を穿った。いずれの処理においても、葉の面積は、ジアゾ感光紙(超高速、ドライタイプ)で日光撮影し即座にトレースした後、後日トレース部を切り抜き、自動葉面積計により算出した。かなり強



第2図 キャベツの穿孔・切葉試験の処理日程

引にパンチングをして穿孔率を20~40%とした。そして、これら全ての葉ごとの穿孔率をまとめて株の切葉率とした。翌1996年4月1日に収量調査を行った。キャベツの供試品種として、「しづはま」を用い、1区12株を用いた。

結 果

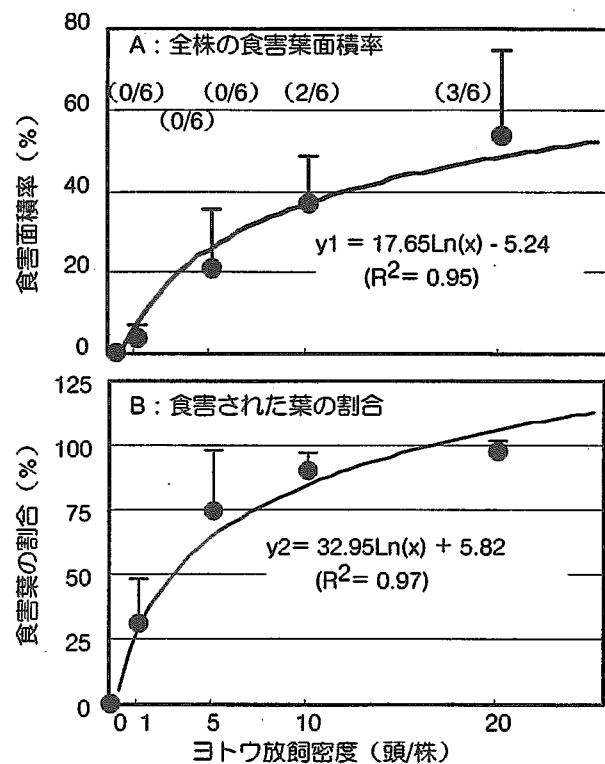
1. ヨトウガ幼虫の放飼によるブロッコリーの食害試験

(1) ヨトウガ幼虫による食害の様子

沼沢（未発表）によれば、9月下旬から、10月上旬にかけての都内のキャベツ圃場でのヨトウガの3~4令幼虫の発生状況は、1996年は平均約0.3頭／株生息し、密度の高かった株でも2頭であったが、1997年は平均4.4頭／株生息し、密度の高かった株では60頭を越えるという状況であった。そこで、この時期にブロッコリーの株に3~4令のヨトウガ幼虫を放飼し、その食害の様子を調べた。食害例として、写真1に20頭放飼から1頭放飼による食害を受けた株、10頭放飼の場合の葉の食害の様子および放飼幼虫を除去1ヶ月後の株の回復の様子を示した。本試験で用いた発育令期のヨトウガ幼虫は分散し、基本的には葉脈を残して葉を食べ、その食害痕はパンチャーで穴を穿ったような形になる。ただし、今回の放飼試験のように閉鎖系で高密度状態にしておくと、写真1のように葉脈だけになったり、成長点に食い入ることが生じた。

(2) 幼虫放飼密度と食害率および食害部位の関係

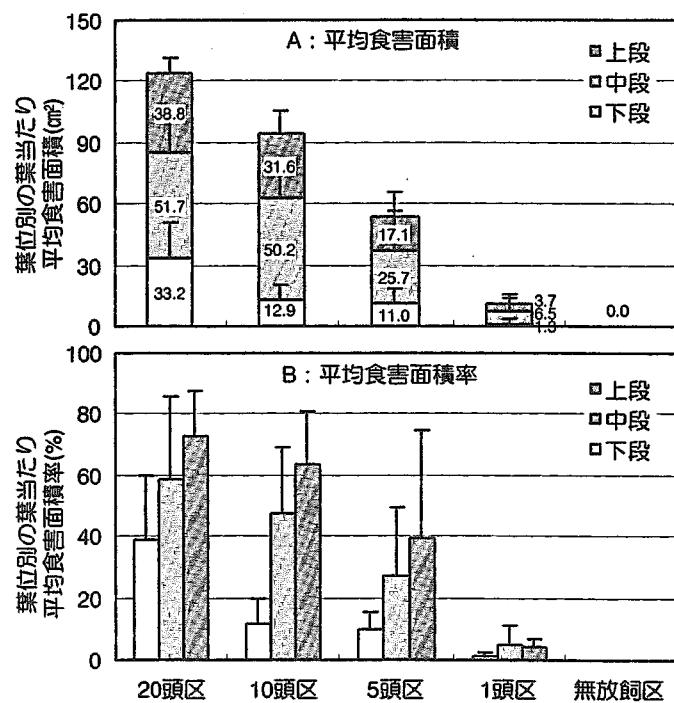
放飼期間中に成長点に食入されたブロッコリーの株は、放飼密度が5頭以下では見られなかったが、20頭区では半分の株に食入が見られた（第3図A、（ ）内の数字）。このため、20頭区では半分の株で、10頭区では3割の株で分枝が発生し、これらに側花蕾が形成されたが肥大は進まなかった。第3図Aに示されたように、幼虫の放飼密度ごとの食害面積率は、1頭区3.5%、5頭区20.5%、10頭区36.6%、20頭区53.1%であり、これらの幼虫の放飼密度(x)とブロッコリーの葉の食害面積率(y1)の関係は対数曲線で近似できた ($y_1 = 17.65 \ln(x) - 5.24$ $R^2 = 0.95$)。この式によれば、株当たり約23頭の3~4令幼虫が生息すると、1週間で5割の面積の葉が食害されると推定された。さらに、幼虫による食害痕が見られる葉が1株のうちどれだけあるかを見ると（第3図B）、放飼密度に対する食害痕が見られる葉の割合は(y2)、1頭区30.2%、5頭区73.7%、10頭区89.5%、20頭区96.9%であり、これらも、放飼密度との間で対数近似できた ($y_2 = 32.95 \ln(x) + 5.82$ $R^2 = 0.97$)。すなわち、株当たり約4頭の3~4令幼虫がいると、1週間で5割の葉に



第3図 ヨトウガ幼虫放飼密度と
ブロッコリーの食害率の関係
()=供試株中成長点に食い入られた株

何らかの食痕が生じることになる。

幼虫の放飼密度とブロッコリーの葉位別の食害程度の関係を見るため、処理株の地際から上位葉にかけて3分割（下・中・上段）し、それらの葉位ごとの葉1枚当たりの平均食害面積と平均食害面積率を第4図に示した。葉位ごとの葉数は3~5枚であった。放飼終了時に推定した葉ごとの総面積の平均は、葉位ごとに、下段 102.9 cm²、中段 126.5 cm²、上段 61.02 cm²であった。中段と上段の葉ごとの食害面積は下段の葉に比し、20頭区ではそれぞれ1.6倍、1.2倍の食害を受けたが、10頭区では3.9倍と2.5倍、5頭区では2.3倍と1.6倍、そして1頭区でも絶対量は少ないが、5.0倍と2.8倍の食害を受けた（第4図A）。また、同様の比較を葉ごとの食害面積率でも求めたところ、やはり1頭区を除き上位の段の葉ほどその割合が高くなかった（第4図B）。つまり、幼虫密度が低いときは中段の葉で食害面積が大きくなるが、食害面積率から見ると上段の葉ではもともとの葉面積が小さいためその割合が高く、より大きなダメージを受けている結果となった。しかし、幼虫密度が高くなると、下段の葉も次第に食害を受ける割合が大きくなつた。供試した令のヨトウガ幼虫は日中には作物体から地上へ移動し、夜間再び作物上に移る習性があるにもかかわらず、上位の葉がより多く食べられたのは、幼虫がより若い葉を好むためであると考えられた。

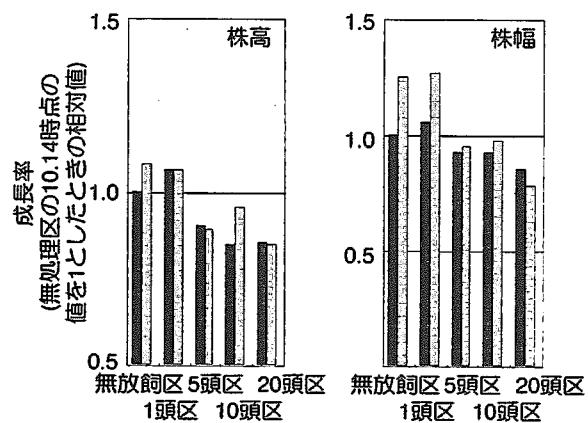


第4図 ヨトウガ幼虫放飼密度と
ブロッコリーの葉位別の食害程度

(3) ヨトウガ幼虫放飼密度とブロッコリーの生育および収量への影響との関係

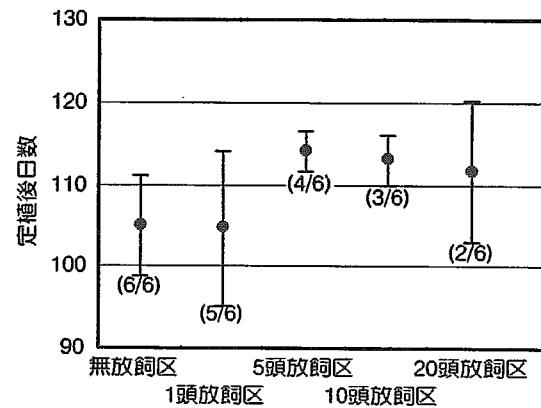
10月14日（鉢上げ後58日、幼虫放飼終了後16日）と27日（同71日、同29日）の株高と株幅の調査結果を第5図に示した。それぞれ10月14日時点での無放飼区を1とした相対値で表した。無放飼区では、13日後の10月27日には株高で1.08、株幅で1.25となった。これに対し、20頭区では10月14日と27日の株高がそれぞれ、0.86、0.85、株幅が0.86と0.78、10頭区と5頭区で株高が0.85～0.95、株幅が0.93～0.97といずれも密度の増加にともない生育が劣る傾向にあった。一方、1頭区では株高が1.06、1.06、株幅が1.06、1.26となり、無処理区より良好な生育を示した。

第6図に鉢上げ後ブロッコリーの花蕾が出るまでの所要日数を示した。放飼試験に用いた株は、試験開始後しばらくの間ポット植えであったため、全体に生育が遅れる傾向があったが、収穫調査時までに出蕾できた株数は幼虫の放飼密度に応じて減少した（第6図、（ ）内の数字）。出蕾までの所要日数（無放飼区の出蕾から10日経っても出蕾の見られない株は、便宜上その日を出蕾日とした）は、無放飼区では、 105.0 ± 6.2 日であった。一方、1頭区では102.6日と無放飼区とほぼ同様であったが、5頭区（113.5日）で9日、10頭区（111.0日）で8日と遅延が見られ、20頭区（ 104.5 ± 14.8 日）では、2株が花蕾を形成しただけで所要日数の振れも大きくなつた。実際には5頭区以上の区では、所要日数の差はもつ

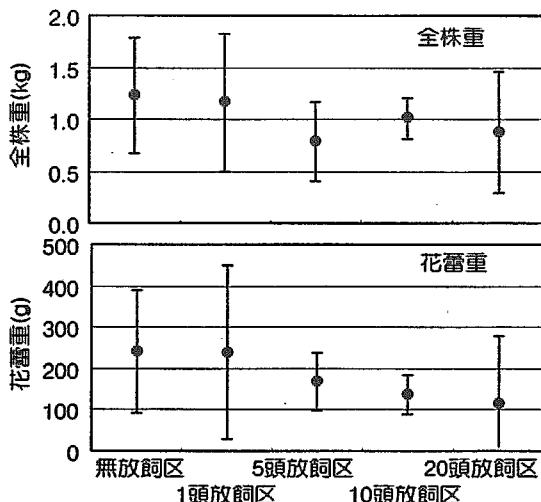


第5図 ヨトウガ幼虫放飼密度と
栽培期間中のブロッコリー株の成長の様子

□ 10.27調査
■ 10.14調査



第6図 ヨトウガ幼虫放飼による
ブロッコリーの出蕾までの所要日数
(/) = 出蕾株/供試株



第7図 ヨトウガ幼虫放飼による
ブロッコリーの収量への影響
12月10日 ポットから地植え
3月10日 収穫調査

と大きくなると思われる。

全株重と花蕾重については、放飼試験に用いた株は生育が遅れ冬までに収穫できなかったので翌年の春に調べた。全株重（第7図）は無放飼区では、 $1.23 \pm 0.55\text{kg}$ 、1頭区では 1.16kg と無放飼区とほぼ同じであった。一方、5~20頭までの放飼区では、5頭区 0.78kg 、10頭区 1.01kg 、20頭区 0.88kg といずれも無処理区より低い値を示す傾向があった。花蕾重（第7図）は無放飼区では $240 \pm 148\text{ g}$ であり、1頭区では 238 g と無放飼とほぼ同様であった。一方、5~20頭までの放飼区では、5頭区、 167 g 、10頭区 135 g 、20頭区 113 g と放飼密度に反比例して値が小さくなる傾向が認められた。すなわち、ブロッコリーでは生育の半ばに4~5割の葉の食害を受けることによって、最終的な全株重は食害を受けなかった場合の7~8割程度であったのに対し、花蕾の収量は半分近くまで低下した。このことは、食害を受けた株のその後の生育を見ると一見かなり回復したように見えるが、そのため本来花蕾形成にまわされるべき養分の蓄積が不十分なものとなつたためと考えられた。

2. ブロッコリーの人為的な穿孔・切葉試験

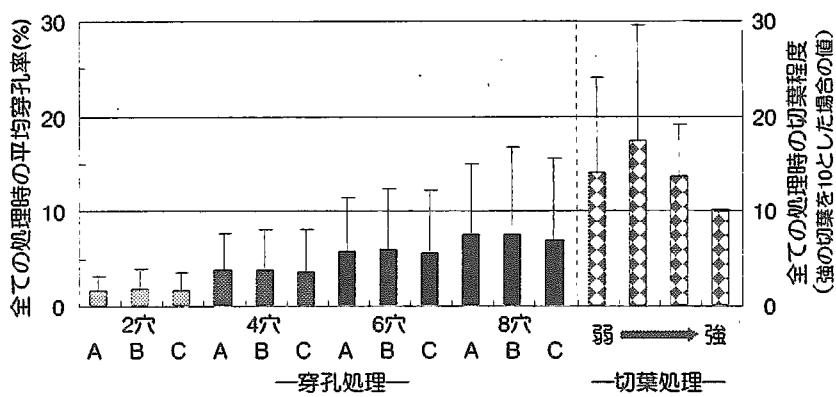
全ての処理時の平均の穿孔率と切葉の程度を第8図に示した。穿孔処理の場合の穿孔率は、全ての株に施した1回目とA区画とB区画の2回目を除いて、それ以外はほぼ5%以下となり、全ての処理時を平均した穿孔率は穴数に応じて増加した。つまり、2穴1.7%、4穴3.6%、6穴5.7%、8穴7.3%であった。ちなみに、写真1で示した10頭放飼の食害例では、総面積 134cm^2 、食害面積率26%となり、穿孔処理に当てはめると葉当たり約35個の穴を穿つことになる。切葉処理では、全ての葉を切った場合を10とした指標で示したが、このような強い切葉を行った株では、次回の処理時までの葉の展開が悪く、結果として指標が逆転することもあった。結局、全体を通して5~30ぐらいの切葉程度になった。なお、穿孔処

理では処理区の合計数は、穴数5レベルと処理時期3レベルの組合せにより15区となり、以下煩雑を避けるため、例えばA区画の8穴区をA-8と表記する。

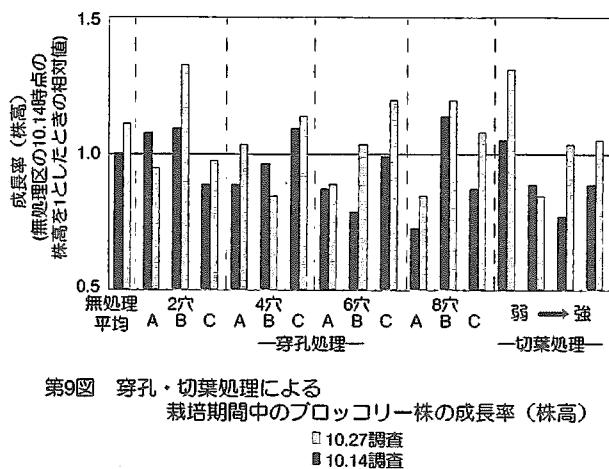
(1) 穿孔・切葉処理によるブロッコリーの生育および出蕾への影響

10月14日（定植後58日、同日までの穿孔回数；A区画4回、B区画3回、C区画4回、同切葉回数；3回）と27日（定植後71日、同日までの穿孔回数；A区画5回、B区画4回、C区画5回、同切葉回数；3回）の株高の調査結果を第9図に示した。それぞれの処理区の値は10月14日時点での無処理区の株高を1とした相対値で表した。無処理区では、13日後の10月27日には1.11の値となった。穿孔処理では、10月14日時点では無処理区より生育が劣ったのは、A-4(0.89)、A-6(0.87)、A-8(0.73)、B-4(0.96)、B-6(0.79)、C-2(0.89)、C-6(0.99)、C-8(0.87)で、10月27日時点では同日の無処理区より生育が劣ったのは、A-2(0.95)、A-4(1.03)、A-6(0.89)、A-8(0.84)、B-4(0.84)、B-6(1.03)、C-2(0.97)、C-8(1.08)であった。2回目以降の処理を早い時期に施したA区画では、10月14日と27日の両日で穴数が多くなるほど生育が悪くなる傾向があったが、遅く処理したB区画とC区画では、穴数との関係は明瞭ではなかった。同じ穴数同士を比較すると、2穴区を除き早い時期の処理（A区画）で生育が劣る傾向が見られた。つまり、パンチ穴6~8個程度の穿孔処理は、その処理時期によって後の生育に及ぼす影響の度合いが変わると考えられた。また、切葉処理の場合、切葉程度が弱いときには10月27日時点の生育が1.31と無処理区と比し良好であったが、程度を強めると生育はやや悪化した（10月27日時点で0.84~1.05）。しかし、穿孔処理に比し葉が失われる程度の割にはその影響は小さかった。

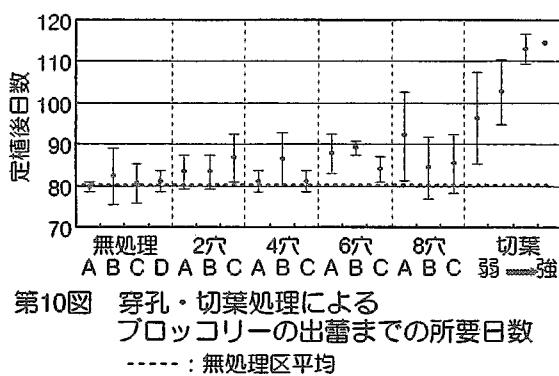
定植から出蕾までの所要日数を第10図に示した。全区画の無処理区の平均は $80.9 \pm 1.1\text{日}$ であった。穿孔処理では、8穴区のうち2回目以降の処理を早い時期に施



第8図 ブロッコリーの葉に対する平均穿孔率と切葉程度
(全ての処理時の平均)



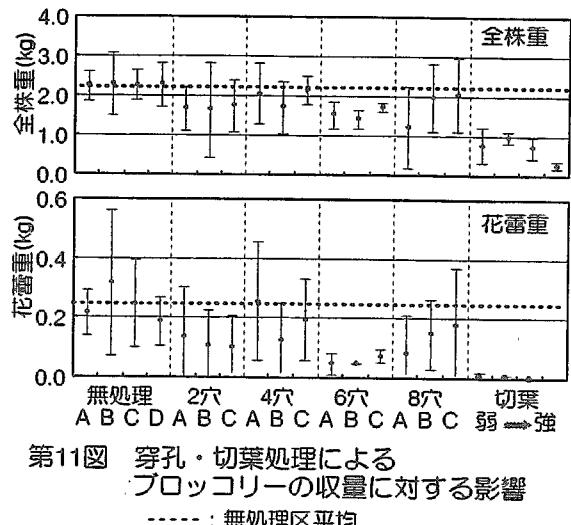
第9図 穿孔・切葉処理による栽培期間中のブロッコリー株の成長率(株高)
■10.27調査
■10.14調査



第10図 穿孔・切葉処理によるブロッコリーの出蕾までの所要日数
-----:無処理区平均

したA-8(92.0日)では無処理区に比し10日以上出蕾が遅れ、遅く処理したB-8(84.3日)とC-8(85.3日)でも5日程度の遅れが見られた。また、8穴区では全体に出蕾までの日数がばらつく傾向が見られた。6穴区のA-6(87.7日)とB-6(89.0日)でも出蕾がやや遅れた。切葉処理では、無処理区に比し影響が大きく現れ、出蕾が20~30日遅れ(96~115日)、ただし、無処理区の出蕾から35日経っても出蕾の見られない株は、便宜上その日を出蕾日とした)、切葉程度が強まるほど遅れの程度は大きく、最終的に花蕾が形成されなかった株も見られた。幼虫放飼による食害試験に比べ切葉処理では切葉程度は5~30と低かったにもかかわらず、切葉処理で花蕾が形成されなかった株が見られたのは、処理回数が1回だけではなく3回にわたって施されたためであると考えられた。

(2) 穿孔・切葉処理によるブロッコリーの収量への影響
全株重(第11図)は無処理区の平均は $2.27 \pm 0.52\text{kg}$ であり、出蕾までの所要日数と同様、穿孔処理の8穴区では処理の早い遅いが結果に影響し、A-8(1.22kg)でその影響が大きく見られ、2穴区(A-2;1.67kg、B-2;1.63kg、C-2;1.73kg)でもわずかに影響が認められた。切葉処理は、全株の生育への影響が非常に大きく現れた(0.27~0.97kg)。花蕾重(第11図)は無処理区の平均は $242 \pm 137\text{g}$ であり、穿孔処理の8穴区(A-8;83g、B-8;147



第11図 穿孔・切葉処理によるブロッコリーの収量に対する影響
-----:無処理区平均

g、C-8;180g)で全株重と同じく大きな影響が見られ、2穴区(A-2;133g、B-2;103g、C-2;100g)でも全株重より顕著に影響が認められた。また、全株重と比較して花蕾重では8穴区より6穴区(A-6;47g、B-6;50g、C-6;73g)で大きく減少した。切葉処理では、花蕾はほとんど大きくならず、収量はほぼ皆無であった。切葉処理では、穿孔処理に比し生育途中の株への影響(株高)はそれほど大きくなかったにもかかわらず、最終的な全株重、花蕾重ともに大きな減収となった。藤目(1983)によれば、ブロッコリーでは品種に関係なく、葉数は10日に2枚ずつ増加し、出蕾前後に著しく増加する。今回の試験の場合、穿孔処理では葉脈を損なわないように処理したのに対し、切葉処理では葉柄から全葉切除したことによって養分の転流が損なわれ、出蕾前後に生じるはずの急速な成長が妨げられたため、10月27日から収穫(12月10日)までの全株の生育、ひいては花蕾形成という重要な段階で大きな影響が出たものと思われた。

3. キャベツの人為的穿孔・切葉試験

ブロッコリーとの比較のため、以下に示す試験Ⅰ~Ⅲを秋まき春どりキャベツに対して行い、その影響について見た。

(1) 穿孔処理によるキャベツの生育および収量への影響 (試験Ⅰ)

処理葉の葉面積の増大の経過を処理穴数ごとに示したが、これらに明らかな傾向は認められなかった(第12図)。また、ここでは具体的なデータでは示さなかったが、処理時の葉面積や穿孔率とその成長率との間に相関は認められなかった。また、全株の切葉率と全株重との間では「あさしお」でわずかに負の相関が認められたが、他の2品種では明らかな相関は見られず、切葉率と結球重の間には、いずれの品種でも相関関係は認められなかった(第13図)。

(2) 切葉処理によるキャベツの収量への影響（試験Ⅱ）

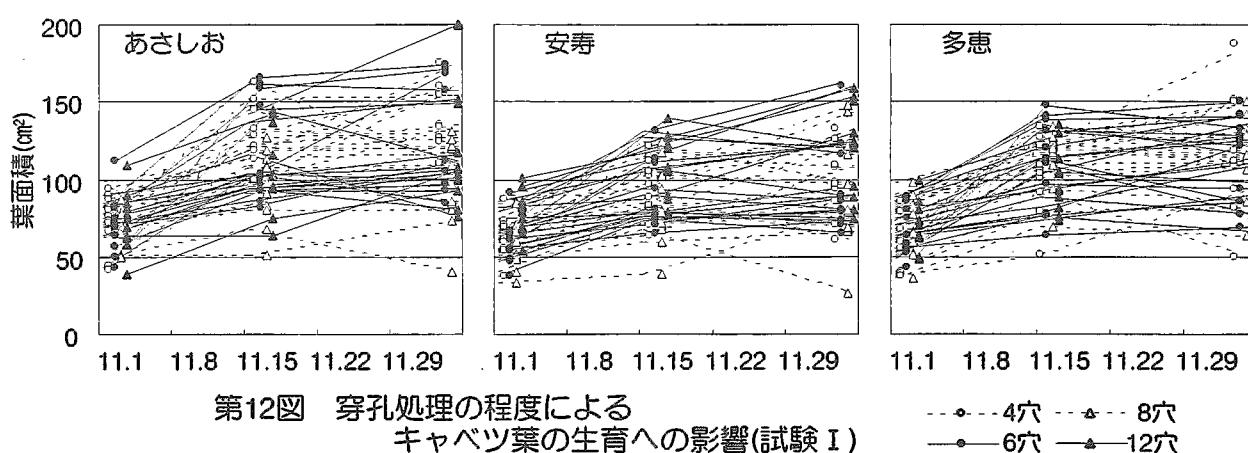
供試品種ごとの全株重と結球重の結果を第14図に示した。「極早生」の無処理区の全株重は3.1kg、結球重2.0kg、半葉切除区ではそれぞれ2.7kgと1.9kgであった。これに対し、全葉切除区では1.7kgと0.9kgであった。同様に「早生」では無処理区2.9kgと1.7kg、半葉切除区では2.6kgと1.5kg、全葉切除区では1.7kgと0.6kgであった。また、「中早生」では無処理区2.5kgと1.4kg、半葉切除区では2.7kgと1.2kg、全葉切除区では1.1kgと0.6kgであった。全ての品種で、全株重、結球重ともに無処理区、半葉切除区と全葉切除区との間に明らかに差が認められた。一方、無処理区と半葉切除区との間にはほとんど差は見られず、キャベツではこの程度（およそ5割）の葉の損失は収量に影響しないと考えられた。用いた品種ごとの比較では、晩生になるほど切葉処理の影響が強く出るよう、「極早生」と「早生」では、全葉切除区でも欠株と未結球株は見られなかったが、「中早生」では全葉切除区で欠株と未結球株が、半葉切除区で欠株が見られた。切葉処理の影響も穿孔処理同様、

品種間で差があると考えられた。

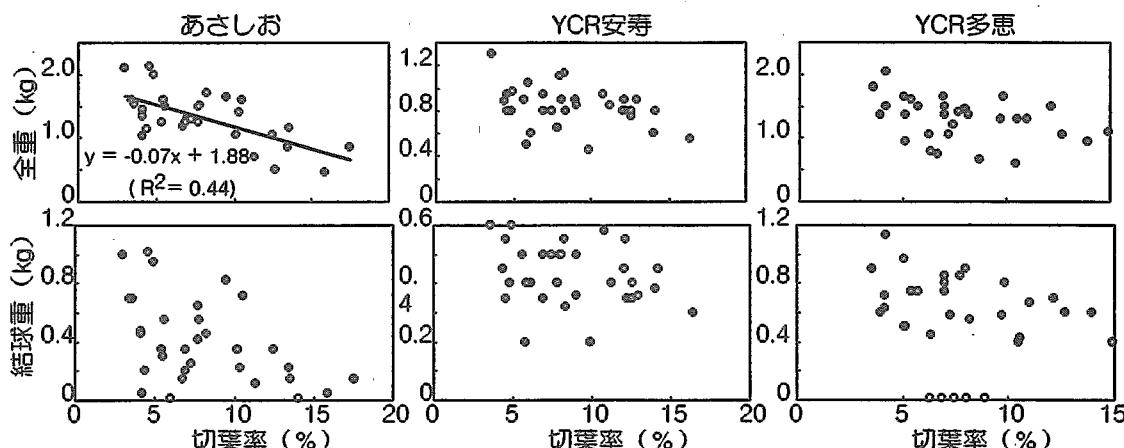
(3) 時期を変えた穿孔処理によるキャベツの収量への影響（試験Ⅲ）

いずれの処理区も株の切葉率は25～35%程度となった。無処理区の全株重は1.2kg、結球重は0.54kgであり、定植前10日区の全株重は1.3kg、結球重は0.57kg、定植後12日区では1.5kgと0.68kg、定植後32日区では0.92kgと0.52kgであった（第15図）。全株重、結球重とともに全ての処理区で無処理区との間に差が見られなかつた。

以上のように、キャベツに対する穿孔・切葉処理では試験Ⅱの全葉切除処理を除いて、収量に顕著な傾向は見られなかった。この理由として、ひとつにはそもそも穿孔処理による葉の損失程度ではキャベツの生育にそれほどの影響がなく、その後、補償的生育をしたこと、もうひとつには試験時期が冬を挟んでいたため、特に試験ⅠとⅢでは、処理日から収穫日までの期間が長く処理の影響があまり強く出なかったことがあると考えられた。



第12図 穿孔処理の程度による
キャベツ葉の生育への影響(試験Ⅰ)



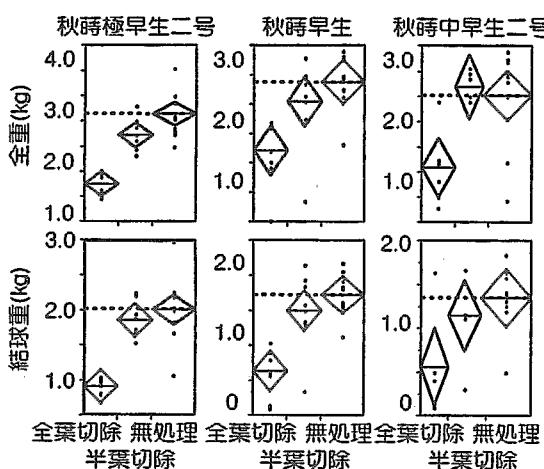
第13図 穿孔処理の程度による
キャベツの収量への影響(試験Ⅰ)
(いずれのグラフもX軸上の○は欠株ないし
抽苔のため測定不可能な株を示す。)

4. 減収率から見たそれぞれの処理の影響

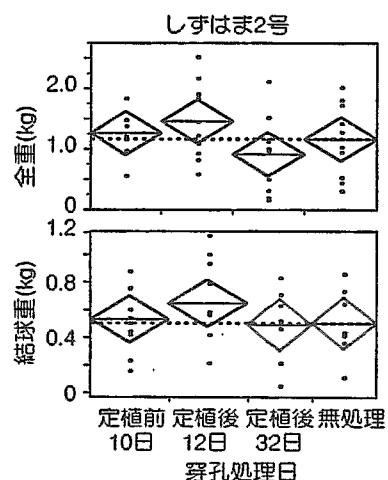
ヨトウガの幼虫の放飼試験とブロックリーとキャベツの穿孔・切葉試験の結果を、減収率という形でまとめた(第16図)。

ヨトウガ幼虫の放飼試験では、ブロックリーの花蕾重は1頭放飼区ではほとんど減収はなかったが、5頭区(減収率約30%)、10頭区(同40%)、20頭区(同50%)と放飼幼虫数が増えるにつれ減収率も高まった。また、ブロックリーの穿孔・切葉試験では、全体にこれらの処理が大きな減収につながった。花蕾重では、穿孔処理の2穴区でも平均して約50%の減収率になり、6穴区では

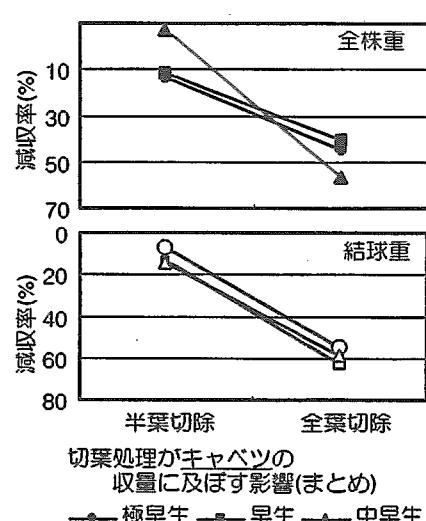
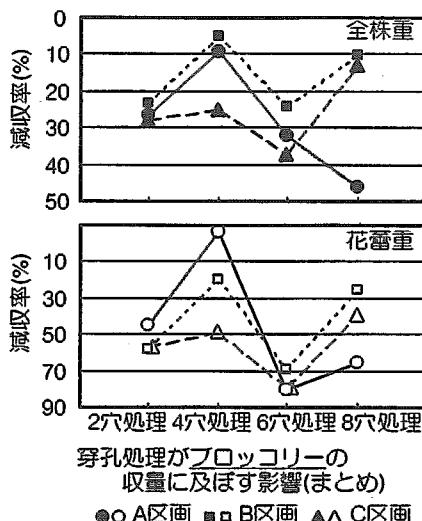
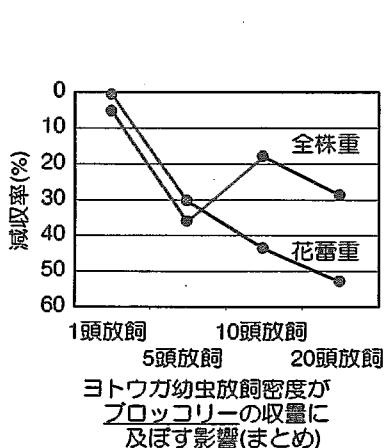
70%もの減収率となった。放飼試験の食害面積率と減収率との関係から推定されるより、より高い減収率を穿孔・切葉試験では示した。例えば放飼密度を1頭にした場合の食害面積率は3.5%だったが、これは穿孔処理の4穴区にはほぼ相当する。放飼試験の1頭区ではほとんど減収はなかったのに対し、穿孔処理の4穴区では処理時期により異なるが最大5割の減収となった。これは、ひとつには1回目の処理時期が定植後7日と放飼試験における放飼時期(定植後35日)に比べ早く、供試株が小さかったためと考えられた。さらに、害虫による食害を細かく観察するとより細い葉脈までも残していることが多い



第14図 切葉処理による
キャベツの収量への影響(試験II)
図中、・は株ごとの値を示す。
△は信頼区間付き平均値
-----: 無処理区平均



第15図 穿孔処理の時期による
キャベツの収量への影響(試験III)
定植10日前処理—平均穿孔率25%
定植12日後処理—同上35%
定植32日後処理—同上30%
-----: 無処理区平均



第16図 作物の収量に及ぼす影響からみた
ヨトウガ幼虫放飼と穿孔・切葉処理

く、これにより作物に対するダメージを少なくし食害している株への依存期間を長引かせるような行動を探っている可能性もある。また、特に切葉処理では株の生育はそれほど不良ではなかった割に、収量が皆無となった。これには前述のように、ブロッコリーという作物のもつ生育特性が影響しているのかもしれない。今回は品質（ボトニングやリーフィーなどの異常花蕾の発生など）についての評価はしていないが、ブロッコリーでは害虫の食害による出蓄時期の遅れなどが、量だけではなく質の劣化もたらす可能性があり、これをどう評価するかは今後の課題である。これに対し、キャベツでは、今回の穿孔処理程度に葉を失ったのでは収量にはほとんど影響が出なかった。切葉処理のうち半葉切除でも減収率は小さかった（約10%）。キャベツでは食葉性害虫による食害により葉の半分を失っても、品種や栽培時期によつては収量減に結びつかないことが示唆された。これと同様の結果は、群馬の寒冷地での夏まきキャベツで行われた切葉試験でも報告されている（岩田、1987）。

考 察

今回求めたような害虫密度と作物被害度あるいは作物収量との関係は経済的被害許容水準EIL（あるいは要防除水準CT）の決定に関わる基本的要因であるだけでなく、農薬を含む多様な防除素材を用いた害虫管理を効果的に展開するうえでも欠かせない。ブロッコリーでは5頭以上の幼虫によるわずか1週間程度の食害が大きな減収をもたらした。キャベツ圃場ではあるが、9月下旬から10月上旬にうけてのヨトウガの3～4令幼虫の平均密度は、1996年は約0.3頭／株、1997年は約4.4頭／株であった。今回の結果から見ると、1996年では食葉性害虫による被害が現出するまでに時間的な余裕があるが、1997年では収量低下に直結するほどの密度と考えられる。ブロッコリーのように花蕾という生殖器官が収穫対象であるような場合、今回検討した葉への食害が最終的な収量に及ぼす影響は、食害程度が同じであってもその様式や時期によっては異なることも示唆された。害虫の密度や時期によっては、ブロッコリーでは花蕾、キャベツでは結球部が、それぞれ直接食害を受けることは十分考えられる。次に、ブロッコリーではわずかな食害の影響が大きく収量に影響するのに対し、キャベツではその影響がそれほど大きくなかった。このような食害に対する作物の反応の差は、防除素材と防除時期を選ぶに当たってのひとつの判断基準になると考えられる。生物的防除の手段のひとつとして糸状菌を散布するような場合、最も大きい問題は選択性であるという点である（行徳、1996）。

しかし、害虫の存在を確認してから害虫の食害による収量への影響が無視できない程度に達するまで、10日から2週間程度の猶予が与えられるようなケースであれば、糸状菌のように選択性的な防除素材も実用性があると判断できるかもしれない。

最近になって総合的害虫管理の概念のなかでも特にEILについては、複雑な作物生産の現場では実質的にこれを求めるることは不可能という考え方もあり（大野、1999）、その有効性に一部では疑問の声があがっている（鈴木、1999）。このような考え方の背景のひとつとして、最近の生物農薬（微生物農薬と天敵農薬）の実用化の動きの中で、害虫の発生と関係なく栽培日程にあわせてこれらを散布（あるいは放飼）するスケジュール的利用や、害虫の発生を見たら時間的、空間的に適宜散布（放飼）する方法など、生物農薬の特性に合わせた施用方法によって十分な防除効果を得られることが現場の技術者の間で徐々に明らかになってきたことがある。これと関連して、単に害虫の動向だけでなく、このような生物農薬を含めた天敵系を維持・活用するための栽培管理システムも組み込んだ総合的作物管理(ICM)が必要といわれている。

しかし、害虫密度と作物被害度あるいは作物収量との関係の研究は、害虫と作物の関係を明らかにし的確な害虫防除を講じるためには依然とし有力な方法である。今後は、コマツナなど他のアブラナ科食物についても食害の影響を調べるとともに、キャベツやブロッコリーについては、コナガやモンシロチョウなどヨトウガ幼虫以外の食葉性害虫によるものや、収穫間近の可食部への直接的加害のような今回想定したのとは異なる食害様式についても検討し、複合的な被害度として組み込んでいく必要がある。また、これらの作物の生育データをもとに食害による影響の予測モデルを作成し、それぞれの作物ごとに、防除手段の組合せだけでなく防除の要否も含め、作物の栽培スケジュールと害虫の発生パターンを組み入れた防除戦略を確立することが望まれる。

摘 要

1. 自然条件下での発生状況とあわせ、鉢植えのブロッコリーにヨトウガの幼虫を放飼し、その食害の様子を調べた。本試験で用いた発育令期のヨトウガ幼虫は分散し、基本的には葉脈を残して葉を食べた。ヨトウガ幼虫の放飼密度とブロッコリーの葉の食害面積および幼虫による食害痕の出現率の関係は、それぞれ対数曲線で近似できた。また、ヨトウガ幼虫が低密度の時は株の中位の葉を中心に食害したが、高密度になると下位の葉への食害も

増えた。

2. ヨトウガ幼虫放飼による生育への影響は、高密度では放飼終了後2週間の時点での株高、株幅ともに無放飼に比し劣った。出蕾株数は放飼密度に応じて減少した。出蕾までの所要日数は低密度では無放飼と同様であるが、密度が高まるにつれ日数が伸び、高密度では花蕾形成したもののは少なく振れも大きかった。収穫時の全株重と花蕾重は、低密度では無放飼とほぼ同じになった。中～高密度では、全株重、花蕾重ともに放飼頭数に反比例して値が小さくなる傾向が認められた。

3. ブロッコリー葉の穿孔・切葉による生育への影響は、定植後8、10週間目の株高では、穿孔処理の場合、早期の処理では穴数が多いほど生育が劣ったが、遅く処理した時には穴数との関係は明瞭ではなかった。切葉処理では、穿孔処理と比し葉の失われる割合から推定されるほど株高に対する影響は大きくなかった。出蕾日数は、穿孔処理では穴数が多いほど遅れが見られ、その影響は早期の処理でより大きかった。切葉処理では、株高で見られた影響から推定されるより、より大きな遅れが見られた。収穫時の全株重と花蕾重への影響では、穿孔処理の場合いずれも大きな影響を受け、同じ穴数同士では早期の処理でより収量が劣った。切葉処理では花蕾はほとんど大きくならず、収量はほぼ皆無であった。

4. キャベツ葉の穿孔・切葉による全株重と結球重への影響は、穿孔処理程度の葉の損失では、時期を変えた処理によっても収量には大きな影響を与えるなかった。切葉処理では、全葉切除で無処理と比し収量が減少したが、半葉切除では影響は見られなかった。これらの反応にはむしろ品種による差が見られた。

5. ヨトウガの幼虫の放飼試験とブロッコリーとキャベツの穿孔・切葉試験の結果を、減収率という形でまとめた。放飼試験から5頭以上の密度で減収が生じることが明らかになった。ブロッコリーの穿孔・切葉試験から、ブロッコリーではわずかな葉の損失が収量に大きく影響した。キャベツの穿孔・切葉試験から、品種や時期により収量にあまり影響がなかった。

引用文献

- 日本植物防疫協会(1993)。農薬を使用しないで栽培した場合の病害虫等による被害調査試験成績書-平成4年度。
- 中村和雄(1996)。害虫の防除素材と防除戦略。植物防疫 50:443-445。
- 城所隆・桐谷圭治(1982)。被害許容水準と防除戦略。植物防疫 36:5-10、49-54。
- 足立礎・中筋房夫(1985)。経済的被害許容水準(EIL)の定義-総括と理論的解析-. 植物防疫 39:301-307.
- 農林水産技術会議事務局編(1975)。ハスモンヨトウとネキリムシの生態と防除。研究成果 82.
- 農林水産技術会議事務局編(1979)。害虫の総合的防除法に関する研究。研究成果 115.
- 川本 均(1987)。ダイズにおける虫害の解析。京都大学学位論文
- 河合 章(1991)。シロイチモジョトウの生態と被害発生。植物防疫 45:231-234.
- 森下正彦(1999)。キャベツにおけるコナガの被害許容密度。今月の農業 4月号:94-97.
- 岡留和伸(2000)。キャベツにおける食葉性害虫の被害許容水準。今月の農業 2月号:103-107.
- 沼沢健一・小谷野伸二・島田典彦(1998)。昆虫病原性糸状菌によるキャベツ鱗翅目害虫の防除。植物防疫 52:367-370.
- 藤目幸擴(1983)。ブロッコリー=植物としての特性。IV生理、生態的特性。pp.804-805。野菜全書(レタス、サクナム、セリ、ハナナ、ブロッコリー)。農山漁村文化協会。東京。
- 岩田直記(1987)。広域特殊調査成績書。p.11-12. 群馬県農業総合試験場
- 行徳 裕(1996)。昆虫病原糸状菌の特性と利用技術。植物防疫 50:460-463.
- 大野和郎(1999)。シンポジウム「生物農薬:その現状と利用」資料。日本植物防疫協会。pp.103-105.
- 鈴木芳人(1999)。第43回応動昆大会小集会「害虫個体群管理技術・理論の再構築」資料。

Foliage Damage Analysis of Brassica Crops
Caused by Lepidopteran Pest.

—Growth and Yield Comparison of Broccoli and Cabbage
by Foliage Damage between Armyworm Larvae and
Artificial (Punching or Cutting-off) Treatments.—

Shinji KOYANO

Abstract

1. The foliage damage on broccoli by Cabbage Armyworm, *Mamestra brassicae* (Lepidoptera:Noctuidae), was analyzed with larvae released on the potted plants which synchronized to the timing of their occurrence under natural condition. Generally, the 3-4 instar larvae fed leaves except veins individually. The relationships between the density of larvae released and the area of damaged leaves or the rate of occurrence of damaged blots were approximated to logarithmic curves respectively. And when the larval density was low, they mainly fed on leaves of middle range of plant. But the higher the larval density, the more leaves of bottom range they fed.
2. The effect of damage by larvae on the growth of the ground part of broccoli was also investigated. When the larval density was high, the height and width of plants at 2-weeks after removing larvae were less than those of no released control. The rate of budding plants decreased inversely when the larval density increased. The period of time required for budding at low density was compared with that of control, but as the density became higher the time was prolonged accordingly. Finally, at higher densities there were few plants that had budded successfully and the times for budding varied considerably. As for the weight of whole plants and heads at harvest, both of them at low larval density were almost same as those of control. But as the density became higher, both of them lighter inversely.
3. To investigate the effect of damage on the growth of broccoli by artificial punching/cutting-off treatments on the leaves, the height of plants at 8- and 10-weeks after planting, the time required for budding and the weight of whole plants and heads at harvest were measured. In the punching treatment, when treated earlier, the plants that had been more punched grew lesser. But when treated later, there were not definite relationship between the growth rate of plants and the number of holes punched on the leaves. In the cutting-off treatment, the effects of losses of leaves on the growth of plants were not so large as those expected in compared to those by the punching treatment. The time required for budding was prolonged in according to the number of holes in the punching treatment, and the effect was larger when treated earlier. In cutting-off treatment,

the time for budding was more prolonged than those expected in compared to the effect on the height of plants. As for the weight of whole plants and heads at harvest, in every punching treatment both of them were largely affected. And among the plants punched the same number of holes, they became lighter when treated earlier. On the other hand, in cutting-off treatment the heads scarcely grew and there were little yields.

4. The effect of damage by artificial punching/cutting-off treatment on the cabbage leaves was also investigated. With the effect on the weight of whole plants and heads at harvest, there were little effects in every punching treatment even if carried out at various timing. In cutting-off treatment, the yield of plants of which leaves were cut off entirely was significantly less than that of non-treated control. But there were little effects when leaves were cut off in half. These responses were difference among the varieties of crop.

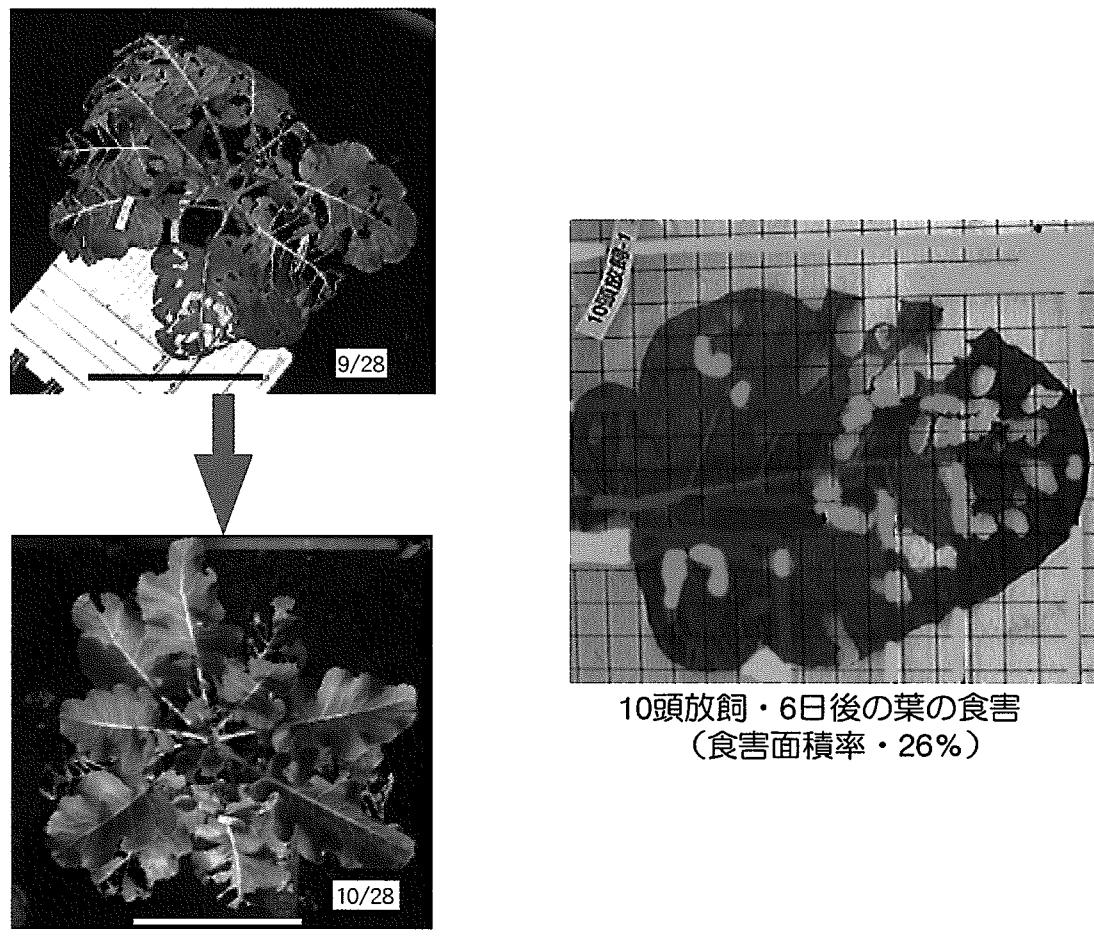
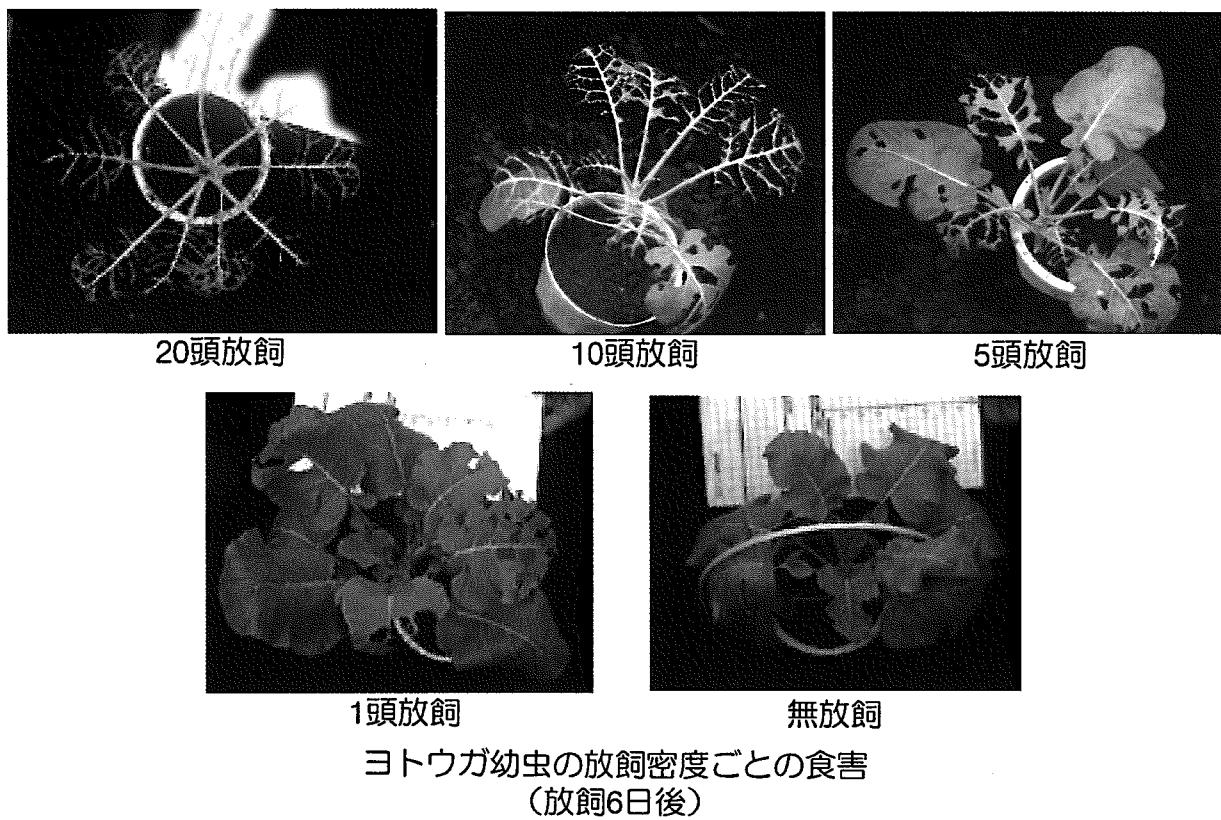


写真1 ヨトウガ幼虫放飼によるブロッコリーの食害の再現