

〔総合発表会基調講演要旨〕

生態系調和型の病虫害管理と生物農薬

岡田 齊 夫（農林水産省 農業環境技術研究所）



はじめに

地球は人類の諸活動を物質循環・浄化機能などによってはぐくんでくれていた。しかし近年の大量生産・消費・投棄は自然の回復力を超え、いたるところで歪を生じ、これが地球規模で進行して

いる。地球規模の環境問題の認識・対策のための諸会議が国連をはじめとする各種国際機関によって開催されており、平成4年6月には国連環境開発会議がブラジルで開催された。この会場で『環境と開発に関するリオディジャネイロ宣言』、『アジェンダ21』が合意され、生態系に配慮した農業の重要性も打ち出された。

農林水産省は内外の諸情勢に対応し、21世紀を目指す新農政プラン『新しい食料、農業、農村政策の方向』を平成4年6月に策定した。この要点は、「適切な農業生産活動を通じて国土・環境保全に資するという観点から、農業の有する物質循環機能を生かし、生産性の向上を図りつつ、環境への負荷の軽減に配慮した持続的な農業、環境保全型農業の確立を、我が国農業全体として目指すべきことを示し、このために、①環境への負荷軽減に配慮した、より効果的な施肥・防除を推進するための、施肥基準や病虫害防除要否の見直しを行うこと、②産・学・官が連携して環境保全型農業技術に関する研究開発を行うこと、③地力の維持・増進と未利用有機物質源のリサイクルを推進すること」としている。一方国民の食料・生活への安全性に対する関心は一層強くなっていて、生態系に調和した病虫害管理技術の確立が重要な課題となっている。

農業は、新政策にあるように、物質の循環を基本とした、環境に最も調和した産業であり、土地の荒廃や洪水の防止、水質の浄化、気候の緩和などの環境保全・多面的かつ公益的機能をもっている。これらの機能は適切な生産活動を通して維持・増進される。しかし一方で、近代農業は化学肥料や合成農薬にたよりすぎているのではないかと、などの批判もあり、また家畜糞尿などの不適切な処理が環境に悪影響を及ぼす場合もあり、これらに適切に対処する必要がある。

このような状況から国・公の行政機関においては、『有機農業』、『生態系活用型農業』、『持続的農業』の推進など、生態系の保全、安全性を重視した施策があげられており、この方面の研究や事業は近年著しく増加して

いる。病虫害管理に関しても、きめこまかい地域別の発生予察の検討、防除要否の再検討、生物的防除などの研究や事業が増加している。農林水産省農蚕園芸局植物防疫課においては、試験研究機関が開発した病虫害防除に関する各種の成果を現場で活用するため、昭和59年から『高度防除技術推進特別対策事業』、『病害虫広域型防除推進特別対策事業』などを進めてきた。これらの事業で実施した生物的資材による病虫害防除効果が農家段階で認められ、普及に対する要望が強い。しかし生物的病虫害防除資材の中には、大量生産、品質管理、貯蔵面などでさらに研究が必要なものもあり、また生物農薬としての利用範囲を考えると開発リスクの不安もあるため、『天敵生物利用円滑化推進事業』を平成3年から発足させ、民間における天敵生物の大量生産、製剤化、貯蔵、輸送などの技術開発を支援している。さらに微生物的病虫害防除資材の農業登録のための『微生物農薬検査基準確立対策事業』を平成4年から農薬検査所において実施している。また社団法人日本植物防疫協会においては、生物農薬の効果試験依頼件数の増加に対応して、適切な試験の実施やこの方面の研究開発を支援するため、『生物農薬検討委員会（平成4年～5年）』、『生物農薬連絡試験委員会（平成6年～）』を設置し、『生物農薬の効果試験法』の策定や『生物農薬開発の手引』、『天敵微生物の研究手法』の出版を行い、開発研究の促進に寄与している。

1. 病虫害などと呼ばれるもの

病虫害・雑草などと呼ばれる有害生物も、有益・有用・普通の生物と同様に、一般に、制御された条件下で特定容器内での微生物の培養や昆虫の飼育のように、大量に繁殖させることができる。しかし生態系において複数種、複数個体の生物が同じ場所に生息する場合には、生物群間に何らかの相互作用が起る。相互作用に協調、敵対、不偏関係がある。このうちの敵対関係は抗生、競争、寄生、捕食を含み、広い意味での拮抗作用である。これは生物間において一方が損害を受けるような作用である。生態系には有益・有害・普通の生物が無数に生息しており、自然にそのような関係が成り立っている。生物間のこの諸作用の上に、太陽光、降雨、風などの非生物的要素の影響が加わる。

これらの生物的・非生物的要素の複雑な相互作用によって、生態系に生存するすべての生物は、先に述べたような無限の繁殖が抑制され、毎年ほぼ一定の数に維持されている。昆虫を例にとると、種類によって産子（卵）数が大きく異なり、少ない数では20個、多い種では2万個

ともいわれている。このような産む子供の数の違いに係らず、发育を完了して次の世代の子を産む親になった時の数は、一対になっているのが普通である。これによって毎世代の発生量はほぼ一定に保たれる。これがもしも永続的に一対を超えれば、この種は暴発への道を歩み、共倒れによる崩壊を免れない。また生き残り数が平均して一対に満たなければ、じり貧による絶滅も免れない。もちろん短期的には多い・少ないは起こっていて、それも一因となって生物の数は常に変動している。しかし自然界であらゆる生物が相互に生存を続けている事実は、長期的には産子数の多少にかかわらず、雌雄一対の親の子供の雌雄一対だけが生き残り、次の世代を生産する仕組みが成り立っているものである。産子数が多いことはそれだけ途中で死亡する個体が多いことによる。死亡の主な要因は捕食や寄生、病気などの天敵と呼ばれる生物であり、この上に非生物的要素の影響が加わる。

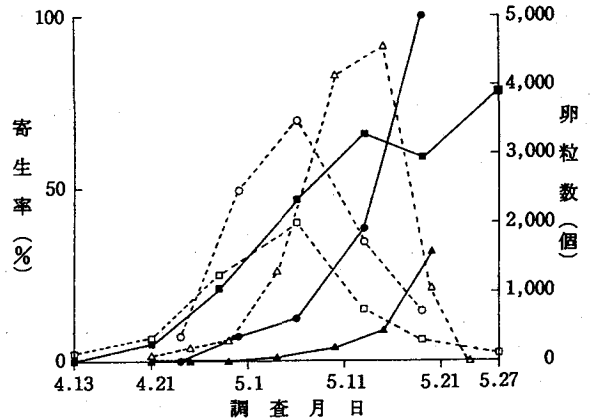
2. 防除の基本

近代の有害生物の防除は主に合成農業によって行われ、これが食料生産の増大と安定に多大の効果をあげてきた。しかしその不適切な使用によって環境の汚染、天敵・拮抗生物などの減少、生物相の攪乱に加えて、有害生物の合成農業に対する抵抗性の発達による農業の効力低下などの事態も起こり、従来のような合成農業に過度に依存した有害生物防除は再検討を求められている。

有害生物防除の基本は、生態系に賦存する天敵・拮抗・他感作用生物などの自然制御の機構を評価し、これが不十分な場合に自然の制御力を妨げない資材や利用方法を調和させて作用させることにより、有害生物の発生を経済的に被害が生じない密度に維持する方法である。作用範囲が広い資材を利用した場合は、圃場に自然の制御力が弱くなって、かえって病害虫が多発することがある。このようなことから有害生物防除に組み入れる資材や利用方法について慎重な検討が必要である。

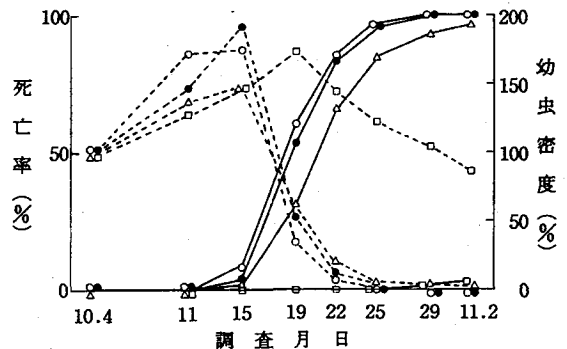
第1図はヨトウガ第1世代卵の発生消長とこれに対する *Trichogramma* spp. の寄生消長を示したものである。広島県福山市においては、ヨトウガ卵は4月中旬から発生し、次第に密度が上昇して、5月上・中旬に盛期となり、下旬に終息する。これに対する卵寄生蜂の寄生率は卵の密度上昇を追って上昇し、年による差はあるが、5月中旬にはほぼ全卵が寄生を受ける。したがって卵期間を考慮して、4月下旬から5月中旬までにふ化する幼虫を、卵寄生蜂など自然制御の活動を妨げない資材や方法によって防除すればよいことになる。ヨトウガ第2世代卵は9月上旬から10月下旬に発生し、その盛期は9月下旬から10月上旬になる。卵寄生蜂 *Trichogramma* spp. の寄生活動は卵の発生と同時に見られ、10月中旬にはほぼ全卵が寄生を受ける。したがって中旬までにふ化する幼虫を、第1世代同様の考え方で防除すればよいことになる。演者の場合はヨトウガ、アワヨトウなど数種のヨトウガ類にのみ病原性をもつヨトウガ核多角体病ウイルスを使用

した。第1世代にはエンドウ圃場で、同ウイルスの病原性や残効を考慮して、5月10日頃の1回散布、第2世代はキャベツ圃場で、10月5日と15日の2回の散布を行った。後者の結果を第2図に示した。1回目散布後も幼虫のふ化が続いたので幼虫密度は上昇したが、ウイルスに



実施場所：広島県福山市，調査年月：1975、1976、1977年の4～5月，作物：エンドウ、キャベツ、ハクサイ，卵粒数：○1975、△1976、□1977，寄生率：●1975、▲1976、■1977

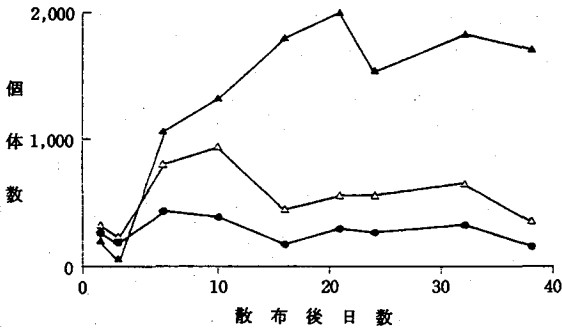
第1図 ヨトウガ第1世代卵の発生消長および卵寄生蜂の寄生消長



実施場所：広島県福山市，散布年月日：1975年10月5日と15日の2回，作物：キャベツ，天敵ウイルス：ヨトウガ核多角体病ウイルス，○： 3×10^6 包埋体/ml $\times 200$ l / 10a (被害結球0%)，●： 1×10^6 包埋体/ml $\times 200$ l / 10a (被害結球0%)，△： 3×10^5 包埋体/ml $\times 200$ l / 10a (被害結球13%)，□：水散布 (被害結球100%)，——：死亡率(%)，----：幼虫密度(%)

第2図 天敵ウイルスによるヨトウガの防除効果

よる死亡個体が観察されはじめた1回目散布の10日後頃から幼虫密度は急激に低下した。ウイルスによる死亡率は1回目散布の28日後、2回目散布の18日後には98%～100%に達した。 1×10^6 多角体/ml $\times 200$ l / 10a区は、外葉にはヨトウガ幼虫による食害がみられたが、結球部に被害を持つものはなかった。人間が食用に供する部位と同じ部位を食害する害虫の要防除水準は低い。このような作物の害虫防除に遅効的なウイルスは利用しにくい、自然制御の力を評価し、この力が不足する時期に、その制御力を妨げない遅効的なウイルスの利用によっても防除し得ることを示した。



実施場所：茨城県谷和村，散布年月日：1988年8月29日，作物：イネ，●：天敵糸状菌*Beauveria bassiana*，その散布量は 1×10^6 分子孢子/ml $\times 100$ l / 10 a ▲：作用範囲が広い合成農薬，△：無散布

第3図 天敵糸状菌によるツマグロヨコバイの防除効果

第3図にはイネのツマグロヨコバイに天敵糸状菌と作用範囲が広い合成農薬の効果を、茨城県谷和原村の水田で8月下旬から10月に比較した結果を示した。合成農薬区は散布直後に著しい密度の低下が認められたが、数日後から密度が急激に上昇し、20日間にわたって密度の上昇が続いた。この原因は1圃場の密度低下に対して、周辺圃場からの移入があったこと、クモ、ハチなどの自然制御力がほとんどいなくなったため、ふ化する幼虫および移入成虫に対する制御力が働かなかったことによるものであった。天敵糸状菌*Beauveria bassiana*区は4・5日後から死亡個体が発生し、無散布区の密度の1/2に抑制する効果が約40日間にわたって続いた。

また永井（1993）は露地栽培ナスのミナミキロアザミウマを中心とする害虫の総合防除の研究において、ナミヒメハナカメムシの害虫密度抑制効果を評価し、この天敵のみでは害虫密度抑制効果が不十分であるため、その天敵に影響が少ない合成農薬を検索し、これを併用することによってミナミキロアザミウマ、アブラムシ、ダニなどの諸害虫を防除する体系を確立した。

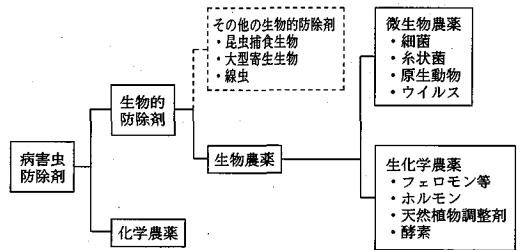
このように自然制御の機構を評価し、これが不十分で有害生物による被害が発生する場合に、自然制御の力を妨げない資材や利用方法によって、有害生物による被害が出ないように、防除体系を組むことが大切である。合成農薬、生物農薬を含むすべての防除資材や技術は完全なものではないので、こうした考え方を基本とする有害生物の総合的管理技術の確立が重要である。生物防除資材（生物農薬）はその素材として重要な位置を占めると考えている。

3. 生物農薬

農業としては化学合成農薬が主に使用されているが、先述のような各種の弊害が顕在化したために、有害生物に対する選択性が高く、有害生物に抵抗性の獲得が少なく、環境への負荷が少ない生物的有害生物防除の研究は

以前から多く行われてきた。さらに近年のバイオテクノロジー技術の発展に伴い、より有用な生物農薬の作出、生物農薬のより効率的な生産の可能性が開けたこともあって、新たな注目を集めており、国内外の多くの研究機関で開発が進められている。

生物農薬として扱われる範囲は国によって異なる。諸外国、例えばアメリカでは、微生物農薬（ウイルス、細菌、糸状菌、原生動物）と生化学農薬（フェロモンなど、ホルモン、天然植物調整剤、酵素）を生物農薬として農業登録の対象としている。昆虫捕食生物、大型寄生性生物および線虫は生物的防除剤と呼んでいるが、生物農薬の対象とはしていない（第4図）。一方、日本では農業取締法において、農薬とは「農作物（樹木および農林産物を含む）を害する菌、線虫、ダニ、昆虫、ネズミ、その他の動植物またはウイルスの防除に用いられるものうち政令で定めるものを含む」および農作物等の生理



第4図 アメリカにおける生物農薬の取扱い

機能の増進または抑制に用いられる成生長促進剤、発芽抑制剤その他の薬剤をいう」と定義されている。したがって害虫防除に利用される天敵昆虫なども農業登録の対象になっている。これらの多くは安全性の問題は少ないとしても、品質管理上の問題が大切である。

ここで生物農薬といわれるものの範囲を考えると、生物農薬開発の手引き（日植防，1994）にあるように、病虫害あるいは雑草に直接または間接に作用し、その防除を目的として使用される資材のうち、生物あるいはこの抽出物を有効成分とする資材とみることができる。一般には生きている状態や増殖能力を有する状態のものといえるが、死滅させた状態で製剤化したのも生物農薬といえると考えている。またこの考えからして、フェロモンや抗生物質などは生物の間接的な利用という点で生物由来の農薬といえるが、物質としてとらえた場合には、合成農薬に準ずるものとも考えることもできる。生物からの他の抽出物の利用も同様であるが、合成農薬と対比して考えた場合、生物農薬に近い面があるようにもみられる。このようなことから、生物農薬は第1表に示したようになると思う。

第1表 生物農薬の分類

	分類	内 容
I	天敵昆虫	捕食性昆虫・ダニ、寄生性昆虫など
II	天敵線虫	昆虫寄生性線虫、微生物捕食線虫など
III	微生物	ウイルス、細菌、糸状菌、原生動物など
IV	生物産生物質	フェロモン、ホルモン、産生毒素、抽出物など

生物農薬として利用される生物は自然界に普通に存在するもので、人畜や魚貝類に危害が少なく、植物に病気や薬害などの被害を起ささないことが経験的に知られている。一般に作用範囲が限られるので、目的とする有害生物に選択的に利用することができるので、生態系に攪乱を起す恐れは少ない。また、天敵生物、有用生物等に悪影響が少ない。有害生物の生物農薬に対する抵抗性は発達しにくい。生物農薬の種類によっては効果の持続が長く、有害生物の発生を長期間にわたって抑制することもある。などの長所がある。反面、生物農薬は一般に効果が緩慢で、施用適期の幅が狭く、適期をはずして使用すると効果が現われにくい。施用・処理から効果が現われるまでに日数を要するものが多い。一部には製品の均一性、安定性の保持にも難点がある。などの短所がある。

4. 生物農薬の農薬登録検査基準

1) 外国における状況

微生物農薬の安全性評価基準が必要になったのは、アメリカで1965年に *Heliothis* NPVの農薬登録申請が提出された時である。この時、昆虫ウイルスは自然界に普通に存在するもので安全であるとする農業研究者と不顕性感染の可能性があるとするウイルス学者や分子生物学者との間に対立があった。これを受けて1970年代に昆虫ウイルスの安全性評価に関する多数の会が開催され、諸会議の討議をふまえて、1975年に微生物農薬の安全性試験のガイドラインを策定した。*Heliothis* NPVが一つのモデルともなって策定されたもので、このウイルスは登録許可が降りるまでに、10余年の歳月を要した。その後各国で微生物農薬の安全性評価法に関する検討が進められ、1980年にはWHOが新たなガイドラインを提案し、この中で段階試験制度を初めて採用した。これを受けてアメリカでは1982年に段階試験制度に基づく新たなガイドラインを策定し、さらに1989年にこのガイドラインを改定した(第2表)。また国際生物的防除協議会(IOBC)が1980年に発足し、1980年~1982年に段階試験制度に基づく微生物農薬の安全性試験のガイドラインを策定した。イギリスをフランスは1980年に、西ドイツは1983年に、カナダは1986年に微生物農薬のガイドラインを策定した。さらに欧州議会も微生物農薬登録のガイドラインを設定したが、登録要件は欧州議会に所属している各国の判断に委ねられている。例えばデンマークでは微生物農薬は全く規制なしに使用することができる。

2) アメリカにおける安全性評価基準

アメリカ環境保護庁(ERA)の微生物農薬の登録に対する基本的態度は、微生物農薬は通常の合成農薬とは本質的に異なった作用機作を持つことと、リスクが少ないことを考慮して、独自の安全性試験のガイドラインを設定し、登録の促進を図ることにある。ERAが設定した微生物農薬登録時に提出するデータは、①製剤分析データ、②ヒトに対する毒性試験データ、③標的外の生物に対する影響調査結果の3項目から構成されている。②、③で悪影響が認められた場合には、当該微生物農薬の環境における残留分析データおよび環境での拡散に関するデータが要求される。

製剤の内容表示は、基本的に合成農薬と同様であるが、当該微生物の分類学上の位置、自然界での分布状況、物理・化学・生物学的特性などの成分表示と、製造方法、補助剤の種類の記載である。

毒性試験としては、当該微生物がヒトの体内で生存し、増殖する可能性をチェックするための感染性試験、ヒトの細胞、組織、器官を直接的に損傷させる可能性をチェックするための毒性試験、アレルギーとアナフィラキシーの有無を調査する過敏症試験および刺激性試験が含まれる。これらについての詳細は(株)三菱化成安全科学研究所編「微生物農薬の現状と安全性評価」をご覧いただきたい。

3) 日本における状況

日本では登録申請があった生物農薬について、その生

第2表 微生物農薬の毒性試験の変更(*: 毒性/病原性試験)

試験項目	改 定 前				改 定 後		
	微生物農薬				試験項目	微生物農薬	
	細菌	糸状菌	ウイルス	原生動物		ウイルス	その他
Tier I					Tier I		
急性経口*	○	○	○	○	急性経口*	○	○
急性経皮*	○	○	○	○	急性経皮毒性	○	○
急性吸入*	○	○	○	○	急性経気道*	○	○
急性静脈内*	○	○	○	○	急性静脈内*	○	○
急性脳内*			○	○			
急性腹腔内*		○	○	○			
一次眼皮膚刺激性	○	○	○	○			
一次眼刺激性	○	○	○	○	一次眼刺激性	○	○
過敏性発生事例	○	○	○	○	過敏性発生事例	○	○
非即時過敏性	○	○	○	○			
細胞免疫反応	○	○	○	○			
細胞培養			○	○	細胞培養	○	
Tier II					Tier II		
急性経口*			○	○	急性毒性	○	○
急性吸入*			○	○			
急性腹腔内	○	○	○	○			
/脳内*							
亜急性経口*			○	○	亜急性経口*	○	○
一次皮膚刺激性	○	○	○	○			
一次眼刺激性	○	○	○	○			
細胞免疫反応	○	○	○	○			
催奇形性	○	○	○	○			
変異原性	○	○	○	○			
変異力増大	○	○	○	○			
Tier III					Tier III		
慢性経口*	○	○	○	○	生殖/繁殖影響	○	○
発癌性	○	○	○	○	発癌性	○	○
催奇形性	○	○	○	○	免疫不全	○	○
変異原性	○	○	○	○	慢性感染性	○	○

(株)三菱化成安全科学研究所編、「微生物農薬の現状と安全性評価から

物の特性を考慮しながら、現行の登録基準を用いている。しかし近年の行政・研究・社会情勢などから、生物農薬の開発研究が増加し、これに対する社会の期待が増大している。また植物防疫課が昭和59年度から予算化した高度防除技術確立事業、その利用促進事業などで生物的資材による病虫害防除の特徴が農家段階で認められ、普及に対する要望が強い。しかし生物的資材の中には、大量生産、品質管理、貯蔵面などでさらに研究が必要なものがあり、また生物農家のシェアを考慮すると開発リスクの不安もあり、同課は天敵生物利用円滑化推進事業を平成3年から発足させ、民間における開発を支援している。この事業も軌道に乗っており、平成4年度から3年計画で微生物農薬検査基準確立事業を予算化し、農薬検査所で大学、農林水産省・厚生省の研究機関の専門家による「微生物農薬ガイドライン検討委員会」を作って、微生物農薬のためのガイドラインの策定作業を進めている。

今後の課題

生物的資材による有害生物制御の研究をめぐる情勢、研究の重要性・現状、登録に向かっての環境などを述べた。農業は、本来、生態系と調和した生産方法が適合するもので、生産阻害生物に対する制御も、この考え方に沿った研究開発が近年強く求められている。生物農薬は一般に利用範囲や方法が限定され、効果の発現が緩慢であったりするが、選択性が高く、人畜や作物など有用生物に危険性が低く、抵抗性の発達は少なく、環境への負

荷が少ない、などの特徴があり、生産阻害生物に対する総合管理の素材として重要な位置をしめる。このような研究は欧米においては早くから着手され、農薬登録されて実際に利用されている生物農薬は少なくない。日本においても早くから研究され、利用可能なものもあるが、実用化面で大きく遅れている。今後は社会、行政、研究、普及にわたって、こうした研究が進展する環境の醸成が必要である。また生物農薬の開発には、利用生物の探索、実験室から圃場にいたる効果試験、利用生物の安全性試験、標的有害生物の範囲、これらの生態、標的生物を取り巻く環境条件、利用生物の安定的な効果をおさめ得る製剤法、利用生物の大量生産、登録のための安全性試験、圃場における効果の実証、防除体系への導入試験など多岐にわたる研究が必要で、特定の一機関のみによる開発は困難であると思う。このため各調査研究に塾連した産・学・官・公の機関の協力・共同研究が必要であろう。

主要参考文献

- 国見裕久(1993)天敵微生物の安全性試験法。天敵微生物の研究手法(岡田ら編)、東京:日本植物防疫協会, pp. 103-110.
- (株)三菱化成安全科学研究所編(1993)微生物農薬の現状と安全性。東京:化学工業日報社, 727p.
- 日本植物防疫協会(1994)生物農薬開発の手引。東京:日本植物防疫協会, 111P.
- 岡田齊夫(1993)生物農薬の実用化にあたっての問題点。関東病虫研報 40: 1-5.