

学 位 論 文 要 旨

氏 名	安部 布樹子
題 目	ヤシオオオサゾウムシの生活史と昆虫病原性線虫による防除の有効性に関する研究 (Life history of the red palm weevil, <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Olivier) (Coleoptera: Driophthoridae) and effectiveness of entomopathogenic nematodes as biological control agents)

ヤシオオオサゾウムシ（以降ヤシオサ）は熱帯原産のヤシ類の害虫で、幼虫の食害によりヤシを枯死させる。我が国では、1998年に宮崎県で被害が発生して以降、現在も九州を中心に深刻な被害が発生している。これまでに、薬剤の散布や樹幹注入などの防除法の研究は行われてきたが、それらの施用の基礎となる生活史は明らかにされていなかった。そこで、本種の繁殖生態、野外での成虫の飛翔の季節消長や日周変動、越冬を助けられていると考えられる酵母との共生関係、被害木内での齢構成の季節変化を調査し、日本における生活史を推察した。さらに、本種の成虫と幼虫に対する昆虫病原性線虫の病原性を検証し、線虫を用いた生物的防除法を取り入れた本種の有効な防除法について検討した。

本種の生活史・生態について、以下のことが明らかになった。成虫は12月中旬～3月上旬は、ヤシの内部に生息し、3月～4月に飛翔・産卵活動を開始する。これらの活動は、連日20℃以上を記録する5月以降に活発になり、6月と7月～10月にピークを迎える。この時期、雌成虫は採食した場合、毎日数卵～30卵、生涯で約300卵産卵する。成虫の飛翔は、気温の低下とともに停止する。ヤシの内部は相利共生関係にある酵母の発酵熱により、30℃～40℃に保たれるため、寄主植物内に可食部が残っている場合、時期を問わず本種は発育が可能で、齢構成が多様になるが、可食部がなくなると、摂食を終了した終齢幼虫、蛹、成虫が優占するようになる。特に資源が枯渇後時間が経過した春先には、成虫が大部分を占めるようになる。そして、春に気温が上昇するとともに成虫は寄主植物から脱出し、新たな寄主植物に産卵する。産卵されてから成虫になるまで約3ヶ月かかる本種は、年に3ないしは4世代を繰り返すと推察される。成虫の飛翔期間は地域によって異なるが、寄主植物が生育する場所では、どこでも定着・繁殖可能であると考えられた。

4種の *Steinernema* 属と1種の *Heterorhabditis* 属の昆虫病原性線虫について殺虫力と宿主探索力を調査した。いずれの種も本種の成虫に対する殺虫力はなかった。しかし、幼虫に対する殺虫力は認められ、特に *S. carpocapsae* (以降 SC) の殺虫効果は高く、10頭線虫を接種した場合でも72時間以内に60%以上の確率で感染・死亡させた。寄主探索能力は、*S. glaseri* が最も優れていたが、その移動力は、ヤシオサの幼虫に比べると著しく劣っていた。これらの結果から、5種の昆虫病原性線虫の中ではSCが本種の防除に最も期待できる種であると結論づけられた。成虫が飛翔・産卵を開始する春のヤシの樹冠部の温度は、線虫が殺虫効果を発揮する15℃以上であった。この温度はヤシオサの幼虫の発育ゼロ点であり、この時期にSCを施用することで、生物的防除の効果は高まると考えられた。

学 位 論 文 要 旨	
氏 名	Fukiko Abe
題 目	Life history of the red palm weevil, <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Olivier) (Coleoptera: Driophthoridae) and effectiveness of entomopathogenic nematodes as biological control agents (ヤシオオオサゾウムシの生活史と昆虫病原性線虫による防除の有効性に関する研究)
<p>The red palm weevil (RPW), <i>Rhynchophorus ferrugineus</i>, a Coleopteran insect originally distributed in the tropics, is one of the most serious pests of palms, which kills its host mainly through feeding of larvae. In Japanese mainlands, after the first record in Miyazaki in 1998, the damage has extended throughout western Japan, especially Kyusyu. Most previous studies have been concentrated on insecticide application and the information on its life history in Japan, which is necessary for the control of this pest, is lacking. In order to reveal its life history, the reproductive behavior, flight behavior, symbiotic association with <i>Candida</i> spp., and seasonal changes in the composition of RPW in its host plants were examined. Furthermore, the pathogenecity and host searching ability of 5 species of the entomopathogenic nematodes were examined.</p> <p>The outline of the life history of RPW in Japan was speculated as follows. Adults inhabit the inside of palm trees from December to March: They begin to emerge from host trees in spring and fly to healthy palm trees for oviposition. But their reproductive and flight activities are low. The reproduction and adult flight becomes more active in May, when the daily maximum temperature attains to 20°C or higher, and show two peaks in June and July to October. During the period, adult females can deposit ≤ 3 eggs everyday and about 300 eggs in their life-span, if feed. The reproduction and flight activity lowered gradually from late autumn to early winter, and ceased in mid-December. However, in palms with considerable amounts of remaining resources, RPW continues to develop, because the temperature inside the palm is kept 30°C-40°C through a fermentation heat of symbiotic yeasts (<i>Candida</i> spp.). A low temperature in winter may not inhibit the overwintering of RPW in Japan and RPW can establish and reproduce anywhere host plants can grow. RPW can have 3-4 generations a year in Japan.</p> <p>Insecticidal activity of the entomopathogenic nematodes, 4 Steinernematidae and 1 Heterorhabditidae, was recorded against RPW larvae, but not against RPW adults. Among the 5 entomopathogenic nematodes, <i>Steinernema carpocapsae</i> caused the highest mortality of RPW larvae; 10 inoculated <i>S. carpocapsae</i> killed 60% of larvae within 72h. Migration of <i>S. sangi</i> and <i>S. glaseri</i> was superior to that of <i>S. glaseri</i>, but their migratory was greatly inferior to that of RPW larvae. From these results, <i>S. carpocapsae</i> might be a promising candidate of the biological control agents of RPW. The application of <i>S. carpocapsae</i> in spring, when the temperature in the litters accumulated in the crown of palm trees become 15°C and higher, seems to be very effective in RPW control.</p>	

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏 名	安 部 布 樹 子
審査委員	主査 鹿児島大学 教授 曾 根 晃 一
	副査 鹿児島大学 准教授 畑 邦 彦
	副査 佐 賀 大学 准教授 吉 賀 豊 司
	副査 鹿児島大学 教授 津 田 勝 男
	副査 佐 賀 大学 教授 鈴 木 信 彦
審査協力者	佐賀大学 名誉教授 近 藤 榮 造
題 目	<p>ヤシオオオサゾウムシの生活史と昆虫病原性線虫による防除の有効性に関する研究</p> <p>(Life history of the red palm weevil, <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Olivier) (Coleoptera: Driophthoridae) and effectiveness of entomopathogenic nematodes as biological control agents)</p>
<p>ヤシオオオサゾウムシ（以下ヤシオサ）は、東南アジアを中心に生息しているヤシの害虫で、幼虫が樹幹内部や葉柄基部を食害する過程で、樹幹頂端部の成長点を食害することで、ヤシを枯死させる。日本での被害は、1975年に沖縄県で、1998年に宮崎県で発生後、九州を中心にフェニックスの枯死が続いている。ヤシオサの被害に対し、被害木の伐倒処理、薬剤散布、薬剤の樹幹注入などの処置が講じられているが、これらの実施のもととなるヤシオサの日本での生活史や生態は、ほとんど明らかにされていなかった。また、加害樹種のフェニックスは景観樹として公園内や道路に沿って植栽されているので、薬剤を用いた防除には抵抗があり、天敵を利用した生物的防除法の開発が求められている。そこで、学位申請者は鹿児島県と宮崎県で成虫の飛翔活動や繁殖生態、被害木内での齢構成の季節変化、酵母との共生関係を調査した。</p> <p>12月中旬から3月上旬にかけてヤシの樹体内に生息している成虫は、3月中旬以降樹体内から脱出し、飛翔・産卵活動を開始した。これらの活動は、気温が20℃以上になると活発になった。成虫は採食と産卵を繰り返し、死亡するまでの約3ヶ月間に、300卵ほど産み付</p>	

けることができた。飛翔・産卵活動は、気温の低下とともに低下し、12月上旬までには停止した。ヤシの樹体内の組織を幼虫は採食して成長し、8~12回脱皮した後、繊維を紡いでその中で蛹化した。樹体内の齢構成は、樹体内に残っている資源（餌）量に依存し、餌が十分ある場合には、卵から成虫までの様々なステージの個体が生息していたが、餌が少なくなると若齢幼虫や中齢幼虫の割合が著しく減少し、終齢幼虫、蛹、成虫だけになった。ヤシオサの体表や体液、そして加害部から、*Candida*属の酵母 *C. tropicalis*, *C. guilliermondii*, *C. utilis*, *C. ethanolica*と *Trichosporon mycotoxinivorans*が検出された。これらの酵母のうち、主として *C. tropicalis*の発酵熱により、加害部の温度は冬でも30℃以上に保たれ、ヤシオサは気温が低くなる冬期にもヤシの樹体内での活動を停止することなく、一年を通して発育・繁殖を継続することが可能であった。これらの結果をもとに、ヤシオサは日本では主な寄主植物のフェニックスが生育する場所では、どこでも定着・繁殖が可能で、年に3ないしは4世代を繰り返すと結論づけた。

また、生物的防除的法の開発に向けて、*Steinernema*属の4種と *Heterorhabditis*属の1種の昆虫病原性線虫について、殺虫力と寄主探索能力を調査した。その結果、5種のいずれもヤシオサの幼虫に対する殺虫力が認められた。その中で殺虫力が強かった *S. carpocapsae*, *S. glaseri*, *S. sangi*の寄主探索能力を比較した結果、*S. glaseri*の寄主探索能力が他の2種より勝っていたが、*S. glaseri*の移動能力は、寄主であるヤシオサの幼虫に比べ著しく劣っていることが明らかになった。以上の結果から、殺虫力が一番高かった *S. carpocapsae*が5種類の線虫の中では、生物農薬として最も効果的な線虫で、ヤシオサの生活史に関する情報をもとに、*S. carpocapsae*の施用は、気温が15℃以上に上昇し始める時期が最も適切であると結論づけた。

さらに、本研究で得られたヤシオサの生活史・生態についての知見を加味して、ヤシオサの効果的な防除方法について議論した。

以上のように、本研究は、ヤシオサの南九州における生活史を明らかにするとともに、昆虫病原性線虫の殺虫力を調査し、生物農薬として利用できる可能性のある種を明らかにした。また、熱帯地域からの侵入昆虫である本種がわが国に定着するために、随伴する酵母菌の発酵熱を利用して冬期の寒さを克服しているという、昆虫と菌の熱を通しての相利共生関係を明らかにした点は特筆される。これらの研究成果は、ヤシオサの生物的防除法の確立に極めて重要であると考えられた。

したがって、審査員一同は、本論文は博士（農学）の学位論文として十分に価値があるものと判断した。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏 名	安 部 布 樹 子
審査委員	主査 鹿児島 大学 教 授 曾 根 晃 一
	副査 鹿児島 大学 准教授 畑 邦 彦
	副査 佐 賀 大学 准教授 吉 賀 豊 司
	副査 鹿児島 大学 教 授 津 田 勝 男
	副査 佐 賀 大学 教 授 鈴 木 信 彦
審査協力者	佐賀大学 名誉教授 近 藤 榮 造
実施年月日	平成22年 1月 28日
試験方法（該当のものを○で囲むこと。） (<input checked="" type="radio"/> 口答) ・ 筆答	
<p>主査および副査は、平成22年1月28日（木曜日）の公開審査会において、学位論文申請者に対し学位申請論文についての説明を求め、その内容および関連事項について試問を行った。具体的には、別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることが出来た。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士（農学）の学位を受けるに十分な学力ならびに識見を有するものと認めた。</p>	

学位申請者 氏 名	安 部 布 樹 子
<p>主な質問とそれに対する回答は以下の通りである</p> <p>質問 1. 酵母はヤシオサ成虫の体に付着しても新たな寄主植物に運ばれるのか？</p> <p>回答 1. 成虫の尾端部にできたコロニーや飛翔中の成虫の口吻からも分離されている。したがって、成虫の体表面に付着して、新たに寄主植物体内に運ばれると考えられる。</p> <p>質問 2. 今回ヤシの内部やヤシオサから分離された酵母菌はどこにでも存在している菌なのか？</p> <p>回答 2. 野外に普遍的に存在し、空中を浮遊している。そのため、ヤシの樹幹などについた傷から樹体内に侵入することもあると考えている。</p> <p>質問 3. 今回新知見として報告している酵母とヤシオサの関係は相利共生と言い切れるか？</p> <p>回答 3. 酵母は樹体の表面についた傷から偶然に侵入できるが、多くはヤシオサの加害に伴い新たな寄主植物体内に侵入する。したがって、酵母やヤシオサにより新たな寄主植物への侵入が、酵母の発酵熱でヤシオサは冬期の発育や繁殖が可能となる。両者の関係は、相利共生関係と言えるのではないか。</p> <p>質問 4. 野外ではヤシオサの成虫は何を食べているのか？</p> <p>回答 4. 詳しいことはわかっていない。野外で採集した個体の口吻に、べっこう色の物質が付着していた。密や樹液を吸っているのかもしれないが、よくわからない。寄主植物体内で生息している成虫は、ヤシを食べているであろう。</p> <p>質問 5. ヤシオサはどこで交尾するのか？</p> <p>回答 5. 樹体内で繁殖を行っている個体は、マユから脱出後すぐに樹体内で交尾したと考えられる。フェロモントラップで捕獲した個体が産んだ卵は、有精卵であった。おそらく、ヤシから脱出した成虫は、脱出直後にその周辺で交尾し、新たなヤシへ移動すると考えられる。</p> <p>質問 6. 成虫は羽化後どの位の期間マユにとどまるのか？</p> <p>回答 6. 成虫は羽化後少なくとも 1 週間は、マユの中にとどまる。</p> <p>質問 7. 成虫のマユでの滞在期間に雌雄の差はあるのか？</p> <p>回答 7. 滞在期間に雌雄の差はない。</p> <p>質問 8. 枯死したヤシと枯れ途中のヤシでの幼虫の齢構成に差が見られた。枯死したヤシ内では老齢幼虫がほとんどを占めたが、その原因はかみ合いではないか？</p> <p>回答 8. 室内で多数の老齢幼虫を一つの容器で飼育した場合、かみ合いをしているのを観察</p>	

した。したがって、ヤシの中で幼虫同士がかみ合いを行い、老齢幼虫のみが生き残った可能性は否定できない。しかし、枯死木ではほとんど餌となる部分が残っていないので、採食が必要な若齢や中齢幼虫は餓死してしまい、その結果、老齢幼虫がほとんどを占めるようになった可能性の方が高いと考えられる。

質問 9. 枯れ途中のヤシと枯死したヤシの外見上の差は？

回答 9. 枯死したヤシは、成長点が完全に破壊され、新しい葉を展開できないので、葉は全て枯れている。枯れ途中のヤシは、頂端部の葉の成長が少し悪いものから、ほとんどの葉が枯死したものまで多様である。ただし、内部にはヤシオサの可食部である健全な組織が残っている。

質問 10. 薬剤の樹幹注入はどの時期に行うのが有効か？

回答 10. 樹幹注入された薬剤で、ヤシの樹体内に生息するヤシオサの成虫や幼虫は死亡してしまうので、樹幹の頂端部の成長点が完全に破壊される前ならば、この方法は有効で、ヤシは被害から回復し、成長を取り戻す可能性はかなり高い。鹿児島大学構内のフェニックスで現在生き残っているのは、薬剤を樹幹注入した個体だけである。成長点が破壊された後は新たな葉を展開できないので、樹幹注入をしても、ヤシを回復させるという点では効果はない。しかし、樹体内のヤシオサを殺し、新たな分散を防ぐという点では効果がある。

質問 11. ヤシの樹体内での市販されている昆虫病原性線虫の効果はどれくらいあるのか？

回答 11. 昆虫病原性線虫のヤシオサに対する殺虫効果は、室内実験で確かめられただけで、ヤシの樹体内での効果は、まだ調査されていない。

質問 12. 昆虫病原性線虫の効果が不安定であると言われているが、それはなぜなのか？

回答 12. 野外での施用法が十分に確立されていないことが最大の原因であると考えている。

質問 13. 昆虫病原性線虫の施用を含めた最も効果的なヤシオサの防除法は何だと考えるか？

回答 13. 成虫の飛翔がみられない冬から初春にかけて、枯死木は伐倒・焼却する。同時に、健全木には薬剤散布する。これにより、枯死木内のヤシオサを効率的に防除し、枯死木から脱出し産卵のために新たな寄主に到達した成虫も効果的に駆除できる。そして、加害初期のヤシに対しては、線虫を投与し、樹体内の幼虫を殺す。この方法が、現状では最善ではないかと思われる。

コメント 1. 最近、待ち伏せ型の *Steinernema carpocapsae* は、全く動かないのではなく、寄主が近くにいる場合、寄主の震動を感知して、活発に移動することが、報告されている。線虫の行動型の分類が変わってきている。