

氏名	篠 至 厚
学位の種類	博士 (農 学)
学位記番号	農 博 第 1430 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	農学研究科応用生命科学専攻
学位論文題目	ウマノスズクサ科を寄主とするアゲハチョウ類の生活史に関する化学因子

論文調査委員 (主査) 教授 桑原保正 教授 西岡孝明 教授 宮川 恒

論 文 内 容 の 要 旨

草食性昆虫の多くは食物資源を限られた植物群に定めている。寄主植物に対する適応過程には植物に含まれる化学物質が重要な役割を果たしている。本研究は、ウマノスズクサ科植物を食草とするアゲハチョウ類の寄主適応の背景にある植物化学的要因を化学生態学観点から解明することを目的としている。アゲハチョウ科を系統的にみるとウマノスズクサ科を食草とする原始的なギフチョウ族を起点としてモクレン科→クス科→ミカン科さらにセリ科食性の種へと進化したと考えられている。一方、進化の上位にありながら、ジャコウアゲハなどキシタアゲハ族はウマノスズクサ科植物に依存している。これらウマノスズクサ科を食草とする両系統の種群を比較しながら食草成分の生理・生態学的機能について次の二つの観点から解析している。

1) ギフチョウ幼虫の摂食刺激物質および食草選好性の個体群変異との関連

摂食刺激物質の同定：ギフチョウ *Luehdorfia japonica* は、ウマノスズクサ科カンアオイ属 *Heterotropa* を選択的に食草としている。エチゼンカンアオイ *H. nipponica* およびミヤコアオイ *H. aspera* の葉に含まれるギフチョウ幼虫の摂食刺激因子について追究した。葉抽出試料を固形寒天片として与え摂食刺激作用を検定した結果、活性は水溶性画分に局在し、複数成分から構成されていることが判明した。ODS 逆相系カラムクロマトグラフィーで保持されない水溶出画分から主活性成分を分離精製し、アデノシン、ミオイノシトール、グルコース、フルクトース、スクロース、ならびに未知化合物 A を単離した。物質 A は酸加水分解により 2-C-methyl-1,2,3,4-butanetetrol とグルコースを与えた。前者のバイゾイル誘導体の旋光度の解析から絶対立体配置を確定する一方、二次元 NMR スペクトル解析 (HMBC) からグルコース結合部位を一義的に決定し、物質 A を 2-C-methyl-D-erythritol 3-O-β-D-glucopyranoside と結論した。以上の 6 物質は両植物に共通する摂食刺激成分であったが、それぞれの植物にはこれらの高極性物質の活性を増強するフラボノイド配糖体が含まれていることが判明した。エチゼンカンアオイからは, quercetin 3-O-β-D-glucopyranosyl-(1→2)-β-D-galactopyranoside (B), ミヤコアオイからは isorhamnetin 3-O-β-D-glucopyranosyl-(1→6)-β-D-galactopyranoside-7-O-D-glucopyranoside (C) を協力物質として同定した。物質 C は、ギフチョウの産卵刺激物質として知られる化合物であり、幼虫と成虫の寄主認識における化学成分の共通基盤が明らかになった。

摂食刺激因子に対する感受性の地域個体群変異：カンアオイ属植物は日本各地域によって著しく種分化し、ギフチョウはそれぞれの地方の食草に依存して分布している。エチゼンカンアオイを主要な食草とする福井県の幼虫は京都府のミヤコアオイをほとんど摂食しないし、逆にミヤコアオイに寄生する京都府の個体群はエチゼンアオイを選好しない。それぞれの食草に含まれる摂食刺激成分に対する幼虫の応答を比較した結果、フラボノイド配糖体 B および C に対する感受性が両個体群で著しく異なることが判明した。すなわち摂食選好性を制御する因子は、それぞれの地域に自生するカンアオイ種にもっとも特徴的なフラボノイド配糖体であることがわかった。それは幼虫期の馴化操作によって影響を受けないことから、それぞれの地域の個体群で遺伝的に固定しているものと推察された。

2) ウマノスズクサ科を食草とするアゲハチョウ類におけるフェナントレン化合物群の選択的蓄積

ウマノスズクサ科植物には、ベンジルイソキノリンアルカロイド由来のアリストロキア酸 (AA) やアリストラクタム (AL) などフェナントレン骨格をもった有毒化合物群が含まれているために、植食者の多くはこれらの植物を避けている。ギフチョウ族とキシタアゲハ族は同植物群のみを選択的に寄主とする特異な昆虫類である。これら二系統のアゲハチョウ種群を代表してギフチョウ、ホソオチョウ *Sericinus montela* (ギフチョウ族) ならびにジャコウアゲハ *Atrophaneura alcinous* (キシタアゲハ族) の3種について食草フェナントレン化合物に対する適応性を比較解析した。とくに、キシタアゲハ族では防御物質として多量の AA を体内に選択蓄積することが知られているため、その取込み能力の相違に注目して化学分析した。

ウマノスズクサを寄主とするアゲハチョウ類の AA 蓄積能力の比較：ホソオチョウとジャコウアゲハはウマノスズクサ *Aristolochia debilis* を共通の寄主としている。両種における AA 類の体内への取込み状況を比較解析した。両種とも幼虫の体液には一定濃度の AA が存在し、いずれも防御分泌器官の肉角に濃縮蓄積することが判明した。ウマノスズクサ葉には AA-I, AA-II をはじめ6種の類縁体が存在するが、チョウ虫体における各物質の量比は変態とともに次第に変化した。成虫においてはジャコウアゲハが AA を多量に保持するのに対し、ホソオチョウでは微量が検出されたのみであったことから、AA 蓄積能力は両種間で著しい相違があることが判明した。

ギフチョウの蓄積する食草由来成分の化学分析：まず食草カンアオイ属におけるフェナントレン化合物群について知見を得るために、エチゼンカンアオイを材料として AA および AL 類の単離、同定を行なった。その結果、4種の AA 類縁体を明らかにした。その中でメトキシ基を3個もつ新規の AL について詳細なスペクトル解析を行い、その構造を 10-amino-6,7,8-trimethoxy-3,4-methylenedioxy-1-phenanthroic lactam (6,7-dimethoxyaristolactam I) と決定した。エチゼンカンアオイで生育したギフチョウにおける AA と AL の蓄積状況を調べた結果、(1) AA に関しては幼虫時代に取り込んだ4種すべてを成虫体まで保持するが、(2) AL に関しては幼虫体液と肉角分泌液に 9-methoxyaristolactam I、蛹表層に 9-hydroxyaristolactam を保持することが判明した。AL を過剰に投与した幼虫に成長阻害が認められたことと、これらの物質の蓄積量はジャコウアゲハにおける AA 蓄積量と比較すると著しく少ない事実から、ギフチョウにおいては防御物質としての積極的な蓄積より、自らへの毒性を回避する生理的機構が働いていることが示唆された。以上の結果より、それぞれの種の植物二次代謝物質に対する適応性の違いが明確に示された。

論文審査の結果の要旨

本研究は、ウマノスズクサ科植物を寄主とするアゲハチョウ類について、それぞれの種の生活史に密接に関わる植物化学因子を生理・生態学的観点から解析したものである。ギフチョウ幼虫において、摂食刺激物質を解明し、食草選好性の地域個体群変異との関連について詳細な解析をする一方、ウマノスズクサ科を食草とする3種のアゲハチョウ類による有毒フェナントレン化合物群の選択的蓄積過程を比較考察している。本論文の評価すべき点は次のとおりである。

1. ギフチョウ幼虫の摂食刺激物質として糖・ヌクレオシド・フラボノイド類を同定し、それぞれの活性因子相互の協力効果について明らかにした。
2. ギフチョウの食草選好性の地域個体群変異における化学的要因を明らかにした。従来、摂食行動を制御する植物化学因子は昆虫種間において比較考察されることが多いが、本研究では同一種内の地域個体群間の比較から特定の化学因子を明確に突きとめており、食性進化の考察に新たな視点を与えている。
3. 摂食刺激活性を示すフラボノイドが産卵刺激物質と共通する事実は、幼虫と成虫における認識機構の相同性を示唆するものとして注目される。
4. ギフチョウ幼虫の摂食刺激物質の一因子である 3-C-メチルエリスリトールグリコシドはユニークな糖類として *Heterotropa* 属植物から初めて同定された植物成分である。
5. ウマノスズクサ科を食草とするチョウ類が食草に含まれる有毒のアリストロキア酸に対してどのように適応しているか比較解析した。系統分類的に異なりかつ食草を同一にするホソオチョウとジャコウアゲハにおける虫体への取込み能力の比較を行なうことにより、両者の適応戦略の違いを示した。

6. ギフチョウにおいて、食草に含まれるアリストロキア酸とアリストラクタムの虫体への取込み過程を詳細に追跡している。昆虫類におけるアリストラクタムの蓄積作用が確認されたのはこれが初めての例である。
7. 植物体より新規アリストラクタムである6,7-ジメトキシアリストラクタムIの構造を解明した。*Heterotropa*属植物からのアリストロキア酸およびアリストラクタム類の報告もこれが初めてである。
8. ウマノスズクサ科を食草とするチョウ類に関して有毒フェナントレン化合物群の体内蓄積作用についての系統的な種間比較はなく、この研究領域の体系化に果たす役割は多大である。

以上のように、本論文はウマノスズクサ科植物を寄主とするアゲハチョウ類の生活史に関わる化学因子の解析を通じて昆虫の適応機構の一端を解明したものであり、化学生態学、天然物化学、有機構造解析学、進化生態学の各分野に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成16年2月16日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。