

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

トンボ由来の紫外線反射物質を同定

ー トンボが分泌するワックスの主成分を化学合成し強い紫外線反射と撥水性を実現 ー

2019年1月15日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

国立大学法人 浜松医科大学

国立大学法人 名古屋工業大学

学校法人 東京農業大学

■ ポイント ■

- ・ 日差しに強いシオカラトンボの成熟オスが分泌する紫外線反射ワックスの主成分を同定
- ・ 他の生物のワックスと異なり極長鎖メチルケトンと極長鎖アルデヒドが主成分であることを発見
- ・ 化学合成した極長鎖メチルケトンの自己組織化で強い紫外線反射能と撥水性を実現

■ 概要 ■

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】(以下「産総研」という)生物プロセス研究部門【研究部門長 田村 具博】生物共生進化機構研究グループ 二橋 亮 主任研究員、同研究部門 深津 武馬 首席研究員、物質計測標準研究部門【研究部門長 高津 章子】バイオメディカル標準研究グループ 川口 研 主任研究員らと、国立大学法人 浜松医科大学【学長 今野 弘之】(以下「浜松医大」という)光先端医学教育研究センター ナノスーツ開発研究部 針山 孝彦 特任教授、総合人間科学講座 生物学 山濱 由美 博士、国立大学法人 名古屋工業大学【学長 鶴飼 裕之】(以下「名工大」という)大学院工学研究科 生命・応用化学専攻 石井 大佑 准教授、学校法人 東京農業大学【学長 高野 克己】(以下「東京農大」という)生命科学部 矢嶋 俊介 教授、生物資源ゲノム解析センター 川原(三木) 玲香 博士研究員らは共同で、トンボ由来の紫外線反射物質を同定した。

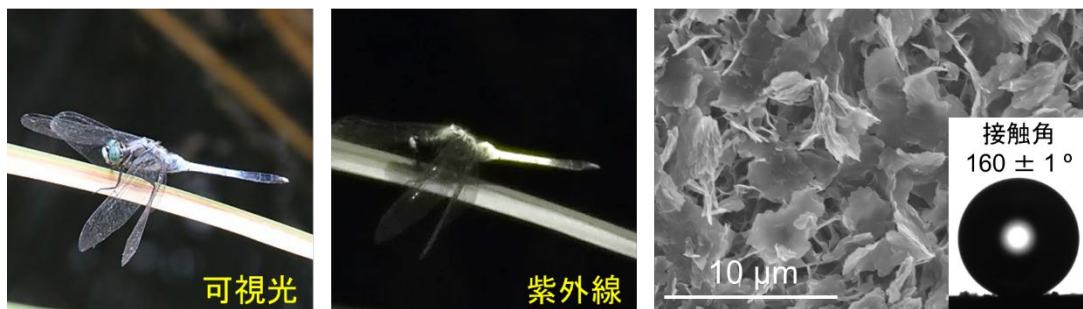
日本全国に広く生息するシオカラトンボは、オスが成熟過程で紫外線を反射するワックスを分泌する。今回、その紫外線反射ワックスが、従来知られていた他の生物のワックスと異なり、極長鎖メチルケトンと極長鎖アルデヒド(いずれも具体的な機能や性質はほぼ未解明)が主成分であることが分かった。さらに、極長鎖メチルケトンを化学合成して結晶化させたところ、強い紫外線反射能と撥水性が再現された。

なお、この研究成果は、2019年1月15日(英国時間)に英国の学術誌 *eLife* にオンライン掲載される。

_____は【用語の説明】参照

シオカラトンボ(成熟オス)

ワックスの微細構造と撥水性



シオカラトンボ(左及び中央)が分泌する紫外線反射ワックスの微細構造と撥水性(右)

中央の写真(紫外透過・可視吸収フィルターを通した写真)では紫外線の反射が白く表現されている。

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

■ 開発の社会的背景 ■

地球上のさまざまな動物や植物は体表で紫外線を反射しており、視覚によるコミュニケーションや紫外線からの防御において重要であると考えられている。こうした生物の紫外線反射は、これまでは主に体表の微細構造の解明という側面から研究が進められており、紫外線反射物質の化学組成や紫外線反射構造の産生に関わる遺伝子に関しては不明な点が多かった。

シオカラトンボは日本中に生息するなじみ深いトンボであり、成熟オスは日差しの強い水辺でよく見られる。シオカラトンボの成熟オスは体表が紫外線を反射するワックスで覆われていることが知られていたが、ワックスの組成やワックス産生に関わる遺伝子は全く不明であった。

■ 研究の経緯 ■

産総研では、さまざまな昆虫類を対象として高度な生物機能の解明に取り組んできた。生物プロセス研究部門は生態的に重要な機能を持つ昆虫の体色に関しても成果を上げてきた(2010年11月19日、2012年7月10日、2015年2月24日 産総研プレス発表)。物質計測標準研究部門は、物質の精密分析の実績がある。浜松医大は、昆虫の構造色や生物素材に関わる研究に実績がある。名工大は、生物の表面微細構造やその利用に関する研究に実績がある。東京農大では、「生物資源ゲノム解析拠点」として、次世代シーケンサーを用いた生物の遺伝子解析に実績がある。今回、各研究機関の従来の研究蓄積を生かし、共同でトンボの紫外線反射ワックスの研究に取り組んだ。

なお、本研究の一部は、独立行政法人 日本学術振興会の科学研究費助成事業 新学術領域研究(18H04893)、基盤研究B(JP18H02491)、挑戦的萌芽研究(JP26660276)による支援を受けて行った。

■ 研究の内容 ■

シオカラトンボの未成熟の成虫は麦わら色(ムギワラトンボとも呼ばれる)であるが、成熟過程でオスは体表にワックスを分泌して全身が白っぽい水色へと変化する(図1)。シオカラトンボの体表の光の反射率を測定したところ、成熟オスではワックスを分泌すると同時に背側を中心に短波長(特に紫外線(UV)領域)の光の反射率が大きくなっていった(図2)。

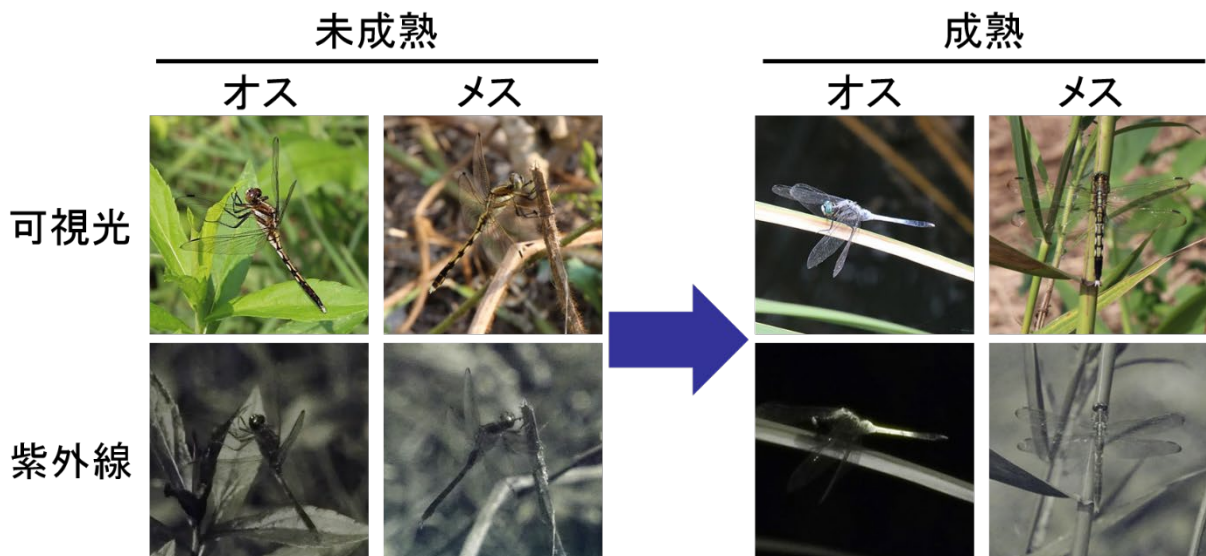


図1 成熟過程におけるシオカラトンボの体色変化

紫外透過・可視吸収フィルターを通した写真(下段)では紫外線の反射が白く表現されている。

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

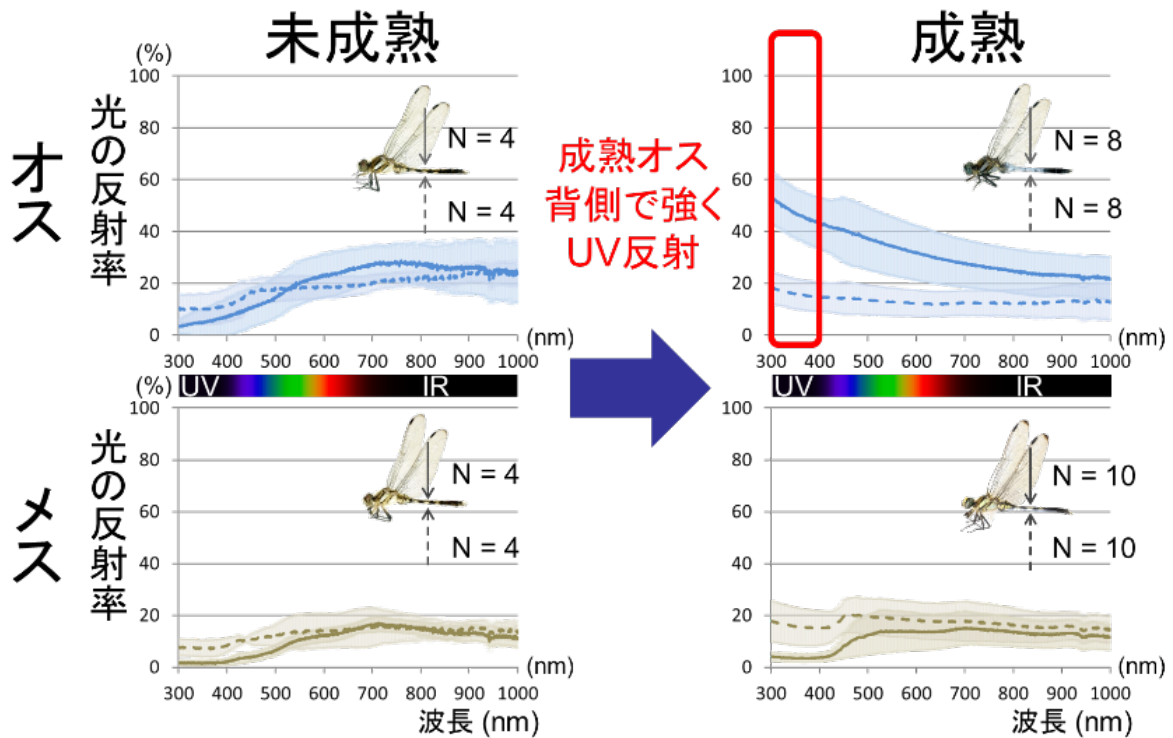


図2 シオカラトンボ雌雄の成熟に伴う体色と光の反射率の変化

Nは個体数を示す。グラフの実線(背側)・破線(腹側)は平均値を、着色領域(エラーバー)は標準偏差を表す。

また、体表のかすり傷によってワックスが剥がれた部分では紫外線の反射率が激減することから、ワックスが紫外線反射に必須と確認された。さらに、体表面を電子顕微鏡で観察したところ、ワックスを分泌した成熟オスでは体表面が鱗片状の微細構造に覆われていた(図3)。

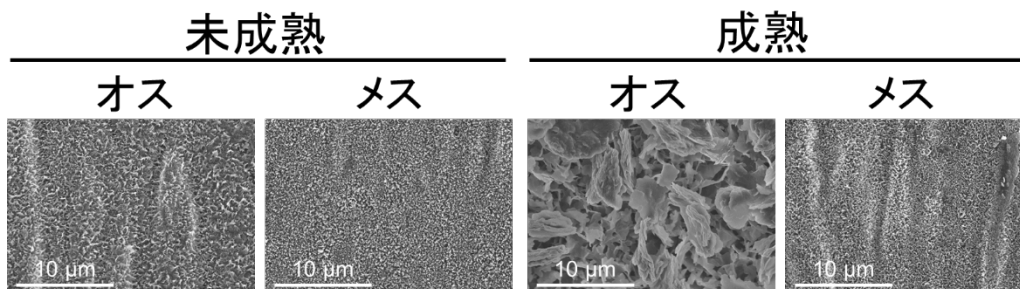


図3 シオカラトンボの雌雄の成熟に伴う体表面の微細構造の変化

(腹部背側、図2のトンボの実線矢印の部分)

次に、シオカラトンボの紫外線反射ワックスを同定したところ、3種類の極長鎖メチルケトンと4種類の極長鎖アルデヒドが主成分であった(図4)。これらの物質を主成分としたワックスは、これまで他の生物には見られず(他の生物では脂肪族炭化水素、長鎖エステル、アルコール、遊離脂肪酸などが主成分として知られる)、シオカラトンボが分泌するワックスは特殊な組成であることが分かった。また、近縁種のオ

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

オシオカラトンボ、ナツアカネでも同様にワックス成分を分析したところ、いずれの種でもワックスの分泌によって紫外線の反射率が大きくなっていったが、ワックスの成分と反射率はトンボの種や雌雄、腹部の領域によって異なっていた。日向で活動する種ほど紫外線反射率が大きい傾向が見られ、日向で静止しながら交尾する種(メスの腹部腹側が上を向く)ではメスの腹側でワックスを分泌するなど生息環境や行動との関連性が見られた。今回調べた範囲では、日差しに強いシオカラトンボの成熟オス背側が最も強い紫外線反射率を示した。

ワックスの成分		テトラコサナール	2・ペンタコサノン	ヘキサコサナール	2・ヘプタコサノン	オクタコサナール	2・ノナコサノン	トリアコンタナール
赤字:極長鎖メチルケトン 								
青字:極長鎖アルデヒド 								
背側	シオカラトンボ(オス)	ワックス(多)	+++	+++	++	+++	+	+
	シオカラトンボ(メス)	なし						
	オオシオカラトンボ(オス)	ワックス(多)	++		++		++	
	オオシオカラトンボ(メス)	なし						
	ナツアカネ(オス)	なし						
	ナツアカネ(メス)	なし						
腹側	シオカラトンボ(オス)	ワックス(多)	+	+	++	+	+	
	シオカラトンボ(メス)	ワックス(多)	+++		+++		+	+
	オオシオカラトンボ(オス)	ワックス(少)					+	
	オオシオカラトンボ(メス)	なし						
	ナツアカネ(オス)	なし						
	ナツアカネ(メス)	ワックス(多)	+++					

図4 トンボ3種の腹部から同定されたワックス成分

種間だけでなく、雌雄や腹部の背側と腹側でもワックスの成分が異なっていた。

代表として2-ペンタコサノンとテトラコサナールの構造を示す。

図中の「+」の数およびセルの着色は、ワックス成分の量の多少を表す。

最も強い紫外線反射が見られたシオカラトンボ(成熟オス・背側)のみ、極長鎖メチルケトンがワックス主成分であったことから、極長鎖メチルケトンは紫外線反射率の向上に寄与している可能性が示唆された。そこで、極長鎖メチルケトン(2-ペンタコサノン)を化学合成して、再結晶化させると、トンボの体表面とよく似た微細構造が自己組織的に生じ、強い紫外線反射能や撥水性(接触角がおおよそ160°)も再現された(図5)。なお、紫外線反射の強さや撥水性は再結晶化の手法によっても異なり、ヘキササンに溶解して微量滴下と乾燥を繰り返して再結晶化させた場合(滴下)に、最も強い紫外線反射と撥水性が確認された(図5)。

本件配布先: 【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

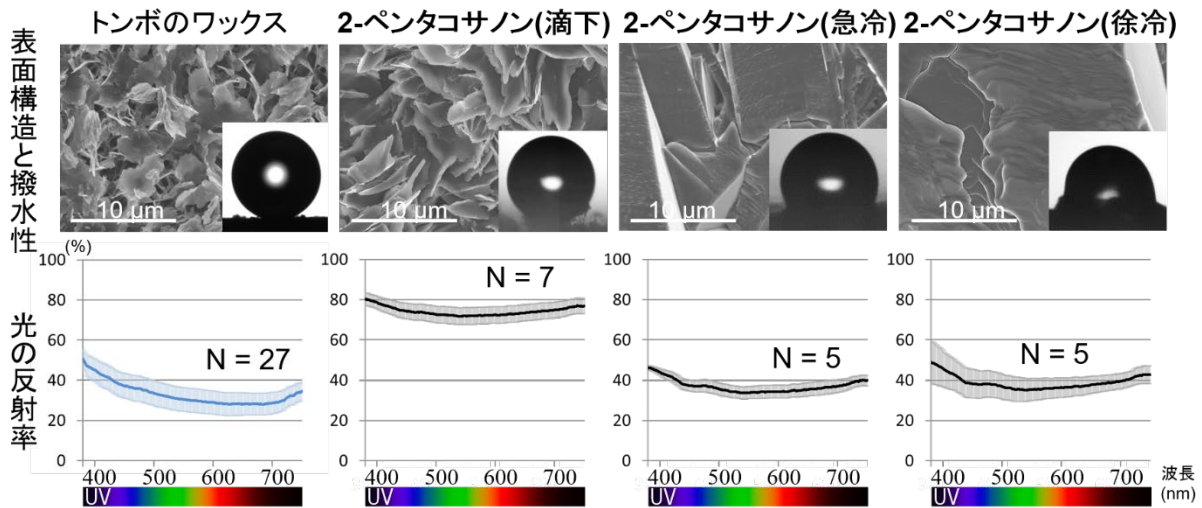


図5 シオカラトンボ(成熟オス・背側)のワックス(左)と化学合成した2-ペンタコサノンの表面微細構造、撥水性、光の反射率の比較

2-ペンタコサノンは3通り(滴下、急冷、徐冷)の方法で再結晶化させた。

2-ペンタコサノンでも特に滴下で再結晶化させた場合にトンボと似た微細構造、

高い撥水性と紫外線反射が確認された。

Nは個体数もしくはサンプル数を示す。

シオカラトンボの雌雄の成熟過程における遺伝子発現を次世代シーケンサーで網羅的に解析した。その結果、オスの背側ワックスが産生される時期・領域と非常に強い相関のある *ELOVL17* 遺伝子を同定した(図6)。この遺伝子は、シオカラトンボの半成熟オスの腹部背側で非常に強く発現していた。通常のメスではほとんど発現が見られなかったが、野外で稀にみられるオス型のメスでは発現していることが確認された。*ELOVL17* 遺伝子は、極長鎖脂肪酸の合成に関わる遺伝子ファミリーに属することから、この遺伝子がシオカラトンボの紫外線反射ワックス合成を担う遺伝子の有力な候補と考えられる。

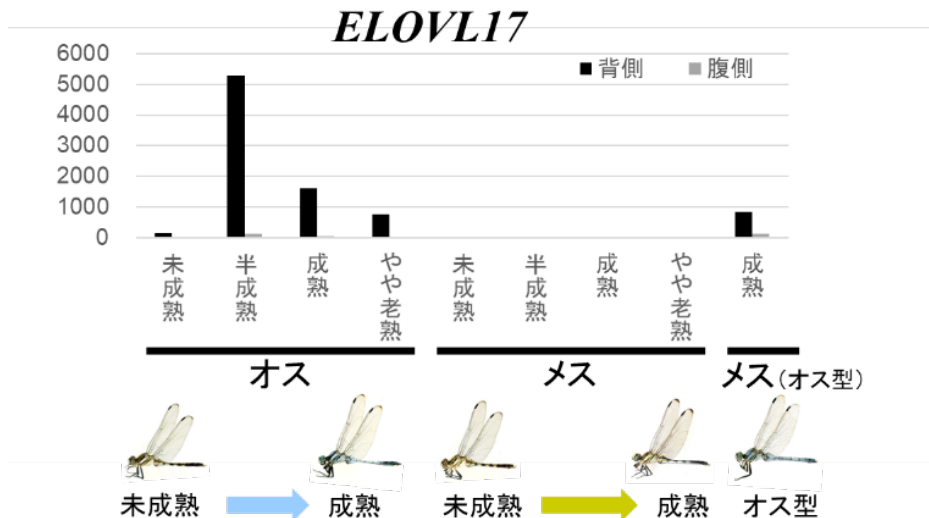


図6 シオカラトンボのワックス産生と強い相関がみられた遺伝子の発現解析

縦軸は次世代シーケンサー解析による発現量を表す。

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

今回、トンボは他の生物とは異なる組成のワックスを用いて紫外線反射や撥水性を獲得していることが明らかになった。これは生物の紫外線反射に関する新たな知見であるとともに、化学合成したワックスでも紫外線反射や撥水性が再現できたことから、将来的には生物由来の新素材として利用できる可能性がある。

■ 今後の予定 ■

今後は、安定性や抗菌性などを含めたシオカラトンボの紫外線反射ワックスの生態学的特徴をより詳細に調べる。

■ 論文情報 ■

論文名: Molecular basis of wax-based color change and UV reflection in dragonflies

著者: 二橋 亮¹、山濱 由美²、川口 研¹、森 直樹³、石井 大佑⁴、奥出 絃太^{1,5}、平井 悠司⁶、川原(三木) 玲香⁷、吉武 和敏⁵、矢嶋 俊介⁷、針山 孝彦²、深津 武馬^{1,5,8}

所属: 1. 産業技術総合研究所、2. 浜松医科大学、3. 京都大学、4. 名古屋工業大学、5. 東京大学、6. 千歳科学技術大学、7. 東京農業大学、8. 筑波大学

雑誌名: eLife

DOI: 10.7554/eLife.43045

■ 本件問い合わせ先 ■

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

生物プロセス研究部門 生物共生進化機構研究グループ

主任研究員 二橋 亮 〒305-8566 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 6
TEL: 029-861-6128 FAX: 029-861-6812
E-mail: ryo-futahashi@aist.go.jp

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

生物プロセス研究部門

首席研究員 深津 武馬 〒305-8566 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 6
TEL: 029-861-6087 FAX: 029-861-6812
E-mail: t-fukatsu@aist.go.jp

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

【取材に関する窓口】

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 企画本部 報道室
〒305-8560 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第1
つくば本部・情報技術共同研究棟 8F
TEL:029-862-6216 FAX:029-862-6212 E-mail:press-m@aist.go.jp

国立大学法人 浜松医科大学 総務課 広報室
〒431-3192 静岡県浜松市東区半田山 1-20-1
TEL:053-435-2151 FAX:053-435-2112 E-mail:koho@hama-med.ac.jp

国立大学法人 名古屋工業大学 企画広報課
〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町
TEL:052-735-5647 FAX:052-735-5009 E-mail:pr@adm.nitech.ac.jp

学校法人 東京農業大学 戦略室
〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1
TEL:03-5477-2300 FAX:03-5477-2707 E-mail:koho@nodai.ac.jp

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

【用語の説明】

◆シオカラトンボ

トンボ目、トンボ科に含まれる種で、日本では北海道から沖縄県まで全国各地に分布する。日本で最も普通に見られるトンボの一種で、童謡「とんぼのめがね」中の歌詞「とんぼのめがねはみずいろめがね」のモデルとされている。かつては漢方薬として利用されていた。

◆極長鎖メチルケトン、極長鎖アルデヒド

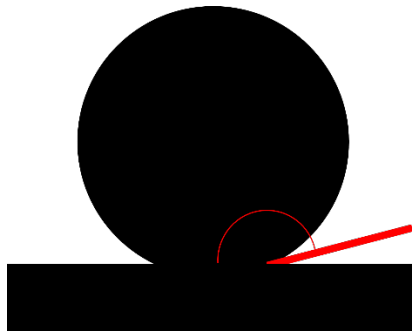
分子に含まれる炭素数がおよそ 21 以上のメチルケトンやアルデヒド。植物のワックス成分の中に少量含まれていることが報告されていたが、具体的な機能や性質は不明。少し構造が似た長鎖メチルケトンはゴキブリの性フェロモン、炭素鎖がより短い長鎖アルデヒドはドクダミの成分として知られる。分子構造の例を図 4 左上に示したが、今回トンボから同定された物質はいずれも直鎖飽和炭化水素基を含んでいた。

◆次世代シーケンサー

従来のシーケンサーとは異なり、一度に読み取れる塩基配列の長さが 50~500 塩基(従来法では約 800 塩基)と短いものの、高度並列処理により 1 回の解析で数千万~数十億塩基対の塩基配列情報を得ることができる。

◆接触角

微小水滴の接線と固体表面の接触部で形成される角度(図の赤い角度の部分)。撥水性を定量的に示す値で、接触角が大きいほど、撥水性は高い。



◆ELOVL17遺伝子

ELOVL(*Elongation of very long-chain fatty acids*)遺伝子は、極長鎖脂肪酸や極長鎖炭化水素の合成に関わる酵素を含む遺伝子群で、特有のアミノ酸のモチーフを持つ。酵母からは 3 種類、哺乳類からは 7 種類、ショウジョウバエからは 20 種類、トンボからは 17 種類(*ELOVL1*~*ELOVL17*)の遺伝子が知られている。

◆オス型のメス

体色や斑紋がオスと類似したメス。生殖器などの形態は通常のメスと変わらない。トンボは雌雄で体色や斑紋が大きく異なる種が多いが、複数の種でオス型メスが一定の割合で出現することが知られている。トンボ以外では、一部のチョウやハエ、トカゲの仲間でもオス型メスの存在が知られている。

本件配布先:【産総研】経済産業記者会、経済産業省ペンクラブ、中小企業庁ペンクラブ、資源記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会 【浜松医大】浜松市政記者クラブ 【名工大】名古屋教育記者会

◆極長鎖脂肪酸

分子に含まれる炭素数がおよそ 21 以上の脂肪酸。極長鎖メチルケトン、極長鎖アルデヒドとは、末端を除き構造が類似する。極長鎖脂肪酸は、短い脂肪酸では代替できない固有の生理機能を持ち、さまざまな病態と関連すると報告されている。