

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26440237

研究課題名(和文)花蜜分泌の非破壊的かつ継続的観察に基づく送粉報酬生産の解析

研究課題名(英文) Analysis of pollination rewards based on the non-destructive and continuous observation of nectar volume

研究代表者

川窪 伸光 (Nobumitsu, Kawakubo)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：60204690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ツリフネソウの花蜜分泌量を、花器を破壊すること無く経時的に正確に測定する方法を確立できた。花蜜は、開花直前か分泌が始まり、日中にほとんど一定速度で生産されていた。夜間に花蜜分泌はなかった。分泌の速度は、1時間あたり約1.0 μ lであった。

トラマルハナバチの訪花で花蜜は吸蜜されて、直後の残存花蜜は約0.7 μ lになる。前吸蜜者が去ってから、およそ15分後、ツリフネソウの距内に約1.1 μ lになるころ、すべてのハチが訪花を途中放棄せず吸蜜まで至ることが明らかになった。この1花あたり0.2 μ lの花蜜(送粉報酬)が、トラマルハナバチの訪花行動(コスト)と釣り合うのかも知れない。

研究成果の概要(英文)：I established a measurement method for the volume of floral nectar secretion in *impatiens* without any damages of the floral parts. The nectar secretion began just before the flowering, and the floral nectar was produced in almost constant rate at daytime, but it had never been observed during night. The secretion rate was 1.0microliter per hour approximately. Just after a visiting of a bumblebee, the volume of floral nectar was 0.7microliter, and almost flower visitors fled away from the flowers before probings. At 15 minutes after the last visit, all visitors got the floral nectar. The nectar volume 0.3microliter may be the adaptive point for the both of the rewards and the cost for bumblebee pollination.

研究分野：植物進化生態学

キーワード：花蜜生産 ツリフネソウ トラマルハナバチ 非破壊的観察 花生態 デジタルカメラ

1. 研究開始当初の背景

「ハチミツ」は、花が分泌する糖蜜をミツバチが巣へ持ちかえって貯め込んだものを、人間が食料として利用している食品である。そのハチミツの生物学的意味での生産である、「花蜜生産」は、生態学的に植物間の花粉の移動をおこなう花粉媒介動物の労働報酬として機能している。

このような送粉労働への報酬という視点から、近年の多くの研究者が、さまざまな植物種の花蜜の化学的組成をはじめとした多様な研究成果を発表してきた。ところが、花蜜生産の生産量の経時的変化などの特性自体については、もっぱら推定値が示されるだけで、具体的に把握された例はほとんどない。花蜜が送粉を担う動物への報酬であるが故に、その報酬生産コストは送粉生態学において中心的パラメーターであるにも関わらず、きちんと把握されたことがないのである。

その原因は、花蜜量の測定には、花器の破壊や、花蜜腺の損傷が伴い、1つの花において連続的に花蜜生産量が把握されてこなかったという現実がある。確かに、花蜜分泌腺が露出している皿状花で濾紙吸引による測定は試みられている。しかし、そういった皿状花の場合、多様な訪花者を複雑に送粉しており、花蜜生産量の把握から検討できる生態学的成果は残念ながら限られている。

一方、送粉生態学で注目され解析されてきた動植物相互作用は、花蜜分泌腺が花器の奥にあるような筒状の花冠のもつ植物（例えばツリフネソウ花など）と、その花に専門的に訪花する昆虫（マルハナバチなど）の間で行われてきた。したがって送粉生態学のさらなる展開のためには、そのような既知の関係において、非破壊的で連続的な花蜜生産の詳細な実態把握、つまり花蜜報酬の供給実態の解明が火急の課題となっている。

2. 研究の目的

- (1) 花器を損傷破壊せずに花蜜の分泌量の測定する方法を確立
- (2) 時間軸に沿って連続的に花蜜量の変化を記録すると同時に、送粉者の訪花・吸蜜行動タイミング記録と対照して
- (3) 植物の花蜜生産の最適戦略を検討する基本的道筋を提示する。

3. 研究の方法

- (1) 花器を損傷破壊せずに花蜜の分泌量の測定する方法の開発は、全天候型デジタルカメラの改造を試みて、具体的に完成する。
- (2) そのカメラの実践的運用を模索し、「いつ・どのくらい」花蜜が分泌・生産されているのかを詳細には把握する。
- (3) さらに、その花蜜量の増減を、「どのように」変化するのかを明らかにするために、花蜜量の主たる減少原因である訪花者の採食行動と記録・対応させて、その減少量と頻度などを解析する。その上で、花蜜生産する植物側の花蜜分泌戦略が、訪花し花蜜採食する昆虫側の採食戦略と関連づけて解析を試みる。

4. 研究成果

- (1) 花器を損傷破壊せずに花蜜の分泌量の測定する方法の確立

試作段階にあった全天候型デジタルカメラの改造機を具体的に完成した。下の写真の試作機を光りファイバーなどを改良し、より実用性が高い記録カメラに仕上げた（図1）。

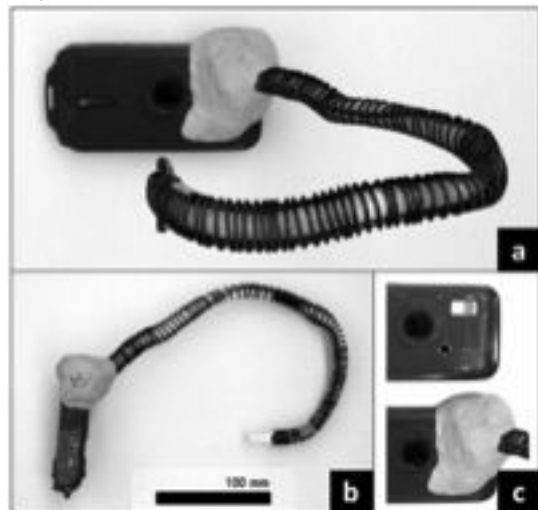


図1. 改造した特殊デジタルカメラ
(a: 前面, b: 上面, c: ファイバー接着部)

図2に示すように、野外での設置は準備段階の設置法とほぼ同じに、このカメラをツリフネソウの花の距にフォーカスを合わ

せ(A), 5分に1回ほどのインターバル撮影を, 開花から落花まで(およそ3日間)を通じて実施した。フラッシュの光は, Bのディフューザーを用いることで散乱させ, 距の中に溜まった花蜜をシルエットとして撮影することに成功した。



図2 . 特殊デジタルカメラの設置

シルエットは, ディフューザーの調整によって図3の写真のbのように写るまで検討調整した。準備段階に比べ, 良好な映像得る成功確率は大幅に上昇した。その結果, 花蜜分布量, 生産量の経時的变化は精度高く記録できるようになった。

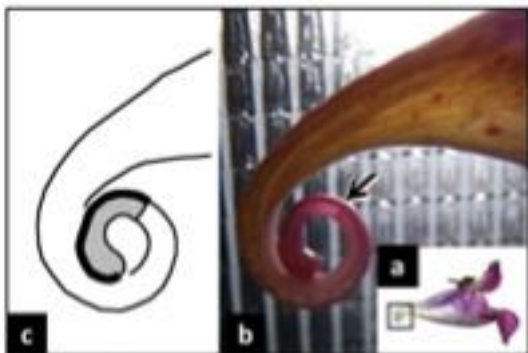


図3 . シルエット画像として得られた花蜜

花蜜生産量は, 上記の花蜜シルエットの外側の長さから正確に推定できた(図4)。

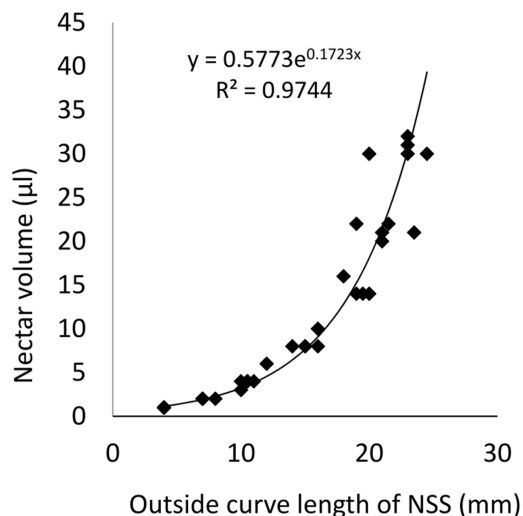


図4 . シルエットの外縁サイズと花蜜量の回帰

(2) 時間軸に沿って連続的に花蜜量の変化を記録

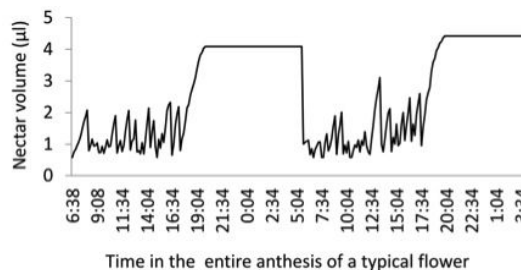


図5 . 花内の花蜜残存量

図5のように, 時間経過にそって, 花蜜量変化している実態を把握できた。このような結果を本研究では多くの花において記録できた。それらを解析した結果, (ア) マルハナバチの訪花吸蜜行動がある日中には, 花内部の花蜜量は著しく変化し, 訪花がない夜間は, 4 マイクロリットルをほぼ上限として, 花蜜分泌が停止していることが判明した。(イ) 日中のノコギリ型のグラフの各ピークのタイミングで, マルハナバチの訪花吸蜜が起こり, それによって, 残存花蜜量はおよそ0.5から0.7 マイクロリットルとなることが明らかとなった。

(3) 花蜜生産の経時的变化と送粉者の訪花・吸蜜行動タイミング記録との対照

ツリフネソウ内の花蜜量は, 夜間に 4 マイクロリットルほどに蓄積されるが, トラマルハナバチ 1 回の訪花で 4-7 マイクロリットルまで減少する。これは, マルハナバチができる限り吸蜜した結果の量であると考えられる。この吸蜜訪花後, 花蜜は, およそ 80

分で 2.5 マイクロリットルまで回復した (図 6)

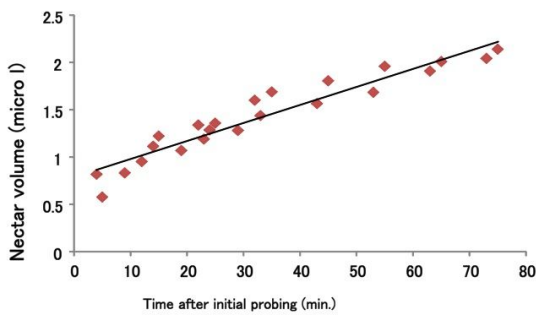


図 6 . 1 個体のマルハナバチが吸蜜してから花蜜量が増加していく様子。

(4) 植物の花蜜生産の最適戦略を検討する基本的道筋を提示

トラマルハナバチがツリフネソウを訪花する行動を観察すると、前訪花者であるマルハナバチが去った直後から、次のマルハナバチは訪花のための接近はするが、なかなか着して吸蜜までの行動に至らないことが判明した。また、訪花接近したマルハナバチの前個体が吸蜜まで至るのは、前訪花者が去ってから約 15 分後であることが判明した(図 7)

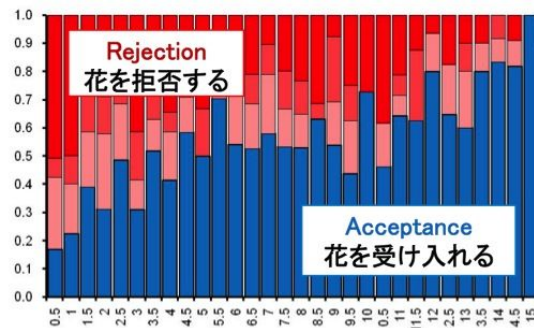


図 7 . マルハナバチがツリフネソウの花に接近して着地して吸蜜する (Acceptance) か、拒否 (Rejection) するかの比率の時間的变化。15 分後に全ての訪花者が吸蜜する。

したがって、ツリフネソウの花蜜が図 8 に示すように、15 分後の蜜量 1.1 マイクロリットルの時点が、ツリフネソウの送粉適応戦略を形成しているポイントであると推定できた。つまり、植物側の適応的な送粉受精利益を得るとき、ツリフネソウの花蜜生産コストと、送粉者側のマルハナバチの労働コストに似合う花蜜報酬量とが釣り合うポイントが、その「15 分後の蜜量 1.1 マイクロリットルの時点」と理解できるかもしれない。

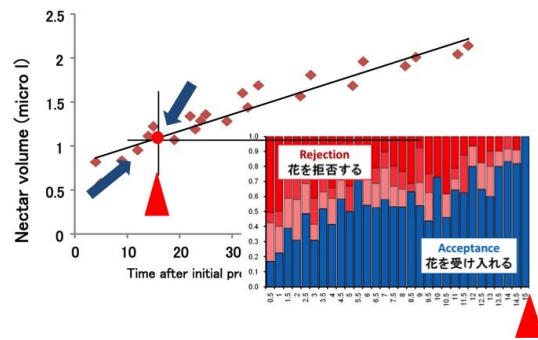


図 8 . 前訪花者が去ってから約 15 分後の蜜量と全てのトラマルハナバチ訪花者が吸蜜するタイミングの統合。

これらの結果は、現在、とりまとめ国際誌投稿論文として準備中である。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文) (計 1 件)

東義詔, 川窪伸光, 富山県氷室市小境海岸産ウミクサ類の生育状況, 富山県中央植物園研究報告, 査読無, 22 巻, 2016, 1-8 .

(学会発表) (計 5 件)

森ことの, 川窪伸光, ツリフネソウの昆虫誘引機構を探る, 種生物学会, 2016 年 12 月 3 日, キロロ トリビュートポートフォリオホテル 北海道 (北海道余市郡赤井川村) .

古川友紀子, 川窪伸光, ヤブガラシの形開花生態, 種生物学会, 2016 年 12 月 3 日, キロロ トリビュートポートフォリオホテル 北海道 (北海道余市郡赤井川村) .

白井詩織, 川窪伸光, マツバウンラン属における形態変異と生活史の解析, 種生物学会, 2016 年 12 月 3 日, キロロ トリビュートポートフォリオホテル 北海道 (北海道余市郡赤井川村) .

古川友紀子, 河辺穂奈美, 土田浩治, 川窪伸光, ヤブガラシの形態と開花生態の解析・花外蜜腺のような花?, 種生物学会, 2015 年 12 月 5 日, かんぼの宿 岐阜羽島 (岐阜県羽島市) .

川窪伸光, 野外自然観察におけるデジタル撮影 種生物学会 2015 年 12 月 4 日, かんぼの宿 岐阜羽島 (岐阜県羽島市) .

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川窪 伸光 (KAWAKUBO, Nobumitsu)
岐阜大学・応用生物科学部・教授
研究者番号：60204690

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()