

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07232

研究課題名 (和文) 植物の花の多モード情報発信が訪花昆虫の学習を促進するメカニズムの解明

研究課題名 (英文) Study of the mechanism by which multimodal information from plant flowers promotes learning of flower visiting insects

研究代表者

香取 郁夫 (KANDORI, Ikuo)

近畿大学・農学部・准教授

研究者番号：00319659

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) : モンシロチョウにおいて、花の匂いがあるときはないときより色学習が速いことが実証された。つまりマルハナバチと同様にモンシロチョウにおいても「花の匂いが花の色学習を促進する」ことが実証された。
また、モンシロチョウが花の色と匂いの両方を学習したとき、色と匂いのどちらかの情報を優先して利用するという結果は得られなかった。したがって、モンシロチョウでは学習した色と匂いの情報は同等に重要であると考えられる。

研究成果の概要 (英文) : It was demonstrated that the color learning of the butterfly is faster on the flowers with scent than on the flowers without scent. In other words, as in the case of bumblebee, it was demonstrated that "the scent of flowers promotes color learning of flowers in butterflies.
Next, when the butterflies learned both the color and the scent of flowers, they did not give priority to using either color or scent information. That is, information on learned color and odor is considered to be equally important in *Peris rapae* butterfly.

研究分野：昆虫生態学

キーワード：2モード学習 優先順位 促進効果

1. 研究開始当初の背景

植物の花と昆虫の送粉共生系において、花は視覚（色や形）、嗅覚（匂い）、触覚（触り心地）など様々な情報を訪花昆虫に提示し誘引している。しかしこれら多モードの情報を植物側が一度に提供するメリットについてはほとんど不明である。一方、訪花昆虫の訪花学習行動には主に視覚学習と嗅覚学習があるが、それらは別々に研究されてきた。つまり、視覚と嗅覚、2モードの情報が同時に提供されたとき、1モードの情報だけの時よりも訪花学習が促進されるかについてはいまだ不明である。

そこで、筆者らは2モード訪花学習の実験をチョウ目昆虫で初めて行った(Kandori et al., submitted)。その結果、匂いは同じで色のみの1モードで異なる花間より、色と匂いの2モードで異なる花間のほうが、早く識別できるようになる（学習速度が速い）ことが実証された。言い換えると、チョウは色と匂いの2モードの情報を同時に学習することで、学習効率を高めた。これは、チョウで初めて、昆虫ではマルハナバチに続き2例目の、2モード訪花学習の実証例となった。

2. 研究の目的

花の多モード情報発信はまた別のメカニズムで訪花昆虫の訪花学習と選択訪花を促進するかもしれない。マルハナバチを用いた2モード訪花実験では、匂いなしで色のみ異なる花間より、匂いは同じだが匂いありで色のみ異なる花間のほうが、早く識別できるようになる（学習速度が速い）ことが実証された。つまり花の匂いが花の色学習を促進した(Leonard et al., 2011)。この訪花学習パターンはマルハナバチ以外の訪花昆虫でも普遍的に見られるだろうか。

そこで本研究では、花の発信する多モード情報が昆虫の訪花学習を促進する新たなメカニズムとして、仮説「花の匂いが花の色学習を促進する」をチョウを用いて検証した(実験1、2)。

一方で、昆虫の訪花学習において色と匂いの2モード情報を同時に学習した場合、次の訪花で色と匂いの情報のうち、どちらを優先して用いるのかについては、ほとんど何もわかっていない。唯一、夜行性のスズメガにおいては色より匂いを優先する。つまりスズメガは花の色と匂いの2モード情報を学習したとき、学習した花と色が同じで匂いなしの花と匂いが同じで色なし（透明）の花を選択させると、後者を多く選ぶという結果が報告された(Balkenius and Dacke, 2013)。しかし、昼行性のチョウではこのような優先順位については調べられていない。

そこで、実験3「訪花学習における色と匂いの優先順位」ではモンシロチョウの訪花学習において、記憶した色と匂いの情報のどちらを優先するかを明らかにするための実験を行った(実験3)。

3. 研究の方法

(1) 実験1. 匂いによる色学習促進実験1
モンシロチョウが訪花時に行う花の色学習が花から漂う匂いによって促進されるかを検証した。

実験には人工花を使用した。花の色として黄と青、花の匂いとしてフェニルアセトアルデヒドを用いた。実験では個体ごとに①テスト過程（生得的選好性テスト）→②トレーニング過程→③テスト過程の順に経験させた。

また、テスト過程およびトレーニング過程において個体は常に匂いなしの人工花を用いるグループAと、常に同一の匂い（フェニルアセトアルデヒド）を付加した人工花を用いるグループBに分けて行った。

テスト過程においては、グループA、Bともに各個体につき、青と黄の人工花のどちらかを選ぶか5回訪花・選択させた。この時、人工花に報酬（蜜）はなかった。一方トレーニング過程においては、グループA、Bともに報酬としての蜜が付加された青の人工花のみを提示し、各個体2回訪花吸蜜させた。そしてトレーニングの前から後へ青色人工花への訪花率（青の選択率）がどの程度増加したか（学習速度）を算出し、グループA、B間で比較した。

(2) 実験2. 匂いによる色学習促進実験2

モンシロチョウは生得的に花の匂い成分に誘引されるが、単体の匂い成分よりも数種類の匂い成分が混合した匂いに、より強く反応する。

そこで、混合匂い成分を用いた場合において、実験1と同様に花の匂いによる色学習促進が見られるかどうか、また単体の匂いの時（実験1）より大きな学習効果が表れるかの検証を試みた。

実験手順はおおよそ実験1と同じで、におい成分として今回、フェニルアセトアルデヒドとメチルヘプテノンの混合匂いを用いた。

(3) 実験3. 訪花学習における色と匂いの優先順位

モンシロチョウの訪花学習において、記憶した色と匂いの情報のどちらを優先するかを明らかにするための実験を行った。

各個体は①から④の4つの過程を経た。

① 生得的選好性テスト過程

訪花未経験個体に色と匂いがともに異なる2種類の人工花（青+フェニルアセトアルデヒド）と（黄+メチルヘプテノン）を5回訪花選択させた。

② トレーニング過程

生得的選好性テストで用いた2種類の花のうち選好性の低かった花の色と匂いの組み合わせを用いて、蜜ありの条件下で3日間トレーニングさせ、その花を学習させた。

③ 学習確認テスト過程

生得的選好性テストと全く同様の方法で2種類の花を再び5訪花選択させた。この過程で5訪花選択した個体のうち学習が成立したことを確認できた個体(条件付けした花に4回以上選択)のみを選別し、次の過程に移した。

④ 色と匂いの優先順位のテスト過程

条件付けした花とは色または匂いのどちらかが異なる2種類の人工花(青+メチルヘプテノ)と(黄+フェニルアセトアルデヒド)を5訪花選択させた。これにより、色と匂いを学習した個体が次回訪花で色を優先して訪花するのか、それとも匂いを優先して訪花するのかを調べた。

4. 研究成果

(1) 実験1. 匂いによる色学習促進実験1

匂いなしのグループAではトレーニングによって青の選択率が雌雄ともに25%前後で上昇したが(図1)、匂いありのグループBでは雌雄ともに50%前後上昇した(図2)。

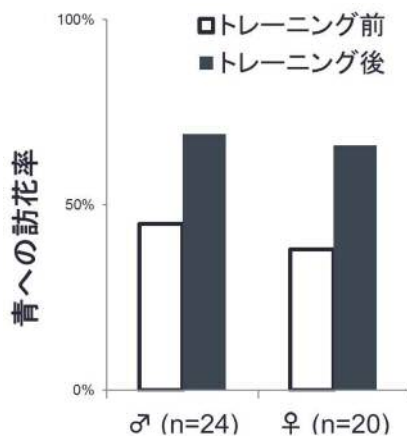


図1 グループA(匂いなし)

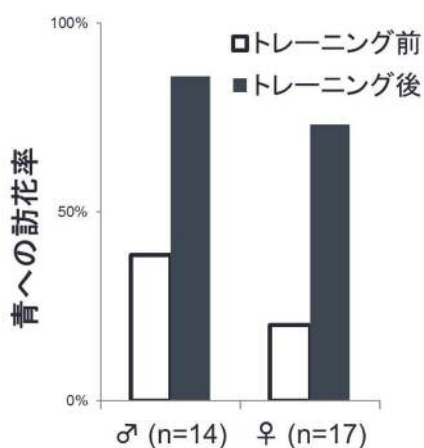


図2 グループB(匂いあり)

学習速度 a の推定値はグループ A の雌雄では約 0.66、グループ B の雌雄では約 1.2~1.3 となり、グループ A よりもグループ B のほうが学習速度が有意に高くなった(図3)。

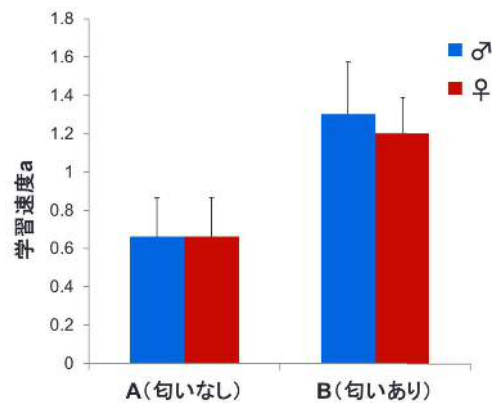


図3 学習速度の2グループ間比較

これは花の匂いがあるときはないときより色学習が速いことを意味する。つまりマルハナバチと同様にモンシロチョウにおいても「花の匂いが花の色学習を促進する」ことが実証された。今回実証されたように、多モード情報が訪花昆虫の学習を促進するならば、多モード情報により昆虫はより早く、特定の花に対する一貫訪花を示すことができるので、植物の送粉効率が上がるだろう。植物の花は通常色(視覚)、匂い(嗅覚)、手触り(触覚)などの多モード情報を同時に提供しているが、その理由の1つは「訪花昆虫による送粉効率を高めるためである」とする仮説が今回の実証によりさらに堅固となった。

(2) 実験2. 匂いによる学習促進実験2

すべての過程を終了するまでにほとんどの個体が死亡してしまい、データが全く得られなかった。今回チョウがハウス内で短命に終わった理由について未だ特定できてない。可能性のある原因としてはハウス内が乾燥気味だったことが多く水を求めて水うけの水の中に飛び込み溺死する個体が多かったこと、晴天の日に時折ハウス内の温度が上昇しすぎ(36-40℃)、さらにこのようなときに実験開始時間が遅く高温状態に長時間放置してしまいチョウを弱らせてしまった可能性がある。

(3) 実験3. 訪花学習における色と匂いの優先順位

今回モンシロチョウの実験では色と匂いの両方を学習したとき、色と匂いのどちらかの情報を優先して次回訪花に利用するという結果は得られなかった。むしろ学習した色よりも匂いを優先して訪花する傾向さえ見られた(図4)。

したがって、モンシロチョウでは学習した色と匂い情報のどちらかを優先することはないと考えられる。

光のほとんど無い夜間では視覚情報は限られる。したがって夜行性のガが学習した匂い情報を色情報より優先して訪花に利用するということはもっともらしい。

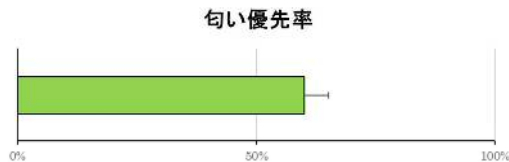


図4. 色と匂いを学習した個体が次回訪花において色より匂いを優先して花を選択する率

一方、昼行性のモンシロチョウでは学習した色と匂いを同等に優先する傾向が見られた。おそらく昼行性のチョウにとって学習した色と匂い情報は同等に重要であり、以前学習した花を次回訪花で探し当てる時に、色と匂いのどちらの情報もともに用いることでより正確な探索ができると考えられる。

本研究では昼行性のチョウの訪花学習における色と匂いの優先順位に関して初めて一定の成果を上げることに成功した。

<引用文献>

- ① Leonard A.S., Dornhaus A., Papaj D.R. (2011) Flowers help bees cope with uncertainty: signal detection and the function of floral complexity. *The Journal of Experimental Biology* 214: 113-121.
- ② Balkenius A. and Dacke M. (2013) Learning of Multi-Modal Stimuli in Hawkmoths. *Plos One*. 8(7): e71137.

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 2 件)

- ① 香取 郁夫、チョウの訪花学習性、グリーン・エージ、査読無、2018年7月号、印刷中
- ② 香取 郁夫、チョウの訪花学習性 —モンシロチョウを中心として—、昆虫と自然、査読無、51(12)、2016年12月、pp. 15-18.

[学会発表] (計 2 件)

- ① 香取 郁夫、チョウの訪花学習 [招待講演]、2015年12月5日、第47回種生物学会シンポジウム (岐阜県羽島市) .
- ② 香取 郁夫、高田 浩平、松田 寛史、2015年9月19日、モンシロチョウの訪花行動において花の匂いは色学習を促進する、A109、日本昆虫学会第75回大会、九州大学箱崎キャンパス (福岡県福岡市).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香取 郁夫 (KANDORI, Ikuo)
近畿大学・農学部・准教授
研究者番号：00319659

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

大村 尚 (OHMURA, Hisashi)
広島大学・生物圏科学研究科・准教授
研究者番号：60335635

(4) 研究協力者

なし