



特殊化した花形態の適応的意義：送粉者相の限定および送粉効率への影響

日下石, 碧

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2016-09-25

(Date of Publication)

2025-09-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6754号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006754>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



論文題目：特殊化した花形態の適応的意義：送粉者相の限定および送粉効率への影響

(Adaptive significance of specialized flower morphology: The effects on pollinator specialization and pollination efficiency)

論文要旨

被子植物における花形態の大きさ、色、蜜、匂いなどの形質は送粉者による選択圧によって進化し、それぞれ植物における特定の送粉者への特殊化が、花形質の進化・多様性を促進したと考えられている。花形質の代表的な例として、左右相称性と花筒が知られている。左右相称性や花筒は花の多様化の過程の後期に出現することが明らかになってきている。多様な植物分類群において、左右相称花は放射相称花から進化してきたことが明らかになっている。放射相称花では2つ以上の相称面があり、雌雄蕊が花の中心や放射状に配置していることが多く、送粉者は花形態を容易に認識でき、どの方向からでも花に取り付くことができる。一方で、左右相称花では雌雄蕊が特殊な位置にあり、放射相称花よりも複雑な形質を持っている。そのため、花形態を認識できるのはマルハナバチなどの大型のハナバチや鳥などの高い学習能力を持つ送粉者に限定されると考えられており、放射相称花よりも少ない機能群が訪花する事が知られている。また、送粉者への特殊化と関連した他の形質として多くの被子植物において、花冠の合着が起り、筒状の形態をとる花筒の存在がある。花筒を持たない植物種では蜜腺や葯が露出するため、多様な送粉者が花蜜や花粉を採餌することができる。一方で、花筒を持つ植物種では、花蜜が花筒内で分泌され、時には、葯が花筒の内部に配置される。花筒は長い口器を持つ送粉者以外による盗蜜や盗花粉を防ぐ機能があると考えられている。

一般的に左右相称性や花筒は「これらの特殊化した花形態によって、送粉者を特定の種や機能群に限定することで、送粉効率が向上する」ために進化したと考えられてきたが、十分な検証はない。送粉者の限定における適応的意義に関しては、より厳密には2つの異なる仮説が考えられる。まず、送粉者多様性制限仮説が提案されている。この仮説は、特殊化した花形質は送粉者の多様性を限定するというものである。この仮説からは、左右相称花や花筒を持つ植物種では、訪花する送粉者の機能群数が少なく（1—2の送粉者機能群のみの訪花がみられ）、そのため高い送粉効率がみられることが予測される。この仮説の仮定においては、各植物種に訪花する送粉者機能群は必ずしも一致しない。もう一方の送粉者相限定仮説は、送粉シンドロームの概念を基に考えられた。左右相称性や花筒を持つ花には、大型ハナバチや鳥、鱗翅目などの特定の送粉

者機能群のみが訪花するため、高い送粉効率が実現しているというものである。これらの送粉者は、特殊化した長い口器を持ち、記憶力が高いため再訪花が多く、訪花時に花の上で同じ行動をとることが知られている。この仮説では、それぞれの植物種には大型ハナバチ類や鳥類、鱗翅目類が同時に訪花する事もあるため、必ずしも送粉者機能群の多様性が低いとは限らないが、送粉者はこれらの機能群に限定されることを予測するものである。さらに、特殊化した花形態の適応的意義については、「これらの花形態は送粉者の機能群多様性や機能群相に関わらず、花における送粉者の行動を制限する（同じ姿勢で雌雄蕊に接触させる）ことで高い送粉効率が実現している」とする送粉正確性向上仮説も提案されている。左右相称花や花筒を持つ花では花冠の形態や雌雄蕊の特殊な配置（左右相称花では花の上部もしくは下部、花筒を持つものでは花筒の入口付近等）、開花時の花向き等によって送粉者の花へのアプローチや取り付きの姿勢を制御し、雌雄蕊に対して常に同じ姿勢で接触させることで送粉の正確性が向上するとした仮説である。特に、左右相称花では、花卉の機能分業や横向き咲きによって、訪花者の花へのアプローチが正面からのみに制限されることが知られている。この仮説では、特殊化した花形態によって、どのような送粉者機能群が訪花しても、訪花時の姿勢を制御でき、高い送粉効率がみられることを予測している。これらの仮説は訪花者相によって背反でなく、これらの予測に関して検証された研究例はない。

左右相称花では種内における花のサイズ変異が放射相称花に比べて小さいことが知られている。これまでの研究では、このサイズ変異はこれまで、送粉者の多様性制限仮説によって説明されており、単一の機能群のみに訪花されるため、花サイズ変異が小さくなるとされてきた。しかし、これまでの研究では送粉者多様性制限仮説と送粉者限定仮説を分離することができていなかった。また、ほとんどの左右相称花で花筒を持つため、送粉者の多様性を制限しているのが左右相称性であるのか、花筒であるのかも分離できていなかった。そこで、低地帯の多様な送粉者が存在する生態系を対象に花筒の効果を考慮した上で3つの仮説の検証を同時に行った。

花形態の特殊化の適応的意義は、高い送粉効率が実現にあると考えられているが、左右相称性と花筒の有無と送粉者相、送粉効率の関係を群集内の種間比較によって検証した例は見られない。そこで、低地帯と高山帯の群集を対象に送粉効率の検証を行った。本研究では送粉効率は柱頭付着自種花粉数と花粉胚珠比を用いた。送粉効率の高い植物種では余分な花粉の生産を抑えることができるため、花粉胚珠比が小さくなることが知られている。そのため、花粉胚珠比が小さくなることが予測されている。花形態の特殊化した植物種では送粉効率が高くなることが予測されていることから、花粉胚珠比も小さくなることが

予測されている。一方で、花筒の有無に関しては送粉者を制限していると考えられているが、送粉効率については予測されていない。

本研究では、第2章で低地帯で花サイズ変異が小さいことが3つの仮説のうちどの仮説で説明されるかを検証した。第3章では柱頭付着花粉と花粉胚珠比を用いて特殊化した花形態で送粉効率が向上しているのかの検証を行った。次に、第4章では高山帯で調査を行った。高山帯では特殊化していない放射相称花のみを用いて花筒の有無での効果の検証を行った。

その結果、低地帯の送粉者が多様な地点では、送粉者機能群の多様性は花筒がある植物種で低くなった。一方、特定の訪花昆虫機能群相である大中ハナバチの訪花割合は左右相称花で高くなった。花弁サイズ変異は相称性のみで有意に小さい結果が得られた。また、機能群多様性が高くなる植物種で送粉効率が低くなった。PO比は左右相称花で低くなり、大中ハナバチ率が高くなるとPO比が高くなる有意傾向があった。一方で、高山帯において、花筒のみの効果を検証したところ、花筒の存在は送粉者機能群、機能群相を制限していなかった。単位面積当たりの柱頭付着花粉数は花筒がある植物種で減少し、送粉者機能群多様性が高くなると付着花粉数が増える事が明らかになった。PO比は花筒の有無によって変化しなかった。以上の事から、低地帯の左右相称花で送粉者機能群多様性仮説および送粉者多様性仮説の一部を支持する結果になった。花サイズ変異は本調査地では送粉正確性向上仮説が支持される結果になった。花筒を持ち、送粉者機能群多様性が高い種で送粉成功率が低下することが明らかになった。PO比は左右相称花で低く、大型・中型ハナバチ類の訪花が多い種で増加する有意傾向が見られたのみで、必ずしも、送粉効率の良い植物種でPO比が低くなるとは限らない。この結果を受けて、高山帯における花筒の適応的意義について3つの仮説の検証を行ったところ、花筒によって送粉者の機能群数や機能群相が制限されていることを示す結果は得られず、送粉成功率もPO比も花筒の有無と関係性がみられず、3つの仮説どれとも支持しない結果となった。

本研究結果はこれまでの研究結果と一貫した結果を得ることができなく、本結果を含め、この結果が一般的な傾向であるのかについて議論していく必要がある。また、花筒の存在については左右相称性よりも実証例が少なく、本博士論文の結果も含めて3例しかない。これらの傾向や予測については今後より多く調査地で調査・解析を行う必要がある。これらの一貫しない結果の要因の一つに、人間活動の影響も考えられる。都市化などにより、送粉者相が変化している事が報告されている。このような場所ではこれまでの研究の傾向や予測と異なる可能性もある。今後の研究においては、これらの要因にも注意したうえで調査を行う必要がある。