

学位論文（博士）要旨

園芸植物における解剖学的・組織化学的研究 －機能性物質の局在性－

玉川大学大学院農学研究科 小林孝至

近年、生活環境の変化に伴い生活の中で園芸植物を利用する「生活園芸」が発達し、園芸植物の社会的なニーズが多様化しより付加価値を求める傾向がある。このような時代背景の中で、園芸植物はこれまでの高能率、高生産性を求める「生産園芸」に加え、ヒトの生活に密着した「生活園芸」としての園芸植物の創生を追求する必要がある。そのためには、園芸植物の主な利用器官である葉、花、果実の付加価値を高めるための新規機能性の創生に焦点を当てる必要がある。この点につき、本研究ではこれらの諸器官を用いて解剖学的、組織化学的な側面から機能性物質の探索を行うこととした。

第1章では、構造的に弱い園芸植物に適した生鮮切片の作成法を検討した。その結果、葉、花はピスを利用すること、果実ではピンセットで直接組織を挟むことで生鮮切片を作成する方法が適していることがわかった。さらに、作成した生鮮切片には機能性物質を検出する染色液を浸透させるために脱気が不可欠であることが明らかとなった。

第2章では、葉における機能性物質の探索として、ヒトに感染するウイルスを媒介する蚊の防除に役立つ除虫菊、および野生種キクの葉の機能性物質の局在性、ヒトに有毒なホルムアルデヒド（以下、HCHO）を除去する効果のある野生種トマトについて調べた。その結果、葉の機能性物質の探索では、白花除虫菊と赤花除虫菊を比較すると、白花は葉の表皮に発達した油腺をもち殺虫効果のあるピレスリンと抗菌作用のあるセスキテルペンラクトンが局在することがわかった。油腺にはピレスリン (Chandler, 1951, 1954) あるいはセスキテルペンラクトン (Ramirez et al., 2012) のいずれかが含まれるとされてきたが、本研究により両方の物質が油腺に含まれ、白花と赤花との間で種間差があることを組織化学的に初めて示した。さらに、これらの方法は他の園芸植物種にも使用できるので、有用なテルペノイド系物質の早期探索に極めて有効な手法であることを明らかにした。次いで、野生種キクでは、葉の表皮にも油腺がキク科の種、系統に特異的な細胞構造体であることがわかった。解剖学的な調査の結果から、白花除虫菊と赤花除虫菊に類似した構造を有する *Chrysanthemum ornatum* ADU10 と *Artemisia japonica* WA24 を選抜し、除虫菊の組織化学的な手法を利用して機能性物質の探索を行った。これにより油腺には、テルペノイドとセスキテルペンラクトンが局在し、その局在性は種、系統で差が認められた。特に、発達した油腺をもつ *C. ornatum* ADU10 は、油腺内に機能性物質を有することから殺虫効果や抗菌作用に期待がもてる系統として有用な遺伝資源であることが明らかとなった。したがって、本研究の組織化学的な手法は、有用成分を簡易に判別できる極めて有効なツールにな

ることが示唆された。よって、機能性物質を多く含む有用な系統を早期選抜するのに極めて有効な手段であることが確かめられた。野生種トマトでは、*Lycopersicon (Solanum) pennellii* LA0716 の茎葉が、空気中の有毒な HCHO を茎葉へと吸収、葉肉組織内で代謝して無毒な CO₂ として空気中へ放出することが明らかとなった。これまでの研究では、植物が空気中の HCHO を吸収し、根圏へ輸送して、その HCHO は土壌中の微生物による分解されると信じられてきた (Wolverton and Wolverton, 1993)。しかし、本研究結果において、植物体から切り離した器官 (explant) が HCHO を吸収、代謝する機能を保有することを初めて明らかにした。また本研究で用いた組織化学的手法は、HCHO 吸収機能の高い植物の探索に使用できることがわかった。以前の研究において、本研究で用いた野生種トマト以外にも、室内観賞に用いる園芸植物のセンテッド・ゼラニウム (*Pelargonium spp.*) の茎葉においても、HCHO を吸収する系統では、本研究と同様の結果が得られているので (未発表)、他の室内観賞植物にも応用できる可能性がある。

第3章では、花については、わが国伝統の園芸植物のハナショウブについて、その改良の基になったノハナショウブの外花被に新規色素を持つ形質を表す「紫アイ」、ハーブの一種であるセンテッド・ゼラニウムの花の機能性物質の局在性を調査した。その結果、「紫アイ」は外花被のアイに花被片となる細胞が覆うことで紫色を呈することがわかった。ハナショウブのアイの部分については、これまでに品種改良の目標にされてきたものの、有用な遺伝資源が見つけれないままであった。本研究の成果によって、アイの部分の色を変えることが可能になったので今後、新たな観賞価値を持つハナショウブの品種改良に役立つものと考えられた。次に、センテッド・ゼラニウムの花について、葉にシトラールが検出された「フレンシャムレモン」と検出されなかった「マーブルグレイ」を用いたところ、「フレンシャムレモン」の花の表皮にある腺毛にシトラールが局在することがわかった。これまでの研究で特に葉の腺毛にシトラールが局在することが報告されていたが (染谷ら, 2007; 田淵ら, 2008b)、花においてもシトラールが局在することが明らかとなった。したがって、本研究の成果は野生種系統に応用することができ、シトラールを有する系統の選抜に繋がり、高い付加価値を有するセンテッド・ゼラニウムの育種に役立つことが示唆された。

第4章では、果実については、世界で最も食され生産されているトマトについて、完熟時に異なる果色を呈するトマト果実における色素分布、および野生種トマトに紫外線照射が及ぼす影響や、世界で料理用や健康志向として不飽和脂肪酸を多く含むオリーブについて、果実組織内の脂質分布を調べた。その結果、野生種トマトでは、果実の基本構造は表1層の皮と数層の下皮からなる外果皮、柔細胞の中果皮と内果皮で構成され、種、系統との間で違いはなかった。果実に含まれる色素は種、系統により異なりカロテノイド系、アントシアニン系色素であり、これらの色素は外果皮側に最も局在することが明らかになった。さらに果色の表現の仕方では、細胞内における色素の混在と部位ごとの色の組み合わせが作用することがわかった。その部位ごとの色について、外果皮から内果皮までの色に

よって決まるとされてきたが（石本・三浦，1955；斎藤，1982，藤巻・鶴飼，1985），本研究では子室の色も果色に反映されていると考えられた。ただし，子室の色の反映には中果皮の厚さや色などの要因も関連する可能性がある。これらの研究結果によって，トマト果色においても単に細胞内に存在する色素だけではなく様々な要素が関わっていることがわかった。したがって，今後のトマト果実の外観の改良には，果実内の含有している色素を調べるだけでなく，果実構造を含めて考慮していく必要がある。特に，野生種トマトでは栽培種トマトの基礎となる果皮構造をしているので，本研究の成果は今後の品種改良に応用できると示唆された。次いで，野生種トマト果実への紫外線照射を行った結果，完熟時に紫色を呈する系統では，赤色や黄色を呈する系統のように追熟による着色が起こらないことがわかった。しかし，アントシニン系色素を含むイチゴ（東尾，2007）やサクランボ（Kataoka et al., 1996）では，紫外線照射により果実の着色が進むことから，紫外線に対する応答には種間差があると推察された。また，クチクラ層がいずれの種，系統においても発達していた。以上の結果から，野生種トマト果実への紫外線照射は，特に表皮のクチクラ層の発達を収穫後にも促進させ，「艶のある果実」の生産が可能であることが明らかとなった。すなわち，本研究結果は，閉鎖型人工光を用いたトマト栽培において有用な手法である。オリーブ果実については，いずれの品種においても果実は1層の表皮と数層の下皮からなる外果皮と，柔細胞の中果皮で構成されていた。この結果はMulas（1993）の報告と一致していたことから，果実構造は品種間差異がないことがわかった。組織化学的手法により，外果皮の下皮と中果皮に透明な小球体として中性脂肪が局在することが明らかとなった。これまでの報告にあった中果皮にのみ中性脂肪が蓄積するのではなく（Hilditch, 1947; Ross et al., 1993; Rangelet et al., 1997），外果皮の下皮と中果皮の細胞内に蓄積することが明らかとなった。さらに，本研究では不飽和脂肪酸も組織化学的に検出を行い，これが細胞内を満たすように蓄積することを示した。したがって，オリーブ果実では，中性脂肪と不飽和脂肪酸とでは細胞内における蓄積様式が異なることがわかった。

以上のように，第2章から第4章まで用いた園芸植物をとおして，「葉」，「花」および「果実」の諸器官が有する機能性を調査した。園芸植物の機能性探索は，植物の“基本”となる組織系の機能を探索することである。器官でみた場合，「葉」の構造はいずれの種においても表皮（＝表皮系），葉肉組織（＝基本組織系），維管束組織（＝維管束系）を共通して有する。「花」，「果実」の器官にしても「葉」が合着してできた器官であることから，器官の構造は葉様の細胞構造が発達したものといえる。したがって，園芸植物の機能性探索をしていく場合は，「葉」における基本構造が起点にあると踏まえることで，「葉」だけでなく，「花」や「果実」における目的の機能性の探索にも繋がる。よって，園芸植物の「生活園芸」に密着した機能性物質の探索のためには，植物の葉の基本組織系。特に，表皮の構造と機能性を解剖学的，組織化学的に調べることで成し遂げられる可能性がある。