

機関番号：11201

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580282

研究課題名 (和文) 切り花リンドウ花卉の紫外線反射率上昇現象の機構解明とその収穫期・鮮度判定への応用

研究課題名 (英文) Investigation of Mechanism of the Temporal Rise in UVA Reflectance of Gentian Cut Flowers and Feasibility of Application to Judging Freshness

研究代表者

庄野 浩資 (SHONO HIROSHI)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：90235721

研究成果の概要(和文)：リンドウ花卉の紫外線画像の画素値は開花期に有意に明るくなるが、その機構や現象の詳細は未解明である。そこで本研究では、まず花卉各部の紫外線画素値の変動を詳細に検討し、花卉内面の画素値がより強く変動することを認め、花卉内面にその中心的変動機構が存在する可能性を発見した。さらに、同変動が花卉内の含水率と pH の変動を伴う事実を発見し、同変動を引き起こす実体が花色素内の有機酸等の UV 蛍光性色素であり、特に pH の変動がその蛍光収率に影響する可能性を指摘した。

研究成果の概要 (英文) : Previously, we found the significant temporal rise of UVA reflectance on petals of Gentian cut flowers correspondently with their inflorescence, but its mechanism has not been elucidated yet. Therefore, in this study, we investigated distribution of UVA reflectance of petals for the elucidation. Consequently, we found that reflectance rise is more prominent on inner surface than outer one. Then, we concluded that the substance of this phenomenon could exist in adaxial epidermis. Furthermore, we found that the the reflectance rises correspondently with pH and water content of petals. After all, we concluded that the main substance is some kind of cinnamic acid existing in adaxial epidermal cell which fluoresces in both UVA and Blue band. It is noteworthy that the yield of UVA fluorescence is strongly susceptible to pH which could change with senescence of flowers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：切り花、リンドウ、分光計測、紫外線画像、画像計測

1. 研究開始当初の背景

切り花リンドウは岩手県を代表する花卉作物であり、国内市場での旺盛な需要はもちろんのこと、最近ではオランダやニュージーランドなどの海外からの需要が増加傾向にある。このため、同作物は岩手県の農家の経

営を今後長期に渡って支え得る極めて重要な農産物といえる。しかしその一方、その栽培方法は、勘による判断や手作業を中心とする古典的農法に頼るのが現実であり、今後の需要増に応えるためには、その近代化が早急に必要となる。そこで本研究はその近代化の

ために、勘に頼らず収穫期や収穫後の鮮度を適正かつ効率的に判断するための客観的な生体情報を“紫外線”を用いて計測する手法の開発を目的とする。

先駆的研究「切り花リンドウ採花適期の評価手法および受粉蕾の非破壊的計測手法の開発に関する研究(研究代表者:庄野浩資(岩手大学)」から得られた注目すべき成果の一つは、‘安代の夏’に代表されるリンドウ花の紫外線(UVA)における反射率(あるいは画素値)がその成熟の進行に伴って山形の変動を呈する現象の発見である。すなわち、花卉の紫外線反射率は、若い花では低い、開花期すなわち花粉成熟期の前後で明確に一旦上昇し、紫外線画像にも顕著な特徴として観察される。さらにその後は成熟に伴って徐々に低下するが、この現象は肉眼では認識できない。

2. 研究の目的

紫外線反射率上昇現象が開花期あるいは花粉成熟期を知るための情報となるか否かを判断するには、まず、上昇の時期が実際に花粉成熟期とどの程度同期するのかを多数のサンプルを対象に詳細に調査すると同時に、本現象の花にとっての本来の目的・意味の理解を深めることが重要である。そのため本研究では、紫外線反射率が上昇する物理的・生理的機構の解明を目指す。

3. 研究の方法

まず、紫外線反射率上昇の部位間差を検討する。すなわちここでは、分光反射特性に代表される様々な光学的特性を花卉の部位毎に詳細に検討し、紫外線反射率の詳細な分布を測定する。また、物理的な要因の可能性を視野に入れて花卉断面などの顕微鏡的観察を援用しつつ、さらに最終的には、含水率などの生理的な情報の同時測定により、紫外線反射率上昇の生理的かつ物理的な機構の解明を図る。

4. 研究成果

(1) 紫外線反射率上昇の部位間差について

・実験1：花全体の画素値平均値と生育ステージとの関連性について

ここで紫外線画素値の測定に用いた花の総数は97個であり、生育ステージの内訳は、Level0が12個、Level1が42個、Level2が20個、Level3が23個であった。また、解析に用いた紫外線画像の総数は388枚となった。

実験1の特徴は、各花の4(角度)画像を用いて花全体の画素値を集計した点にある。実際の集計方法は以下の通りである。まず、画像中の花の領域を手作業で領域選択し、背景と分離した。この際、画像中の花の形状が基本的に楕円に近いことから、同領域を楕円で

近似的に領域選択した。この際、客観性を得るために次の様に手順を定めて作業した。まず、長軸が花軸と平行な楕円選択領域を花房領域内に設置し、さらに、花の外にはみ出ない範囲で面積が最大となる様に、その長軸と短軸を伸張した。この手順により、手作業でも選択領域がほぼ一意に定まった。さらに、同手順により、4(角度)画像すべてにおいて花の領域を選択し、各領域内の画素値の平均値を求め、さらに、これらを平均した。今後は、この値を“画素値平均値”と呼称する。4(角度)画像を平均して得た画素値平均値は、花全体の画素値をほぼ代表すると考えられる。

ここで、データに現れる傾向をより分かり易く評価するため、画素値平均値の生育ステージLevel10における平均値(38.85)を基準値(100)とし、すべてのデータを相対化した。これにより、画素値平均値の生育ステージ間の違いを相対評価する。

図1に横軸を生育ステージ、縦軸を画素値平均値とした全花のグループ間散布図を示す。尚、ここでのグループとは生育ステージが同じ花の群を意味する。ここで、同図に記したひし形記号は、一元配置分散分析におけるグループ平均値とその95%信頼区間を表し、同記号の中心の横棒がグループ平均値を、また、同記号の縦幅がその95%信頼区間を表す。また、同記号内の上下に2ヶ所記された短い横棒は、グループ平均値がグループ間で有意に異なるか否かを視覚的に判断するための目印である。例えば、あるグループの上下目印の間に、別のあるグループの上下目印のいずれも位置しない場合、両者のグループ平均値は有意水準5%以下で有意差があると判断できる。同図では、画素値平均値が生育ステージの進行に伴ってLevel1をピークとする山なりの傾向を示す状況が見取れる。

ここで、本研究に用いたリンドウ花の花弁は、筒状の花弁筒部(以下、筒部)と、先端の5つの花弁裂片(以下、裂片)からなる。そこで、撮影した紫外線画像を詳細に検討すると、Level1における画素値の上昇は、Level10では内側に折り畳まれ、Level1以降、花の膨らみと同時に外部に露出する筒部の谷部(以下、谷部)に多く観察される。一方、Level10から既に外部に露出している、筒部の尾根部と裂片(以下、当該部位をまとめて尾根部)には画素値の上昇がほとんど目立たない。但し、裂片においても、Level10では隣の裂片の下に隠れていてLevel1以降外部に露出してくる部分には、上記の谷部ほどではないが画素値の上昇が観察される。以上の様に、画素値の上昇には部位間差が認められる。

そこで、実験1の結果を受け、実験2では画素値の上昇が顕著な谷部と顕著ではない尾根部に注目し、それぞれの画素値の集計を

別個に行うことで、生育ステージとの関連性における部位間差を検討した。

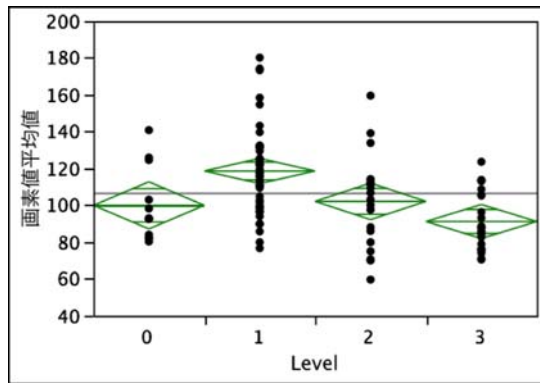


図1 実験1における全花の画素値平均値の散布図（横線は全平均）

・実験2：花の各部位の画素値平均値と生育ステージとの関連性について

実験2に用いた花の総数は26個となった。尚、生育ステージの内訳は、Level0が5個、Level1が8個、Level2が8個、Level3が5個であった。このため、解析に用いた紫外線画像の総数は104枚となった。

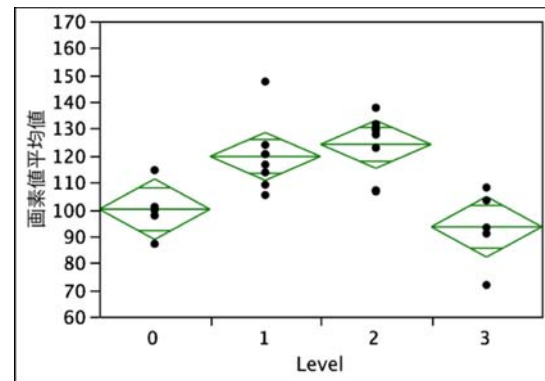
実験1との違いは、既述の様に、花の画素値を谷部と尾根部の各部位毎に集計した点にある。この際、集計の基本的な手順は実験1と同じである。すなわち、4(角度)画像において、谷部と尾根部を領域選択ツールを用いて別々に選択し、各領域内の画素値の平均値を求め、さらに平均して各部位毎の画素値平均値とした。ここで、画像上の谷部の形状はほぼ楕円であったため、実験1と同様に、楕円選択ツールを用いて領域選択をしている。一方、尾根部に関しては、楕円よりもやや複雑な形状を呈する場合があり、楕円選択ツールで選択しきれない領域が谷部よりもやや多くなった。今回は、尾根部に関しても作業の効率性を優先して作業の容易な楕円選択ツールを用いた。

ここでは、実験1と同様に、葉の外側における生育ステージLevel0の平均値(34.95)を基準値(100)とし、すべてのデータを相対化した。これにより、画素値平均値の生育ステージ間の違い、ならびに部位間の違いを相対評価する。

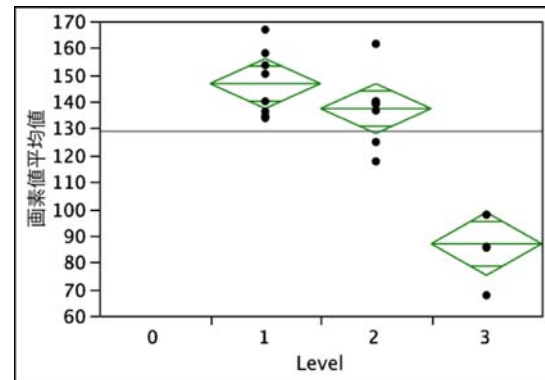
図2に横軸を生育ステージ、縦軸を画素値平均値とした全花のグループ間散布図を示す。左側が尾根部、右側が谷部の結果である。同図では、尾根部もLevel1付近でピークを有する山なりの傾向を示している点に注意すべきである。尚、Level0における谷部の画素値平均値は、まだ外部に露出していないため集計できなかった。表2に一元配置分散分析におけるグループ平均値とその標準誤差を示す。

生育の進行にそって各部位の画素値平均値のグループ平均値の推移を検討すると、まず、Level0からLevel1にかけては、尾根部においても100.00から119.64へと約20ポイント上昇した。しかし、Level1になると谷部が露出し、しかもそのグループ平均値は146.69であり、明るくなった尾根部よりもさらに20ポイント以上明るい。この両者の明るさの違いは視覚上大きく、これがLevel1の紫外線画像において顕著な特徴として視認された要因と言える。

さらに、Level1以後は、次第に両者の差は縮まり、Level2で約13ポイント、最終的にLevel3では約7ポイントと、逆に谷部の画素値平均値の方が若干低くなった。また、Level1からLevel3における同値の下降幅を見ると、尾根部の約60ポイントに対して谷部は約30ポイントと、ほぼ2倍の下降幅を示した。



(a) 尾根部



(b) 谷部

図2 実験2における全花の画素値平均値の散布図（横線は全平均）

本研究の結果において特筆すべき点は、紫外線画像における花の画素値平均値が生育ステージLevel1において顕著に上昇する現象である。この際、紫外線画像では本現象を容易に視認できるのに対し、可視画像ではほとんど視認できない点が重要である。

本現象が観察された原因を考えると、特に実験2の結果から、少なくとも2つの要因が

あると推察される。まず、第1の要因は、Level10では内側に巻き込まれていた谷部が、Level11では外部に露出すること、次に、第2の要因は、紫外線画像における谷部と尾根部の画素値平均値には特定の生育ステージにおいて明確な差があり、特にLevel11では谷部が20ポイント程度高いことである。すなわち、より明るく輝く部位がLevel11で外部に露出することが、本現象を際立たせる要因と考えられる。

ここで、第1の要因の、Level11における谷部の露出に関しては、これまでの花内部の観察から花粉の成熟に伴う花の肥大によるものと推察できる。一方、第2の要因の、なぜ花卉に紫外線画像において画素値平均値の明確な部位間差が生じるのか、その生理学的な原因は現状では不明である。しかし、花卉の外皮の厚みの部位間差もその有力な候補と考えられる。すなわち、もし花卉の内層に紫外線反射率の高い層があり、その外の外皮の厚みが谷部で薄く、尾根部で厚ければ、前者でより強く紫外線を反射した理由が理解できる。実際、生育の途中まで内部に巻き込まれていた谷部の外皮が、最初から露出していた尾根部に比べて薄いとしても不自然ではない。

またこの場合、尾根部においても画素値平均値がLevel11をピークとする山なりの傾向を示したことは、内層の成熟と劣化によるものと理解でき、また、Level11以降の下降幅が谷部と尾根部で異なったことも、内層の劣化を厚みの異なる外皮を介して観察したためと理解できる。いずれにしても、その解明には、より空間解像度の高い紫外線画像の精査や、花卉表面および断面の顕微鏡的観察などの詳細な検討が必要であり、今後の重要な課題である。

(2) 紫外線反射率の変動と含水率ならびに pH の関連性について

ここで一般に、開花期になると花卉の内側の細胞の細胞壁がオーキシンによりゆるめられ、その細胞内に多くの水が運ばれることで細胞が肥大し開花するとされている。したがって、花卉の紫外線画素値の変動要因には水の移動による細胞の肥大が関係している可能性があるが、現状では紫外線画素値の変動と体内水分との関連性については未検討である。そこで、ここではリンドウの成熟・老化のレベルの進行にともなう紫外線画素値の変動と体内水分との関連性を調べ、その変動機構の解明を目指す。

紫外線画像の撮影・解析方法は上記の実験1と同様である。また、体内水分の状態を量る指標として、花卉の含水率を測定した。測定手順は、まず生体重を測り、その後オープンで乾燥させ（70℃、

48時間）乾物重を測定し、含水率を算出した。

図3に老化レベル（生育ステージ）毎の展開花冠（裏面）の紫外線画素値と、図4に老化レベル毎の花冠の含水率を示す。尚、以下に示す全ての図は全花の平均値であり、誤差バーは標準誤差である。両図の比較から、紫外線画素値の推移は含水率のそれと良く一致し、同画素値と体内水分との関係性は非常に高い。すなわち、花卉内への水移動と、紫外線反射率の上昇には極めて高い連動性が認められ、同画素値の上昇に水移動が関係していることが十分予想される。

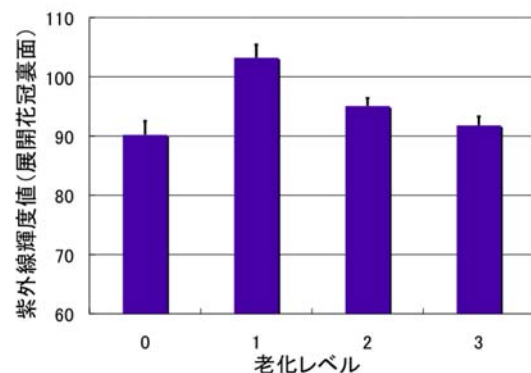


図3 花卉の紫外線画素値の推移

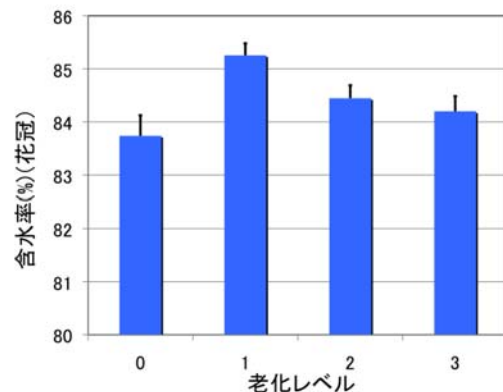


図4 花卉の含水率の推移

次に、各老化レベル毎の花弁サンプルを約-30℃で冷凍した後解凍、さらにこれらを手作業で圧縮し、花卉の粗抽出液を得た。これらを、ガラス電極式 pH メータで pH 測定し、各老化レベルと花卉組織の pH との関連性を検討した。その結果を図5に示す。同図の注目すべき点は、含水率と同様に、紫外線画素値の上昇と連動して pH が上昇、すなわちアルカリ側に偏る点である。

以上から、紫外線画素値（あるいは反射率）は、リンドウの開花期に、含水率と pH と連動して上昇することが明らかになった。

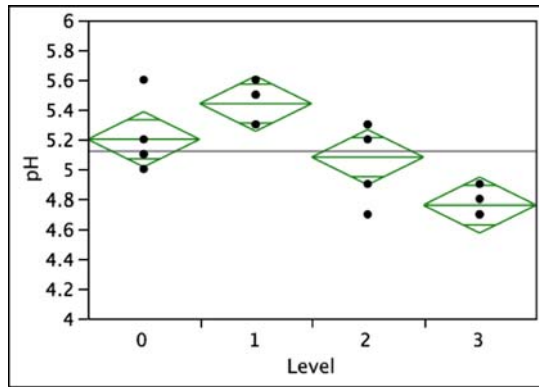


図5 花卉の pH の推移

(3) 反射率変動の機構に関する考察

これまでの結果から、もし紫外線画素値が含水率のみと連動していた場合、例えば、細胞への水移動による膨圧上昇・細胞壁の伸長により、細胞壁の光学的性質が変わるなどの物理的要因にその変動の機構が存在する可能性が高いと言える。しかし今回、pHとも連動したことは、細胞内での何らかの生化学的な現象がその変動の機構である可能性が高まったと考えざるを得ない。

ここで、さらに、様々な成熟度の花卉を対象に HPLC による定量分析を実行し詳細に解析した結果、同変動を引き起こす実体が、花色素内の有機酸の一種である UV 蛍光物質、“カフェ酸”あるいは細胞壁に遍在する“フェルラ酸”である可能性を発見した(未発表)。すなわち、開花に伴う花卉内の水移動が、花色素の存在する液胞内の pH の上昇と下降を誘導し、最終的に、この pH 変動がカフェ酸の紫外領域における蛍光の強さに影響する可能性が認められた。この蛍光現象により、結果として(見かけの)紫外線画素値(反射率)変動が引き起こされると考えられる。今後は、同有機酸が実際に花卉内の画素値変動部位に存在し、紫外線蛍光を発していることを確認する必要がある、これは今後の重要な研究課題である。

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)

- ① 庄野浩資、関朝美、山口香子、松嶋卯月、小出章二、武田純一、切り花リンドウの生育ステージ判定における紫外線画像の有効性に関する検討、農業情報研究、査読有、18巻、2009、122-129

〔学会発表〕(計2件)

- ① 牛草貴行、庄野浩資、松嶋卯月、岡田益己、切り花リンドウ花冠の紫外線輝度値と体

内水分との関連性について、平成22年度日本農業気象学会東北支部大会、2010.8.20、演題3、北里大学(青森県)

- ② 庄野浩資、芹沢和洋、山口香子、関朝美、切り花リンドウの成熟度判定における分光および偏光画像情報の有効性の検討、農業環境工学関連学会2009年合同大会、2009.9.17、B52、東京大学(東京都)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
○取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

庄野 浩資 (SHONO HIROSHI)
岩手大学・農学部・准教授
研究者番号：90235721

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し