

茎の曲げ特性による
バラ切り花の非破壊水分測定法に関する研究

2013 年

川上 昭太郎

目次

I	研究背景	1
1.	切り花生産・流通の現状	1
2.	品質評価技術の現状	4
3.	バラ切り花の品質	7
4.	研究の目的	9
II	力学特性による水分測定の可能性の検討	10
1.	茎の力学特性と水分の関係	10
2.	推定式の汎用化の検討	24
3.	まとめ	36
III	非破壊水分推定式の検討	37
1.	非破壊推定式の検討	37
2.	推定式による水分の経時変化	45
3.	まとめ	50
IV	結論	51
	謝辞	53
	参考文献	54
	Summary	56

I 研究背景

1. 切り花生産・流通の現状

近年、生活様式の洋風化に伴い、多種多様な種類の花が観賞されるようになり、図 1 に示すように 1980 年代後半から 1995 年にかけて出荷量は急激に増加した。しかし、その後、国内の景気の低迷とともに減少し(市村, 2011a)、2012 年現在、日本における切り花の出荷量は 40.7 億本となっている。その内訳は図 2 に示すようにキクが約 15.9 億本と最も多く、次いでカーネーション、バラ、ガーベラ、ユリが上位を占めている(農林水産省, 2010, 2013)。長岡(1998)は世界で国際商品として認められる切り花として、量販品目であること、四季咲き性あるいは開花期の調整が可能なこと、軽量、花持ちが良いことをあげ、世界的に取引される商品はバラ、カーネーション、キクとしており、現在でも主要切り花として流通している。

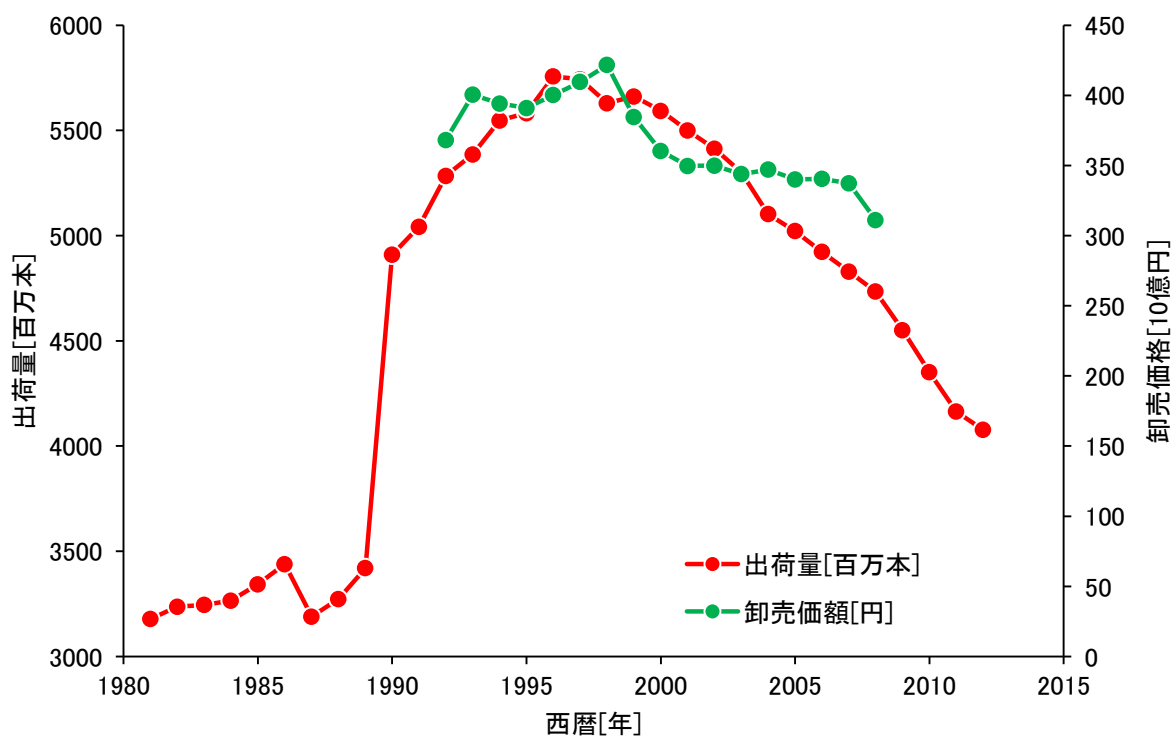


図 1 切り花の国内出荷量と卸売価格の推移(農林水産省, 2010, 2013)

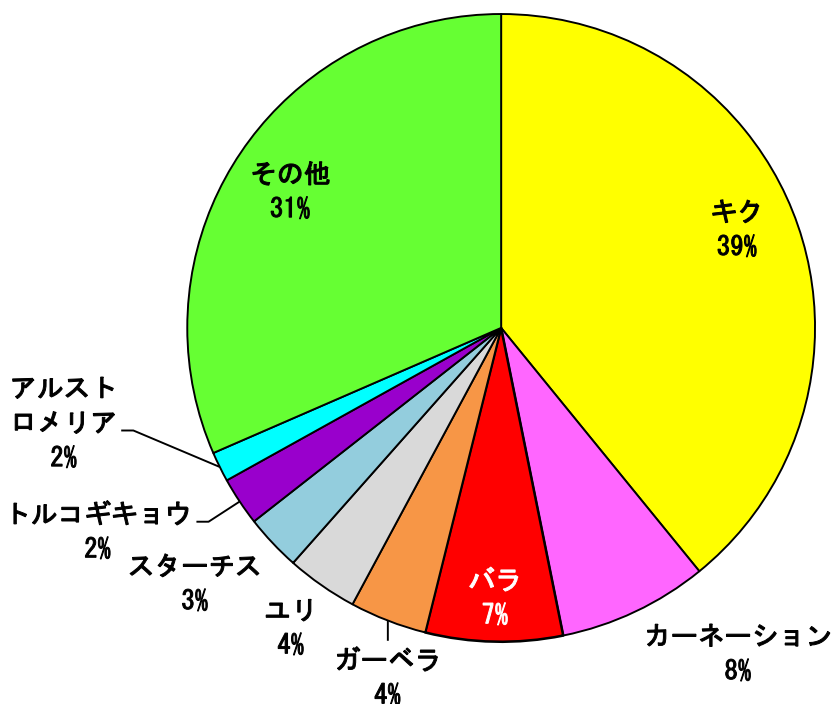


図2 2012年度国内切り花出荷量の割合（農林水産省, 2013）

花き産業振興方針(農林水産省生産局果樹花き対策室, 2010)では、花き産業振興のための基本的な指針と具体的な取り組みとして1)ホームユース、2)ブランド化、3)日持ち、鮮度の良さを目指したバケット低温流通など品質管理の推進、4)需要拡大の推進、5)国際花卉の輸出ならびに花き産業の環境負荷低減が述べられている。その中でも切り花の鮮度低下を少なくしてユーザーまで届けることが重要な目標となっている。その方法として、鮮度保持剤の利用や図3に示すバケット輸送など輸送形態の改善などさまざまな方法が考えられる(新花き生産流通システム研究会, 2003)。しかし、切り花は多品種であり利用形態も種々あるため必ずしも品種、用途に合った流通形態がとられているとは限らない。また、薬剤の使用や過剰な包装形態での輸送は、輸送後の廃水処理や包装資材の処理など廃棄物処理問題が発生することも予想される。さらに、伸び悩みつつある切り花産業においては、切り花消費を拡大することと同時に輸送コストを見直すことも重要である。



図3 流通形態改善の取組み(バケット輸送の様子・東京都中央卸売市場大田市場)

そのような状況の中、流通現場において、中央卸売市場では独自のマニュアルに沿って図4に示すような花保ち試験を実施しているところが増えてきている。その一例として、評価基準を「消費者の満足度」としていることがあげられる(FAJ 花保ち試験室, 2013)。この花保ち試験で決定する「花保ち期間」とは、消費者が家庭で花を飾ったときから観賞価値がなくなったと思う瞬間までの期間とし、品目ごとに設定された評価項目・基準に基づいて、花・茎・葉それぞれを主観的に評価して簡単な数値に表し、その評価値が一定のラインを下回るまでの日数と定義している。主に目視による評価および試験中の画像が生産者にフィードバックされ鮮度保持流通のために用いられている。

また、日本花普及センター(2010)では、切り花の日持ち試験認定事業により品質判定基準を統一し、日本切り花花持ち試験(JFRT)として33品目の品質評価基準及び品質チェックシートに基づき、日持ち試験の実施体制がある花き卸売市場等を日持ち試験の実施機関と認定して、切り花の日持ち試験認定事業を行い、種苗会社、生産者、花束加工業者、小売業者等からの申請に応じて日持ち試験の実施やその結果の公表等を実施している。この品質判定基準は、切り花の日持ち評価レファレンステストマニュアル Ver.6 としてホームページ上でも公

開されている。日持ち試験室内の環境条件の設定や、品目毎の判定基準として目視による花卉の萎れ、開花程度、病害の発生、花卉や茎葉の変色などの評価項目があり、A～Dの基準が設定されている。



図4 切り花の花持ち試験室の様子(東京都中央卸売市場大田市場 (株) FAJ)

このように切り花の品質評価は、主観による評価がほとんどであり、客観的、定量的評価はあまり用いられていないのが現状である。目視による花持ち日数の評価については、判定の複雑さ、曖昧さにより、客観性、定量性は低い。このため、定量的評価の導入により花き産業にかかわる川上から川下までの関係者や消費者に対して公正な鮮度・品質評価が行われ、生産、流通管理の向上につながることを期待できる。

2. 品質評価技術の現状

図5,6に示すように各種の消費者アンケートによると、切り花を購入する際のポイントに花持ちのよいことが重要視され、これまで切り花の品質保持および評価法に関する研究も多くなされているが、そのほとんどが植物の生理学に基づく栽培法、光合成、蒸散、糖質に関するものとなっている。

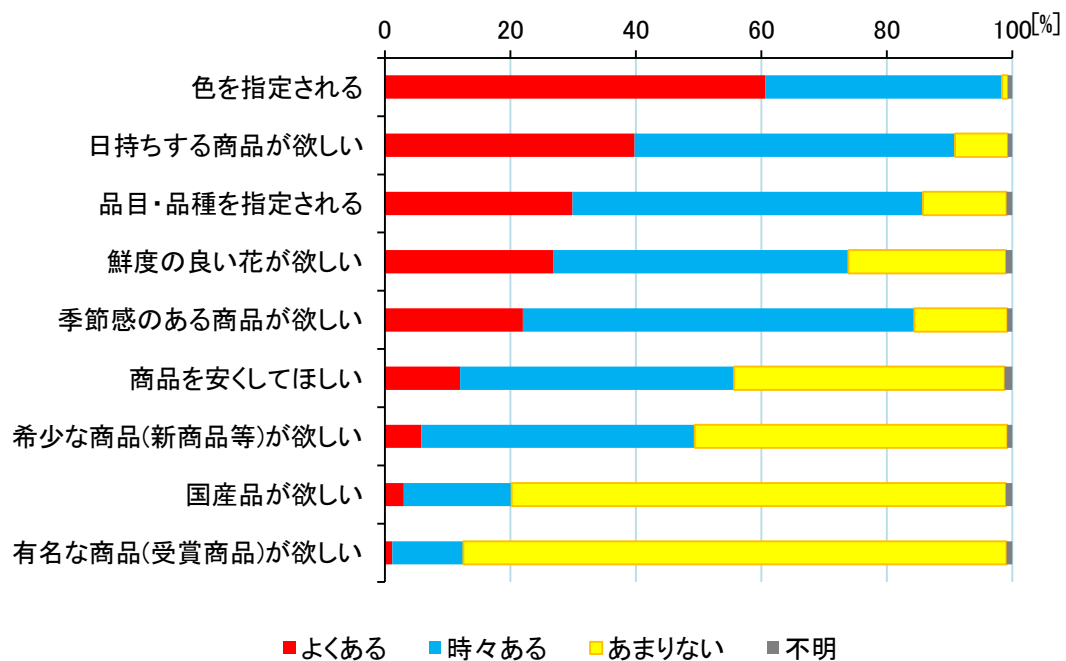


図5 消費者からの意見・要望(農林水産省, 2010)

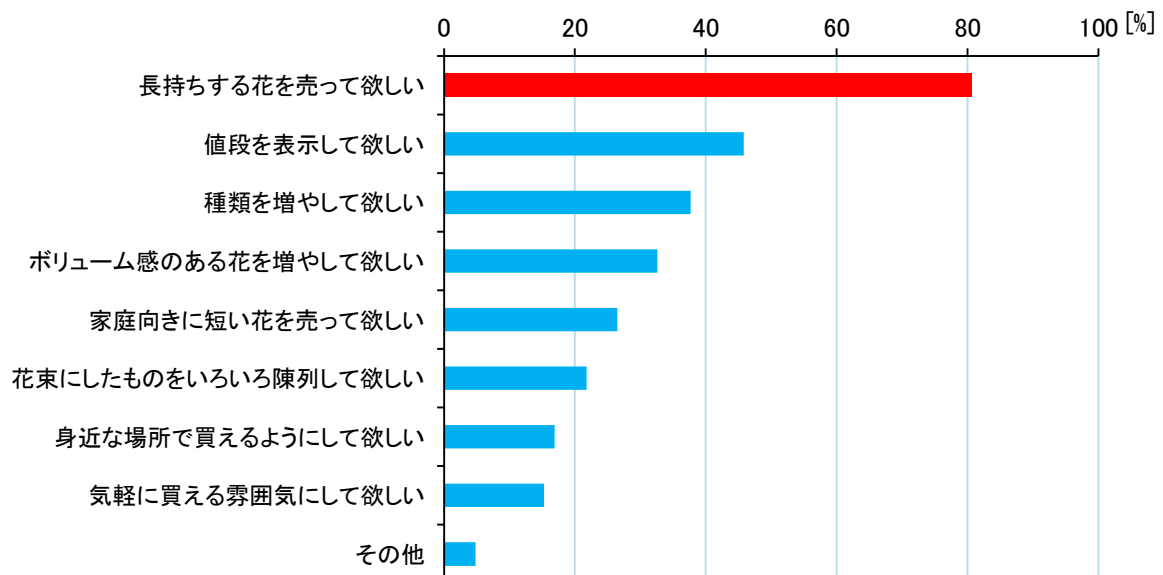


図6 今後花を購入する際の条件(3以内回答)(農林水産省, 2010)

定量的評価については市村(2011b)によれば、水ポテンシャルや水欠差による評価などがあげられているが機器の価格や測定時の経験など問題点もあげられている。また、品質評価として気孔形態や蒸散量、蒸散速度の測定(印炳賤他, 2006)、花卉糖度の測定法に関する研究(井上他, 2007)や葉の表面色による評価(Doi et. al., 2004)について報告されているが、それらの測定では、葉を切り取っての測定や専用の容器を使用や分光計や色彩色差計などやはり高価な機器を使用することになり流通過程や生産現場での測定には必ずしも適しているとは限らない。

そこで、本研究では、実用的であり簡易的な切り花の定量的品質評価方法を検討した。切り花の出荷から消費まですべての流通過程において、流通中の切り花の品質変化を定量的に評価する部位として、切り花の切り前の影響を受けにくい茎に着目した。茎に着目することにより、花卉がまだ開いていない収穫直後から測定が可能であり、収穫直後の最も鮮度の高い状態を基準として鮮度低下を評価することが可能となる。また、切り花の鮮度や輸送条件による品質変化は、水分に大きく影響される。今回着目した茎は養分を水とともに移動させる部位であるため、切り花の品質評価対象として水分が適切であると判断した。この水分評価は輸送中の蒸散を防ぐ方法や切り戻し後の水揚げの良否の評価にもつながり花持ち期間の推定などへ応用の可能性がある。しかし、これまで直接的な水分測定は炉乾法などの破壊測定であった。一方、新鮮質量の変化により水分の変化量を推定することは可能だが、切り戻しや葉を剪定した場合は水分変化を推定することができなくなる。このため、茎の水分によって硬さが変化する可能性(川上他, 2009, 重松他, 2007, 2008, 山下他, 2009)を利用して、茎の力学特性値を用いて水分を推定することを考えた。すなわち、非破壊測定が可能な茎の曲げ試験を採用することとした。

栽培されている切り花を採花したままの状態(観賞価値のある状態)、いわゆる非破壊検査でなく、花卉や茎葉を切り取り、物理的に破壊、搾汁して調査するなどの方法が主流であった。このため、高品質な切り花と判明しても消費者に渡すことができないことが問題であった。そこで、花卉糖度を光センサーで測定、評価する非破壊検査が試みられている(井上ら、年)が、果物のように検査対象物の形状が同一でなく、花卉は蕾から開花に至る段階で形状

が変化することが、実用化の課題である。

これまで、非破壊による品質評価法として実用化しているのは下垂度である。これは切り花の茎を水平に保ち、軟弱な花茎ほど花の重みで垂れ下がる（角度）のを目視で調査する方法である（福光他, 2013）。カーネーション、キク、ユリ等で品質評価法として採用されているが、バラの茎は比較的硬く、下垂度を調査することが不可能である。

3. バラ切り花の品質

これまで、バラに関しては非破壊で品質評価する方法は見あたらないのが現状である。また、切り花の日持ちを保証することで、消費者が安心して購入し、消費拡大に期待され、日持ち日数を提案し、キクが 20 日、カーネーションが 14 日と長いのに対して、バラでは 7 日と短い（花き研究所, 2013）。

表 1 主要切り花の保証可能日持ち日数(花き研究所, 2013)

	23℃	30℃
キク	20	14
カーネーション	14	7
トルコギキョウ	14	7
ユリ	7	5
バラ	7	5

また、切り花の日持ち評価レファレンステストマニュアル Ver. 6(日本花普及センター, 2010)では、バラ切り花の評価について表 2 に示す評価基準を設定しており、日持ち終了の判定基準として、C が 2 項目以上または D が 1 項目で日持ち終了としている。

表2 バラ(スタンダード)切り花の品質評価基準(日本花普及センター, 2010)

項 目	判 定 基 準	備 考
花弁の萎れ	触ってみて, A: 張りがある, B: やや軟となる, C: 軟らかくなる, および視覚的に, D: 垂れ下がる.	
花首の萎れ (ベントネック)	視覚的に, A: 張りがある, B: しわが寄る, C: 傾く, D: 垂れる.	花弁の萎れと花首の萎れは並行するが, 品種により花弁の萎れのみが進行する場合がある (写真参照)
開花	視覚的に, A: 花弁が展開しはじめる, B: 露心する, C: 雄ずいが突出する, D: 落弁する, または E: 開花せずブルーイング・乾燥・変色する (花弁の状態から時期を総合的に判定).	露心までは, A-1: かたい, A-2: ほころぶ(円筒形), A-3: 半開(逆円錐形), A-4: 全開, B: 露心と判定(写真参照)
灰色カビ病	花弁に, C: 小斑点(5mm 以下)が発生する, D: 大斑点となる, E: 落弁する.	花床に発生すると落弁しやすくなる.
ブルーイング	A: ブルーイングなし, B: ややあせる, C: 明らかにブルーイングが発生する, D: 激しくブルーイングが発生する.	花弁の展開に伴う花色の淡色化は測定対象としない.
花弁の乾燥・変色	A: 乾燥・変色なし, C: 先端がわずかに変色する, D: 先端が変色・壊死する.	赤色品種では目立ちやすい. (写真参照)
がく片・葉の黄変	A: 黄変なし, B: 下位葉でわずかに黄変する, C: 下位葉で黄変する, D: 中位葉まで激しく黄変する.	黄変した葉はその後, E: 落葉する.
その他	D: 落葉, 薬害, 病虫害など.	

4. 研究の目的

以上のことから、近年切り花の生産は伸び悩んでいるなかで、消費者が望む日持ちの良い切り花を流通させる必要がある。しかし、切り花の評価方法は、目視に頼る評価、生理学的な評価が中心となっており客観的で定量的な評価方法がほとんどないのが現状となっている。

そこで、供試材料として世界の主要切り花のなかでも、日持ちが短く、非破壊で検査する方法がないバラ切り花を選び、非破壊による品質評価法を確立することが急務と考えた。さらに、花蕾は開花までの進行段階で形状が変化すること、花卉が傷みやすいことから、物理的に安定している茎に着目し、茎の曲げ特性と水分との関係について以下の実験を行った。

まず、第Ⅱ章では茎の力学的特性と水分の関係を明らかにするため測定しやすいように茎を切取って曲げ荷重を測定し、茎の力学特性と水分の関係を明らかにした。そして、水分推定式の汎用化について検討した。そして、第Ⅲ章で非破壊測定の検討と推定式を用いた同一試料の水分の経時変化について非破壊測定を試みた。

本研究では、切り花の流通過程における品質評価技術として、従来の目視を中心とした評価、特別な測定機器を用いた評価に代わる新たな評価方法として実用的であり簡易的な評価方法を検討した。

Ⅱ 力学特性による水分測定の可能性の検討

1. 茎の力学特性と水分の関係

(1) はじめに

切り花の出荷から消費まですべての流通過程において、流通中の切り花の品質変化を定量的に評価する部位として、切り花の切り前の影響を受けにくい茎に着目し、実用的であり簡易的な切り花の定量的品質評価方法を検討した。茎に着目することにより、花卉がまだ開いていない収穫直後から測定が可能であり、収穫直後の最も鮮度の高い状態を基準として鮮度低下を評価することが可能となる。また、切り花の鮮度や輸送条件による品質変化は、水分に大きく影響される。今回着目した茎は養分を水とともに移動させる部位であるため、切り花の品質評価対象として水分が適切であると判断した。この水分評価は輸送中の蒸散を防ぐ方法や切り戻し後の水揚げの良否の評価にもつながり花持ち期間の推定などへ応用の可能性がある。

しかし、これまで直接的な水分測定は炉乾法などの破壊測定であった。一方、新鮮質量の変化により水分の変化量を推定することは可能だが、切り戻しや葉を剪定した場合は水分変化を推定することができなくなる。このため、茎の水分によって硬さが変化する可能性⁴⁻⁶⁾を利用して、茎の力学特性値を用いて水分を推定することを考えた。ここでは、その第一段階として、曲げ試験による力学特性値と水分の関係を検討するために、茎の一部を切り取った試料による破壊測定を行い茎の力学特性値を用いて水分を推定することの可能性について検討した。

(2) 材料及び方法

a. 実験材料

供試材料として、図 7 に示す静岡県三島産バラ切り花スイートアバランチェ+ ‘*Sweet Avalanche*’ を東京都中央卸売市場世田谷市場経由で入手した。

この花は、オランダの Lex 社の代表的な品種の一つとなっている。やや青みのあるソフトピンクの大輪種で弁端はやや色が淡く、透き通るような質感があり、ふっくらとした蕾はよ

く開き、とても優美な雰囲気でブライダルブーケとしても人気が高い花である。

実験では、水揚げ後、図8に示すように花首近くから長さ8cmに切り取った茎を10本用意し供試材料とした。

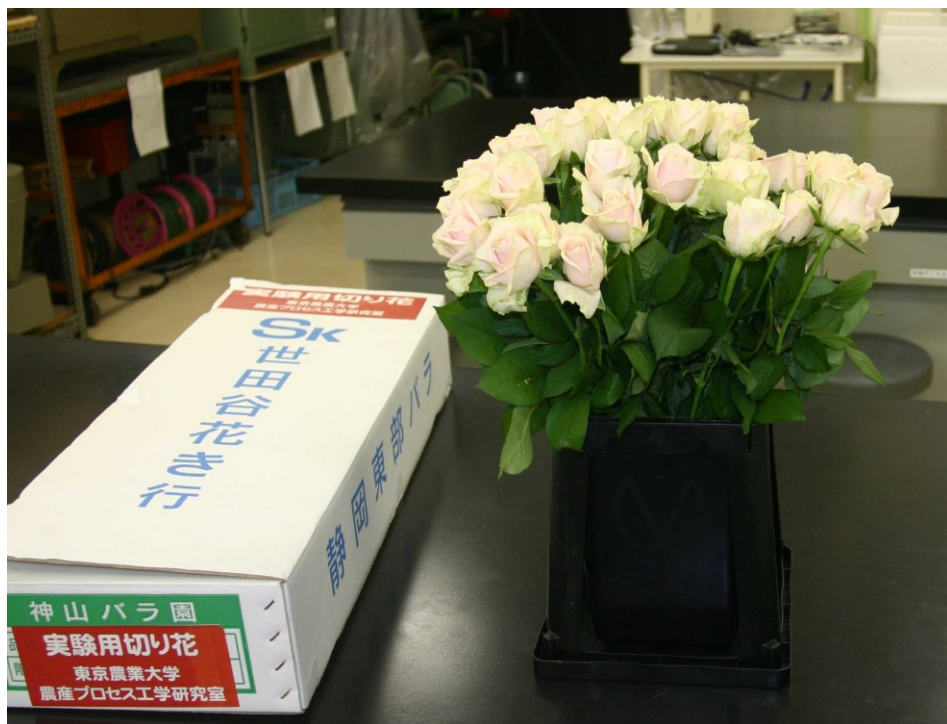


図7 供試材料スイートアバランチエ+ *'Sweet Avalanche'*

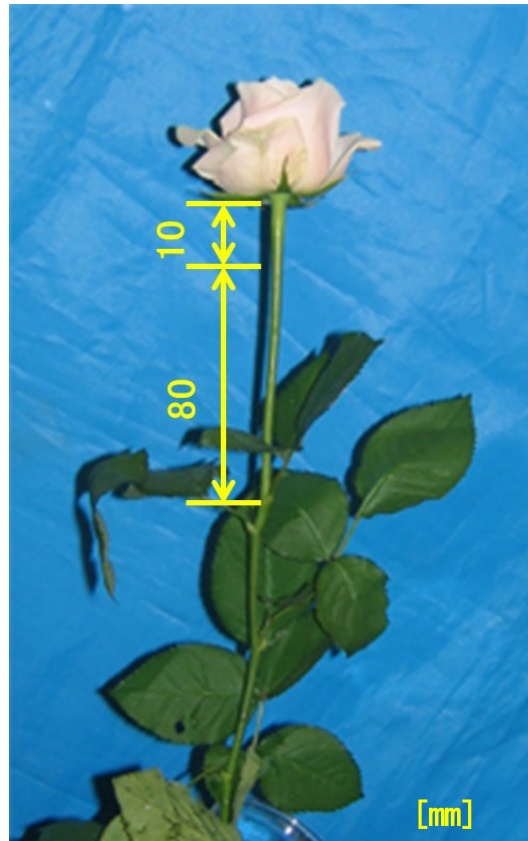


図8 測定部位

b. 実験方法

実験手順を図9に示す。静岡県三島市より乾式輸送により東京都中央卸売市場世田谷市場を經由して試料を入手し、実験室に到着後、水分調整のため約1日の間、低温貯蔵室内で水揚げを行った。その後、図8に示す部分を切り取り、スパン50mmで試料の中央部分を載荷点とし、図10に示す縦横兼用電動スタンド(MODEL-2257:アイコーエンジニアリング(株)製)にデジタルプッシュプルゲージ(RX-1:アイコーエンジニアリング(株)製)を用いてテストスピードを10mm/minで曲げ荷重を測定した。なお、曲げ荷重の測定は、同一箇所を3回繰り返し測定した。次に、茎径の測定を行った。試料の載荷点をノギスにより4方向から測定して、その平均値を求めた。そして、ただちに新鮮質量の測定を行った。

測定は、試料の水分を徐々に減少させるため20℃で保蔵し、測定は1日に2回行った。試料の水分が減った測定開始後4日に、105℃で48時間、炉乾法により乾燥させ水分を測定し

水分実測値とした。

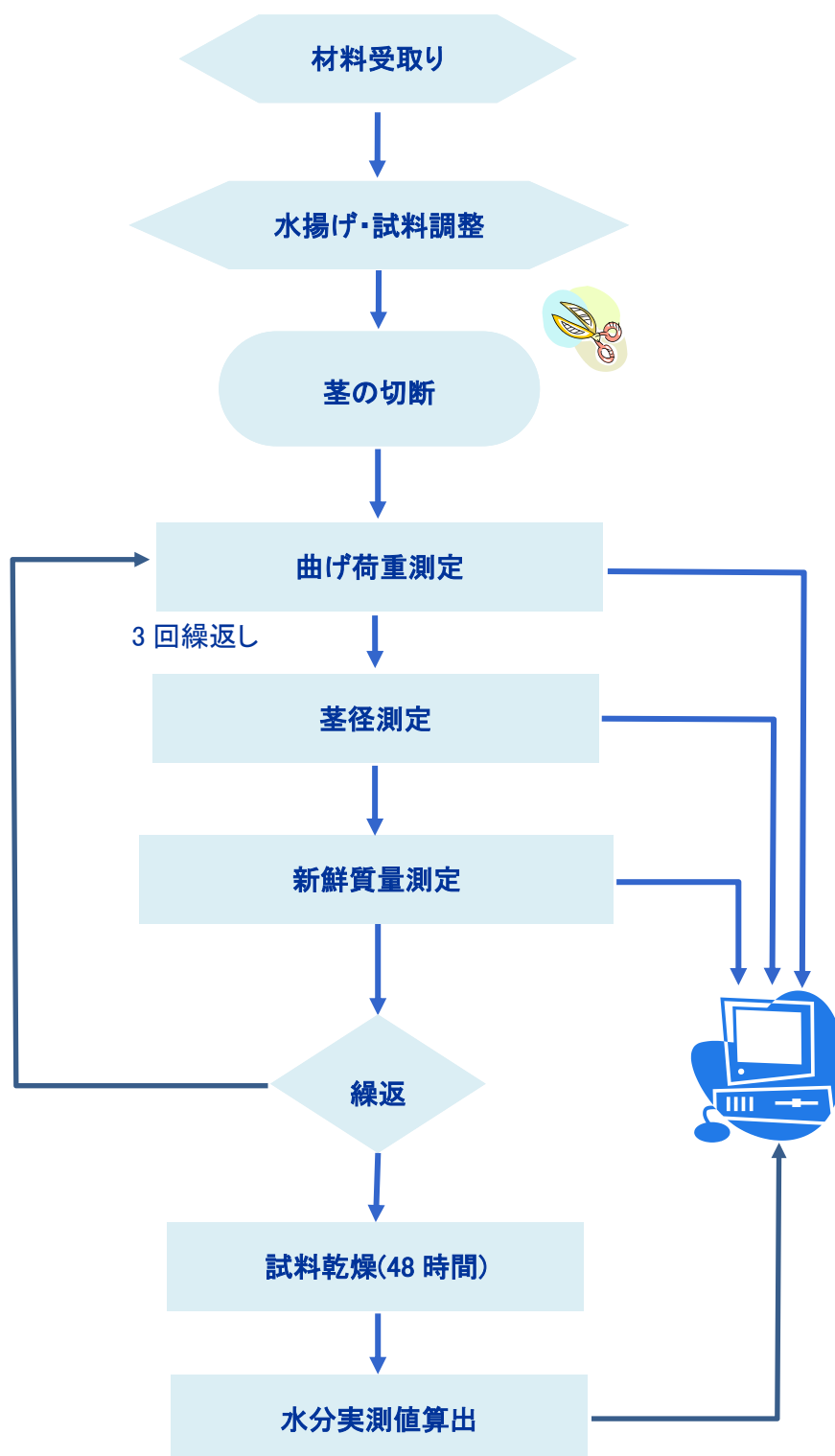


図9 実験手順

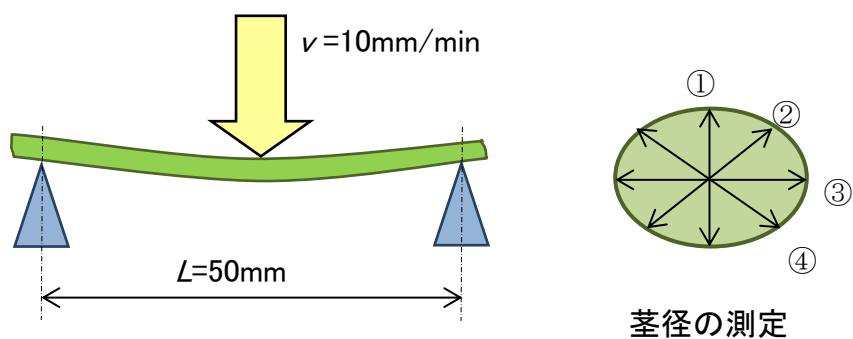


図 10 茎の曲げ荷重と茎径の測定

(3) 結果及び考察

a. 水分の測定結果

図 11 に試料水分の経時変化を示した。初期水分約 88%w. b. から時間の経過とともに減少し 96 時間後には約 78%w. b. となり、徐々に試料が萎れていくことが確認できた。

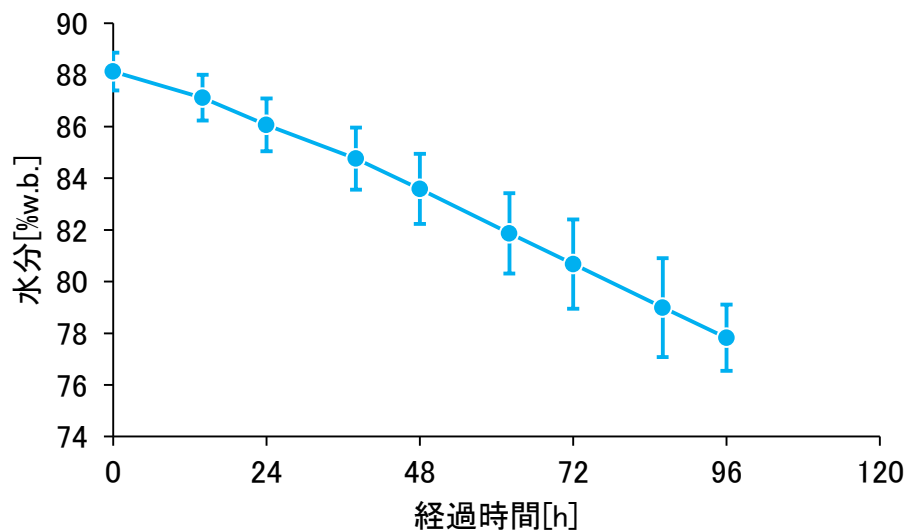


図 11 水分の経時変化(平均値±標準偏差)

b. 茎の曲げ荷重特徴量の測定結果

図 12 に茎の曲げ荷重の測定結果の一例を示す。すべての試料について時間の経過によりたわみに必要な荷重が低下した。そこで、これらの力学特性曲線の特徴量として、たわみに対する曲げ荷重の変化率 ΔP [N/mm]を考えた。図 13 に示した曲げ荷重曲線(a)に対して ΔP は曲線(b)のように最大値 ΔP_{\max} を持つ変化を示した。このため、 ΔP_{\max} に対する曲げ荷重を P_{dm} としての曲げ荷重特性の 1 つの特徴量とした。図 14 に P_{dm} の経時変化を示した。 P_{dm} は、時間の経過とともに減少した。

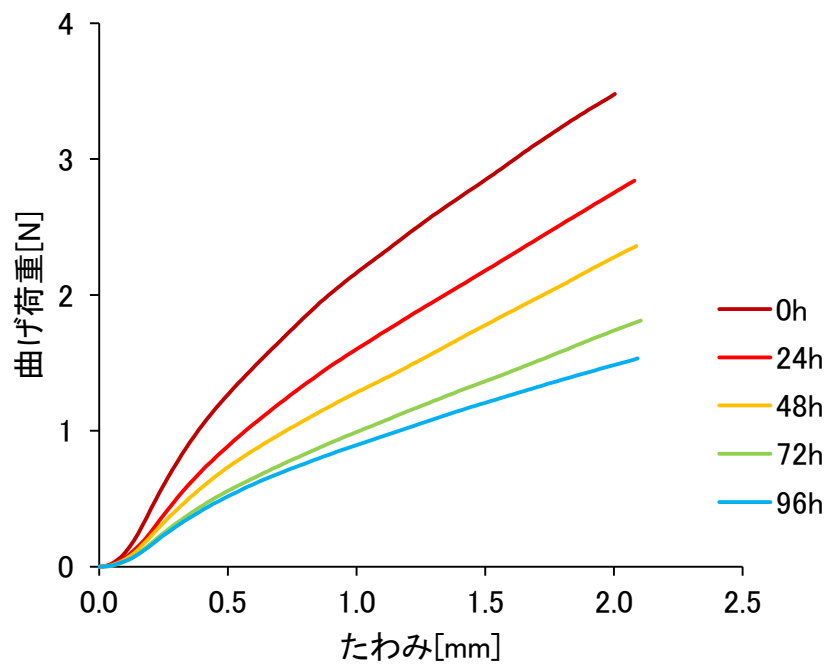


図 12 曲げ荷重の測定結果例

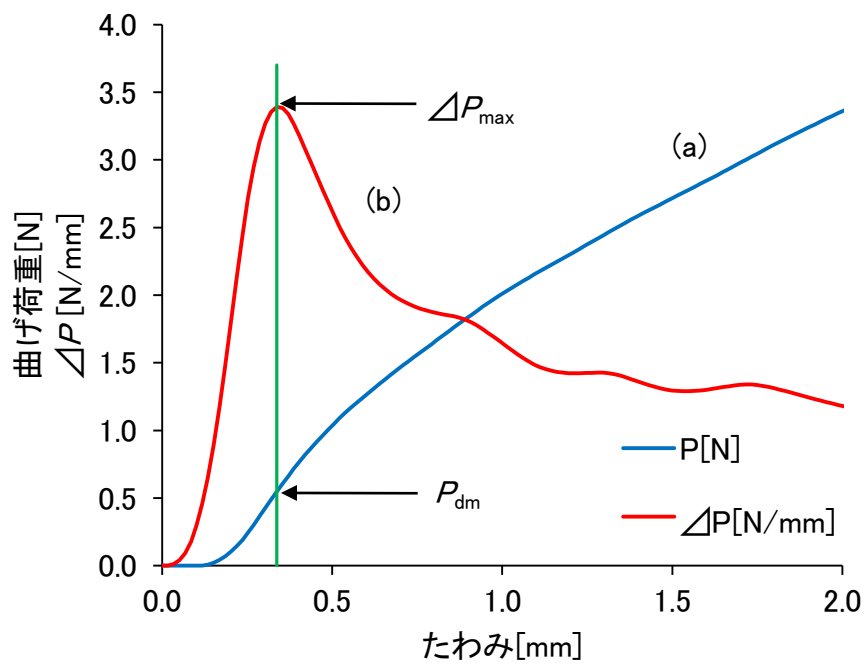


図 13 曲げ荷重の解析方法

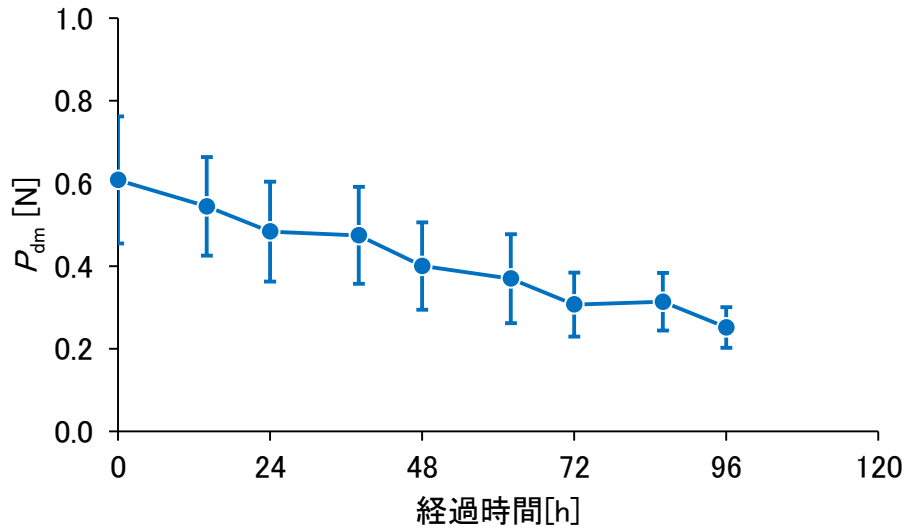


図 14 茎の P_{dm} の経時変化(平均値±標準偏差)

曲げ試験におけるもう一つの特徴量として曲げ剛性を取り上げた。これは、一般に試料の曲げ変形に対する抵抗の大きさを表し、値が大きいほどその抵抗が大きくなることを示す。そこで本研究では茎の曲げ剛性として(1)式により求めた。その測定結果を図 15 に示す。曲げ剛性も時間の経過とともに減少し、茎が柔らかくなっていることを確認することができた。これらのことと、図 11 に示した水分の経時変化より、水分が減少するにつれて茎が柔らかくなっていることが確認できた。

$$EI = \frac{P_{dm}L^3}{48\Delta\delta} \quad (1)$$

ただし、 E : 茎の曲げ弾性係数[Pa]

I : 茎の断面二次モーメント[mm⁴]

EI : 茎の曲げ剛性[Nm²]

P_{dm} : $\triangle P_{max}$ より求めた茎の曲げ荷重[N]

L : スパン[mm]

$\triangle\delta$: たわみ[mm]

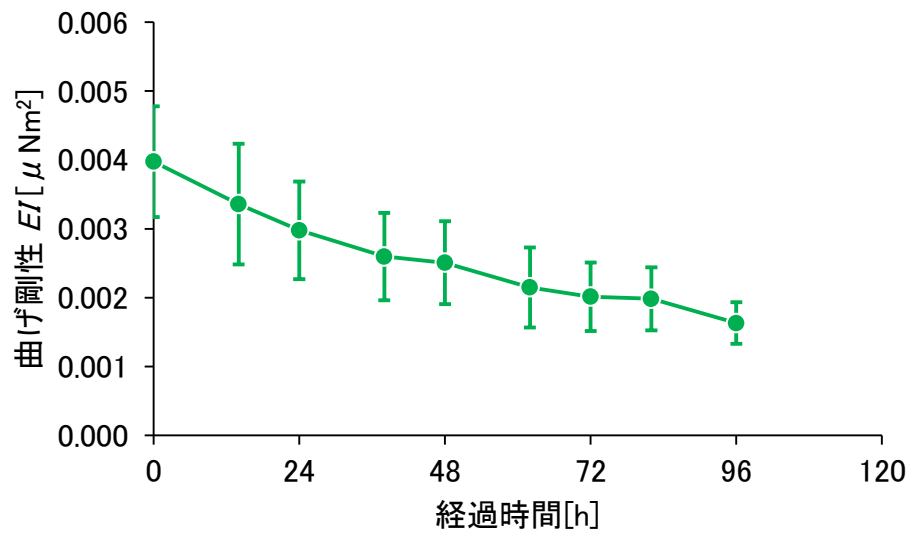


図 15 茎の曲げ剛性の経時変化(平均値±標準偏差)

c. 力学特性と水分の関係

(a) P_{dm} と曲げ剛性について

(i) 水分との関係 図 16 に茎の曲げ荷重 P_{dm} と水分の関係、図 17 に曲げ剛性と水分の関係を示した。それぞれ x 軸の対数近似により相関係数は危険率 1% で有意差が認められた。植物体内に水分が十分蓄えられている場合は組織内の水の膨圧で茎も硬くなる。水分が減少することで組織内の水の膨圧低下や維管束などの中に空隙ができることで茎が柔らかくなると考えられる。

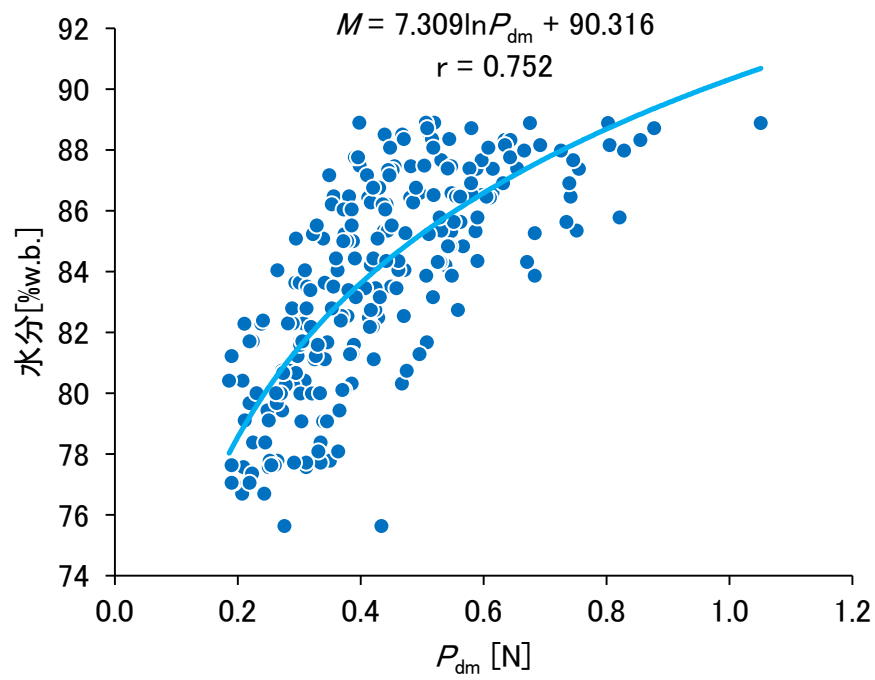


図 16 P_{dm} と水分の関係

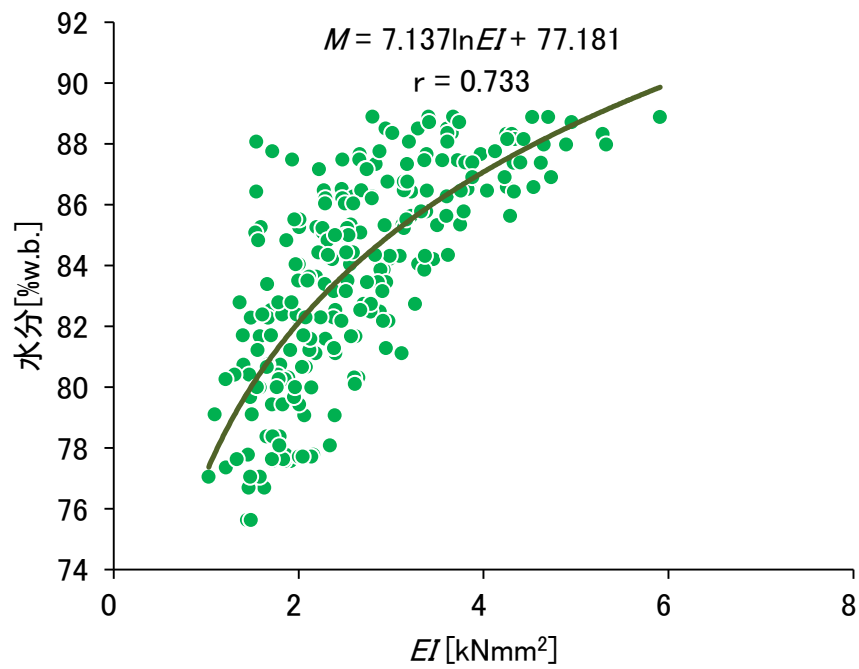


図 17 曲げ剛性と水分の関係

(ii) 水分推測値と実測値の関係 図 18 に P_{dm} より求めた推測水分と炉乾法より求めた実測水分の関係を示した。両者の相関係数は 0.752 となり、推測値の平均二乗誤差(RMSD)は 2.237%w. b. となった。

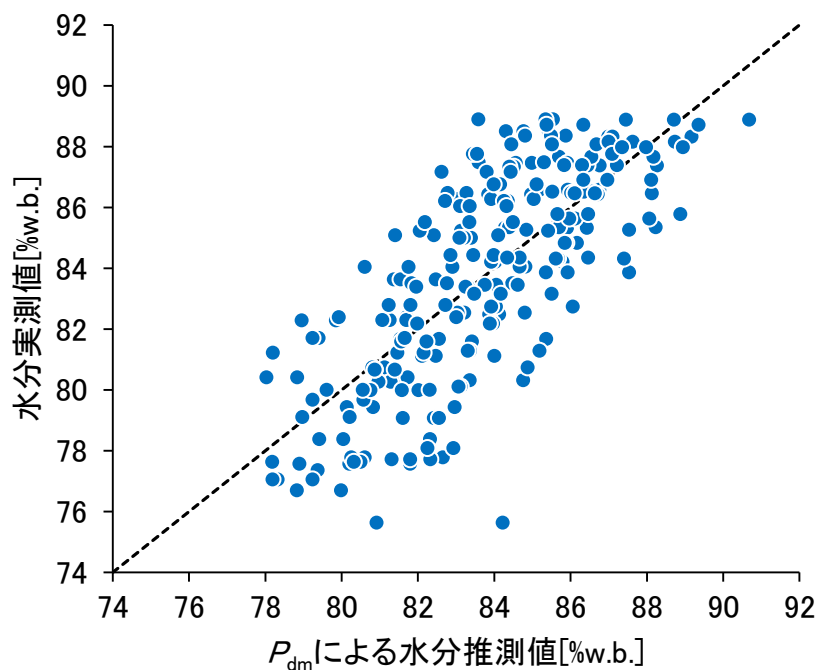


図 18 曲げ荷重による水分推測値と水分実測値の関係

次に、曲げ剛性より求めた推測水分と炉乾法より求めた実測水分の関係を図 19 に示した。両者の相関係数は 0.733、RMSD は 2.311%w. b. であった。(1)式のように曲げ剛性には茎の断面の形状と大きさの要素が含まれている。試料 1 本毎では水分による茎径の変化が見られた。このため、曲げ剛性を用いて水分を推測することで茎径の要素が加わり、水分推測の誤差が改善されることを期待した。しかし、曲げ荷重より求めた場合とほぼ同じ結果となり、誤差は改善されなかった。茎の断面形状として茎径に着目してみると図 20 に示す通り各試料の茎径と水分の関係はそれぞれ相関が認められた。しかし、試料全体と水分との相関はほとんど認められなかった。このことが曲げ剛性を用いても水分推定誤差の改善につながらなかったことの原因の一つと考えられる。

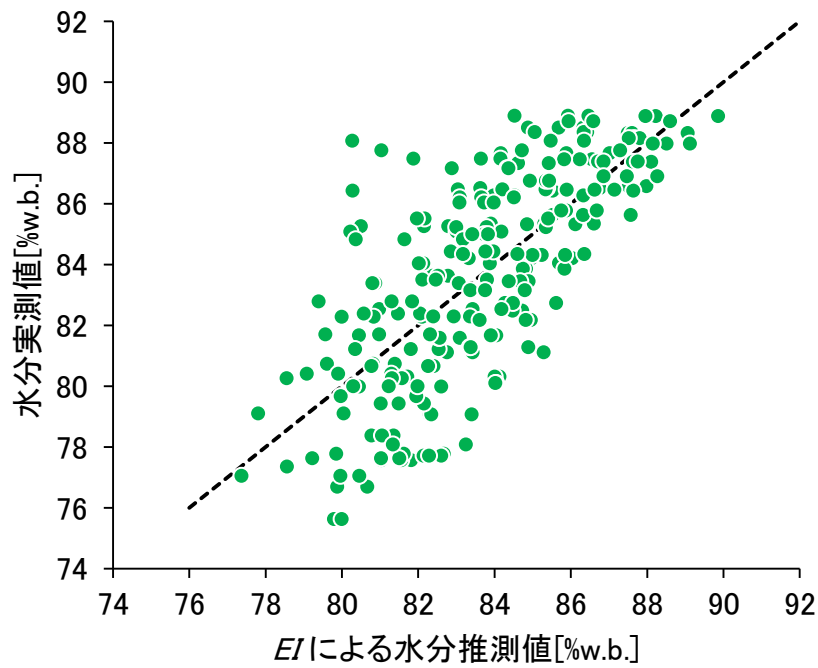


図 19 曲げ剛性による水分推測値と水分実測値の関係

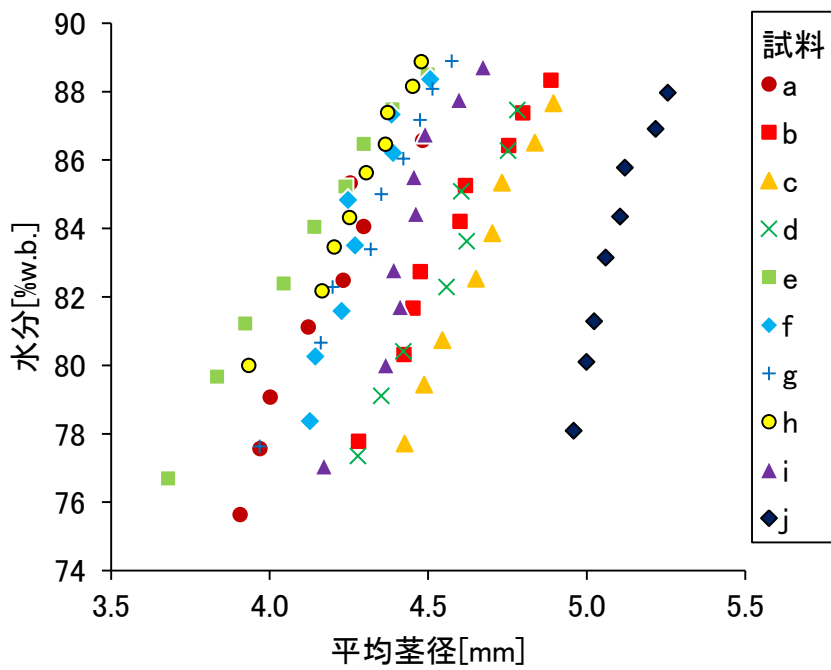


図 20 試料毎の平均茎径と水分の関係

(b) ΔP_{\max} について

ΔP_{\max} の経時変化を図 21 に示した。 ΔP_{\max} の値も時間の経過とともに減少することが確認された。そこで、図 22 に示すように ΔP_{\max} と水分の関係を求めた。 ΔP_{\max} の対数近似による相関係数は 0.809 となり P_{dm} 、曲げ剛性の場合よりも高い相関が認められた。また、 ΔP_{\max} より求めた推測水分と炉乾法により求めた実測水分の関係を図 23 に示した。両者の相関係数は 0.809 となり高い相関を示し、推測値の RMSD は 1.996%w. b. となった。すなわち、 P_{dm} 、曲げ剛性と比べ、 ΔP_{\max} より求めた水分の方が炉乾法による実測水分との差を小さくできた。したがって、 ΔP_{\max} は荷重や曲げ剛性と比べて茎の水分推定に有効な特徴量となる可能性があると考えられた。

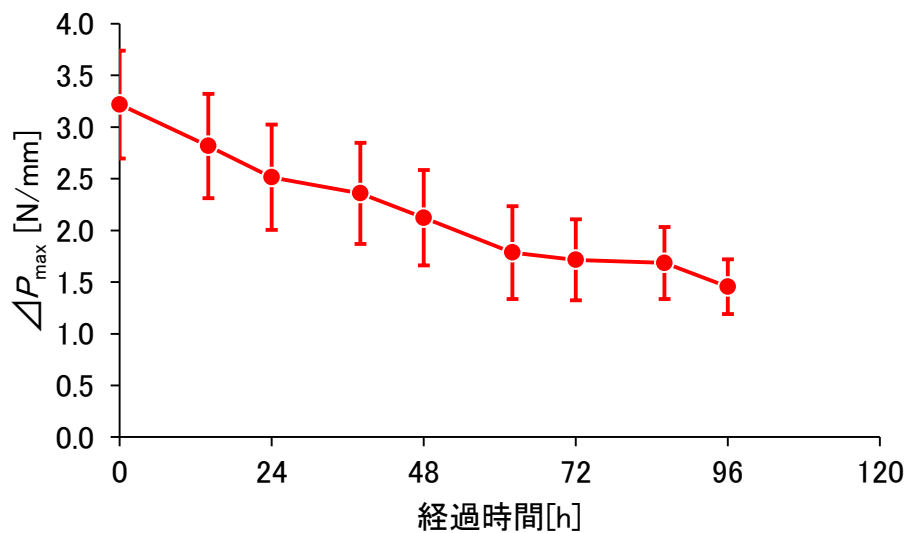


図 21 ΔP_{\max} の経時変化(平均値±標準偏差)

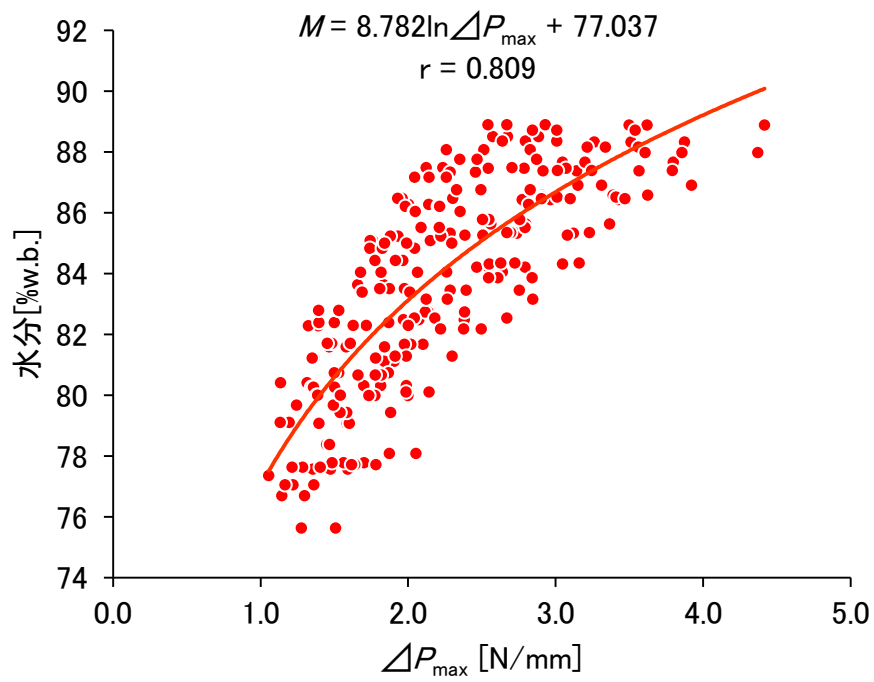


図 22 ΔP_{\max} と水分の関係

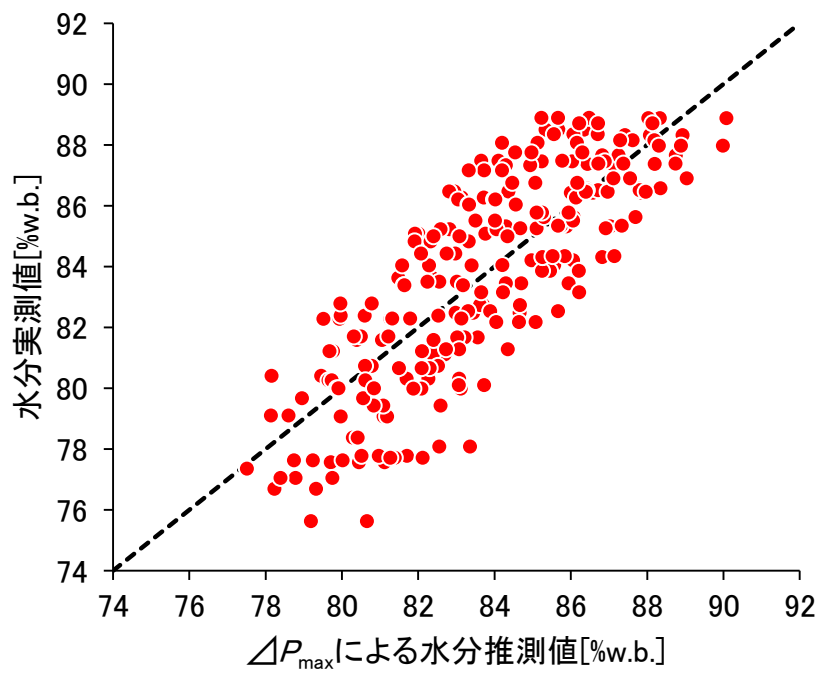


図 23 ΔP_{\max} による水分推測値と水分実測値の関係

(4) 摘要

水分を指標とした流通過程でのバラ切り花の非破壊品質評価法を将来において確立するため、まず本研究では花首付近から切り取った茎を用いて破壊測定による曲げ試験を行い、茎の力学特性値と水分の関係を検討した結果、以下の結論を得た。

1) 茎の水分が減少し萎れることにより曲げ荷重、曲げ剛性の値が小さくなった。それらの関係を対数近似式で求め、曲げ荷重と曲げ剛性それぞれから 2.2 と 2.3%w. b. の RMSD で水分を推測することができた。

2) 茎のたわみに対する曲げ荷重の最大変化率 ΔP_{\max} が水分の減少で小さくなった。 ΔP_{\max} による水分推定式は曲げ荷重や曲げ剛性よりも小さい RMSD (2.0%w. b.) でバラ切り花の茎の水分を推測できた。

この結果から茎の力学特性値による水分推定の可能性が示唆された。今後、非破壊での測定法を確立することで簡易的な水分測定が可能となり、流通過程などでリアルタイムでの水管理につながると期待できる。

2. 推定式の汎用化の検討

(1) はじめに

同一試料を使って、輸送条件の違いなどによる切り花の水管理の向上や、栽培中の切り花の水管理などにも有効となりうる評価方法として、切り花の茎の力学的特性に着目し簡易的かつ定量的にしおれを数値化することで新たな客観的な非破壊品質評価方法の確立を目指し、力学特性値として茎の曲げ特性と水分の関係について実験を行った(川上・坂口, 2010)。水管理が重要となるバラ切り花を用いて非破壊品質評価法を確立するため、切り取った茎を用いて破壊測定による予備的な曲げ試験を行い、茎の力学特性値による水分推定が可能であることが分かった。単一栽培時期の試料のみを用いて水分推定式を作成したため、年間を通して市場に流通しているバラ切り花の品質評価法としては不十分と考えた。

本研究では特定の試料だけでなく、汎用的な水分推定を目指すため、栽培時期の異なる複

数のバラ切り花を用いて茎の力学特性値による水分推定の可能性について検討した。

(2) 材料及び方法

a 実験材料

静岡県三島市で栽培したスイートアバランチエ+ ‘*Sweet Avalanche*’ を供試材料とした。特定の栽培期間のみに対応するのではなく幅広い栽培期間に対応する推定式を作成するため、2008 年 9 月から 2010 年 2 月までの 3 年間に栽培された切り花から任意の 3 つの試料を用いた。2008 年 9 月に収穫された試料Ⅰ、2009 年 10 月に収穫された試料Ⅱ、2010 年 2 月に収穫された試料Ⅲを推定式作成用にそれぞれ 60、51、60 本、推定式作成に用いた試料とは別の試料を作成した推定式の評価用としてそれぞれ 30、25、30 本を用いて実験を行った。各実験材料の水分、茎径の平均値を表 3 に示す。試料ⅠとⅡ、Ⅲの間にそれぞれ有意差 1%で差が認められ、試料Ⅰの水分が他よりも高く茎径も太かった。

実験期間中の試料は水分を徐々に減少させるため 20℃で保蔵した。

表 3 実験試料 (平均値±標準偏差)

	水分[%w.b.]	茎径[mm]
試料Ⅰ	83.10 ±3.97 ^z	4.49 ±0.32 ^z
試料Ⅱ	79.74 ±4.52 ^y	4.01 ±0.30 ^y
試料Ⅲ	78.66 ±4.05 ^y	4.08 ±0.38 ^y

異なるアルファベットは多重検定により1%水準で有意差があることを示す

b 実験方法

試料Ⅰ～Ⅲに対して前節と同様に図 24 に示す手順で測定を行いデータを蓄積した。茎径の測定を行い、スパン 50mm で試料の中央部分を載荷点とし、縦横兼用電動スタンド (MODEL-2257 : アイコーエンジニアリング(株)製) にデジタルプッシュプルゲージ (RX-1 : アイコーエンジニアリング(株)製) を用いてテストスピードを 10mm/min で曲げ強さを測定した。測定の様子を図 25 に示す。曲げ強さの測定は、同一箇所を 3 回繰り返し測定した。茎径

の測定は、試料の載荷点をノギスにより 4 方向から測定して、その平均値を求めた。曲げ強さ測定後ただちに新鮮質量の測定を行い炉乾法により水分を測定した。

各試料について測定したデータを用いて図 26 に示すように試料Ⅰ～Ⅲの評価用データを用いて作成した推定式の評価を行った。

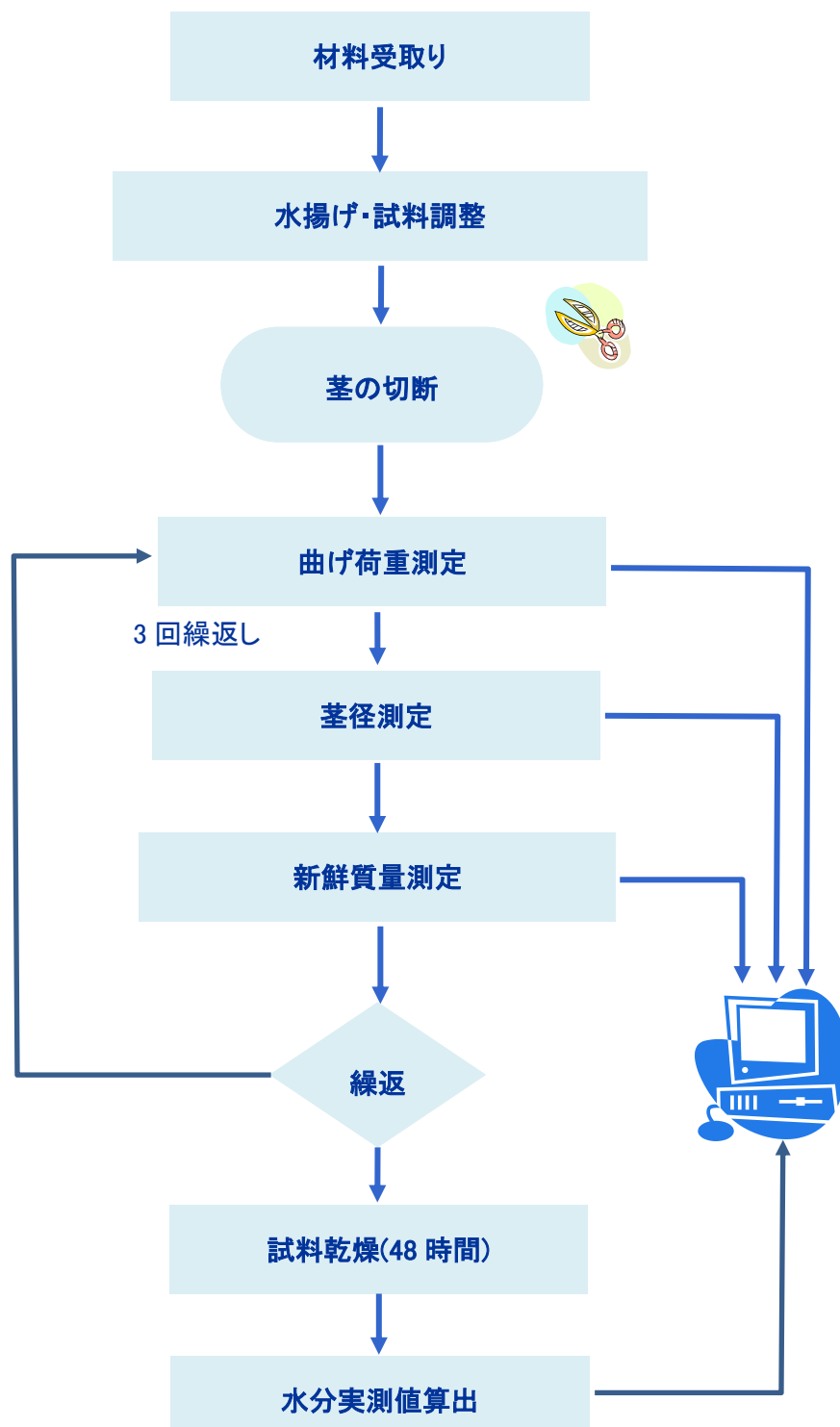


図 24 実験手順



図 25 茎の曲げ強さ測定の様子

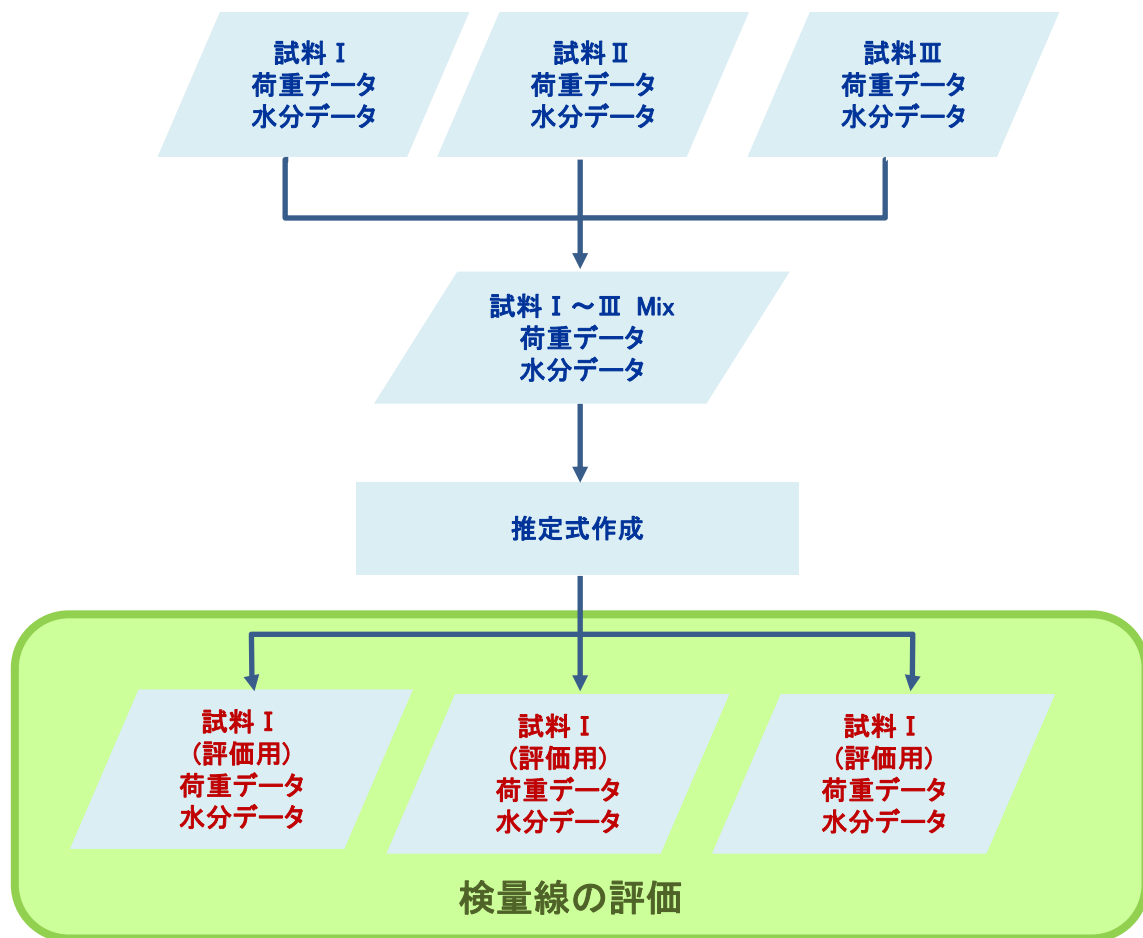


図 26 推定式の評価手順

(3) 結果及び考察

a. 水分推定式の汎用性の評価

前節で茎のたわみに対する曲げ強さの最大変化率 ΔP_{\max} を用いて作成した水分推定式(2)について、茎の水分測定の可能性を確認することができた。

$$M = 8.782 \cdot \ln \Delta P_{\max} + 77.037 \quad (2)$$

ただし、M:水分[%w. b.]

ΔP_{\max} : 茎のたわみに対する曲げ強さの最大変化率[N/mm]

ここでは、評価用試料 I ~ IIIを用いて作成した水分推定式(2)の評価を行った。推定水分と

実測水分の関係を図 27 に示し、相関係数と平均二乗偏差(RMSD)を表 4 に示した。

(2)式作成時とほぼ同じ時期に栽培された試料Ⅰを用いた場合、推測水分と実測水分の相関係数は、推定式作成時と比べてほぼ等しい値となった。RMSD はやや大きくなったが、実測水分と推定水分の差に推定式作成時との差は危険率 5%では認められなかったもので、推定式(2)は同時期の試料に対して水分推定ができると判断した。

次に、栽培時期の異なる試料Ⅱ,Ⅲを用いた場合は推定式作成時と比べて相関係数の値も低く、RMSD が 2 倍以上も大きくなり、実測水分と推定水分の差は、推定式作成時と比べて危険率 1%で差が認められ誤差が大きくなった。

さらに、試料Ⅰ～Ⅲすべて合わせた場合では、推定水分と実測水分の相関は推定式を作成した時と比べて低くなり RMSD は大きくなった。実測水分と推定水分の差も、推定式作成時と比べて危険率 1%で差が認められ誤差が大きくなった。

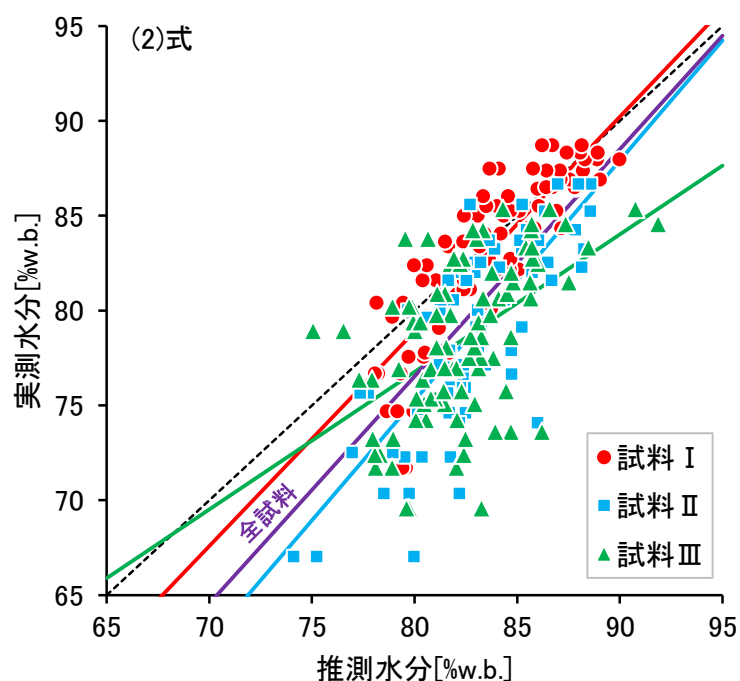


図 27 (2)式による推定水分と実測水分の関係

表 4 水分推定式(2)の評価結果

		(2)式
推測式作成時	相関係数	0.809
	RMSD	1.996
試料Ⅰ	相関係数	0.836
	RMSD	2.435
試料Ⅱ	相関係数	0.759
	RMSD	4.855
試料Ⅲ	相関係数	0.515
	RMSD	5.321
全試料	相関係数	0.692
	RMSD	4.472

以上のことから推定式(2)は同時期の試料に対しては水分の推定が可能であるが、栽培時期の異なる試料に対しては、推定水分の誤差が大きく、水分推定式としては汎用性に欠けると判断した。

b. 汎用的な推定式の作成

(a) 汎用推定式の作成

新たに汎用的な水分推定式を目指して、推定式作成用試料Ⅰ～Ⅲを用いて(3)、(4)式を作成した。(3)式は前節で水分との相関がみられた $\angle P_{\max}$ を説明変数として(2)式と同様に作成した。(4)式は $\angle P_{\max}$ に加えて、単一試料では水分との相関がみられた平均茎径 ϕ [mm] (川上, 坂口, 2010)も説明変数として重回帰分析により作成した。

$$M = 9.359 \cdot \ln \Delta P_{max} + 74.689 \quad (3)$$

$$M = 4.555 \cdot \ln \Delta P_{max} + 5.836 \cdot \phi + 53.052 \quad (4)$$

ただし、M:水分[%w. b.]

ΔP_{max} : 茎のたわみに対する曲げ強さの最大変化率[N/mm]

ϕ : 平均茎径[mm]

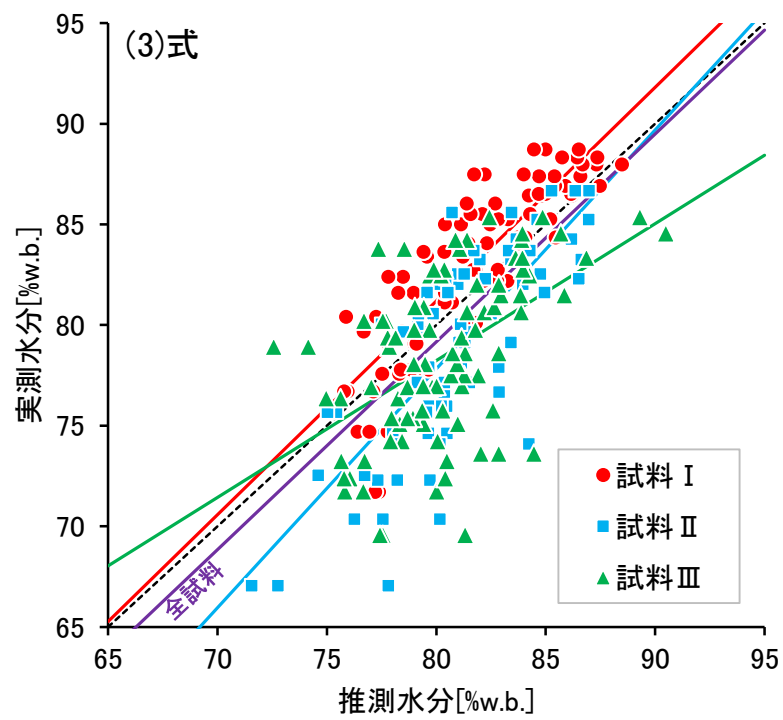
(3)式の作成時の水分推測値と実測値の相関係数は0.744、RMSDは2.827%w. b.、(4)式作成時の相関係数は0.816、RMSDは2.573%w. b.となった。

(b) 推定式の汎用性の評価

評価用試料を用いて推定式(3)、(4)の評価を行い(2)式との比較を表5と図28に示した。まず、表5に示す(2)式と(3)式を比較すると、Ⅰ～Ⅲの全試料に対しては、相関係数は等しかったがRMSDは(3)式の方が小さくなった。試料Ⅰだけを用いて評価をした場合、(2)式と(3)式では相関係数は等しく、RMSDに差は認められなかった。試料Ⅱ、Ⅲを用いた場合は、(2)式と(3)式では相関係数は等しくRMSDに差が認められ栽培時期の異なる複数の試料を用いて推定式を作成した(3)式の方が小さく、単一栽培時期の試料により作成した(2)式に比べて汎用性が認められた。しかし、試料ⅢではRMSDが4%w. b.を超えてしまった。そこで、図28に示した全試料と試料Ⅰ～Ⅲの4つの場合について推測水分と実測水分の回帰係数を検定した結果を表6に示した。その結果、(3)式では試料Ⅲに対して危険率1%で $Y=X$ とみなすことができなかった。

表 5 推定式の汎用性の評価結果

		(2)式	(3)式	(4)式
全試料	相関係数	0.692	0.692	0.813
	RMSD	4.472	3.872	2.824
試料Ⅰ	相関係数	0.836	0.836	0.822
	RMSD	2.435	2.655	2.451
試料Ⅱ	相関係数	0.759	0.759	0.852
	RMSD	5.195	3.870	2.704
試料Ⅲ	相関係数	0.515	0.515	0.687
	RMSD	5.321	4.137	3.238



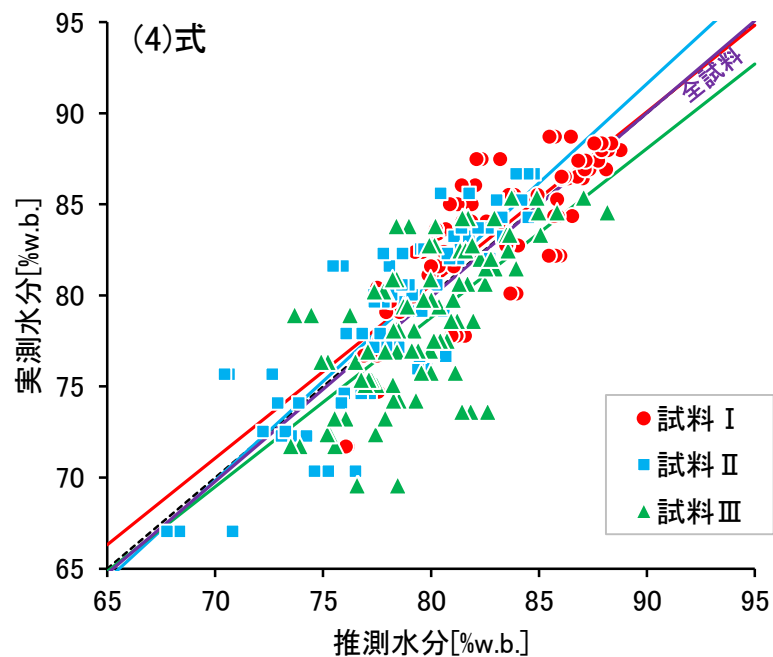


図 28 汎用推定式の評価結果

表 6 各試料での回帰係数の検定

		全試料	試料 I	試料 II	試料 III
(3)式	傾き	1.033	1.062	1.187	0.681 ^x
	切片	-3.467	-3.757	-17.150	23.788 ^w
(4)式	傾き	1.011	0.951	1.089	0.928
	切片	-1.001	4.501	-6.363	4.531

x:傾きは危険率 1%で 1 と認められない。切片は危険率 1%で 0 と認められない。
w:傾きは危険率 5%で 1 と認められない。切片は危険率 5%で 0 と認められない。

次に、表 5 に示す(4)式を(2)，(3)式と比較すると、I～IIIの全試料に対しては、相関係数は(4)式の方が大きく、RMSD は(4)式の方が小さくなった。試料 I については(2)，(3)式と(4)

式について相関係数と RMSD に差は認められなかったが、試料Ⅱ，Ⅲについては(4)式の方が相関係数は大きく RMSD は小さかった。さらに、図 28 に示した全試料と試料Ⅰ～Ⅲの 4 つの場合について、推測水分と実測水分の回帰係数について検定した結果を示した表 6 より、(4)式はすべての試料について $Y=X$ とみなすことができた。

今回使用した試料は表 3 に示したように栽培時期が異なった試料間の平均茎径に差がみられたため、推定式の説明変数に茎径を加えることが適合しやすくなった原因の一つと考えられる。

(4) 摘要

以上のことから、複数の試料を用いて $\angle P_{\max}$ を説明変数として推定式を作成することで、汎用的な推定式を作成することができた。さらに、説明変数として $\angle P_{\max}$ と平均茎径を用いて重回帰分析により推定式を作ることで、より汎用的な水分推定式を作成することができた。

3. まとめ

バラ切り花の非破壊水分推定式を作成することを目指し、試料として茎を切り出して曲げ荷重を測定することでバラ切り花の茎の水分推定式を作成した。

その結果、説明変数として $\angle P_{\max}$ を用い、3 種類の異なる栽培時期の試料で推定式を作成することで、単一栽培時期の試料による推定式と比べて汎用性のある推定式を作成することができた。

さらに、説明変数に平均茎径を加えて重回帰分析により推定式を作ることで $\angle P_{\max}$ だけを用いたときより汎用的な水分推定式を作成することができた。

Ⅲ 非破壊水分推定式の検討

1. 非破壊推定式の検討

(1) はじめに

Ⅱ章で述べたように切り花の茎の力学的特性に着目して簡易的かつ定量的にしおれを数値化することで客観的な品質評価方法の確立を目指し、力学特性値として茎の曲げ特性と水分の関係について実験を行った。切り取った茎を用いて破壊測定による曲げ試験を行い、茎の力学特性値による水分推定が可能であることが分かった。

そこで、本研究では水管理が重要となるバラ切り花を用いて非破壊品質評価法を確立するため、茎の曲げ荷重を非破壊で測定することにより非破壊水分測定を可能にし、同一試料での水分の経時変化を簡易的な方法で推定することを目的として実験を行った。

(2) 実験材料及び方法

a. 実験材料

静岡県三島市で2012年9月と10月に収穫したスイートアバランチエ+ ‘Sweet Avalanche’ を供試材料とし、85本を東京都中央卸売市場世田谷市場を経由して入手した。

実験期間中の試料は水分を徐々に減少させるため室温で保蔵した。

b. 実験方法

試料の測定は破壊測定を行ったⅡ章と同様に、図29に示す手順で茎径の測定を行い、スパン40mmで試料の中央部分を載荷点とし、縦横兼用電動スタンド(MODEL-2257:アイコーエンジニアリング(株)製)にデジタルプッシュプルゲージ(RX-1:アイコーエンジニアリング(株)製)を用いてテストスピードを10mm/minで曲げ荷重を加え、たわみ約0.016mm毎に曲げ荷重を記録した。

測定の様子を図30に示す。図31に示す花首の下を曲げ荷重測定部位とし、同一箇所を3回繰り返し測定した。茎径の測定は、試料の載荷点をノギスにより4方向から測定して、その平均値を求めた。推定式作成用試料は、曲げ荷重測定後ただちに新鮮質量の測定を行い炉乾法により湿量基準[%w. b.]で水分を測定した。

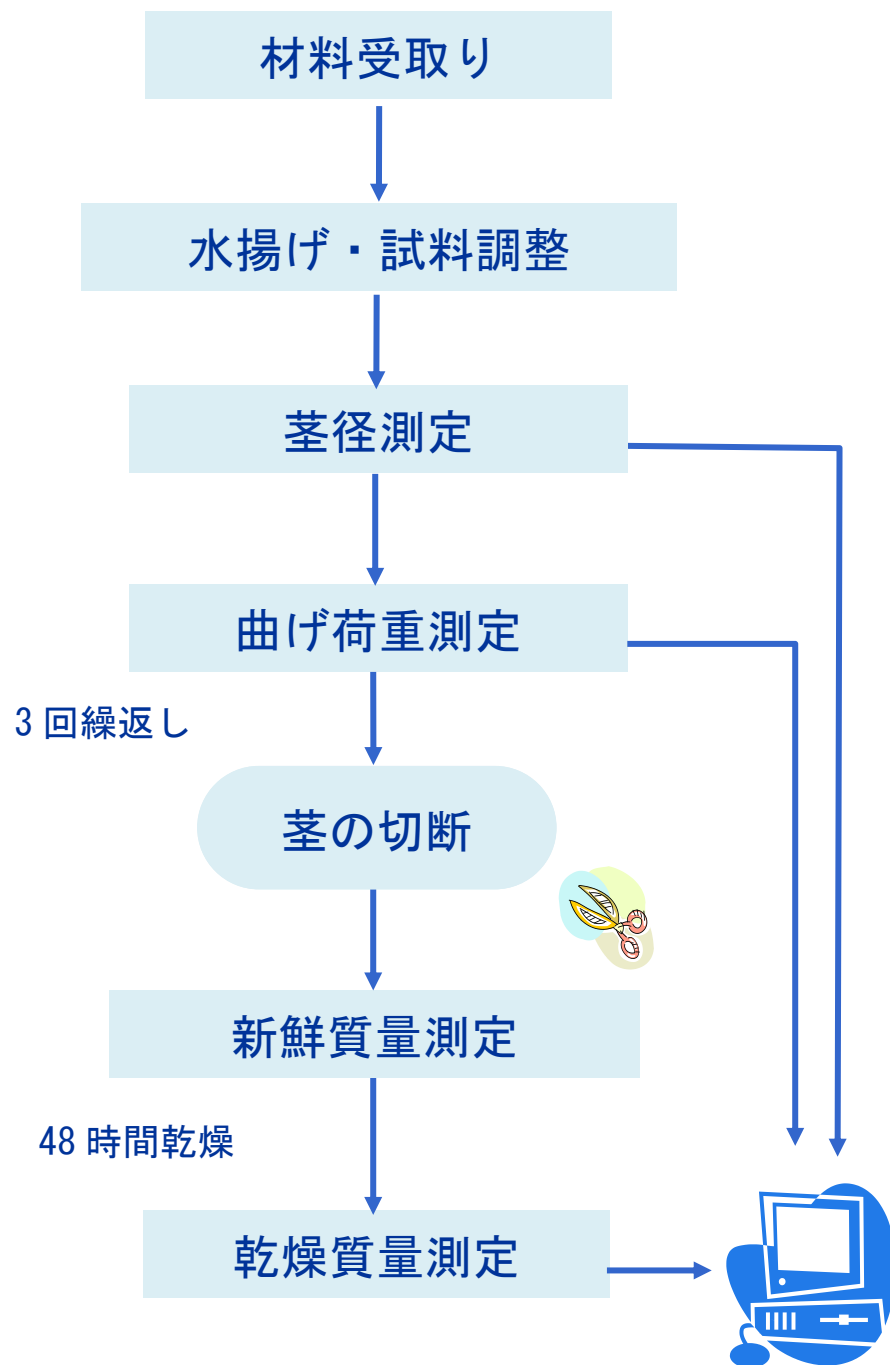
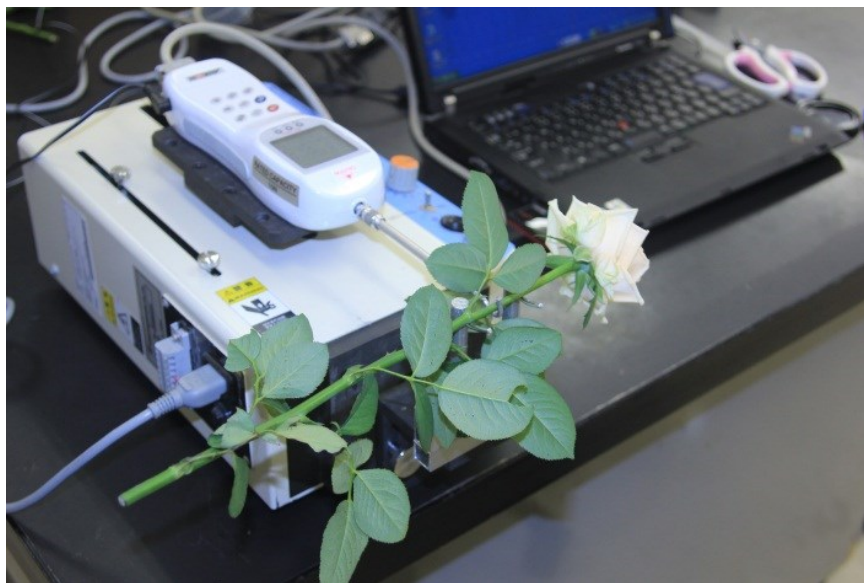
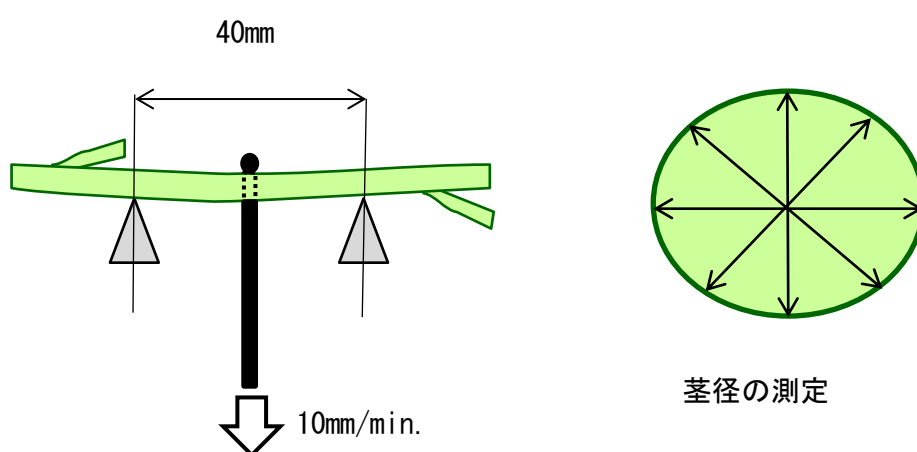


図 29 実験手順



(a) 測定の様子



(b) 測定の概略図

図 30 曲げ荷重測定の様子と測定の概略図



図 31 曲げ荷重測定部位

c. 茎の曲げ荷重特徴量の解析方法

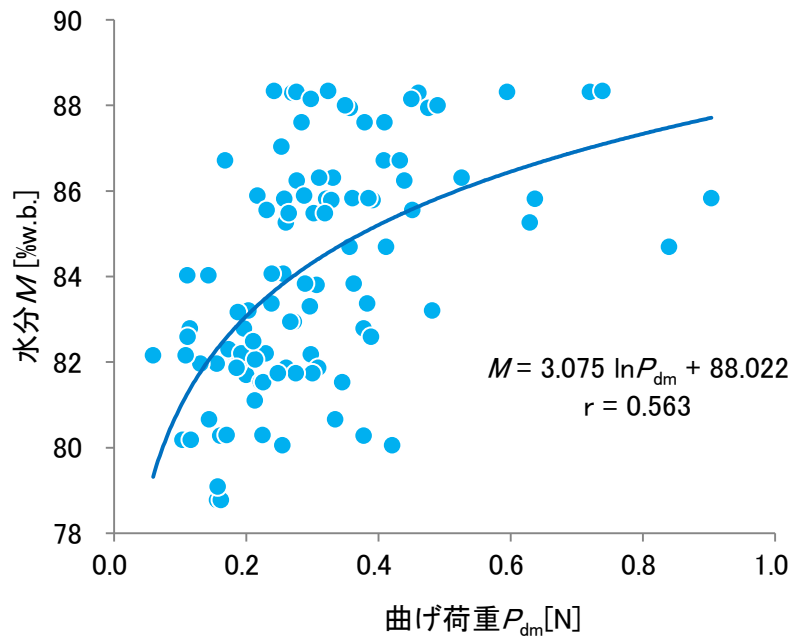
Ⅱ章と同様に力学特性曲線の特徴量として、たわみ d に対する曲げ荷重の変化率 $\angle P[\text{N/mm}]$ を考えた。図 13 に示した曲げ荷重曲線(a)に対して $\angle P$ は曲線(b)のように最大値 $\angle P_{\max}$ を持つ変化を示した。このため、 $\angle P_{\max}$ に対する曲げ荷重を P_{dm} としてそれぞれ曲げ荷重特性の 1 つの特徴量として解析に用いた。

(3) 結果及び考察

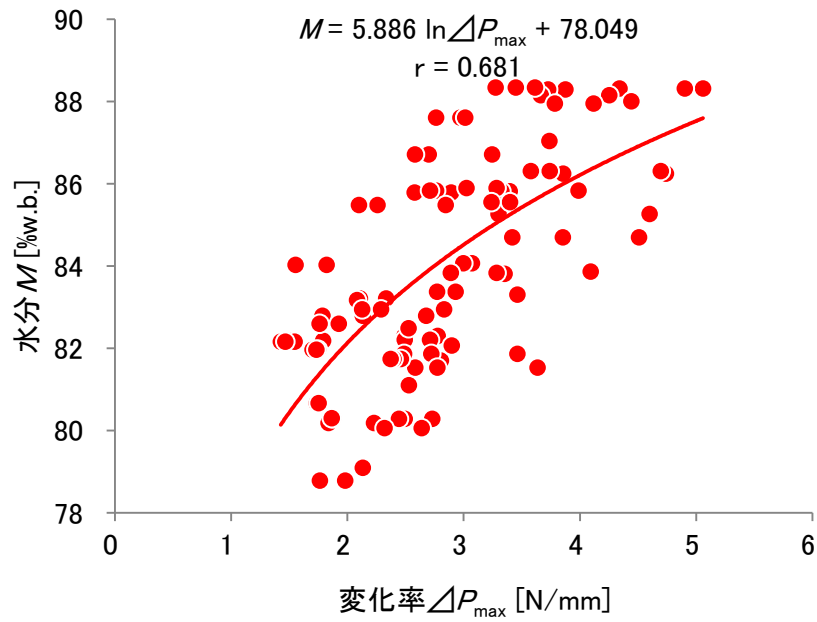
a. 非破壊水分推定式の作成

試料の茎の曲げ荷重を測定し 50 本の試料から測定ミスを除いた 107 個のデータを用いて水分推定式を検討した。使用した試料の水分は、78.7～88.3%w. b. であった。

図 32 に P_{dm} および $\angle P_{\max}$ と水分の関係を示す。 P_{dm} および $\angle P_{\max}$ が減少すると水分も低くなる傾向がみられ、 P_{dm} と水分の関係は相関係数 0.563、 $\angle P_{\max}$ と水分の関係は相関係数 0.681 となりそれぞれ正の相関がみられた。



(a) 曲げ荷重と水分の関係



(b) 変化率と水分の関係

図 32 力学特性値と水分の関係

Ⅱ章および過去の実験(川上他, 2003, 2009ab, 2010, 2013)で有意性が得られた推定式の作成方法を参考に P_{dm} 、 ΔP_{max} および各試料の平均茎径を用いて(5)～(8)の水分推定式を作成した。

$$M = 3.075 \ln P_{dm} + 88.022 \quad (5)$$

$$M = 5.886 \ln \Delta P_{max} + 78.049 \quad (6)$$

$$M = 1.449 \ln P_{dm} + 2.867 \phi + 74.888 \quad (7)$$

$$M = 3.785 \ln \Delta P_{max} + 1.635 \phi + 73.897 \quad (8)$$

ただし、 M : 水分推定値[%w. b.]

P_{dm} : ΔP_{max} に対する曲げ荷重[N]

ΔP_{max} : たわみに対する曲げ荷重の変化率最大値[N/mm]

ϕ : 平均茎径[mm]

式(5)～(8)とも分散分析表より 1%で有意性が認められた。 P_{dm} を用いた式(5)は水分実測値と推定値の相関係数は 0.563、実測値と推定値の RMSD は 2.184%w. b.、 ΔP_{max} を用いた式(6)は水分実測値と推定値の相関係数は 0.681、RMSD が 1.933%w. b.、 P_{dm} と平均茎径を用いた式(7)は水分実測値と推定値の相関係数は 0.692、RMSD が 1.906%w. b.、 ΔP_{max} と平均茎径を用いた式(8)は水分実測値と推定値の相関係数は 0.698、RMSD が 1.919%w. b. となり平均茎径を説明変数に加えることで推定式の精度を上げることができた。式(5)～(8)で用いた説明変数は 5%で有意性が認められた。

茎の曲げ荷重を非破壊で測定しても、荷重測定誤差を減らすため茎を切り取って曲げ荷重を測定したⅡ章の結果と同様に相関係数に有意性が認められ RMSD は 2%w. b. 前後の値が得られた。茎に花や葉が付いた状態で曲げ荷重測定を行っても水分の推定式の説明変数として用いることができ、非破壊による水分推定のための推定式を作ることができた。

b. 非破壊水分推定式の評価

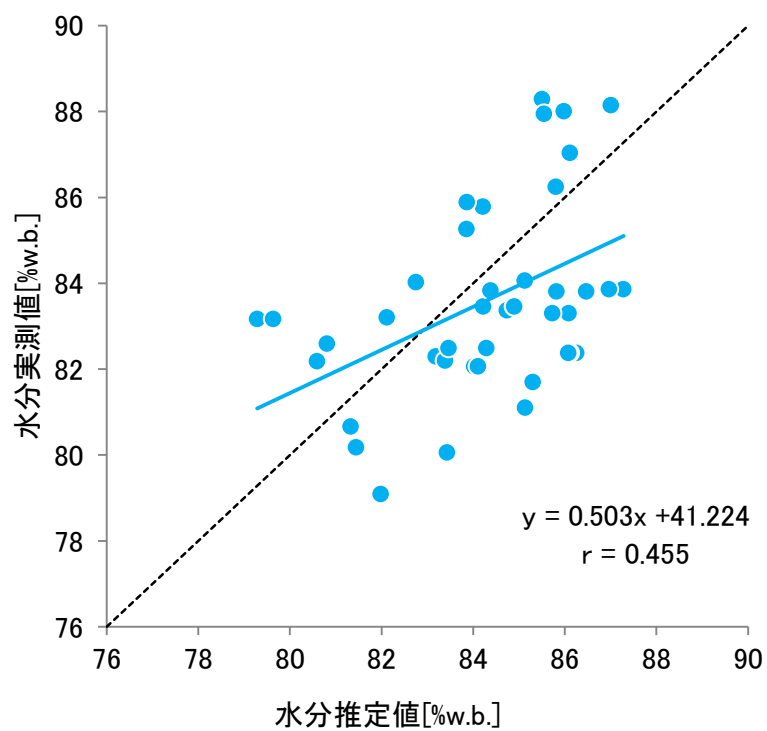
式(5)、(6)と比べて推定式作成時の相関係数が大きく RMSD の小さかった式(7)、(8)について、推定式作成時とは別の 35 本から測定した 43 個のデータを用いて、推定式の評価を

した。評価項目として、非破壊測定法の推定式の評価に一般的に用いられる相関係数および RMSD と推定式の偏りを評価する回帰係数の検定について取り上げた(岩元他, 1994)。

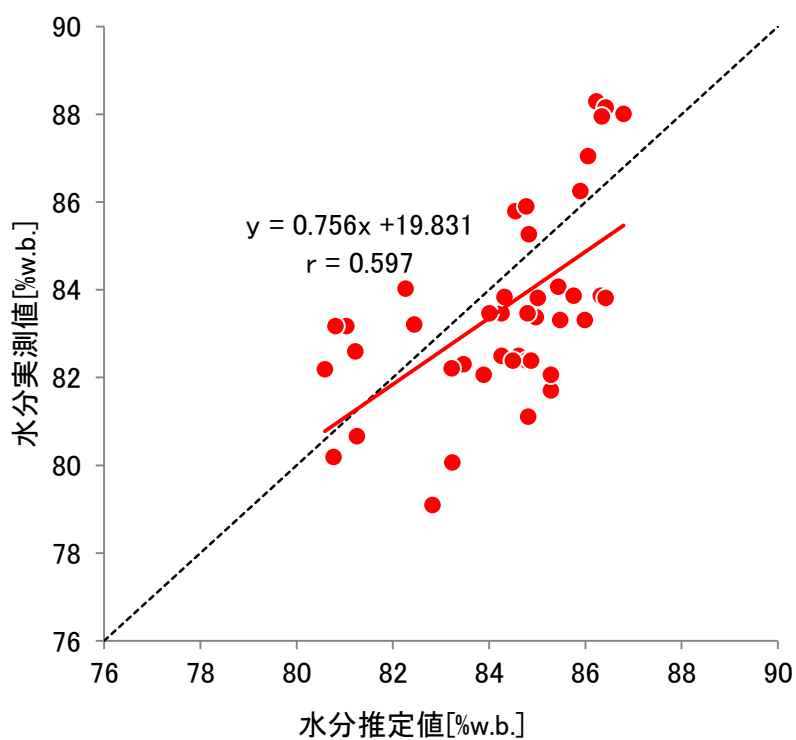
式(7)、(8)から求めた水分推定値と水分実測値の関係を図 33 に示す。説明変数に P_{dm} と平均茎径を用いた式(7)の推定値と実測値の相関係数は 0.455、RMSD は 2.301%w. b.、説明変数に $\angle P_{max}$ と平均茎径を用いた式(8)の相関係数は 0.597、RMSD は 1.951%w. b. となり、推定式作成時と比べるとどちらも相関係数は低くなったが、検定の結果有意水準 5%でいずれも相関は認められた。RMSD は(7)、(8)式とも増加したが(8)式の方が小さく抑えることができた。

また、式(7)は回帰式の係数の検定(岩元他, 1994)より、有意水準 5%で傾き 1、切片 0 とみなすことができなかった。図 33(a)より式(7)では傾きが 1 とみなせないため水分が高い場合は水分推定値を実際よりも高く、水分が低い場合は低く示す傾向があり推定値に偏りを生じさせることが予想され推定式として好ましいとは言えない。また、切片が 0 とみなせず、水分実測値と推定値の差の合計より推定値の方が大きくなる傾向が認められた。

図 33(b)に示す式(8)については、それらは認められず、RMSD も式(7)より小さく推定精度が高い推定式となった。



(a) 式(7)による水分推定値と実測値



(b) 式(8)による水分推定値と実測値

図 33 水分推定式の評価

(4) 摘要

以上の結果より、 $\angle P_{\max}$ と平均茎径を説明変数として回帰式を作り非破壊測定による水分推定が可能となると判断した。このような方法で、さらに試料を増やして推定式を作成することで汎用的な推定式が得られると考える。

2. 推定式による水分の経時変化

(1) はじめに

バラ切り花の茎の曲げ荷重を測定することで、非破壊で茎の水分を推定できることが確認できたため、観賞期間中のバラ切り花の水分の経時変化を測定する実験を行った。

従来は、同一試料の水分を直接測定することは困難で過去の事例はほとんどない。同一試料の水分の経時変化の測定が可能になれば、定量的に流通過程における萎れの評価をすることができ、輸送形態の評価や花持ち試験の評価につながると期待できる。

(2) 実験材料及び方法

a. 実験材料

静岡県三島市で 2012 年 10 月に収穫したスイートアバランチ[®] ‘*Sweet Avalanche*’ を供試材料とし、東京都中央卸売市場世田谷市場を経由して入手した。

b. 実験方法

試料を 1 本ずつトールビーカーに入れ約 400ml の水道水に活け、室内で保蔵した。温度、湿度は成り行きとした。

図 34 に示す測定の概要に従って、1 日に 1 回、試料の花首の下の曲げ荷重載荷点の茎径を 4 方向から測定し、その後、曲げ荷重を測定した。これを 11 日間繰り返して、測定結果を推定式(8)に代入して水分の推定を行った。

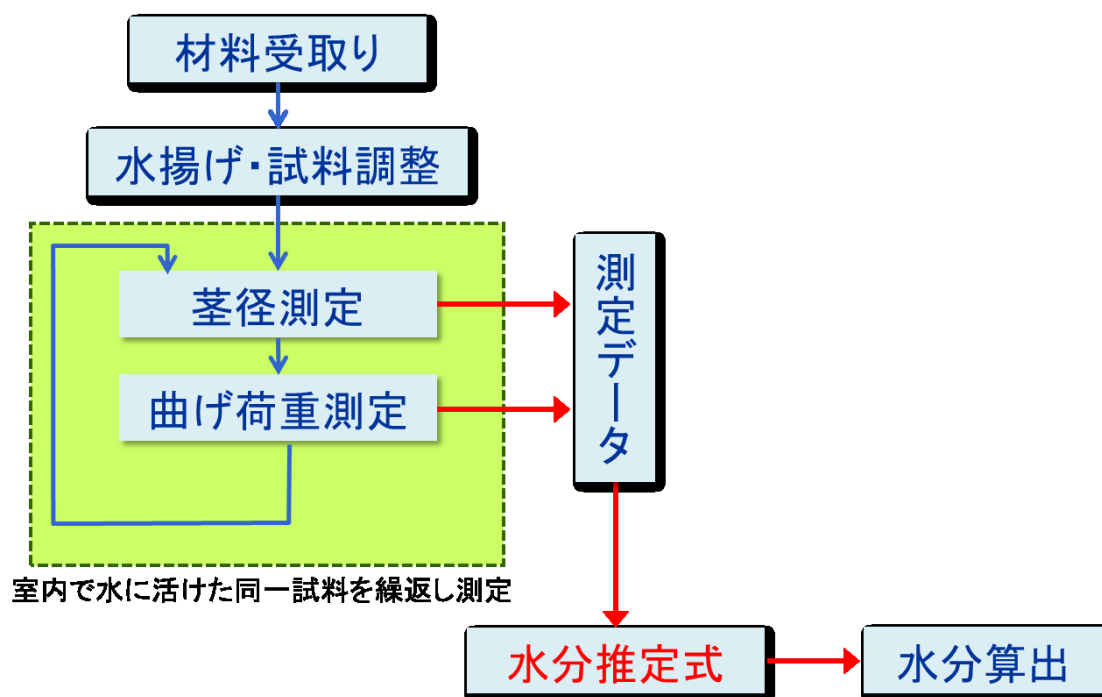


図 34 非破壊水分測定の概要

(3) 実験結果および考察

a. 外観の変化

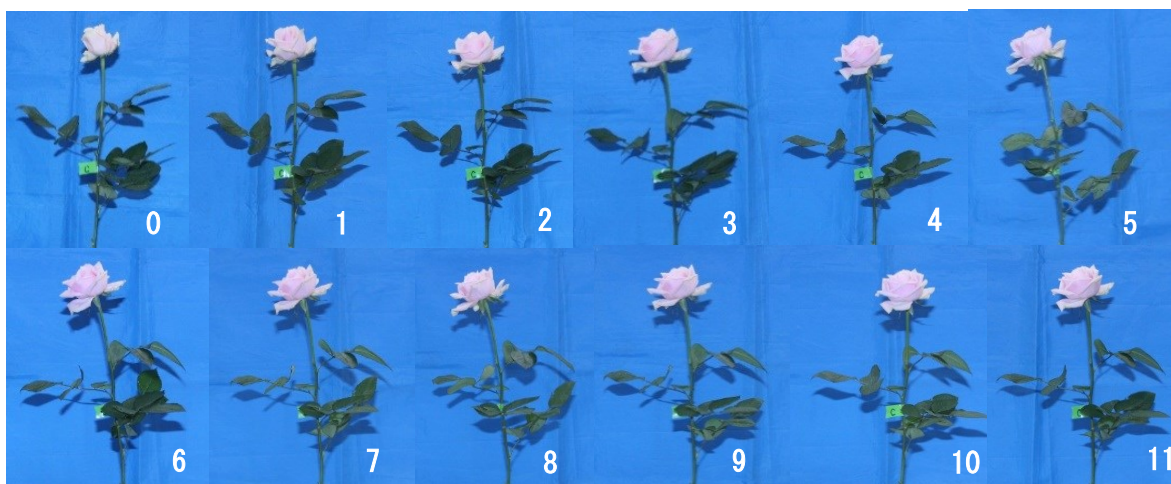
3本の試料 i ～ iii について、外観の様子を図 35 に示す。

試料 i は実験開始後 4 日から葉の萎れが目立ち始め 5 日には明らかに葉が萎れていることが確認できた。また、花卉も日数の経過とともに開き始め、実験開始後 5 日には花卉の外側が垂れ下がり始めたのが確認できた。ベントネックは見られなかった。

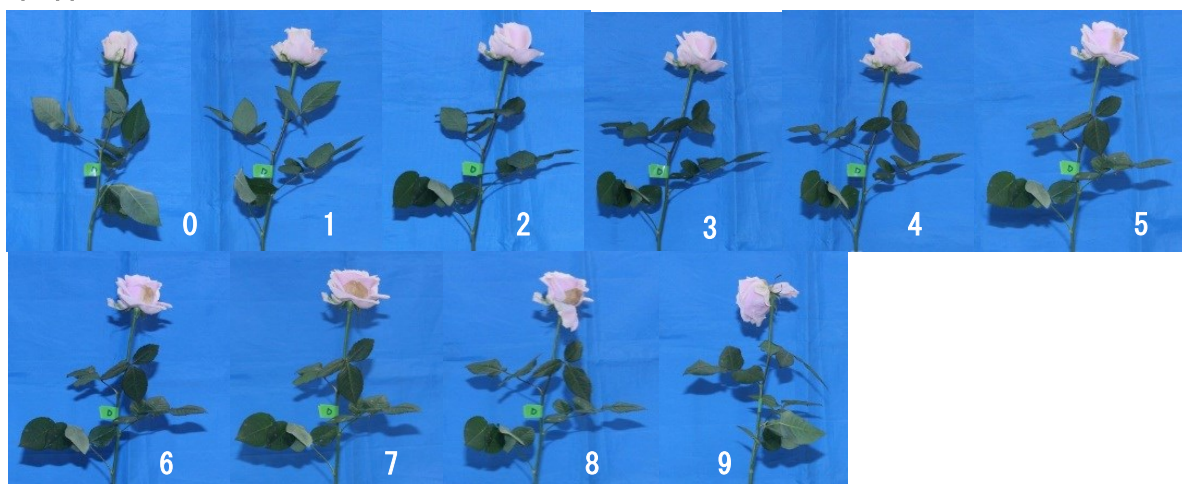
試料 ii については、実験開始後 3 日から花卉の外側が垂れ下がり始め、5 日から花卉に変色が見え始めた。7 日には変色部分も大きくはっきりとなり、8 日には外側の花卉が垂れ下がり、実験開始後 9 日にベントネックが確認でき花首が折れ曲がった。

試料 iii は、実験開始後 11 日まで葉の萎れ、花卉の萎れはほとんど確認できず、試料 i , ii と比べると花持ちはよかった。

試料 i



試料 ii



試料 iii

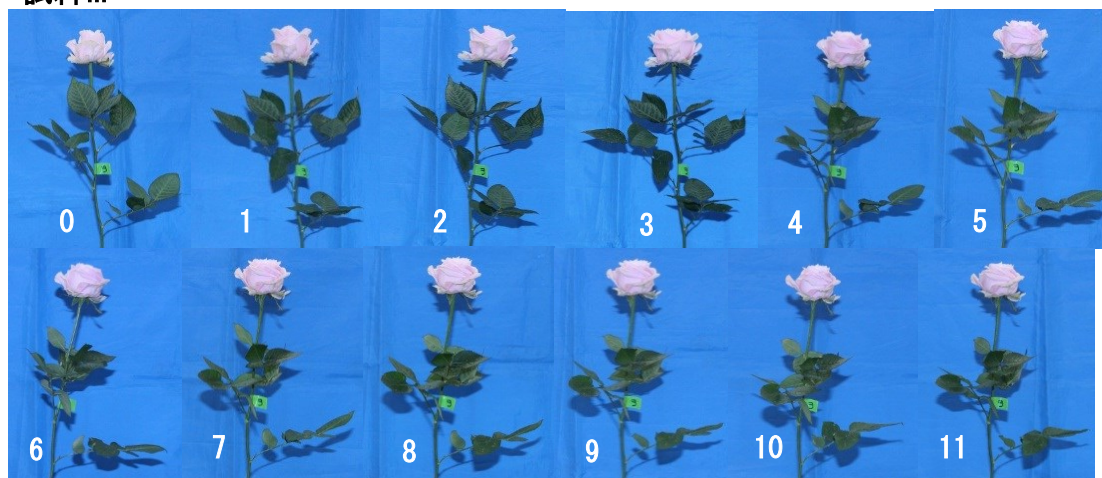


図 35 各試料の外観変化の様子

表 7 にこれらの外観の変化を切り花の日持ち評価レファレンステストマニュアル Ver. 6(日本花普及センター, 2010) の項目に従って判定した結果を示した。試料毎に判定基準に従い A～D の判定を行った結果、試料 i については実験開始後 6 日に C が 2 つ、試料 ii については実験開始後 4 日に C が 2 つ付いたため日持ち期間終了と判定した。

表 7 切り花日持ち評価レファレンステストマニュアルによる外観評価結果

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
試料 i	花卉の萎れ	A	A	A	A	B	C	C	C	C	C	C	C
	花首の萎れ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	開花	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	灰色カビ病	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	ブルーイング	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	花卉の乾燥・変色	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	がく片・葉の黄変	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	その他	A	A	A	A	B	B	C	C	C	C	C	C
試料 ii	花卉の萎れ	A	A	A	B	C	C	C	C	C	C		
	花首の萎れ	A	A	A	A	A	A	A	B	B	D		
	開花	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
	灰色カビ病	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
	ブルーイング	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
	花卉の乾燥・変色	A	A	A	A	A	C	C	D	D	D		
	がく片・葉の黄変	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
	その他	A	A	A	B	C	C	C	C	C	C		
試料 iii	花卉の萎れ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	花首の萎れ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	開花	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	灰色カビ病	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	ブルーイング	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	花卉の乾燥・変色	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	がく片・葉の黄変	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	その他	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B

b. 水分の経時変化

説明変数として $\angle P_{\max}$ と茎径を用いた式(4)を用いて室温で保蔵した 3 本の試料 i～iii の水分の経時変化を推定した結果を図 36 に示す。

試料 i は実験開始後 5 日までは水分はほぼ初期の値を保ち大きな変化はなかったが、6 日

後から減少し、萎れ始めていることが確認できた。試料 ii についても実験開始後 3 日までは初期の水分を保っていたが 4 日後から減少して萎れ始めたことが確認できた。また、試料 iii は実験開始後から 11 日までほぼ初期の水分を保っていることが確認できた。

これらの結果を表 7 に示す外観の評価と比べてみると、試料 i, ii については水分が低下し始めると外観の観賞価値が低下することが分かった。水分が比較的高かった試料 iii については急激な水分低下も見られず観賞価値は維持できていたことが分かった。

いずれも曲げ荷重測定時の茎のたわみ量は 1mm 程度で測定することができるため目視による限りでは、5 日間程度の測定では茎の損傷は認められず、水分の経時変化を表すことができた。

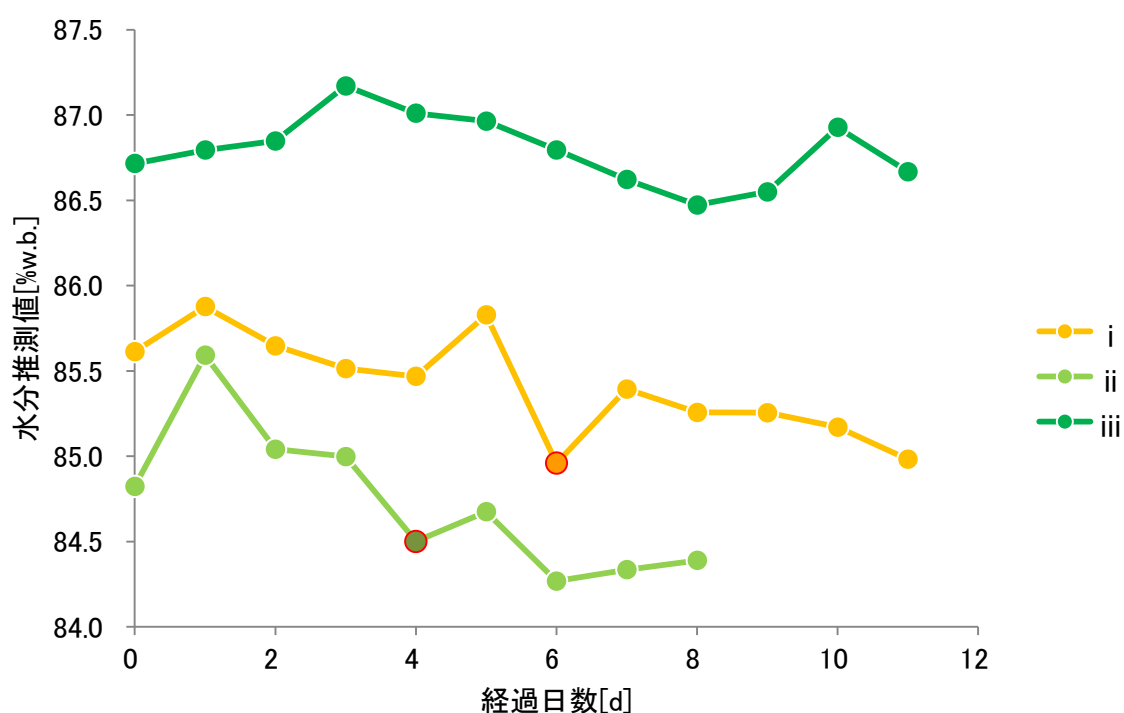


図 36 バラ切り花の茎の水分経時変化

以上のことから、バラ切り花の茎の曲げ荷重を測定することで、同一試料について観賞期間中の水分の経時変化を推定することができ、外観との比較により観賞価値の定量的評価の可能性が示唆された。

3. まとめ

水分を指標とした流通過程でのバラ切り花の非破壊品質評価法を目指し、バラ切り花の茎の曲げ荷重と平均茎径を測定することで簡易的な茎の水分推定式の作成方法を検討した。

その結果、説明変数として曲げ荷重 P_{dm} 、曲げ荷重変化率 $\angle P_{max}$ を用いて非破壊水分推定式を作成することができた。そして、推定式に平均茎径を加えて重回帰式を用いることで推定値の誤差を小さくすることができ、 $\angle P_{max}$ と平均茎径を用いた推定式がより小さい誤差で水分を推定することができた。

さらに、茎の曲げ荷重を測定することで、同一試料について観賞期間中の水分の経時変化を推定することができ、目視による外観の評価との比較により、観賞価値の定量的評価の可能性が示唆された。

IV 結論

本研究では、切り花の流通過程における品質評価技術として、従来の目視を中心とした評価、特別な測定機器を用いた評価にかわる新たな評価方法として実用的であり簡易的な切り花の定量的品質評価方法を検討した。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 茎の水分が減少し萎れることにより曲げ荷重、曲げ剛性の値が小さくなった。それらの関係を対数近似式で求め、曲げ荷重と曲げ剛性それぞれから 2.2 と 2.3%w. b. の RMSD で水分を推測することができた。
- 2) 茎のたわみに対する曲げ荷重の最大変化率 $\angle P_{\max}$ が水分の減少で小さくなった。 $\angle P_{\max}$ による水分推定式は曲げ荷重や曲げ剛性よりも小さい RMSD (2.0%w. b.) でバラ切り花の茎の水分を推測でき、茎の力学特性値による水分推定の可能性が示唆された。
- 3) 説明変数として $\angle P_{\max}$ を用い、3 種類の異なる栽培時期の試料で推定式を作成することで、単一栽培時期の試料による推定式と比べて汎用性のある推定式を作成することができた。
- 4) 説明変数に平均茎径を加えて重回帰分析により推定式を作ることで $\angle P_{\max}$ だけを用いたときより汎用的な水分推定式を作成することができた。
- 5) 説明変数として曲げ荷重 P_{dm} 、曲げ荷重変化率 $\angle P_{\max}$ を選び、水分 78.7~88.3%w. b. の範囲の試料を用いて非破壊水分推定式を作成することができた。そして、推定式に平均茎径を加えて重回帰式を用いることで推定値の誤差を小さくすることができ、 $\angle P_{\max}$ と平均茎径を用いた推定式がより小さい誤差で水分を推定することができた。
- 6) 茎の曲げ荷重を測定することで、同一試料について観賞期間中の水分の経時変化を推定することができ、目視による外観の評価との比較により、観賞価値の定量的評価の可能性が示唆された。

以上のことから流通過程で用いる新たな品質評価方法として、バラ切り花の茎の簡易的な非破壊水分推定法について提案できた。今後、水分の経時変化を基にした花持ち評価方法の開発、測定器の小型化、バラ切り花以外の切り花への応用、などの改善を行うことで輸送条

件の違いなどによる切り花の水管理の向上や、栽培中の切り花の水管理などにも役立つものと期待する。

謝辞

本研究を行うにあたりご指導いただいた東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科 坂口栄一郎教授、田島 淳准教授、農学部伊勢原農場 加藤雅義准教授、短期大学部生物生産技術学科井上知昭教授に感謝いたします。また、測定に協力していただいた東京農業大学地域環境科学部 生産環境工学科 農産プロセス工学研究室の学生の皆さん、実験試料のご提供にご協力いただいた神山バラ園 神山憲嗣氏、(株)世田谷花き 金子敏仁氏に感謝いたします。

参考文献

- Motoaki Doi et.al., 2004. Leaf Yellowing of Cut Standard Chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* Kitamura) 'Shuho-no-chikara' Induced by Ethylene and the Postharvest Increase in Ethylene Sensitivity. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 73(3):229-234.
- FAJ 花保ち試験室, 2013. テスト&アドバイス. (株)フラワーオークションジャパン. URL : http://www.faj.co.jp/03_NEWS/pdf/gaiyo.pdf.
- 福光優子, 光永拓司他, 2013. オリジナルユリの冷凍球根を活用した切り花栽培, 平成 24 年度 農林総合技術センター試験研究成果発表会要旨, 山口県農林総合技術センター
- 市村一雄, 2011a. 農産物の生産・流通の現状 花き. 農産物流通技術 2011 (農産物流通技術研究会年報). 農産物流通技術研究会. 39-44.
- 市村一雄, 2011b. “切り花の鮮度・品質の評価手法” 切り花の品質保持. pp. 145-146. 筑波書房, 東京.
- 井上知昭他, 2007. Lathyrus 属の品質保持に関する研究—スイートピーの花弁糖度におけるデジタル糖度計と非破壊検査との関係—. 熱帯農業 51(別 1):9-10.
- 印柄賤他, 2006. ‘アサミレッド’ バラ植物への送風処理が切花の収量、蒸散特性ならびに日持ち性に及ぼす効果. 農業生産技術管理学会誌 13(2):64-69.
- 岩元睦夫他, 1994. “検量線の評価” 近赤外分光法入門. pp. 56-59. 幸書房, 東京.
- 花き研究所, 2013. 日持ち保証に対応した切り花の品質管理マニュアル, 花持ち保証に対応した切り花の品質管理技術の開発成果資料, 農研機構花き研究所, 62
- 川上昭太郎他, 2003. 切り花の曲げ弾性係数の非破壊測定法について, 園学雑 72 別 1:330.
- 川上昭太郎・坂口栄一郎, 2009a. 流通過程におけるバラ切り花の水分測定法について—茎の力学特性と水分の関係—, 農業環境工学関連学会 2009 年合同大会要旨: 55.
- 川上昭太郎・坂口栄一郎, 2009b. 流通過程におけるバラ切り花の水分測定法について—破壊計測による茎の力学特性と水分の関係—, 農業生産技術管理学会誌 19 別 1:34-35.
- 川上昭太郎・坂口栄一郎, 2010. 破壊測定によるバラ切り花の茎の曲げ特性と水分の関係. 農業生産技術管理学会誌 17(3):79-83.

川上昭太郎, 水野達太他, 2013. 茎の曲げ特性によるバラ切り花の水分測定—異なる栽培時期に適する推定式—, 農業生産技術管理学会誌 20(1):1-6.

長岡 求, 1998. 一番多く生産される切り花, 変革期の花き流通, pp16-27. 家の光協会, 東京
日本花普及センター, 2010. 切り花の日持ち評価レファレンステストマニュアル Ver. 6, 日本花普及センター

農林水産省生産局果樹花き対策室, 2010. 花き産業振興方針.

農林水産省, 2013. 平成 24 年産花きの作付(収穫)面積及び出荷量, 農林水産統計, 5-7

重松健太他. 2007. 植物体の水分状態と力学的特性値の関係 (第 1 報). 農業環境工学関連学会 2007 合同大会要旨. E94.

重松健太他. 2008. 植物体の水分状態と力学的特性値の関係 (第 2 報). 第 67 回農業機械学会年次大会講演要旨. 93-94.

新花き生産流通システム研究会, 2003. バケット低温流通を核とした切花流通における品質管理マニュアル, 新花き生産流通システム研究会, 日本花普及センター

山下貴史他. 2009. 植物体の水分状態と力学的特性値の関係 (第 3 報). 農業環境工学関連学会 2009 合同大会講演要旨集. H75.

Studies on nondestructive measurement method of moisture content for rose cut flowers using bending properties of stems

Shotaro Kawakami

Tokyo University of Agriculture

Summary: In this study, it evaluated as a quality evaluation technology in the circulation process of cut flowers by centering on watching so far, it was practicable as a special evaluation that used measuring apparatus or the divided new assessment, and examined a quantitative quality assessment of simple cut flowers.

As a result, the following conclusions were obtained.

1) The value of the bending load and bending stiffness has become small by the moisture of the stem decreasing and wilting.

The relation between them was requested by the logarithm approximate expression, and moisture was able to be guessed from the bending load and each bending stiffness by 2.2 and 2.3%w.b drinking RMSD.

2) The greatest rate of change $\angle P_{\max}$ of the bending load to the deflection of the stem has become small by a decrease in moisture.

The moisture estimated formula by $\angle P_{\max}$ was moisture of the stem of the rose cut flowers surmisable in maxilla RMSD(2.0%w.b.) from the bending load and bending stiffness, and the possibility of the moisture presumption by the mechanical property value of the stem was suggested.

3) The estimated formula that had generality compared with the estimated formula with the sample at the monoculture time was able to be made by making the estimated formula by using $\angle P_{\max}$ as an explanatory variable with the sample of three kinds of different planting

dates.

4) Average of stem diameter was added to the explanatory variable, the estimated formula was made by the multiple regression analysis, and a general moisture estimated formula was able to be made at time that made and used only ΔP_{\max} with.

5) The nondestructive moisture estimated formula was able to be made by using bending load P_{dm} and bending load rate of change ΔP_{\max} as an explanatory variable.

And, the error margin of the estimate value was able to be reduced by adding average of stem diameter to the estimated formula and using the multiple regression type, and moisture was able to be presumed because of the error margin with smaller estimated formula that used ΔP_{\max} and the average stem diameter.

6) A change with the lapse of time of moisture for the appreciation period of the same sample was able to be presumed by measuring the bending load of the stem, and the possibility of the quantitative assessment of the appreciation value was suggested by the comparison with the evaluation of externals by watching.

It was able to propose a simple nondestructive moisture estimation method of the stem of the rose cut flowers as a new quality assessment used from the above-mentioned during circulation.

It will be expected it is useful also for the water management etc. of cut flowers improving of the water management of cut flowers by the difference etc. of the transportation condition and growing it by improving the application to cut flowers other than the miniaturization of the development of the keeping quality of flower assessment based on a change with the lapse of time of moisture and the measuring instrument and the rose cut flowers etc. in the future.