

# 茎の曲げ特性によるバラ切り花の 非破壊水分測定法の検討

川上昭太郎\*・村松良樹\*\*・坂口栄一郎\*

(平成 25 年 2 月 21 日受付/平成 25 年 6 月 7 日受理)

**要約**：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を測定し、平均茎径を用いて水分推定式を作成した。その結果、説明変数として曲げ荷重と平均茎径を用いた重回帰式により、非破壊で茎の水分を推定することができた。また、作成した水分推定式を用いて同一試料の茎の水分の経時変化を推定することができた。

今後、測定誤差を小さくする、他の種類の切り花への応用、測定器の小型化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。

**キーワード**：バラ切り花, 水分, 非破壊測定, 曲げ特性, 品質評価

## 1. はじめに

わが国において、切り花を含めた花きの生産と消費は低迷が続いているといわれており、切り花生産に関しても、多くの品目でここ数年の低下傾向から抜け出せていない現状が続いている<sup>1)</sup>。農林水産省では花きの需要拡大を目指し、花き産業振興に向けた基本的な方針と具体的な取り組みとして①消費者に対する正しい知識の普及、②新しい需要の創出、③ニーズに対応した生産・流通・販売が示されている<sup>2)</sup>。

ニーズへの対応として、多くの消費者は日持ちの良い切り花を求めていることから、流通過程においては切り花の品質低下を抑え消費者まで届けることが重要と考える。その方法として、鮮度保持剤の利用や輸送形態の改善などが取り組まれているが、切り花は非常に多くの品種が存在し、利用形態も様々なため、それぞれの品種や用途に合わせて適切な流通形態がとられているとは限らない。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事と同時に輸送コストを見直すことも重要となる。

近年、流通現場において独自のマニュアルを用いて花保ち試験を行っている中央市場などが増えている。その一例として、卸売市場で行われている品質評価は、草姿（長さ、ボリューム、バランス、しおれ、硬さ、曲がり、開花程度等）、鮮度、色（花色、葉色）障害、病虫害発生の有無等の外的品質が目視によって評価されている。花保ち試験で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である「花保ち期間」を決定し、その結果を生産者にフィードバックすることで鮮度保持流通の改善に用いられている。しかし、ほとんどの場合「花保ち期間」の決定も触診による花卉の萎れ、視覚的な開花

の評価など主観的評価<sup>3)</sup>により行われている。また花保ち日数の判定には複雑さ、曖昧さが避けられないため判定は非常に複雑である。そこで流通現場の川上から川下までの関係者や消費者に対して公正な品必評価を行うため客観的で定量的な品質評価方法が必要だと考える。

切り花の鮮度の定量的評価として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<sup>4)</sup>。また、品質評価として気孔形態や蒸散量、蒸散速度の測定<sup>5)</sup>、花卉糖度の測定法に関する研究<sup>6)</sup>や葉の表面色による評価<sup>7)</sup>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。また、簡易な方法としては、初期値と比較した新鮮質量の変化率により萎れを評価する方法があるが、水中で茎を切る切り戻しなどを行った場合、固体の質量が変わってしまうため評価が困難となる場合があり、流通過程の現場においてはほとんどの場合、取扱者の目視による評価に頼っているのが現状である。

そのため、既報<sup>8-11)</sup>では、切り花の茎の力学的特性に着目して簡易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

\* 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科

\*\* 東京農業大学生物産学学部食品香粧学科

を目的として実験を行った。

## 2. 実験材料及び方法

### (1) 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<sup>+</sup> ‘Sweet Avalanche’ を供試材料として85本を用いた。

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。

### (2) 実験方法

試料の測定は破壊測定を行った既報<sup>8)</sup>と同様に、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1に示す。曲げ荷重の測定は、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。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。

### (3) 茎の曲げ荷重特徴量の解析方法

図2に茎の曲げ荷重の測定結果の一例を示す。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 $\Delta P$  [N/mm] を考えた。図2に示した曲げ荷重曲線(a)に対して $\Delta P$ は曲線(b)のように最大値 $\Delta P_{max}$ を持つ変化を示した。このため、 $\Delta P_{max}$ 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

### (1) 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。

図3に $P_{dm}$ および $\Delta P_{max}$ と水分の関係を示す。 $P_{dm}$ および $\Delta P_{max}$ 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、 $\Delta P_{max}$ 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。

過去の実験<sup>8-11)</sup>で有意性が得られた推定式の作成方法を参考に $P_{dm}$ 、 $\Delta P_{max}$ および各試料の平均茎径を用いて(1)~(4)の水分推定式を作成した。

$$M = 3.075 \ln P_{dm} + 88.022 \quad (1)$$

$$M = 5.886 \ln \Delta P_{max} + 78.049 \quad (2)$$

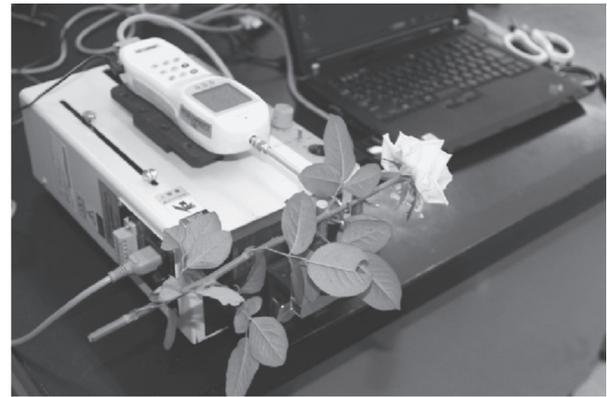
$$M = 1.449 \ln P_{dm} + 2.867 \phi + 74.888 \quad (3)$$

$$M = 3.785 \ln \Delta P_{max} + 1.635 \phi + 73.897 \quad (4)$$

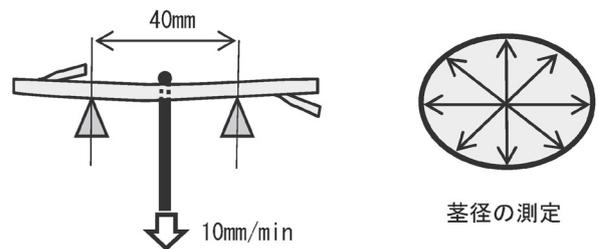
ただし、

$M$ : 水分推定値 [%w.b.]

$P_{dm}$ :  $\Delta P_{max}$  に対する曲げ荷重 [N]



(a) 測定の様子



(b) 測定の概要図

図1 曲げ荷重測定の様子と測定の概略図

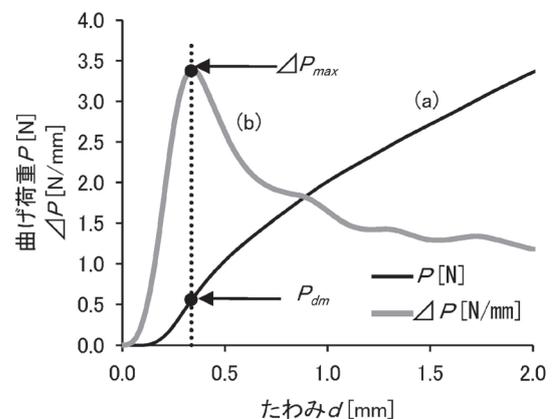
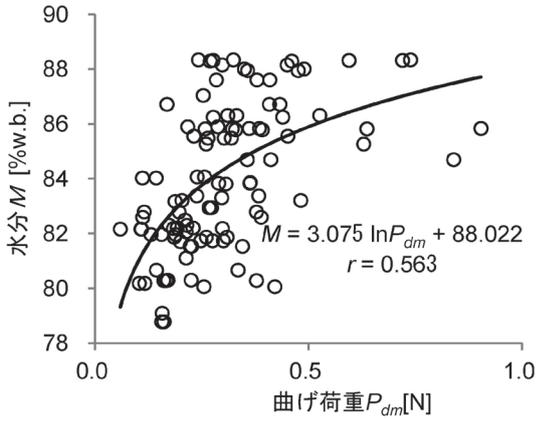


図2 曲げ荷重の解析方法

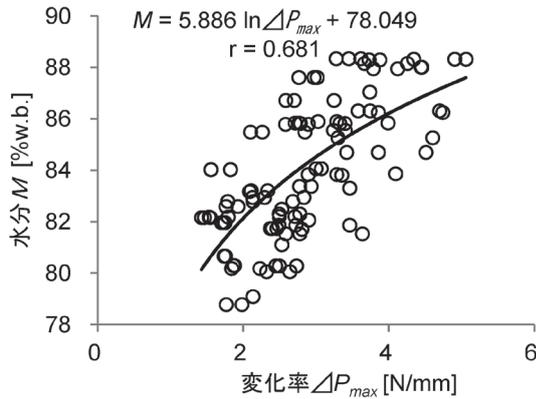
$\Delta P_{max}$ : たわみに対する曲げ荷重の変化率最大値 [N/mm]

$\phi$ : 平均茎径 [mm]

式(1)~(4)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(1)は水分実測値と推定値の相関係数は0.563、式(5)より求めた実測値と推定値の平均二乗誤差(RMSD)は2.184%w.b.、 $\Delta P_{max}$ を用いた式(2)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(3)は水分実測値と推定値の相関係数は0.692、RMSDが1.906%w.b.、 $\Delta P_{max}$ と平均茎径を用いた式(4)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(1)~(4)で用いた説明変



(a) 曲げ荷重と水分の関係



(b) 変化率と水分の関係

図 3 力学特性値と水分の関係

数は 5% で有意性が認められた。

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (5)$$

ただし、

RMSD：平均二乗誤差 [%w.b.]

$y_i$ ：水分実測値 [%w.b.]

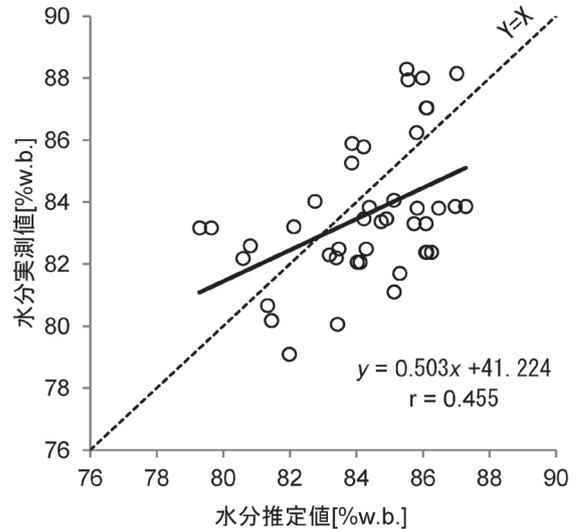
$\hat{y}_i$ ：水分推定値 [%w.b.]

$n$ ：データ数

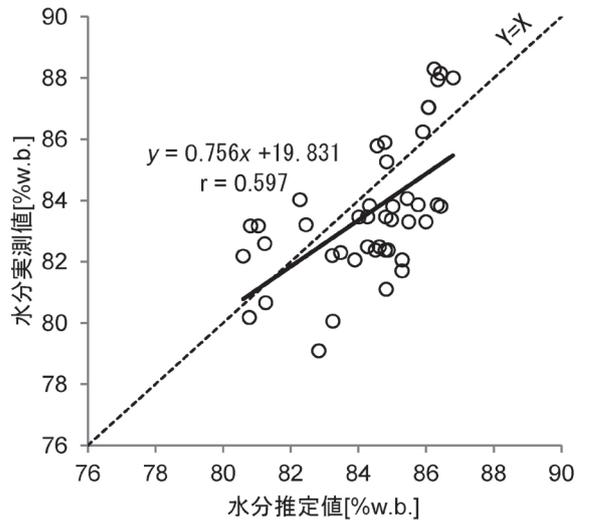
茎の曲げ荷重を非破壊で測定しても、荷重測定誤差を減らすため茎を切り取って曲げ荷重を測定した既報<sup>8)</sup>の結果と同様に相関係数に有意性が認められ RMSD は 2%w.b. 前後の値が得られた。茎に花や葉が付いた状態で曲げ荷重測定を行っても水分の推定式の説明変数として用いることができ、非破壊による水分推定のための推定式を作ることができた。

(2) 非破壊水分推定式の評価

式(1), (2)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(3), (4)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<sup>12)</sup>。



(a) 式(3)による水分推定値と実測値



(b) 式(4)による水分推定値と実測値

図 4 水分推定式の評価

式(3), (4)から求めた水分推定値と水分実測値の関係を図 4 に示す。説明変数に  $P_{dm}$  と平均茎径を用いた式(3)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  $\Delta P_{max}$  と平均茎径を用いた式(4)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(3), (4)式とも増加したが(4)式の方が小さく抑えることができた。

また、式(3)は回帰式の係数の検定<sup>12)</sup>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つた。図 4 (a) より式(3)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 4 (b) に示す式(4)については、それらは認められず、

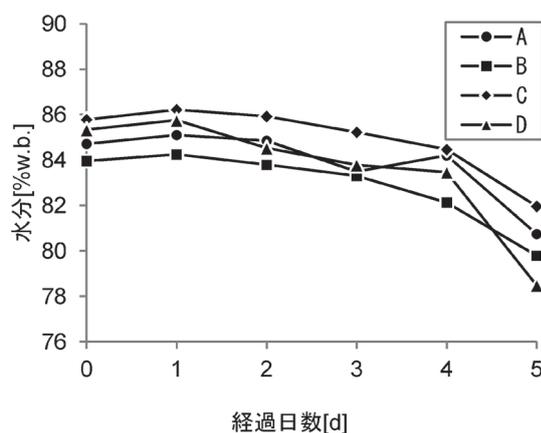


図5 水分推定式を用いて求めた水分の経時変化

RMSD も式(3)より小さく推定精度が高い推定式となった。

以上の結果より、 $\Delta P_{max}$ と平均茎径を説明変数として重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。

### (3) 経時変化の推定

作成した推定式を用いて、同一試料の水分の経時変化を求めた。

誤差が最も小さかった説明変数に $\Delta P_{max}$ と茎径を用いた式(4)を用いて室温で保蔵した4本の試料(A~D)の水分の経時変化を推定した結果を図5に示す。

保蔵2日後まではどの試料も水分を保ち、保蔵3日後から徐々に水分が減少し、萎れ始めたことが水分推定値からも確認できた。

曲げ荷重測定時の茎のたわみ量も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なかった。

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、水分の推定より萎れを評価することができ、採花後から店頭へ届くまでの輸送中の水管理に用いることが期待できる。

## 4. 結 論

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 $\Delta P_{max}$ を用いて非破壊水分推定式を作成することができた。さらに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、 $\Delta P_{max}$ 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、作成した水分推定式を用いてバラ切り花の水分の経時変化を推定し、時間の経過とともに同一試料の水分が減少する様子を推定した。

以上のことから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、測定誤差を小さくする、他の種類の切り花への応用、測定器の小型化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

- 1) 市村一雄 (2011) 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.
- 2) 農林水産省生産局果樹花き対策室 (2010) 花き産業振興方針.
- 3) (財)日本花普及センター (2012) 切り花の日持ち評価レファレンスマニュアル Ver6. ([http://www.jfpc.or.jp/reference\\_test/hyoka.html](http://www.jfpc.or.jp/reference_test/hyoka.html)) (最終アクセス 2013年4月30日)
- 4) 市村一雄 (2011) “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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 川上昭太郎・坂口栄一郎 (2009) 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.
- 11) 川上昭太郎・坂口栄一郎 (2009) 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.
- 12) 岩元陸夫他 (1994) “検量線の評価” 近赤外分光法入門. pp. 56-59. 幸書房, 東京.

# Discussion on Nondestructive Measurement Method of Moisture Content for Rose Cut Flowers Using Bending Properties of Stems

By

Shotaro KAWAKAMI\*, Yoshiki MURAMATSU\*\* and Eiichiro SAKAGUCHI\*

(Received February 21, 2013/Accepted June 7, 2013)

**Summary** : For development of a nondestructive quality evaluation method as an indicator of the moisture content of rose cut flowers during distribution, four experimental equations to estimate the moisture content of the cut flowers were proposed using the bending properties and the diameter of the stem. As a result, the moisture content of the stem could be nondestructively estimated by the multiple regression equation which has two explanatory variables of the bending load and the average diameter of the stem. Moreover, the change of moisture content for the stem over time could be predicted by the obtained experimental regression equation.

**Key words** : rose cut flowers, moisture content, nondestructive measurement, bending property, quality evaluation

---

\* Department of Bioproduction and Engineering, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

\*\* Department of Food and Cosmetic Science, Faculty of Bio-Industry, Tokyo University of Agriculture