

キクシュートの水あげと生け水の物理的特性との関係

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者	土井, 元章 釣賀, 美帆
巻/号	8巻2号
掲載ページ	p. 235-241
発行年月	2009年4月

キクシュートの水あげと生け水の物理的特性との関係

土井元章*・釣賀美帆

信州大学農学部 399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村

Hydration of Cut Chrysanthemum Shoots in Relation to the Physical Properties of Vase Water

Motoaki Doi* and Miho Tsuruga

Faculty of Agriculture, Shinshu University, Minamiminowa, Nagano 399-4598

Abstract

Using shoot segments of *Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitamura 'Jinba', hydration with hot water and water containing surfactants was studied in relation to the physical properties of vase water. Under nearly 100% relative humidities, fresh weight recovery was rapid with higher vase water temperatures. The fresh weight measured 6 h after the start of hydration (y) was negatively proportional to the kinematic viscosity of vase water (x) ($y = -3.86x + 103.10$, $R^2 = 0.92^{**}$), which decreased with an increase in vase water temperature, and water uptake during the initial 6 h (y) was inversely proportional to the kinematic viscosity [$y = 10.36x / (-0.28 + x)$, $R^2 = 0.94^{**}$]. These results indicate that water uptake by cut stems can partly be explained by the Hagen-Poiseuille law and that the promotive effect of hot water on fresh weight recovery is attributed mainly to the decrease in kinematic viscosity by lowering the water conductance in the xylem vessels. The addition of surfactants such as polyoxyethylene (7) lauryl ether and "Shinguramin" to the vase water facilitated hydration even under a low temperature condition. These surfactants decrease surface tension by nearly half, which elevates the matric potential of water sucked into the xylem vessels, resulting in rapid hydration.

Key Words : Hagen-Poiseuille law, hydration with hot water, kinematic viscosity, surface tension, surfactant

キーワード : 動粘度, ハーゲン・ポアズイユの法則, 表面張力, 界面活性剤, 湯あげ

緒 言

多くの切り花の収穫は、朝に行うことが望ましいとされている。これは、まだ温度が低い時間帯に収穫することで収穫後の急激な品温上昇を防止できることに加えて、朝は植物の水分状態の良好な時間帯でもあり、切り花への水ストレスを低く抑えることができるためである (Nowak・Rudnicki, 1990)。とはいえ、作業性の面から収穫された切り花がただちに水あげされることは稀で、選花場や冷蔵庫に運んでから、場合によっては調整、選別、結束後によりやく水あげされることになる。通常この時点では数%から10%前後の水欠差が生じており、この欠差を取り除くことが生産者が行う水あげの大きな目的である。

水あげにおいては、水に中性洗剤や界面活性剤を加えると水あげが促進されることが知られている (Durkin, 1980; 船越, 1988)。Pak・van Doorn (1991) は、水あげが難しい切り花に対して非イオン系の界面活性剤であるポリオキシエチレンラウリルエーテル (PLE, 商品名: Agral) の効果

が高いことを明らかにし、その作用は水の表面張力の低下に由来するとした (van Doorn, 1997)。また、PLE を水や前処理剤に加えることでストックヤスプレーカーネーションの吸水速度が高まり、花卉の萎凋が抑制され、品質保持期間が延長されることが明らかにされている (宇田ら, 1990, 1994)。

一方、van Meeteren (1989, 1992) は、水切りや減圧によって導管内の気泡を取り除くとキク切り花の水分バランスが改善されることを示した。また、生け水の温度が低いほど空気の溶解度が大きいことから、冷水を用いると導管閉塞を起こしている気泡が早く取り除かれ、新鮮重の回復が早くなると考えた。しかし、一般に水あげの難しい切り花には湯あげという手法を用いて水あげが行われている。Reid (2002) は、41°C の温水を用いて水あげを行うことで、気泡による導管閉塞を防止できるとしている。この両者の考えは一見矛盾しているが、前者は気泡がすでに形成されていてそれを取り除く場合には低温の水が、後者はこれから気泡が形成される場合には高温の水が適していると考えられることができる。

切り花における主たる水の流路である茎内の導管は、死細胞である導管要素が縦に連なった構造をしている。導管

2008年6月30日 受付. 2008年9月5日 受理.

* Corresponding author. E-mail: motoaki@shinshu-u.ac.jp

を物理的な管であると考えた場合、そこを流れる水の量はハーゲン・ポアズイユの法則によって次式で示される。

$$Q = P\pi r^4 / 8\eta L$$

すなわち、管を流体が流れる際の流量 Q は、両端の圧力差 P と管の半径 r の 4 乗に比例し、流体の動粘度 η と管の長さ L に反比例する。

切り花の茎には複数の導管があり、管径もまちまちである。いま、植物材料を揃えることで管径の異なる導管が同じように分布していると仮定することができる。また、生け水の水ポテンシャルはゼロであるので、切り花の乾き具合が同じであれば導管の両端の圧力差は同じであると仮定できることから、このような条件を満たす場合の流量すなわち吸水量は、水の動粘度と導管の長さ（茎の長さ）に反比例すると考えることができる。すなわち、水は温度が上昇すると動粘度が低下することから、湯上げによる吸水促進効果は水の動粘度の低下に起因するのではないかと考えられる。

そこで、本実験では植物材料としてキクのシュートセグメントを用い、茎内の導管を物理的な管として考えることで、ハーゲン・ポアズイユの法則の適用を試み、生け水温の上昇は水の動粘度を低下させることで水あげを促進していることを実証しようとした。加えて、界面活性剤を添加した水の動粘度および表面張力を実際に計測することで、その効果が表面張力を低下させることに起因しているとする van Doorn (1997) の考えを検証し、低温下でも界面活性剤を使用することで高温の水と同等の吸水促進効果が得られないかを検討した。

材料および方法

1. 植物材料

信州大学農学部の実験圃場で 2005 年の春から秋にかけて電照栽培したキク (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitamura) ‘神馬’ の栄養成長中のシュートを用いた。40～80 cm に伸長したシュートを選んで水あげ処理開始前日の夕方に収穫し、脱塩水を入れたバケツにさして実験室に運んだ。不要な下葉を除去した上でシュートの上部を新聞紙にくるんで脱塩水にさし、25°C、暗黒下で一晩吸水させた。

翌朝 8 時に、剪定鋏を用いてシュート中央部より 22 cm のシュートセグメントを空中で切り出し、上位の葉を 6 枚残して調整した後ただちに脱塩水にいけ戻した。1 区 8 本を配置し各実験区の総新鮮重がほぼ同じになるようにした。各シュートに番号を付した上で新鮮重（初期新鮮重）を測定した。これを除湿器を作動させた 25°C のプレハブ恒温室内の棚に水平に並べ、三波長域型蛍光灯を照射しながら扇風機の風を当てた。シュートの重量が初期新鮮重の約 90% になるまで 2～3 時間静置した。

2. 水あげ処理

初期新鮮重の約 90% まで乾燥させたシュートの新鮮重を

再度測定した。容量 25 mL の試験管（直径 15 mm × 長さ 130 mm）に脱塩水を入れ、実験 1 を除き基部 8 cm が水につかるようにセグメントをさし入れ、シーロンフィルムで試験管の口を覆った。なお、試験管内の水温が設定温度となるよう予め温度を制御したインキュベータあるいはウォーターバスに入れておいた。また、水温と気温を変える実験では、穴の開いた円筒形の発泡スチロールを試験管に入れ、そこにシュートセグメントをさした。

試験管を 8 本寄せ集めて 200 mL のビーカーに立て、ポリエチレン袋（横 20 cm × 縦 30 cm、厚さ 0.02 mm）を被せてビーカーの上からゴムバンドでとめた。また、結露した水が付着するのを防ぐため、袋内にはティシュペーパーを 1 枚入れた。

これらを種々の温度条件に設定したインキュベータ内に置いて、水あげ処理を開始した。インキュベータ内は暗黒とし、水温およびポリエチレン袋内の気温および湿度を棒温度計およびサーモレコーダ (RS-12, エスペックミック) を用いてモニタリングした。

シュートおよび脱塩水（試験管を含む）の重さを水あげ処理開始 6 時間目までは 1 時間ごとに、以後 9 時間目、12 時間目および水あげ処理を終了した 24 時間目に計測した。重量の測定は実験室の室温下で行ったが、1 区分の測定は 3 分以内であった。新鮮重は、シュート調整後の初期新鮮重を 100% として % で表示した。また、吸水速度および蒸散速度は、シュートセグメント 100 g 当たり、1 時間当たりとして算出した。

3. 水の物理的特性の計測

脱塩水の動粘度には、理科年表 2005 (国立天文台, 2004) に記載されている純水の動粘度の値をそのまま用いた。

実験 4 で使用した界面活性剤を添加した水の動粘度は、ウペローデ毛細管式動粘度計 (No. 1, 草野科学) を用いて測定した。測定は温度を 0°C としたインキュベータ (MIR-552, 三洋電機) または 25°C に設定したプレハブ恒温室内で行った。鉛直に固定したウペローデ動粘度計と測定する試料溶液を予め 0°C または 25°C にし、溶液をウペローデ動粘度計に注ぎ入れて吸い上げた後、ストップウォッチを用いて試料のメニスカスが溶液だまりの上下にある標線 m_1 から標線 m_2 を通過するまでの時間 t (s) を計測した。溶液の動粘度 η ($10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) は、

$$\eta = 0.01029 t$$

で与えられる。ただし、係数は使用した動粘度計の固有値である。

溶液の表面張力については、液滴滴下法により計測した。断面が平らでなめらかな半径 2.42 mm の金属棒を 0°C のインキュベータあるいは 25°C のプレハブ恒温室内で鉛直に固定した。0.65 mm × 32 mm の注射針 (NN2332R, テルモ) をつけピストンを取り外した 2.5 mL シリンジを、針の先端が金属棒下端断面の直上の側面に沿うように固定し、溶液

をシリンジ内に入れて静かに金属棒に垂らした。金属棒の下端断面から滴下する液滴を10滴ビーカーに集め、その重さを計測した。溶液の表面張力は、

$$\gamma = m \cdot g \cdot F/r$$

で与えられる。ここで、 γ は表面張力 ($10^{-3} \text{ N} \cdot \text{ m}^{-1}$)、 m は液滴1滴の重量 (g)、 g は重力加速度 ($9.8 \text{ m} \cdot \text{ s}^{-2}$)、 F はくびれ補正係数、 r は金属棒の半径 (10^2 m)である。くびれ係数 F は、液滴の体積 v (10^6 m^3)と金属棒の半径 r (10^2 m)の3乗の比 ($v \cdot r^{-3}$)に依存し、その関係を示すグラフを読み取ることによって決定した。ただし、この方法によって得られる表面張力の値は必ずしも正確ではないため、脱塩水についても同様の測定を行い、そこで得られた表面張力の値と理科年表2005 (国立天文台, 2004)に記載されている値とを比較することで試料溶液の表面張力の値を補正した。

4. 吸水部位 (実験1)

乾燥後、そのままのセグメント、あるいは切断面を含む茎基部5 mmをパラフィンで封じたセグメント、切断面は露出させ茎基部9 cmの表面をシーロンフィルムで被覆したセグメント、切断面をパラフィンで封じた上で表面をシーロンフィルムで被覆したセグメントを準備した。切断面、表面ともそのままにしたセグメントは、水深4 cmあるいは8 cmの脱塩水にかけた。それ以外のセグメントは水深8 cmの脱塩水にかけ、25°C、暗黒下で水あげ処理を行った。

5. 水あげ温度と水あげ速度との関係 (実験2)

水あげ処理を0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35および40°Cで行った。0°Cはインキュベータ (MIR-552, 三洋電機)、それ以外の区は温度勾配型インキュベータ (LH-30-8CT, 日本医化器械)により温度設定した。吸水速度と水の動粘度との関係は、水あげ処理開始6時間目の新鮮重 (%) あるいは6時間目までの吸水量 ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ FW}$)を用いて解析した。

6. 水温および気温と水あげ速度との関係 (実験3)

水あげ処理時の水温とシュートセグメント上部の気温を変えるため、0°Cに設定したインキュベータ内にウォーターバス (BM41, ヤマト, 直径20 cm×深さ8 cm)を入れ、発泡スチロールの蓋を作成してそこに穴を8つ開けて乾燥後のセグメントを脱塩水にかけた試験管をさし込んだ。気温を0°C、水温を40°Cとした0/40°C区を設けた。また、同じインキュベータ内で、気温/水温を0/0°Cとする区を設けた。

一方、別のインキュベータ (MLR-350T, 三洋電機)を40°Cに設定し、氷水の入った発泡スチロールケースを入れ、その蓋に穴を開けて試験管をさし込み、気温/水温を40/0°Cとする区を設定した。水あげ処理中氷は適宜補充した。また、40/40°C区を同じインキュベータ内で設定した。

7. 界面活性剤の添加と水あげ速度との関係 (実験4)

界面活性剤として、0.03%「新グラミン」(三共, 展着剤,

主成分はポリオキシエチレンドデシルエーテル, ポリオキシエチレノニルフェニルエーテル, リグニンスルホン酸カルシウム), 0.01%「チャーミーグリーン」(ライオン, 中性洗剤, 主成分はアルファオレフィンスルホン酸ナトリウム, 脂肪酸アルカノールアミド, アルキルエーテル硫酸エステルナトリウム), 0.05% Tween 20 (関東化学, モノラウリン酸ポリオキシエチレンソルビタン), 0.01% PLE (関東化学, ポリオキシエチレン (7) ラウリルエーテル), 0.05% ジメチルスルホキシド (ナカライテクス, 以下DMSO)を用いた。

まず、これらの界面活性剤を添加した脱塩水にシュートセグメントをいけ、0°Cおよび25°Cで水あげ処理を行った。その結果吸水促進効果の高かった「新グラミン」とPLE溶液を用いて0°Cで水あげ処理を行い、0, 25および40°Cで脱塩水を用いて水あげ処理を行った場合と比較した。

8. 統計的方法

必要に応じて、Microsoft Excel 2002 (マイクロソフト)およびエクセル統計2002 (社会情報サービス)を用いて回帰分析を行った。

結果および考察

1. 吸水部位 (実験1)

茎の切断面、表面とも被覆しない場合には、水あげ処理開始後順調に新鮮重が回復し、水深8 cmとした場合には6時間目ごろに、水深4 cmとした場合には9時間目ごろには初期新鮮重にまで回復した (第1図)。これに対して、切断面の被覆、茎表面の被覆とも吸水はするものの新鮮重の回復が著しく遅れた。また、茎の切断面、表面とも被覆したシュートセグメントでは新鮮重の回復はまったく認められなかった。

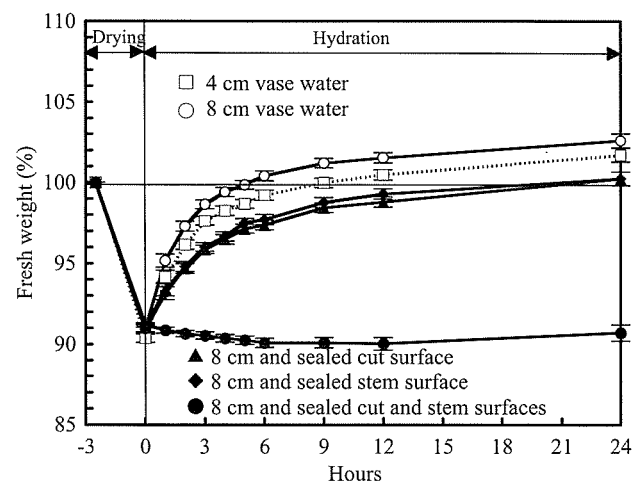


Fig. 1 Hydration of six-leaved 'Jinba' shoot segments of which the cut and/or stem surfaces were sealed with paraffin and/or Parafilm®, respectively. Shoot segments were held in deionized water and placed at 25°C and nearly 100% RH in the dark. Vertical bars indicate standard errors of the means of 8 replicates.

これらの結果から、キク切り花を水あげする際には、茎の切断面に開放された導管に直接水が入る以外に、表皮から皮層を通して導管に入る水の流路が想定される。被覆しなかった実験区で、水深8 cmより4 cmの区で新鮮重の回復が遅れたのは(第1図)、茎表面の水に接する部分が少なかったことが原因として考えられる。一般に深水は吸水促進に有効な方法であるが、これまでその説明として切断面にかかる水圧が大きくなるためであるとされてきた。しかし、本実験で設定した4 cm分の水圧はわずか0.4 kPaであることから、このことが吸水促進に大きく作用しているとは考えにくい。深水による吸水促進は茎表面を通る水移動の増加が主たる理由であると考えられる。このような吸水は、van Meeteren (1978) がガーベラにおいて報告している。また、茎表面からの吸水のしやすさは品目によって異なると考えられ、バラでは水につかっている茎表面をパラフィルムで覆っても吸水には影響しないという報告がある(Mensink・van Doorn, 2001)。キクはバラに比べてバクテリアによる導管閉塞の影響を受けにくいとされており、このように閉塞した導管を迂回する水の流路があることもその理由であろう。

2. 水あげ温度と水あげ速度との関係 (実験2)

予備実験において、湿度を制御せずに温度を0~40°Cまで変えて水あげ処理を行ったところ、吸水速度、蒸散速度とも高温下で水あげを行うほど大きくなり、新鮮重の回復には一定の傾向が見られなかった。これは、温度を高く設定するほど水蒸気圧欠差が大きくなって葉からの蒸散が促され、葉の水ポテンシャルが低く維持されて吸水が促されたためである。このことは、上記ハーゲン・ポアズイユの法則における圧力差Pが水あげ処理開始直後から実験区間で異なってしまうことを意味している。すなわち、水の動粘度の影響を検出するためには、蒸散速度を実験区間で大きく変えないようにする必要があり、本実験では雰囲気中の相対湿度を100%近くに維持することでこの問題を回避しようとした。

第2, 3図では、図を見やすくするため0, 10, 20, 30, 40°C区に限ってデータを示した。新鮮重の回復は、高温区ほど早かった(第2図)。新鮮重が100%に達するまでに要した時間は40, 30, 20, 10°C区でそれぞれ3, 4.5, 4.5, 8時間であり、0°C区では24時間後の水あげ処理終了時点でも100%には達しなかった(第2図)。暗黒として相対湿度を100%近くに維持したことから、蒸散速度はいずれの実験区とも低く保たれた(第3図a)。すなわち、水あげ処理開始直後の吸水(第3図b)はセグメントを乾かしたことによる水ポテンシャルの低下を原動力とし、新鮮重の回復はこの吸水速度を強く反映していると見ることができる。ただし、時間の経過とともに吸水速度は低下した(第3図b)。これは、吸水に伴い葉の水ポテンシャルが徐々に回復してくることによる。

設定した9区の温度における水の動粘度を説明変数に、

水あげ処理開始6時間目の新鮮重(%)あるいは6時間目までの吸水量($\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1} \text{FW}$)を被説明変数にとって回帰分析を行うと、水の動粘度と新鮮重との間には高度に有意な直線回帰が($y = -3.86x + 103.10$, $R^2 = 0.92^{**}$)(第4図a)、吸水量とは高度に有意な反比例の関係 [$y = 10.36x/$

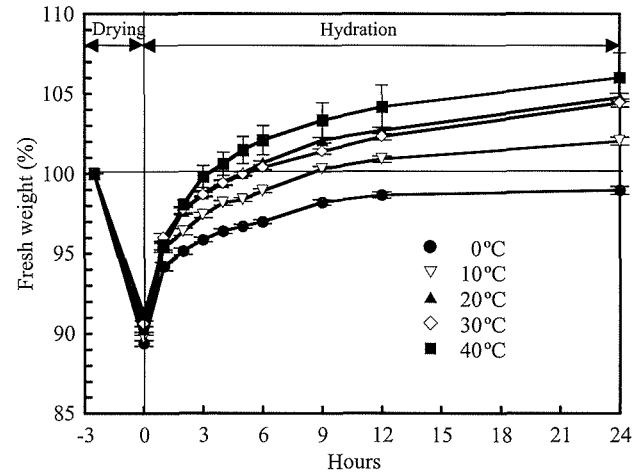


Fig. 2 Hydration of six-leaved 'Jinba' shoot segments at various temperatures and nearly 100% RH in the dark. Vertical bars indicate standard errors of the means of 8 replicates.

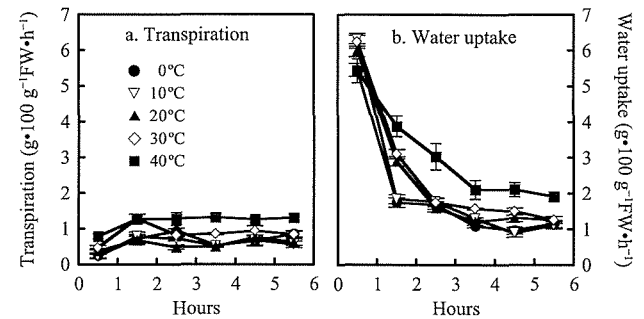


Fig. 3 Transpiration (a) and water uptake (b) by six-leaved 'Jinba' shoot segments placed at various temperatures and nearly 100% RH in the dark. Vertical bars indicate standard errors of the means of 8 replicates.

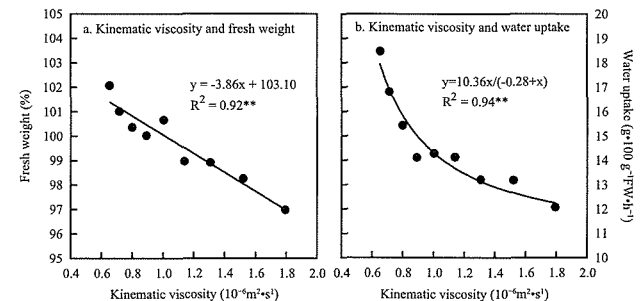


Fig. 4 Relationship between kinematic viscosity of vase water and fresh weight recovery of six-leaved 'Jinba' shoot segments 6 h after the start of hydration (a), and water uptake by the segments during the initial 6 h (b).

$(-0.28 + x)$, $R^2 = 0.94^{**}$] (第4図b) が得られた。

この結果は、キクシュートセグメントの吸水にはハーゲン・ポアズイユの法則がある程度適用できることを示している。すなわち、導管の両端の圧力差を生け水と葉の水ポテンシャル差とみなし、蒸散速度を極力低くすることで最初につくり出した水ポテンシャル差分だけが吸水の原動力であるとする、流量 Q に相当する吸水量は、流体の動粘度 η に反比例する。水の動粘度は温度によって大きく変化し、 0°C の $1.79 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ から 40°C では $0.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ と 1/3 近くまで低下する。従って、ハーゲン・ポアズイユの法則に従うと、 0°C 下での水あげと 40°C 下での水あげとでは吸水量に3倍近い差が生じることになる。キクのシュートセグメントにおいて、水の動粘度と吸水量との関係は反比例するものの、必ずしも理論上の差が生じているわけではない。これは圧力差 P が吸水に伴って徐々に小さくなり、新鮮重の回復の早い高温下での水あげで P の減少がより早く起こることが最大の原因である。また、実験1でも示したように、水の流路は必ずしも導管を通るだけではないことも関係しているであろう。加えて、導管は単純な管ではなく、隔壁があったり分岐したりしていることも原因として考えられる。

また、導管は毛管であることにも注意が必要であり、毛管に入った水のマトリックポテンシャルは低下する。これは液体の表面張力により毛管中に吸引される水柱の高さに相当する負の圧力である。水の表面張力は温度の上昇に伴って減少することから、水の表面張力と水あげ処理開始6時間目までの吸水量との関係をとっても高度に有意な反比例の関係 [$y = 2.61x / (-59.45 + x)$, $R^2 = 0.94^{**}$] を得ることができ、一見水温の上昇に伴う表面張力の低下が吸水速度を高めているかのように見える。

毛管中に吸引される水の高さ h (m) は、

$$h = 2\gamma \cos\theta / \rho g r$$

で示される。ここで、 γ は液体の表面張力 ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)、 θ は接触角 (rad)、 ρ は液体の密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)、 g は重力加速度 ($9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)、 r は管の半径 (m) である。茎内の導管の太さはまちまちであり、本数もさまざまであると考えられるが、一般には半径 $20 \sim 200 \mu\text{m}$ の範囲にあるものが多い (モア・ショップナー, 1998)。使用したシュートセグメントの茎断面を顕鏡した結果からもこれ以上細い導管は確認されなかった (データ省略)。そこで、導管の半径を $20 \mu\text{m}$ 、接触角 50° ($5\pi/18 \text{ rad}$) とし、 0°C ($\gamma = 0.756 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$) と 40°C ($\gamma = 0.696 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$) の水がこの毛細管に保持される場合の水柱の高さを計算し、その差を求めると 39 cm となる。これに相当するマトリックポテンシャルの増加分はわずか 3.8 kPa と計算され、水あげ処理開始時点で 1 MPa 近い圧力差に占める表面張力低下の寄与分は1%以下であり、非常に小さい。従って、水温の上昇に伴う吸水量の増加には、表面張力の低下よりも動粘度の低下がより大きく関係して

いるものと考察される。

本実験では、水あげ処理前にシュートセグメントを空中で乾かしたことから、導管内には空気が入っており、それが取り除かれる速度は吸水速度に影響する。van Meeteren・van Gelder (1992) は、キク切り花の収穫後の取扱いが導管の空気による閉塞の程度に関係して新鮮重の回復に影響をもたらすことを示した。また、van Ieperen ら (2002) は、導管内の気泡による閉塞は、空気が水に溶けることで取り除かれると考えて実験モデルを構築し、実際にキク切り花を用いてモデルの検証を行っている。しかし、この論文では、水温 20°C におけるシミュレーションと検証が行われているだけで、気泡の消失に対する水温の影響については何も述べられていない。

3. 水温および気温と水あげ速度との関係 (実験3)

気温と水温とを変えた実験では、気温/水温を $40/40^\circ\text{C}$ とした区で新鮮重の回復が早く、3.5時間で初期新鮮重にまで回復した (第5図)。また、 $0/40^\circ\text{C}$ 区、 $0/0^\circ\text{C}$ 区でも、それぞれ4.5時間、6時間で初期新鮮重にまで回復した。これに対して、 $40/0^\circ\text{C}$ では著しく新鮮重の回復が遅れた。また、この実験区では、蒸散速度が他の区よりやや大きく推移した (データ省略)。 $0/0^\circ\text{C}$ 区での新鮮重の回復が実験2よりも早かった原因は明らかではないが、少なくともこの結果は、茎基部に動粘度の大きい低温の水があり、かつ気温が高く水蒸気圧欠差が生じやすい条件では新鮮重の回復が著しく遅れることを示している。

本実験の結果は、キク切り花を気温/水温を $20/0^\circ\text{C}$ とし、いけた場合、 $20/20^\circ\text{C}$ よりもいけた直後の新鮮重の低下が抑えられ、その後の新鮮重の回復が速やかとなったとする van Meeteren (1992) の結果とは異なる。また、バラヤカーネーション切り花では、 $3 \sim 50^\circ\text{C}$ で吸水に影響がないとする Sytsema (1975) の研究結果とも異なる。ただし、こ

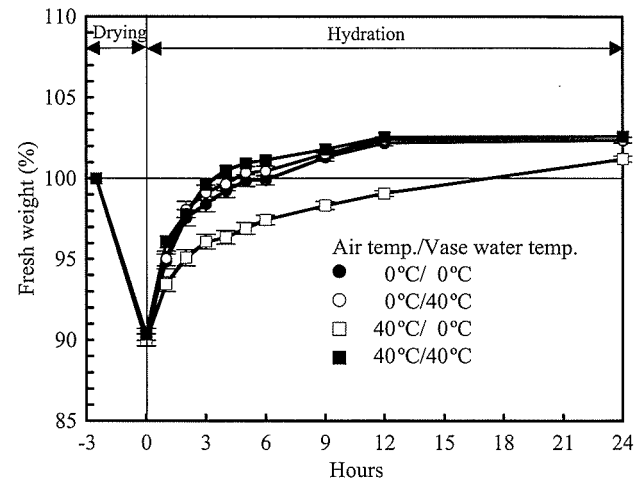


Fig. 5 Hydration of six-leaved 'Jinba' shoot segments held in $0/0^\circ\text{C}$, $0/40^\circ\text{C}$, $40/0^\circ\text{C}$ and $40/40^\circ\text{C}$ air/vase water temperatures under nearly 100% RH in the dark. Vertical bars indicate standard errors of the means of 8 replicates.

これらの報告において蒸散がどのように作用したかは明らかではなく、本実験の結果とは一概に比較はできない。

一般に小売店で湯あげを行う際には切り花を新聞紙に巻いたり、場合によってはその新聞紙を湿らせたりする。これは高気温下で特に高まりやすい蒸散を低く抑えることに有効で、そのような高湿度条件では高温で水あげするほど新鮮重の回復が速やかであることから、慣行の方法は理にかなっているといえる。なお、湯あげに際して、80°C 近い湯に1分程度浸漬する方法があるが、これは動粘度と関連した吸水促進効果を期待したものではない。

4. 界面活性剤の添加と水あげ速度との関係 (実験4)

生け水への種々の界面活性剤の添加は動粘度を全く変化させなかったのに対し、一部の界面活性剤では表面張力を脱塩水の半分程度にまで低下させた (第1表)。また、生け水の表面張力と水あげ処理開始後1時間および6時間の吸水量との関係をみたところ、0°C では有意な関係は認めら

Table 1 Kinematic viscosity and surface tension of vase water containing surfactants.

Surfactant	Kinematic viscosity ($10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)		Surface tension ($10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$)	
	0°C	25°C	0°C	25°C
No (Deionized water) ²	1.79	0.89	78.6	72.0
0.03% "Shinguramin"	1.77	0.90	39.7	31.9
0.01% PLE	1.77	0.88	45.7	34.1
0.05% Tween 20	1.79	0.92	68.7	58.9
0.01% Neutral detergent	1.75	0.90	69.4	58.6
0.05% DMSO	1.78	0.91	77.0	72.4

²Data from "Chronological Scientific 2005".

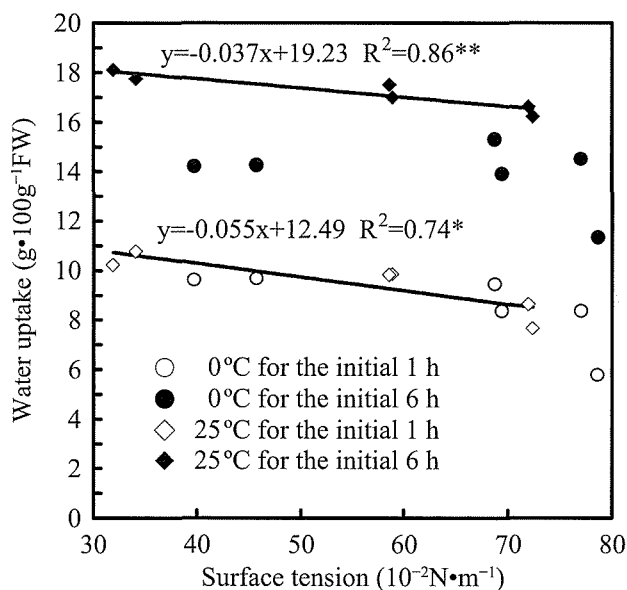


Fig. 6 Relationship between surface tension of vase water containing surfactants and water uptake by six-leaved 'Jinba' shoot segments at 0°C and 25°C.

れなかったものの、25°C ではそれぞれ $y = -0.055x + 12.49$ ($R^2 = 0.74^*$), $y = -0.037x + 19.23$ ($R^2 = 0.86^{**}$) の有意な直線回帰が得られた (第6図)。25°C での結果から、界面活性剤の生け水への添加による吸水促進効果が表面張力の低下に由来するとして van Doorn (1997) の考えが数量的に裏付けられたことになるが、生け水の温度が低い場合には動粘度の増加による吸水抑制の影響が大きいいため、表面張力の低下効果が小さい界面活性剤においては吸水促進作用が現れにくいのではないかと考えられた。

界面活性剤の添加で表面張力が低下した生け水は、導管内に入るとマトリックポテンシャルを上昇させる。いま、導管の半径を20 μm 、接触角50°として、25°Cの脱塩水 ($\gamma = 0.720 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$) とそこに0.01% PLEを添加した場合 ($\gamma = 0.341 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$) のマトリックポテンシャルの上昇分を計算すると25 kPaとなる。これは葉と生け水との間に生じている水ポテンシャル差 (1 MPa 程度) の数%を占めるに過ぎないが、このような表面張力を低下させた水がいったん導管内に入り込むとそれより上部にすでに保持されている水との間に局所的にはマトリックポテンシャルの増加分だけ圧力差が生じ、この差を埋めるべく水が上方に移動するため、吸水が促されるものと考えられる。界面活性剤の添加により水あげ初期の吸水が著しく促されるのは (第6図)、このような理由によるものであり、導管内の水が界面活性剤を含む水に置き換えられた時点でその効果はなくなるであろう。一方、皮層を経由する水移動に対しては、導管を経由する吸水に対してより、界面活性剤の添加による表面張力の低下がより促進的に作用するものと考えられる。

次に、表面張力の低下割合が大きかった PLE と「新グラミン」を用いて0°C で水あげを行った場合の新鮮重の回復経過を0, 25 および40°C 下で脱塩水により水あげを行った場合と比較したところ、いずれの界面活性剤とも40°C 下

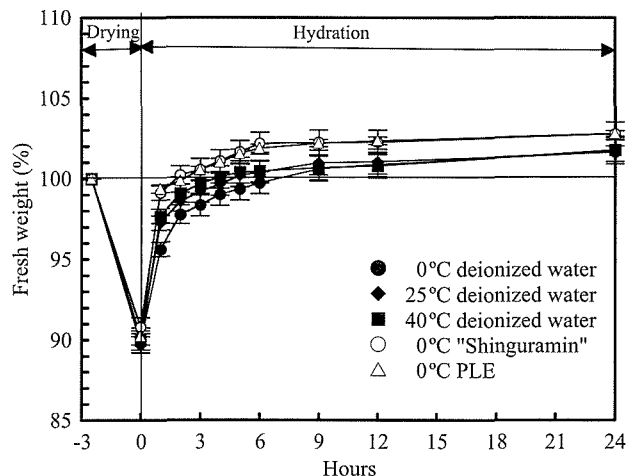


Fig. 7 Hydration of six-leaved 'Jinba' shoot segments in vase water containing surfactants. Shoot segments were held at nearly 100% RH in the dark. Vertical bars indicate standard errors of the means of 8 replicates.

で水あげを行った場合以上に新鮮重の回復が早く、0°C下でも2.5時間で初期新鮮重にまで回復した(第7図)。

一般に収穫時点でのキク切り花の茎長は80 cm以上あり、多くの葉がついている。このような切り花では、水蒸気圧欠差の増大に伴う蒸散量の増加が大きく、このことが水あげ時の新鮮重の回復に大きな影響を及ぼす。高温下では大容積の水蒸気圧欠差を低く維持することは難しい。また、高温高湿下ではむれが生じやすく、灰色カビ病をはじめとする病害の発生を招きやすい。Adachiら(1999, 2000)は、高温下ではキク切り花の呼吸量が増大し、開花に必要な炭水化物の消費を引き起こすことから、30°Cを越える高温は必ずしも保管温度としては適切でないことを指摘している。これらのことから、生産者が行う水あげにおいては温度を20~25°Cとして比較的高湿度に保って水あげを行うことが現実的であると考えられる。特に、実験3の結果から水温だけを下げ水あげを行うことは望ましくない。また、低温下でも界面活性剤を添加して深水とすることで、より速やかな水あげが期待できよう。

摘 要

キク (*Dendranthema grandiflora* (Ramat.) Kitamura) '神馬'のシュートセグメントを用い、湯あげや生け水への界面活性剤の添加による水あげについて、生け水の物理的特性との関係を検討した。相対湿度を100%近くとし温度を0~40°Cにかえて水あげを行ったところ、高温ほど新鮮重の回復が早くなった。水あげ開始6時間目の新鮮重(y)と生け水の動粘度(x)との関係は有意に直線回帰($y = -3.86x + 103.10$, $R^2 = 0.92^{**}$)され、同時刻までの吸水量(y)とは反比例の関係 [$y = 10.36x / (-0.28 + x)$, $R^2 = 0.94^{**}$] にあった。これらの実験結果から、切り花による吸水は部分的にはハーゲン・ポワズイユの法則から説明することができ、湯あげによる吸水促進効果は水の動粘度の低下が通導抵抗の低下をもたらししていることに起因していることが示された。生け水へポリオキシエチレン(7)ラウリルエーテルや「新グラミン」のような界面活性剤を添加したところ、低温下でも新鮮重の回復が速やかとなった。これらの界面活性剤を添加した生け水の表面張力は脱塩水の半分近くにまで大きく低下し、このことが導管内へ入った水のマトリックポテンシャルの上昇を介して水あげを促進しているのではないかと考えられた。

引用文献

Adachi, M., S. Kawabata and R. Sakiyama. 1999. Changes in carbohydrate content in cut chrysanthemum [*Dendranthema × grandiflorum* (Ramat.) Kitamura] 'Shuho-no-chikara' stems kept at different temperatures during anthesis and senescence. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68: 505-512.

Adachi, M., S. Kawabata and R. Sakiyama. 2000. Effects of temperature and stem length on changes in carbohydrate

content in summer-grown cut chrysanthemums during development and senescence. Postharvest Biol. Technol. 20: 63-70.

Durkin, D. J. 1980. Factors effecting hydration of cut flowers. Acta Hort. 113: 109-117.

船越桂市. 1988. 数種切花の日持ちに及ぼす中性洗剤の影響. 園学要旨. 昭63春: 446-447.

国立天文台. 2004. 理科年表2005. p. 373-374. 丸善. 東京.

Mensink, G. J. M. and W. G. van Doorn. 2001. Small hydrostatic pressures overcome the occlusion by air emboli in cut rose stems. J. Plant Physiol. 158: 1495-1498.

モーア-ハンス・ショッファー-ペーター. 1998. 植物生理学(網野真一・駒嶺 穆訳). p. 463-464. シュプリンガー・フェアラーク東京. 東京.

Nowak, J. and R. M. Rudnicki. 1990. Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens, and potted plants. p. 29-66. Timber Press, Oregon.

Pak, C. and W. G. van Doorn. 1991. The relationship between structure and function of surfactants used for rehydration of cut *Astilbe*, *Bouvardia* and roses. Acta Hort. 289: 171-176.

Reid, M. S. 2002. Postharvest handling systems: Ornamental crops. p. 315-325. In: A. A. Kader (ed). Postharvest technology of horticultural crops. The University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. Oakland, California.

Sytsema, W. 1975. Conditions measuring vase life of cut flowers. Acta Hort. 41: 217-225.

宇田 明・小山佳彦・福嶋啓一郎・池田幸弘. 1994. 界面活性剤を添加したSTSによるスプレーカーネーションの品質保持期間延長. 園学雑. 63: 645-652.

宇田 明・小山佳彦・小林尚武・岸本基男. 1990. 切り花の花持ち延長. 第5報. 界面活性剤前処理がストック切り花の吸水に及ぼす影響. 兵庫農技研報. 38: 59-64.

van Doorn, W. G. 1997. Water relations of cut flowers. Hort. Rev. 18: 1-85.

van Ieperen, W., U. van Meeteren and J. Nijssse. 2002. Embolism repair in cut flower stems: a physical approach. Postharvest Biol. Technol. 25: 1-14.

van Meeteren, U. 1978. Water relations and keeping quality of cut gerbera flowers. I. The cause of stem break. Sci. Hortic. 8: 65-74.

van Meeteren, U. 1989. Water relations and early leaf wilting of cut chrysanthemums. Acta Hort. 261: 129-135.

van Meeteren, U. 1992. Role of air embolism and low water temperature in water balance of cut chrysanthemum flowers. Sci. Hortic. 51: 275-284.

van Meeteren, U. and H. van Gelder. 1992. Effects of time since harvest and handling conditions on rehydration ability of cut chrysanthemum flowers. Postharvest Biol. Technol. 16: 169-177.