

ホウ素過剰による秋ギクの葉縁褐変と日持ち低下に 及ぼす二、三の要因

石田 明*・糠谷 明・重岡廣男**・田形保道***

静岡大学農学部 422 静岡市大谷

Some Factors Affecting Leaf Marginal Burn and Vase Life Deterioration in Chrysanthemums Induced with Excess Boron

Akira ISHIDA, Akira NUKAYA, Hiroo SHIGEOKA and Yasumichi TAGATA

Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Ohya, Shizuoka 422

Summary

Effect of boron (B) concentration (0.2, 5 and 10 ppm) in nutrient solution on the major mineral and B content, and ethylene (C_2H_4) and carbon dioxide (CO_2) production was investigated in relation to the occurrence of marginal leaf-burn and deterioration of vase life in chrysanthemums grown in sand. The nutrient solutions containing B were applied the last 3 weeks before harvest. Marginal burns appeared on the upper leaves of the plant at 10 ppm B 16 days after treatment and thereafter, developed towards the lower leaves and involucre. Symptoms were found on upper leaves at 5 ppm B only at harvest. However, plants at 0.2 ppm B did not exhibit B toxicity symptoms. Vase life of cut flowers decreased by 15 to 17 days at 5 and 10 ppm B compared with 0.2 ppm B. B in leaves increased significantly with increasing B concentration in nutrient solution. B was much higher in the leaf margin than in the internal leaf areas. Potassium (K) in leaves gradually increased after treatment, but was slightly decreased at harvest. K was much higher in the internal leaf areas than margin. Total-N, P, Ca, Mg and Na in the leaves were not influenced by B concentration in nutrient solution. B in various parts of the flower increased significantly with increasing B concentration in nutrient solution. The B content in decreasing order was involucre > ray floret > tubular flower > receptacle. K in various parts of the flower decreased slightly with increasing B concentration in nutrient solution. The K content in decreasing order was receptacle > ray floret > involucre > tubular flower. The cut flower having marginal leaf-burn produced more C_2H_4 and CO_2 than those with the normal leaves. However, they decreased markedly by removal of the leaf margin. When petals or leaves of the cut flower began to wilt, the vessels of the stem end were plugged with a brownish substance. The substance was stained well with ruthenium red, methylene blue and safranin, although it was not stained with congo red and aniline blue. Therefore, it is possible that the vessel plugging substance is a pectin-like compound. As a result, the marginal leaf-burn is apparently caused by high concentrations of B along the margin of leaves. Higher accumulation of B in leaves or ray floret, and plugging of pectin-like compounds in vessels of the stem may be one of the causes for deterioration of the vase life.

結 言

秋ギクへの高濃度のホウ素 (B) 施用が、葉縁褐変と

1987年7月23日 受理

* 現在 静岡大学農学部附属農場

** 現在 静岡大学教育学部

*** 現在 赤塚植物園

切り花の日持ち低下をもたらしことは、既報(3)において明らかにした。また、葉縁褐変葉(褐変葉)の葉縁部のB含量は、その中心部に比べて著しく高く、K含量は逆に低いこと及び高濃度のCaを施用することにより、Bによる切り花の日持ち低下が軽減され、葉のB含量は減少することも報告した(4)。ユリ(6)やラフレモン

(9) では、B 処理によって褐変した葉先の B 含量は、健全な葉身部に比べて著しく高いと言われていることから、秋ギクの葉縁褐変は B 過剰によるものと推論した(3, 4)。しかし、前述のように、褐変部で K 含量が低下するなど、褐変と B 以外の無機成分の変化との関係は不明であり、B の過剰集積によるとの断定はできなかった。また、日持ちの低下についても、吸水量、蒸散量、エチレン (C_2H_4) 及び CO_2 生成量など、日持ちに関係すると思われる要因について観察した(2) が、その原因を明らかにするには至らなかった。そこで、これらの点を究明するため、B 処理濃度が植物体の無機成分含量、 C_2H_4 、 CO_2 生成量に及ぼす影響を調査するとともに、茎通道組織を組織化学的な方法で観察した。

材料及び方法

秋ギクの品種「精興の花」の挿し芽苗を、1980年7月11日に天竜川の川砂を詰めた木箱 (40×40×12cm) に4本ずつ定植し、その後1週間は、0.5 ppm の B を含む基本培養液(3) の 1/4 濃度のものを、7月19日から10月6日まで、0.2 ppm の B を含む基本培養液(3) を、灌水代りに施用した。施用は晴天日には1日2回、曇天日は1回 (1箱当たり1回に0.5~1.0 l) とした。なお、雨の日は施用しなかった。培地の表面には敷わらを行った。摘心は7月21日に1回だけ行い、2本仕立てとした。10月7日から10月26日まで、0.2、5、10 ppm の3段階の B 濃度の培養液(3) を施用した。植物体の無機成分の経時的変化を調査するため、10月6、13、20日に各区2箱を、また収穫時 (10月27日) には、切り花の日持ち調査分も含め、各区3箱をサンプリングに供試した。無機成分の分析及び日持ち調査の方法は、既報(3) と同様にした。10月27日における葉の無機成分の分布をみるため、葉を葉縁部とそれを切除した残りの部分 (葉身部) に分けて分析した。さらに、10 ppm B 区の褐変葉と褐変のみられない葉 (健全葉) については、葉縁に沿って4 mm ずつの幅に切断して分析した。切り花の C_2H_4 及び CO_2 生成量の測定は、各区2個体を用い、恒温室 (20°C) 内の大型ガラス容器に入れ、切り口は水道水 50 ml を入れたビーカーに挿入し、吸水させながら

行った。収穫翌日 (10月28日) から11月17日までの毎日、 C_2H_4 は3時間、 CO_2 は5時間容器を密閉し、生成した C_2H_4 及び CO_2 を、Mallick ら (8) の方法に準じて、ガスクロマトグラフィーで測定した。データは2日分をまとめて平均値で示した。葉の C_2H_4 、 CO_2 の測定は、葉を葉柄基部から切り取り、水道水 10 ml を入れた 125 ml の三角フラスコ内で吸水させながら、切り花と同じ方法で行った。なお、 C_2H_4 及び CO_2 生成量と葉縁褐変との関係をみるため、健全葉 (0.2 ppm B 区) と褐変葉 (10 ppm B 区) を、葉縁に沿って2及び8 mm 幅に切除して、葉の C_2H_4 と CO_2 生成量も測定した。一方、日持ち実験で、葉又は花弁がしおれ始めた切り花について、茎基部の通道組織を顕微鏡で観察し、道管の閉塞物質について、ルテニウムレッド、メチレンブルー、サフラニン、コンゴーレッド、アニリンブルー等の色素で染色し、組織化学的観察(5, 11)を行った。

結 果

1. 生育、日持ちに及ぼす影響 (第1表)

開花日、草丈、切り花と根の新鮮重には、処理の影響がみられなかった。切り花の日持ちは、5、10 ppm B 区が、0.2 ppm B 区に比べ、15から17日短かった。褐変は処理開始後16日目 (10月23日) に、10 ppm B 区の上位葉の葉縁でみられ、次第に下位葉へと進み、20日目 (収穫時) には総包にも及んだ。5 ppm B 区では、収穫時に上位葉の葉縁が褐変した。0.2 ppm B 区では、褐変は全くみられなかった。

2. 葉の成分含量に及ぼす影響 (第1, 2, 3, 4図)

10 ppm B 区の葉縁部の B 含量は、経時的に急増し、処理開始7日目で100 ppm、収穫時には453 ppm となった。一方、10 ppm B 区の葉身部と5 ppm B 区の葉縁部の B 含量も、経時的に高まり、収穫時にはそれぞれ183、138 ppm となった。5 ppm B 区の葉身部の収穫時における B 含量は、135 ppm であった。0.2 ppm B 区の B 含量は、処理期間中を通して変動が少なく、葉縁部、葉身部ともに20~38 ppm であった (第1図)。K 含量は各処理区とも、葉身部が葉縁部に比べて終始高かつ

Table 1. Effect of boron application on growth, leaf marginal burn and vase life in chrysanthemums cv. Seikinhana in sand culture.

B concn (ppm)	Days from pinching to flowering	Plant ht at harvest (cm)	Fresh wt of cut flower (g)	Fresh wt of roots (g)	Vase life (days)	Degrees of ^a leaf marginal burn
0.2	98.4	69.9	82.2	55.1	37.1	0
5	98.8	72.9	82.5	50.7	22.0	0.5
10	98.6	69.1	81.9	53.2	20.0	4

^a Scored from 0 (none) to 6 (very severe).

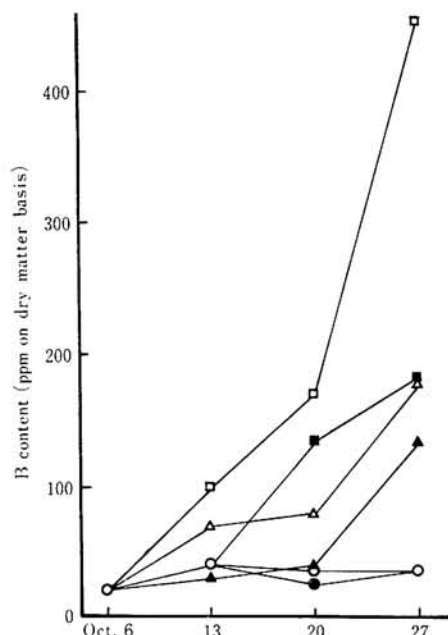


Fig. 1. Changes of boron in leaf margin and internal leaf areas of chrysanthemums treated with various concentrations of boron.

Treatments: ○—○, Leaf margin at 0.2 ppm B; △—△, at 5 ppm B; □—□, at 10 ppm B; ●—●, Internal leaf area at 0.2 ppm B; ▲—▲, at 5 ppm B; ■—■, at 10 ppm B.

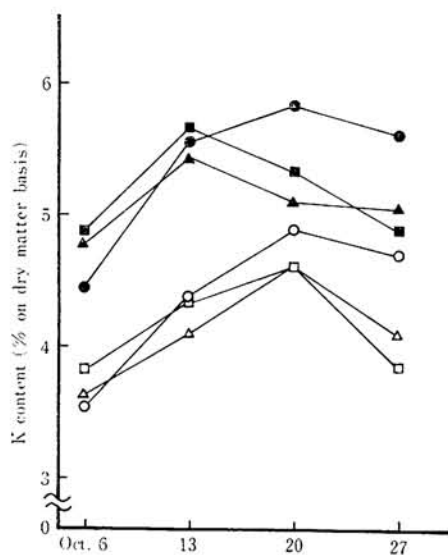


Fig. 2. Changes of potassium in leaf margin and internal leaf areas of chrysanthemums treated with various concentrations of boron. As to symbols, refer to Fig. 1.

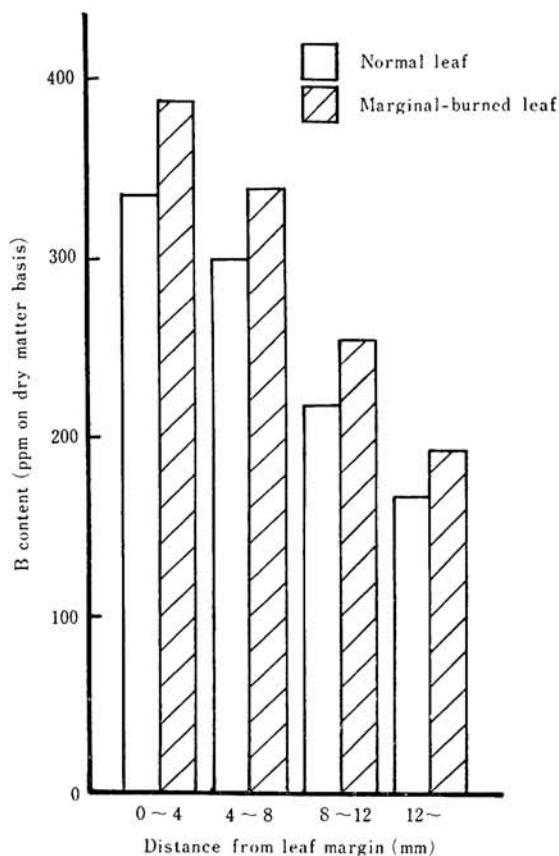


Fig. 3. Boron content of various areas in normal leaves and marginal-burned leaves of chrysanthemums treated with 10 ppm boron.

た。5, 10 ppm B 区の葉縁部では、処理開始 14 日目まで経時的に増加したが、収穫時には急減した。また、両区の葉身部の K 含量は、処理開始 7 日目から高まったが、以後次第に低下した。0.2 ppm B 区の K 含量も 14 日目まで増加し、収穫時にやや減少したが、5, 10 ppm B 区より高かった (第 2 図)。Total-N, P, Ca, Mg, Na の含量の経時的变化には、B 処理濃度の影響はみられなかったが、Mg だけは葉縁部より葉身部で高かった (データ省略)。10 ppm B 区の収穫時における B, K 含量の葉中分布をみると、B 含量は褐変葉が健全葉に比べて高く、また、いずれも葉縁に近い部位で高く、内側へ向かうにつれて低下した (第 3 図) が、K 含量は褐変葉が健全葉に比べて低く、また、いずれも内側へ向かうにつれて高まった (第 4 図)。Mg 含量の葉中分布は K と同じ傾向を示したが、褐変葉は健全葉に比べて高く、Total-N, P, Ca, Na 含量の褐変葉と健全葉及びそれらの葉中分布に、差はみられなかった (データ省略)。

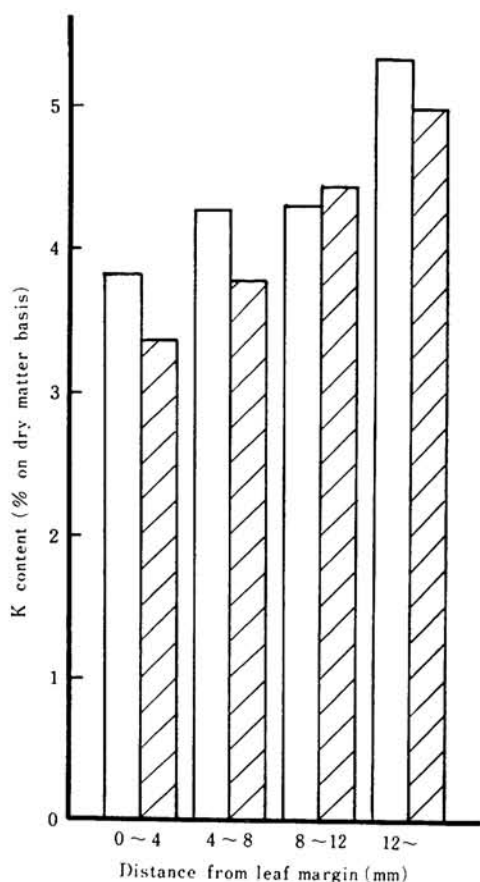


Fig. 4. Potassium content of various area in normal leaves and marginal-burned leaves of chrysanthemums treated with 10 ppm boron. As to symbols, refer to Fig. 3.

3. 花の各部のB含量(第2表)並びにその他の無機成分含量に及ぼす影響

B 含量は総苞>舌状花>筒状花>花床の關係がみられ、いずれも、B 処理濃度が高まるにつれて増加し、各部の含量差も大きくなった(第2表)。K 含量は花床>舌状花>総苞>筒状花の關係がみられ、特に花床で高く、B 処理濃度が高まるにつれて、わずかに減少した。Ca 含量は総苞>花床>筒状花>舌状花の關係がみられ、葉の Ca 含量に比べ、総苞で約2倍、花床でもほぼ同量であったが、舌状花では著しく低かった。また、総苞と花床では、5 ppm B 区でやや高かったほか、B 処理濃度の影響はみられなかった。Mg 含量は花床と総苞で高く、葉とほぼ同量であったが、Total-N, P, Na の含量は各部の差が少なかった。しかし、Total-N, P, Mg, Na の含量には B 処理濃度の影響は明らかでなか

Table 2. Effect of boron application on boron content in parts of flower in chrysanthemums cv. 'Seikōhōhō' in sand culture (ppm on dry matter basis)

B concn (ppm)	Receptacle	Involucre	Ray floret	Tubular flower
0.2	30	50	38	35
5	60	170	113	80
10	75	265	140	115

った(データ省略)。

4. 切り花と葉の C_2H_4 及び CO_2 生成量に及ぼす影響(第5, 6, 7図)

切り花の C_2H_4 生成量は、10ppm B 区では測定開始日から高く、2日目に最高となり、その後徐々に低下した。しかし、0.2 及び 5 ppm B 区では、そのような変化はみられず、終始低い値を示した(第5図)。葉の C_2H_4 生成量も、10 ppm B 区の健全葉では、測定開始日から著しく高く、2日目にピークを示し、以後急減した。10ppm B 区の健全葉では、0.2, 5 ppm B 区と差がなく、常に低い値を示した(第6図)。0.2 ppm B 区の健全葉と10ppm B 区の健全葉を、葉縁に沿って2及び8 mm 幅に切除した場合の、 C_2H_4 生成量をみると、10ppm B 区の2 mm 幅切除葉(健全部不完全除去)では、測定開始当日が最高であった。しかし、0.2 ppm B 区の2 mm 幅切除葉では、2日目にピークを示し、その後はいずれも急減したが、10 ppm B 区のほうが常に高かった(第7図)。一方8 mm 切除葉では、0.2 と10ppm B とで、 C_2H_4 生成量に差がみられなかった(第7図)。切り花の CO_2 生成量は、10ppm B 区で0.2 と5 ppm B 区より終始高かった(第5図)。葉の CO_2 生成量は、10 ppm B 区の健全葉で、健全葉に比べて高かったが、10 ppm B 区の健全葉では、0.2, 5 ppm B 区の健全葉とほぼ同量であった。なお、 CO_2 生成量の経時的变化をみると、各区とも測定開始時に最も高く、以後急減する様相を示した(第6図)。葉縁を切除した場合の葉の CO_2 生成量は、処理濃度及び葉縁切除の程度に、ほとんど影響されなかった(データ省略)。

5. 切り花の茎基部道管の組織化学的観察

切り花の日持ち調査で、葉又は花弁がしおれ始めた茎の、切り口附近の組織を、顕微鏡で観察したところ、切り口から数mmの道管に、淡褐色の物質が詰っていた。この物質はルテニウムレッドで赤色、メチレンブルーで青色、サフランで黄橙色に、それぞれよく染色された。また、サフラン染色後、希塩酸で処理したところ脱色された。なお、セルロース粘液の染色剤であるコンゴー

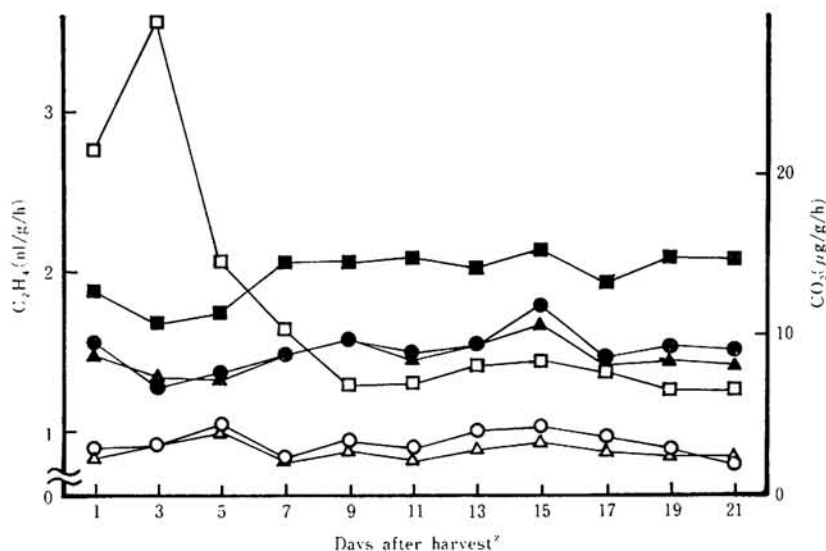


Fig. 5. Ethylene and carbon dioxide production in cut flower of chrysanthemums treated with various concentrations of boron.

^a harvested on Oct. 27.

Treatments: ○—○, Cut flower C₂H₄ at 0.2 ppm B; △—△, at 5 ppm B; □—□, at 10 ppm B. ●—●, Cut flower CO₂ at 0.2 ppm B; ▲—▲, at 5 ppm B; ■—■, at 10 ppm B.

レッド及びカローズ粘液の染色剤であるアニリンブルーの、いずれにも染色されなかった。これらの結果から、この淡褐色の道管閉塞物質は、ペクチン様物質ではないかと推定した。なお、同様の物質は、0.2ppm B区においても、葉又は花弁がしおれ始めた茎基部の道管で観察された。

考 察

秋ギクへの B 施用処理が、葉の主要成分含量の経時的变化と葉中の分布に及ぼす影響について調査した。その結果、高濃度の B 処理により葉中 B 含量は、処理開始後から収穫時まで直線的に増加し、特に葉縁部において急増した。この B 含量の変化は、健全葉より褐変葉において著しく、褐変の発現と密接に関連しているように観察された。K 含量は B 処理により、収穫時に減少したものの、処理開始時より高く、B 処理濃度の影響は、B 含量に比べて小さく、収穫時の K 含量が最も低かった褐変葉の葉縁部においてさえ、Lunt ら(7)の示した好適範囲内の 3.3% であった。このことから、K 含量の低下が、葉縁褐変の原因とは考えられない。Mg 含量も K と似た葉内分布を示したが、褐変葉が健全葉よりやや高い点が K と異なった。しかし、いずれの処理区でも、Mg 含量は Lunt ら(7)の示した好適範囲内にあり、Mg 含量と褐変発現との関係は考えられない。その他、Total-N、P、Ca、Na 含量は、B 処理の影響が

明らかでなかったことから、褐変との関連は求めにくい。したがって、秋ギクの B 処理による葉縁褐変は、B 過剰による典型的な障害であると結論できる。このような葉の障害は、切り花の外観を損ねることはもちろんのこと、葉のしおれを早め、日持ち低下の一因になっていると考えられる。なお、褐変の発現が、本実験では上位葉から始まり、下位葉へと進展し、これまでの場合(3)のように、下位葉から上位葉への順序と異っていた。これは、根から吸収された B が、蒸散流によって道管を上昇し、葉に集積される(10)場合、蒸散作用が活発葉に、より早く多量に移行するので、B の処理時期が、前回の実験(3)より遅いために、その時期に最も活動が盛んな上位葉から、褐変が発現したのと考えられる。

秋ギクの花の各部の成分含量を調査したデータは、見当たらないが、本実験では、花各部の B 含量は、B 処理濃度が高まるにつれて、明らかに高まり、殊に総包の含量は著しく高かった。このため、10 ppm B 区で、収穫時に褐変が発現したのと思われる。また、舌状花の B 含量も、113~140 ppm と比較的高かったが、これが花弁のしおれを早めた一因ではないかと考えられる。

切り花の C₂H₄ 及び CO₂ 生成量は、一般に、その老化と関係が深いとされているが、本実験でも、10ppm B 区のように褐変をもった葉や切り花では、それらの生成量が高かった。しかし、常に空気の対流する室内で、褐

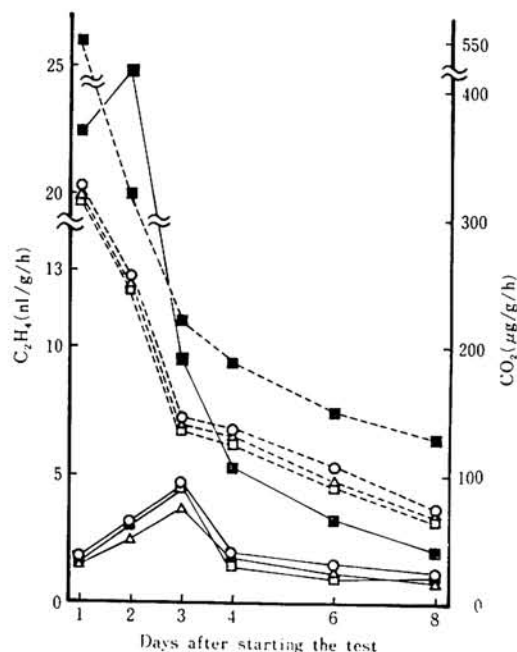


Fig. 6. Ethylene and carbon dioxide production in leaves of chrysanthemums treated with various concentrations of boron.

Treatments: ○—○, Normal leaf C_2H_4 at 0.2 ppm B; △—△, at 5 ppm B; □—□, at 10 ppm B. ■—■, Marginal-burned leaf C_2H_4 at 10 ppm B. ○—○, Normal leaf CO_2 at 0.2 ppm B; △—△, at 5 ppm B; □—□, at 10 ppm B. ■—■, Marginal burned leaf CO_2 at 10 ppm B.

変葉から発生する C_2H_4 や CO_2 が、切り花の日持ちに及ぼす影響は、それほど大きいとは考えられない。また、褐変部を切除した葉は、0.2 ppm B 区のものに比べて、 C_2H_4 の生成量に差がみられなかった。これは、 C_2H_4 の生成が、褐変という葉組織の損傷によることを、裏付けるものと思われる。このことは、健全葉にバロコート剤を塗布して、人為的に褐変させた葉においても、 C_2H_4 や CO_2 生成量が增大する結果（未発表）からも推察できる。

他方、切り花の寿命は、水揚げの良いことが条件の一つとされ、Durkin と Kug(1) は、バラの吸水を阻害する原因として、枝の切り口附近の維管束が、リグニンやタンニンに富んだゴム状物質によって、閉鎖されることを挙げている。本実験では、切り花の日持ち調査において、葉又は花弁がしおれ始めた茎の、切り口から数 mm の道管に詰っていた淡褐色の物質は、組織化学的にみて、ペクチン様物質ではないかと推定した。この物質の同定は、さらに詳細な検討を要するが、植物体内の B とペクチン様物質含量との間に、高い正の相関があることが

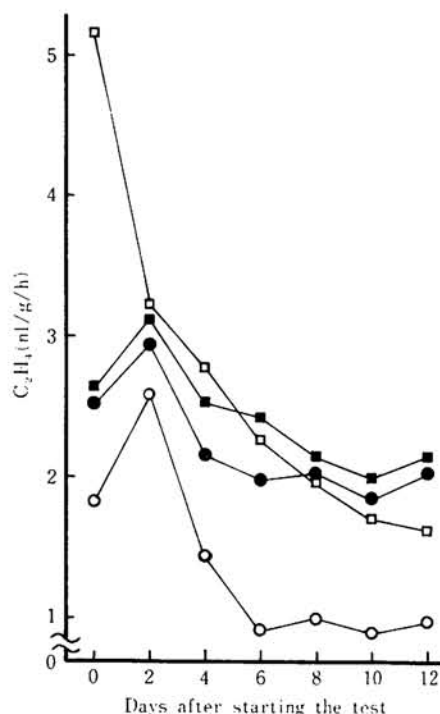


Fig. 7. Ethylene production of chrysanthemum leaves treated with 0.2 and 10 ppm boron after margins were removed.

Treatments: ○—○, removing of leaf margin in 2 mm width at 0.2 ppm B (Normal leaf); □—□, at 10 ppm B (Marginal-burned leaf). ●—●, removing of leaf margin in 8 mm width at 0.2 ppm B (Normal leaf); ■—■, at 10 ppm B (Marginal-burned leaf).

多くの植物で認められている(12)。したがって、秋キキにおいても、B 過剰施用によって茎の B 含量が高まり(4)、ペクチン様物質の生成が促された可能性もあり、また、この物質による道管の閉塞が、切り花の吸水を阻害し(2)、日持ちを低下させた一因となったものと思われる。

摘 要

培養液の B 濃度 (0.2, 5, 10 ppm) が、砂耕における秋ギクの葉縁褐変並びに切り花の日持ち低下に及ぼす影響と、葉の主要無機成分、B 含量、エチレン、 CO_2 生成量との関係を調査した。葉縁褐変は、10 ppm B 区の上位葉で、処理後 16 日目にみられ、その後これらの症状は、下位葉並びに総包へと進展した。また、5 ppm B 区では、収穫時に上位葉で発現した。しかし、0.2 ppm B 区では、このような症状はみられなかった。5 及び 10 ppm B 区の切り花の日持ちは、0.2 ppm B 区に比べ、

15 から 17 日減少した。葉の B 含量は、培養液の B 濃度が高まるにつれて明らかに高まった。B 含量は葉縁部が葉身部より高かった。葉の K 含量は、処理後次第に増加したが、収穫時には、わずかに減少した。K 含量は葉身部が葉縁部より高かった。葉の Total-N, P, Ca, Mg, Na 含量は、培養液の B 濃度に影響されなかった。花各部の B 含量は、培養液の B 濃度が高まるにつれて、明らかに増加した。その含量には、総包>舌状花>筒状花>花床の関係がみられた。花各部の K 含量は、培養液の B 濃度が高まるにつれて、わずかに減少した。その含量には、花床>舌状花>総包>筒状花の関係がみられた。エチレン及び CO₂ 生成量は、葉縁褐変葉をもつ切り花が、健全葉の切り花に比べて高かった。しかし、その褐変部を切除すると著しく低下した。切り花の花弁又は葉がしおれ始めた時、茎の切り口の道管に、淡褐色の物質が詰っていた。この物質はルテニウムレッド、メチレンブルー、サフラニンでよく染った。しかし、コンゴーレッドやアニリンブルーでは染色されなかった。このことから、この物質はペクチン様物質ではないかと推定した。

以上の結果、葉縁褐変は葉縁に高濃度の B が集積することによって発現することが明らかになった。葉や舌状花への高濃度の B の集積並びに基道管のペクチン様物質による閉塞は、切り花の日持ちを低下させる原因の一つと考えられる。

引用文献

1. DURKIN, D. and R. KUG. 1966. Vascular blockage and senescence of the cut rose flower. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 89: 683—688.

2. 石田 明・重岡廣男・糠谷 明. 1980. 秋ギクのホウ素過剰による日持ち低下についての二、三の観察. 園学要旨. 昭55秋: 470.
3. 石田 明・増井正夫・糠谷 明・重岡廣男. 1983. 秋ギクの生育、日持ち並びに葉縁褐変に及ぼす多量、微量元素及びホウ素の影響. 園学雑. 52: 302—307.
4. 石田 明・糠谷 明・重岡廣男. 1988. 秋ギクの生育、日持ち並びに葉縁褐変に及ぼすホウ素とカルシウム施用濃度の影響. 園学雑. 57: 273—278.
5. JENSEN, W. A. 1962. Botanical histochemistry, Freeman, San Francisco.
6. KOHL, H. C. and J. J. OERTLI. 1961. Distribution of boron in leaves. Plant Physiol. 36: 420—424.
7. LUNT, O. R., A. M. KOFRANEK and J. J. OERTLI. 1964. Some critical nutrient levels in chrysanthemum morifolium, cultivar Good News. Plant Analysis and Fertilizer Problems. IV: 398—413.
8. MALLICK, M. F. R., M. MASUI, A. ISHIDA and A. NUKAYA. 1984. Respiration and ethylene production in muskmelons in relation to nitrogen and calcium nutrition. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 52: 429—433.
9. OERTLI, J. J. 1960. Distribution of normal and toxic amounts of boron in leaves of Rough lemon. Agron. J. 52: 530—532.
10. 高下正則・高橋英一. 1976. 植物のホウ素栄養に関する比較生理的研究(第2報) トマト植物体内ホウ素含量の推移と分布. 土肥誌. 47: 138—141.
11. 植田利喜造. 1955. 植物組織化実験法. 生物学実験講座(11). 中山書店: 35—66.
12. 山内益夫. 1971. 高等植物におけるホウ素の役割(第1報) ホウ素とカルシウムあるいはペクチン様物質の関係. 土肥誌. 42: 207—213.