

ニッケルイオン処理によるカキ ‘西条’ 果実の樹上軟化抑制

松本敏一¹・倉橋孝夫¹・松本真悟²・赤浦和之³・牧 慎也⁴・鶴永陽子^{1a}・板村裕之^{2*}¹ 島根県農業技術センター 693-0035 出雲市芦渡町² 島根大学生物資源科学部 690-8504 松江市西川津町³ 島根県立大学短期大学部松江キャンパス 690-0044 松江市浜乃木⁴ 新居浜工業高等専門学校 792-8580 新居浜市八雲町

Inhibition of On-tree Fruit Softening of ‘Saijo’ Persimmon by Nickel Ion Treatment

Toshikazu Matsumoto¹, Takao Kurahashi¹, Shingo Matsumoto², Kazuyuki Akaura³,
Shinya Maki⁴, Yoko Tsurunaga^{1a} and Hiroyuki Itamura^{2*}¹Shimane Agricultural Technology Center, Ashiwata, Izumo, Shimane 693-0035²Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504³Matsue College, University of Shimane, Hamanogi, Matsue, Shimane 690-0044⁴Niihama National College of Technology, Yagumo, Niihama, Ehime 792-8580

Abstract

The influence of replacing Fe²⁺ with other divalent cations to inhibit ACC oxidase activity on ethylene production in fruit and on-tree fruit-softening of ‘Saijo’ persimmon was investigated. When studying the effects of spraying treatment of fruit calyx with 1,000 ppm of NiCl₂, CoCl₂, and CuSO₄ solutions (2 days after ethephone treatment) against on-tree fruit softening induced by ethephone, it was determined that a NiCl₂ solution at a concentration of 1,000 ppm was most effective for inhibiting fruit softening. Second, when studying the inhibitory effect of spraying NiCl₂ solution to prevent on-tree fruit softening, it was observed that treatment during early or mid-September or early October had little effect on inhibiting fruit softening and spraying had no effect after on-tree fruit softening had already occurred. However, by combining the serial application treatment in early September and again in early October, the ethylene concentration in fruit decreased and one-in-three trees treated tended to show inhibition of on-tree fruit softening. The fruit hardness of flesh receiving two treatments remained higher than that of non-treated fruit. While the possibility of inhibiting on-tree fruit softening by treatment with Nickel solution was shown in this study, further investigation is necessary to clarify and confirm the effect by replication experiments in future years and on other trees.

Key Words : ACC oxidase, divalent cation, ethylene

キーワード : ACC 酸化酵素, エチレン, 2 価カチオン

緒 言

中国地方で栽培されている渋ガキ ‘西条’ では、果実が収穫前に樹上で軟化する生理障害が問題となっている。この生理障害は、‘西条’ の早生系統、普通系統ともに発生し、収穫 1 か月前から収穫期にかけて樹上で果実が軟化するもので、生産量を低下させる大きな問題となっている(松本ら, 2007)。その発生原因として、樹勢の衰弱、枝や葉の擦れ、果実の傷害や汚損(倉橋, 1998) および園の排水不良(竹下ら, 1996) などが挙げられている。竹下ら(1996)、

梅野ら(1999) は、樹上軟化発生樹の果肉、へたおよび葉中のマンガン(Mn) 含量が著しく少ないことを報告している。また、持田ら(2008) は葉中の Mn 含量を 100 ppm 以上にすることで樹上軟化の発生を抑制できる可能性を示した。一方、Nakano ら(2002, 2003) は、果実軟化を引き起こす要因としてカキ果実内部のエチレン生成を指摘している。著者らは前報において、9 月上旬の過度な環状剥皮によって樹上軟化を再現させた実験で、環状剥皮による傷害ストレスで果実内に発生したエチレンが、樹上軟化発生に関与することを示唆した(松本ら, 2007)。

エチレン生合成系においては、1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸(ACC) 酸化酵素により ACC がエチレンに変換される。ACC 酸化酵素の活性には、2 価の鉄イオンが必要であることが知られている。鉄以外の 2 価金属イオン処理で ACC 酸化酵素活性を低下させることによってエチ

2008 年 6 月 24 日 受付。2009 年 5 月 20 日 受理。

本研究の一部は園芸学会平成 16 年度秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: itamura@life.shimane-u.ac.jp

* 現在 : 広島文教女子大学人間科学部

レン生成を抑制できることが報告されている (Lau・Yang, 1976; McGarvey・Christoffersen, 1992). また、カキを用いた実験では、Itamura ら (1997) が 2 価のコバルトイオンとニッケルイオンを *in vitro* でカキ果実に処理すると、エチレン生成が阻害されることを報告している。Zheng ら (2006) は、ニッケルイオンの樹上処理で、カキ‘西条’の果実樹上軟化抑制効果について、軟化に関する遺伝子発現を中心に報告している。本研究では、ニッケルイオン処理条件についてさらに詳細な検討を行うとともに、ニッケルイオンによる樹上軟化抑制機構について、エチレンとの関係を中心に調査を行った。

材料および方法

1. 供試材料

島根県農業試験場果樹圃場 (出雲市; 現島根県農業技術センター) 栽植の‘西条’早生系統における樹上果実または収穫果実を以下の実験に用いた。

2. エセフォン処理による樹上軟化誘導およびそれに及ぼす金属イオン処理の影響

‘西条’早生系統を用い、2001年10月15日にエチレンによる果実軟化を人為的に発生させるため、500 ppm の 2-chloroethanephosphonic acid (エセフォン) を霧吹きで果実のへた部に噴霧した。エセフォン処理2日後に異なる濃度の金属化合物水溶液、すなわち、それぞれ500と1,000 ppm の塩化ニッケル、塩化コバルトおよび硫酸銅水溶液を霧吹きでへた部に噴霧処理した。その5日後 (エセフォン処理7日後) に果実の軟化抑制効果を比較した。各処理は同一樹の亜主枝単位で行い、50～100果実/処理区とした。有意差検定は、各処理区と対照区間を順位カテゴリーに対する Wilcoxon 検定で行った。

3. ニッケルイオン処理が樹上軟化抑制および果実の日持ち性に及ぼす影響

1) 処理時期及び処理回数の及ぼす影響

一般的に樹上軟化の発生予測は困難であるが、その程度に差があるものの、発生しやすい樹が存在する。そこで、‘西条’早生系統の樹上軟化多発樹を3樹本実験に供試した。1,000 ppm の塩化ニッケル水溶液を1回処理では2002年9月3日、17日、または10月2日に、2回処理では9月3日と10月2日に、いずれも果実のへた部へ噴霧処理した。同一樹の主枝または亜主枝単位で処理区を設け、3～4日ごとに樹上軟化果実数を調査した。有意差検定は、それぞれの期間の累計における各処理区と無処理区間を2×2分画表によるカイ2乗検定で行った。

2) 収穫果実の日持ち性に及ぼす影響

ニッケルイオン処理による収穫果の日持ち性を検討するため、9月3日および10月3日の塩化ニッケル水溶液 (1,000 ppm) 2回処理区と無処理区について、10月17日に健全果実を各区5果収穫し、収穫時および室温で12日間貯蔵後の果肉硬度を調査した。果実の赤道面を剥皮し、それ

ぞれ対角線上の4点について5kg用円錐形プランジャーを取り付けたKM-5型果実硬度計 (藤原製作所, 東京) を用いて計測した。各果実の平均を求め、これより各処理区5果の平均値を算出し、ニッケルイオン処理区と無処理区間についてt検定により有意差検定を行った。

3) 樹上軟化開始樹へのニッケルイオン処理の効果

樹上軟化の開始を確認した3樹について、10月1日に1,000 ppm の塩化ニッケル水溶液を果実へた部に噴霧処理し、樹上軟化発生への影響を調査した。なお、各樹とも主枝2または3本についてニッケルイオン処理を行い、残りの主枝は無処理区とした。期間別の樹上軟化率は、樹上軟化開始日または前回測定日からの測定日までの軟化果実の合計数/軟化果実も含めた期間中の全果実数×100で算出した。有意差検定は、それぞれの期間における塩化ニッケル処理区と無処理区間について、t検定で行った。

4. 樹上軟化多発樹における果実内部エチレン濃度の推移とそれに及ぼすニッケルイオン処理の影響

‘西条’早生系統の樹上軟化多発樹を5樹選び、1,000 ppm の塩化ニッケル水溶液を2002年9月2日と10月2日に果実へた部に噴霧処理した。10月1～18日まで3～4日ごとに健全果実を採取し、果実内部エチレン濃度を調査した。ニッケルイオン処理は、1樹当たり2または3本の主枝単位で行い、残りの主枝は無処理区とした。果実内部エチレン濃度の測定は、各調査時に3～5果について行い、前報 (松本ら, 2007) と同様、Itamura ら (2003) の方法に準じて行った。

結 果

1. エセフォン処理による樹上軟化誘導およびそれに及ぼす金属イオン処理の影響

エセフォンは、植物に処理することによって、植物体内でエチレンに変換され、エチレンを発生する試薬として知られる (Rouhani ら, 1975)。樹上果実の内部でエチレンを発生させ、カキの樹上軟化を人為的に発生させる目的で、エセフォン500 ppm をへた部に樹上散布したところ、10日後には90%の果実が樹上で軟化した。一方、エチレン起因の果実樹上軟化に対する2価の金属イオンによる抑制効果を検討するため、エセフォン処理2日後に、500 ppm および1,000 ppm の塩化ニッケル、塩化コバルトおよび硫酸銅の各金属化合物水溶液をへた部に噴霧処理した。その結果、果実の軟化抑制効果が最も高い金属化合物は塩化ニッケルで、500 ppm、1,000 ppm 処理とも50%以上の果実で軟化発生を抑制した (第1表)。

2. ニッケルイオン処理が樹上軟化抑制および果実の日持ち性に及ぼす影響

1) 処理時期および処理回数の及ぼす影響

ニッケルイオン処理における時期別樹上軟化抑制効果を明らかにするため、異なる時期に1,000 ppm の塩化ニッケル水溶液を樹上軟化が多発する樹の果実へた部に散布し、

その樹上軟化への影響を収穫日まで経時的に調査した (第2表). 供試した3樹のうち1樹のみで50%以上の樹上軟化が発生し, その樹では10月2日の1回処理区および9月3日と10月2日の2回処理区で軟化を抑制した. 一方, 9月3日処理区では3供試樹とも軟化抑制効果はみられず, 10

月2日処理区では1供試樹で抑制されたが, 他の1樹では軟化をやや促進し逆効果をもたらした. また, 9月17日処理区では軟化発生が, 促進または有意差なしであった. 従って, 1供試樹のみで軟化抑制効果が認められた区は, 9月3日と10月2日の2回処理区であったが, 他の2供試樹では

第1表 エセフオン処理後の金属化合物処理とカキ '西条' 果実の樹上軟化抑制効果

金属化合物	水溶液の濃度 (ppm)	処理果実数	果実軟化の発生程度 ² (実数 (百分率))				有意差 ³
			無	小	中	大	
NiCl ₂	500	89	51 (57.8%)	32 (36.8%)	5 (5.6%)	0 (0%)	**
	1,000	80	40 (50%)	40 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	**
CoCl ₂	500	100	20 (20%)	65 (65%)	15 (15%)	0 (0%)	**
	1,000	50	20 (40%)	25 (50%)	5 (10%)	0 (0%)	**
CuSO ₄	500	100	20 (20%)	35 (35%)	35 (35%)	10 (19%)	*
	1,000	60	9 (15%)	27 (45%)	21 (35%)	3 (5%)	**
対照区		100	10 (10%)	30 (30%)	40 (40%)	20 (20%)	

エセフオン 500 ppm をへた部に噴霧処理 2 日後に金属化合物溶液を同様に噴霧処理

同一樹の垂主枝単位で行い, 50 ~ 100 果実/処理区 7 日後に調査

²小 (果頂部のみ軟化), 中 (果実の半分程度軟化), 大 (果実全体が軟化)

³各処理区と対照区間を順位カテゴリーデータに対する Wilcoxon 検定による

** : 1%水準, * : 5%水準で有意差があることを示す

第2表 カキ '西条' における塩化ニッケル処理の時期と果実樹上軟化発生

樹上軟化樹 -1

塩化ニッケル処理時期	処理果実数	期間ごとの樹上軟化発生果実数					期間の累計	有意差 ²
		10/1 ~ 3	10/4 ~ 6	10/7 ~ 17	10/18 ~ 23	10/24 ~ 28		
9/3	112	3	5	26	6	23	63 (56.3%)	NS
9/17	49	10	16	14	1	1	42 (85.7%)	*
10/2	67	0	0	0	0	4	4 (6.0%)	*
9/3 + 10/2	42	1	2	4	1	6	14 (33.3%)	*
無処理区	165	2	13	27	14	31	87 (52.7%)	

樹上軟化樹 -2

塩化ニッケル処理時期	処理果実数	期間ごとの樹上軟化発生果実数					期間の累計	有意差
		10/1 ~ 3	10/4 ~ 6	10/7 ~ 17	10/18 ~ 23	10/24 ~ 28		
9/3	77	1	2	4	3	6	16 (20.8%)	*
9/17	47	2	0	3	1	6	12 (25.5%)	NS
10/2	80	0	0	2	1	5	8 (10.0%)	*
9/3 + 10/2	42	0	0	1	0	1	2 (4.8%)	NS
無処理区	150	0	1	1	0	9	11 (6.1%)	

樹上軟化樹 -3

塩化ニッケル処理時期	処理果実数	期間ごとの樹上軟化発生果実数					期間の累計	有意差
		10/1 ~ 3	10/4 ~ 6	10/7 ~ 17	10/18 ~ 23	10/24 ~ 28		
9/3	107	0	2	5	0	12	19 (17.8%)	NS
9/17	60	1	0	2	2	13	18 (30.0%)	NS
10/2	100	0	0	6	4	20	26 (26.0%)	NS
9/3 + 10/2	73	1	0	2	3	4	10 (13.7%)	NS
無処理区	193	1	6	8	2	26	43 (22.3%)	

塩化ニッケル処理 : 1,000 ppm の塩化ニッケル水溶液をへた部に噴霧処理

主枝または垂主枝単位で処理

²期間の累計における各処理区と無処理区間を2×2分画表によるカイ2乗検定により, NS : 有意差なし, * : 有意差があることを示す

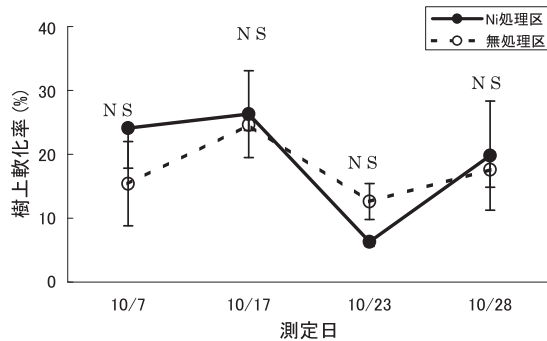
第3表 カキ‘西条’におけるニッケルイオン処理と収穫時および12日後の果実硬度

	10月17日	10月29日
ニッケルイオン処理区	1.98 ± 0.03 ^z	1.98 ± 0.04
無処理区	1.95 ± 0.06	1.83 ± 0.10
有意差 ^y	NS	*

9月2日および10月2日に1,000 ppmの塩化ニッケル水溶液をへた部に噴霧処理

^z 果肉硬度 (kg) の平均値 ± 標準誤差 (n = 5)

^y t検定により, NS: 有意差なし, *: 5%水準で有意差があることを示す



第1図 樹上軟化発生直後の塩化ニッケル処理による樹上軟化発生の間隔別推移

樹上軟化開始時(10月1日)にへた部へ1,000 ppmの塩化ニッケル水溶液噴霧処理

横軸: 月日, 縦棒: 標準誤差 (n=3), 樹上軟化率: 測定日までの軟化果実数/軟化果実を含めた全果実数 × 100

明らかな効果は認められなかった。

2) 果実の日持ち性に及ぼす影響

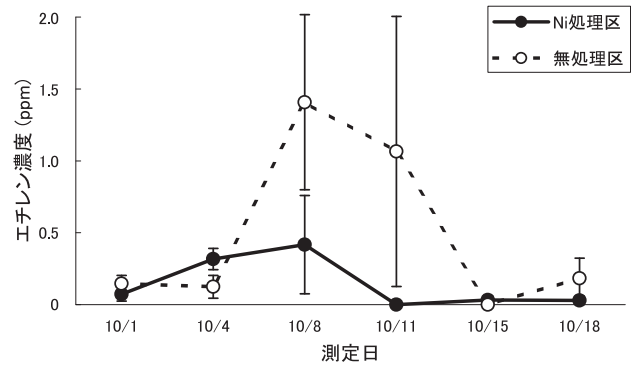
ニッケルイオン処理による収穫後果実の日持ち性を検討するため, 1) で2回処理した健全果を12日間貯蔵し果肉硬度を調査したところ, ニッケルイオン処理区で収穫時と同程度の硬度が維持されていた(第3表)。

3) 樹上軟化開始樹へのニッケルイオン処理の効果

樹上軟化開始直後の樹に対して, ニッケルイオン処理の有効性を検討するため, 樹上軟化の発生が最初に確認された日(10月1日)にへた部へ1,000 ppmの塩化ニッケル水溶液の噴霧処理を行った。その結果, 10月7~28日における処理区と無処理区間の樹上軟化率には有意な差はなかった(第1図)。従って, 樹上軟化開始樹へのニッケルイオン処理は, 樹上軟化の発生を抑制できないことが示唆された。

3. 樹上軟化多発樹における果実内部エチレン濃度の推移とそれに及ぼすニッケルイオン処理の影響

樹上軟化が発生した期間, 経時的に果実内部エチレン濃度を測定した(第2図)。エチレン濃度の平均値のピークは, 10月8日において無処理区で1.4 ppmであったが, ニッケルイオン処理区では0.42 ppmと低く, 期間中のエチレン濃度もニッケルイオン処理区で低い傾向が認められた。



第2図 ニッケルイオン処理と果実内部のエチレン濃度の時期別変化

9月2日および10月2日に1,000 ppmの塩化ニッケル水溶液をへた部に噴霧処理

縦棒: 標準誤差 (n=3)

考 察

果実軟化を引き起こす要因として, 果実内部のエチレン生成が指摘されている(Nakanoら, 2002, 2003)。ACC酸化酵素の補酵素である2価の鉄イオンと競合する2価カチオン処理によるエチレン合成阻害は, アボカド(McGarvey・Christoffersen, 1992), リョクトウおよびリンゴ(Lau・Yang, 1976)などで報告されている。また, McGarvey・Christoffersen(1992)は, ACCがACC酸化酵素の働きでエチレンに変換される際に, ACC酸化酵素の補酵素である2価の鉄イオンと競合する他の2価カチオンが存在するとACC酸化酵素の働きが阻害され, エチレン生合成が抑制されると報告している。本実験で用いた3種類の2価カチオンであるニッケル, コバルトおよび銅のイオン化傾向をACC酸化酵素の補酵素となる鉄と比較すると, 鉄, コバルトおよびニッケルの順に小さくなり, さらに, これら3種類の金属は隣接している。一方, 銅のイオン化傾向は, これらよりかなり小さい。イオン化傾向が鉄に近く, かつ, 鉄より小さいニッケルの存在によって2価の鉄イオンとの競合が発生し, その結果, ACC酸化酵素の活性とそれに伴うエチレン生合成が阻害され, 樹上軟化が抑制されたと推察される。また, コバルトについては, イオン化傾向はニッケルの次に大きく, Itamuraら(1997)の行った*in vitro*での実験でもニッケルと同程度のACC合成酵素の阻害効果を確認している。本研究ではニッケルよりやや低い効果しか得られなかったが, 収穫果実への処理でなく樹上処理であったため, 何らかの樹の影響の可能性も考えられる。Zhengら(2006)は, ニッケルイオン処理した果実のエチレン生合成遺伝子の発現解析を行い, ニッケルイオン処理した収穫果実において, ACC酸化酵素遺伝子*DK-ACO1*の発現が促進されることを報告している。このことから, 処理時期によってはニッケルイオンにより*DK-ACO1*の発現が増大され, 結果としてエチレン生成や軟化が促進される可能性も考えられる。

カキ果実は, 自己触媒エチレン生成能を持つことが知ら

れている (Nakano ら, 2002). 今回のエセフォン処理果実を用いた実験では, エセフォン処理により果実内で発生した微量エチレンに反応し自己触媒的に誘導される多量エチレンの生成が, ニッケルイオン処理により, 阻害されたために, 樹上軟化が抑制されたと推察される. しかしながら, 本当に ACC 酸化酵素活性の阻害による自己触媒のエチレン生合成の抑制の結果か, あるいは, エチレン感受性など他の要因への影響も存在するのか明らかにするためには, 果実内のエチレン濃度の測定などさらなる調査が必要である.

本実験において, 樹上軟化が多発した 1 供試樹でニッケルイオン処理 (1,000 ppm) によって軟化を抑制されたが, 一方, 樹上軟化の発生程度が低かった他の 2 供試樹では, 明らかな効果がみられなかった. 従って, ニッケルイオン処理が樹上軟化発生果実の累計に及ぼす影響には, 明確な傾向は見いだせなかった. しかし, 樹によっては, ニッケルイオン処理を行った区で樹上軟化発生果実の累計が有意に低かった区が認められたことから, 今後はそれらの処理結果をもとに, 年次や樹の反復を行い, より有効な処理法を確立する必要があると考えられる. なお, 第 2 表において有意差があったことについては, 各処理区と無処理区との間の 2×2 分割表によるカイ 2 乗検定を繰り返したので, 第 1 種の過誤による可能性も考えられる.

本実験で行ったニッケルイオン 2 回処理樹から 10 月 28 日に収穫した果実を実験に供試した Zheng ら (2006) は, 果肉中のニッケル含量を分析したところ, 処理 30 日後で無処理区と同レベルであったと報告している. このことから, ニッケルイオン処理効果は 1 か月以上は持続できないと考えられ, このために, 9 月 3 日の 1 回処理では軟化抑制効果が小さかったと思われる. また, Itamura ら (2003) は, 島根県松江市の柿園から採取したカキ '西条' の果実内部エチレン濃度を 1998 年 9 ~ 11 月まで経時的に測定したところ, 9 月 21 日に大きなピークを確認している. このエチレンピークあるいはそれに伴う 2 次的なエチレン生合成を抑制するには, 9 月上旬のニッケルイオン処理が必要で, 9 月 17 日や 10 月 2 日の処理では安定した樹上軟化抑制効果が得られないと考えられる.

一方, 樹上軟化発生後の処理では, 軟化抑制効果が認められなかった. 樹上軟化は, 成熟前の果実内でエチレンが異常発生することに起因すると考えられる (松本ら, 2007). 従って, 樹上軟化発生後でのニッケルイオン処理では, 果実内で多量に発生するエチレン生成を抑制できず, その結果, 軟化が発生したと考えられる. 以上のことから, 樹上軟化発生後でのニッケルイオン処理による抑制効果は, ほとんど期待できないと判断される.

次に, ニッケルイオン処理と収穫果の日持ち性について検討した. その結果, 処理した果実は, 収穫 12 日後も収穫直後の果肉硬度と同程度の値を示した. 本実験に用いた果実数は少ないが, 処理区と無処理区の間に有意な差が認め

られたので, 処理により収穫後の軟化が遅延できる可能性が示された. また, 本実験で行ったニッケルイオン処理樹と同一樹から 10 月 28 日に収穫した果実を用いた Zheng ら (2006) は, ドライアイスによる脱渋処理後の果実軟化が, 無処理より 2 日間遅れることを確認している. これらより, ニッケルイオン処理による効果は, 樹上軟化抑制だけでなく, 収穫後軟化への遅延効果も期待できると考えられる.

本研究により, ニッケルイオン処理がカキ果実の樹上軟化抑制に効果があることが認められたが, より安定的な処理方法の確立には, 年次変動の検討や効果の機構解明などによる詳細な研究が必要である. また, ニッケルはいくつかの食品中に含有しており (Nielsen, 1984; 田主ら, 1993; 化学物質リスク管理研究センター, 2006), ヒトに対する重金属の毒性などについての詳細なリスク評価を行った報告では, 食品を経由して摂取されるニッケルは, 特に問題はないと結論づけられている (化学物質リスク管理研究センター, 2006). 今後, ニッケルイオン処理の実用化に向け, より安定的な処理方法の確立とともに, カキにおける利用の安全性試験およびその農業登録の進展が望まれる.

摘 要

カキ '西条' の樹上軟化抑制法を検討するため, エチレン生合成に関わる ACC 酸化酵素の阻害剤である鉄以外の 2 価カチオンの樹上処理を行った. エセフォン処理によって誘発される樹上軟化に対する, 塩化ニッケル, 塩化コバルトおよび硫酸銅水溶液のへた部噴霧処理 (エセフォン処理 2 日後) の影響を調査した. その結果, 1,000 ppm の塩化ニッケル水溶液の処理効果が最も顕著に軟化を抑制した. 塩化ニッケル水溶液処理の樹上軟化多発樹における軟化抑制効果を調査したところ, 9 月上旬の 1 回処理や 10 月初旬の 1 回処理では明確な軟化抑制は観察されず, 軟化発生が確認された後の処理では効果は全くなかった. 一方, 9 月上旬と 10 月上旬の 2 回処理により, 果実内のエチレン濃度が低下し, 3 樹の内 1 樹において軟化抑制の傾向が認められた. 2 回処理した果実では, 収穫後の果肉硬度も無処理果実と比べ高く維持されていた. 本研究において, ニッケル処理による樹上軟化抑制に効果がある可能性が示されたが, 今後さらに年次, 樹の反復などで効果の確認を行う必要がある.

引用文献

- Itamura, H., Y. Ohno and H. Yamamura. 1997. Characteristics of fruit softening in Japanese persimmon 'Saijo'. *Acta Hort.* 436: 179–188.
- Itamura, H., M. Yoshioka and A. Nakatsuka. 2003. The effects of internal ethylene production on coloration and on-tree fruit softening of Japanese persimmon. *Acta Hort.* 601: 165–169.
- 化学物質リスク管理研究センター. 2006. 詳細リスク評価書 ニッケル. <<http://unit.aist.go.jp/riss/crm/mainmenu/>>

- 1.html}.
- 倉橋孝夫. 1998. 生産振興上の課題と対策. p. 17-50. 小豆沢 齊編著. 島根のかき. 第33回全国カキ研究大会実行委員会. 出雲.
- Lau, O. L. and S. F. Yang. 1976. Inhibition of ethylene production by cobaltous ion. *Plant Physiol.* 58: 114-117.
- 松本敏一・板村裕之・倉橋孝夫・牧 慎也・松本真悟. 2007. カキ '西条' における環状剥皮, 摘葉, 湛水処理が果実の樹上および収穫後軟化に及ぼす影響. *園学研.* 6: 119-123.
- McGarvey, D. J. and R. E. Christoffersen. 1992. Characterization and kinetic parameters of ethylene-forming enzyme from avocado fruit. *J. Biol. Chem.* 267: 5964-5967.
- 持田圭介・倉橋孝夫・梶野康行・板村裕之. 2008. Mn の土壌施用とpH調整によるカキ '西条' の樹上軟化防止効果. *園学研.* 7: 33-38.
- Nakano, R., S. Inoue, Y. Kubo and A. Inaba. 2002. Water stress-induced ethylene in the calyx triggers autocatalytic ethylene production and fruit softening in 'Tonewase' persimmon growth in a heated plastic-house. *Postharvest Biol. Technol.* 25: 293-300.
- Nakano, R., E. Ogura, Y. Kubo and A. Inaba. 2003. Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is inhibited in calyx and modulated by water loss from the fruit. *Plant Physiol.* 131: 276-286.
- Nielsen, F. H. 1984. Ultratrace elements in nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 4: 21-41.
- Rouhani, I., A. Bassiri and B. Shaybany. 1975. Effect of post-harvest ethephone applications on ripening and physiology of persimmon fruit at various stages of maturity. *J. Hort. Sci.* 44: 265-272.
- 竹下 修・倉橋孝夫・梶野康行・小豆沢 齊・板村裕之. 1996. カキ '西条' の果実軟化発生樹の特性. *園学雑.* 65 (別2): 146-147.
- 田主澄三・鈴木泰夫・西山啓太郎. 1993. 日本食品中のケイ素, ニッケル, スズ含有量. *日本栄養・食糧学会誌.* 46: 248-251.
- 梶野康行・倉橋孝夫・竹下 修・持田圭介・板村裕之. 1999. カキ '西条' における樹上軟化と無機成分含有率との関係. *園学雑.* 68 (別2): 18.
- Zheng, Q. L., A. Nakatsuka, T. Matsumoto and H. Itamura. 2006. Pre-harvest nickel application to the calyx of 'Saijo' persimmon fruit prolongs postharvest shelf-life. *Postharvest Biol. Technol.* 42: 98-103.