水耕トマトの尻腐れ果発生と果実内カルシウム含量との関係

誌名	京都府立大學學術報告. 農學
ISSN	00757373
著者名	寺林,敏 宮負,要一 高畠,俊郎
発行元	京都府立大學農學部
巻/号	40号
巻号補足	
掲載ページ	p. 8-14
発行年月	1988年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

水耕トマトの尻腐れ果発生と果実内カルシウム含量との関係

寺林　敏・宮負要一・高畠俊郎・並木隆和

SATOSI TERABAYASI, YOICHI MIYAOI, TOSIRO TAKAHATA
and TAKAKAZU NAMIKI

Calcium concentration in tomato fruits grown in water culture in relation to incidence of blossom-end rot.

要旨：水耕トマトの尻腐れ果発生と果実内の化学形態別カルシウム含量との関係を調査した。尻腐れ果の発生を促すため，NaCl を添加した培養液あるいはアンモニア態窒素濃度を高めた培養液でトマトを水耕栽培した。尻腐れ症状の出ていない着果数日後の小さな果実を採取し，赤道面を境に果実基部と果実頂部とに分割した。それぞれについて水分画，NaCl 分画，酢酸分画，塩酸分画別にカルシウム含量を測定した。

その結果，果実基部では水分画，NaCl 分画のカルシウム含量と尻腐れ果発生率との間で高い負の相関関係が認められた。果実頂部では水分画のカルシウム含量と尻腐れ果発生率との間で高い負の相関関係が認められた。

同じ段位の花房内で尻腐れ果を，尻腐れ果よりも成熟段階の若い正常な果実，あるいは尻腐れ果とほぼ同じ大きさの正常な果実とを比較すると，果実頂部水分画のカルシウム含量が尻腐れ果で少ない場合が認められた。尻腐れ症状を現して後に果実内のカルシウム含量が減少する事が示唆された。

緒　　言

トマトの尻腐れ果の果実内カルシウム含量が正常な果実に比べて少ないこと（Evance と Troxler 1953, Maynard 1957, Ward 1973,），尻腐れ果の発生しやすい条件で栽培されたトマトの生体内のカルシウム含量が少ないこと（Barke と Menary 1971, Wilcox ら 1973, Van Goor 1974, Dekock ら 1979,），あるいはカルシウム施与量を多くしたり葉面散布をすることによって尻腐れ果が減少すること（Evans と Troxler 1953, Geraldson 1957, Millikan ら 1971）などから，トマトの尻腐れ果がカルシウムの不足によって発生すると考えられる。しかし，尻腐れ果の果実内カルシウム含量は報告者によって差があり，必ずしも正常果より尻腐れ果の方が，果実内カルシウム含量が少ないとは言えない。Spurr（1959）は成熟した正常果と尻腐れ果との間にカルシウム含量の差を認めなかった。トマトの尻腐れ果発生に関して，果実内のカルシウム含量の分析はこれまでは正常果と尻腐れ果について行われてきた。しかし，尻腐れ症状が出て日数の経過した果実の分析を行っても尻腐れ果の発生原因となるカルシウム含量を知ることは出来ない。症状が現れる以前の果実の分析を行い，カルシウム含量と尻腐れ果発生率との関係を調査する必要がある。植物体地上部では先端ほどカルシウム含量が少なく，ひとつの果実においてもカルシウム含量の濃度勾配が存在する

京都府立大学農学部蔬菜園芸学研究室
Laboratory of Olericulture, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan
昭和63年8月15日受理

(Millikan ら 1971)。このような生体内におけるカルシウムの分布特性から，そして尻腐れ症状が果実の先端側に偏って発生することから，果実部位別の分析が必要である。さらに，すべての化学形態のカルシウムを含むカルシウムの分析ではなく，生体内における役割の異なる化学形態別の分析が必要である。以上の点を考慮した実験はこれまでになされていない。本実験は特に尻腐れ症状が現れる以前の果実の分析に重点をおき，尻腐れ果発生と果実内カルシウム含量との関係を明らかにすることを目的とした。

実験材料及び方法

栽培方法

供試品種は'大型福寿'とした。第1葉展開時に水耕用ベッドに移植し，園試処方均衡培養液の2分の1の濃度液（以下，園試処方50％濃度液と略す）で育苗した。育苗17日目に生育のよくそろった苗を選び，容積60リットルのプラスチック製の栽培槽に1ケースあたり2株の割合で定植した。各区6株ずつとした。尻腐れ果が発生しやすい栽培区として，園試処方50％濃度液に2000ppm 塩化ナトリウムを加えた区（NaCl 区），園試処方50％濃度液を基準に窒素源を硝酸アンモニウムに変更した区（NH_4NO_3区），同様に硫酸アンモニウムに変更した区（$(NH_4)_2SO_4$区）を設けた。いずれの区も窒素濃度は120ppm とした。園試処方50％濃度液で栽培する園試処方区と NaCl 区は第1花房開花期の5日前から，NH_4NO_3 区は第1花房開花期から（NH_4NO_3-Ⅰ区），あるいは第2花房開花期から（NH_4NO_3-Ⅱ区），$(NH_4)_2SO_4$区は第2花房開花期から処理を開始した。培養液は減少に応じ補充し，1週間ないし10日間で更新した。通気は小型エアーポンプで行った。第3花房の上位2葉を残して摘心した。果実の着果を促すためトマトトーン100倍希釈液（PCPA 15ppm）に花を浸せき処理した。栽培は1985年4月から7月にかけて，本学農場のガラスハウス内で行った。

果実の採取法

花房ごとに果実の直径が約1cm から4.5cm 程度の大きさの異なる，尻腐れ症状の出ていない果実を採取した。採取した果実は直径が3.0cm 未満の物を小果，3.0cm 以上4.5cm 未満の物は中果として分類した。果実採取後，果実赤道面を境に二つに分割し，直ちに凍結乾燥させた。花柱が付いていた方を果実頂部，がくが付いている方を果実基部とした。なお，果実基部は果柄，がくを取り除いて分析した。尻腐れ症状が現れた果実も同様に採取し分析を行った。供試した株のうち半数の個体からは果実の採取を行わないようにし，尻腐れ果の発生率を求めた。

化学形態別カルシウム含量の定量法

凍結乾燥果実を粉砕器で粉砕後，さらに乳鉢で擦りつぶした。粉末試料500mg に蒸留水50ml を加え，100ml 三角フラスコで2時間振とう抽出した。振とう後，1500G で5分間遠心分離し，上澄液を採取した。同様の操作で2回洗浄を行いその採取液を水分画とした。沈澱物を以下，順に1N 塩化ナトリウム溶液，2％酢酸，0.6N 塩酸で同様の方法で抽出した。酢酸分画，塩酸分画の抽出は，振とう時間を12時間とした。以上の分画法は小西と葛西（1963）の方法を基本に，一部修正したものである。カルシウムの定量は原子吸光法（島津原子吸光／フレーム分光光度計 AA-630）により行った。

実　験　結　果

尻腐れ果の発生率を第1表に示す。3花房平均の尻腐れ果発生率は NH_4NO_3-Ⅰ区が89％と，処理区中いちばん高かった。園試処方区が31％でいちばん低かった。NaCl 区，NH_4NO_3-Ⅱ区，$(NH_4)_2SO_4$区の尻腐れ果発生率は差がなかった。なお，園試

Table 1. The rate of BER affected tomato fruits.

Treatment	Rate of BER (%)			
	1st truss	2nd truss	3rd truss	Average
50% balanced nutrient soln	17	64	23	31
NaCl	53	60	42	52
NH_4NO_3-Ⅰ	85	83	100	89
NH_4NO_3-Ⅱ	37	55	86	56
$(NH_4)_2SO_4$	50	60	67	56

処方区の第2花房では64％と高い発生率を示した。

尻腐れ症状が発現したときの果実の直径を第2表に示す。尻腐れ症状発現時の果実の直径は，NH_4NO_3-Ⅰ区がいちばん小さく，果実の大きさは小果に相当した。他の区ではおよそ3.0cmから4.5cmの中果に相当する大きさであった。

Table 2. The size of BER affected tomato fruits.

Treatment	Diameter (cm)		
	1st truss	2nd truss	3rd truss
50% balanced nutrient soln	4.5±0.7[a]	4.1±0.6	3.0±0.9
NaCl	3.9±0.4	4.0±0.3	4.0±0.4
NH_4NO_3-Ⅰ	2.4±0.4	1.7±0.5	1.3±0.5
NH_4NO_3-Ⅱ	4.1±0.6	3.9±0.5	2.7±0.5
$(NH_4)_2SO_4$	3.0±0.5	3.6±0.7	1.8[b]

a　Mean±t (0.05)・SE

b　Number of sample was not enough for statistical analysis.

小果，中果を含む3花房平均の化学形態別カルシウム含量を第3表に示す。正常果（尻腐れ症状が現れていない果実），尻腐れ果ともに全カルシウム含量は果実基部の方が果実頂部よりも多かった。果実頂部のカルシウム含量は果実基部の約半分であった。NH_4NO_3-Ⅰ区では，正常果と尻腐れ果の全カルシウム含量には差がなかった。

Table 3. The content of calcium compounds in healthy and BER affected tomato fruits.

Treatment	Fruit	Ca content (% of dry matter)				
		F.[X] water	F. 1N NaCl	F. 2% CH_3COOH	F. 0. 6N HCl	Total
50% balanced nutrient soln	H[Y]	0.023/0.014[Z]	0.045/0.014	0.030/0.011	0.009/0.001	0.107/0.040
	B	0.114/0.005	0.036/0.012	0.020/0.009	0.013/0.005	0.083/0.031
NaCl	H	0.028/0.013	0.037/0.017	0.022/0.014	0.002/0.003	0.089/0.046
	B	0.021/0.005	0.024/0.014	0.014/0.014	0.002/0.003	0.061/0.036
NH_4NO_3-Ⅰ	H	0.011/0.001	0.018/0.009	0.015/0.014	0.001/0.001	0.046/0.025
	B	0.008/0.001	0.022/0.011	0.015/0.015	0.001/0.001	0.046/0.028
NH_4NO_3-Ⅱ	H	0.023/0.013	0.033/0.015	0.020/0.011	0.003/0.003	0.079/0.042
	B	0.014/0.006	0.021/0.013	0.014/0.013	0.003/0.003	0.052/0.035
$(NH_4)_2SO_4$	H	0.020/0.009	0.029/0.011	0.022/0.014	0.005/0.004	0.076/0.038
	B	0.015/0.003	0.020/0.012	0.017/0.016	0.005/0.004	0.057/0.035

X : Fraction, Y : H (Healthy), B (BER),　Z : Calyx half/Blossom half

正常果と尻腐れ果のカルシウム含量を化学形態別に比較すると，水分画，NaCl分画，酢酸分画では一部の例外を除き果実基部，果実頂部とも尻腐れ果の方が少なかった。塩酸分画では果実基部，果実頂部ともに正常果，尻腐れ果との間ではカルシウム含量に差はなかった。正常果果実基部の各分画の分配率は水分画が24～32％，NaCl分画が38～42％，酢酸分画が25～35％で，いずれの区もNaCl分画の割合がいちばん高かった。尻腐れ果果実基部の分配率は水分画が17～34％，NaCl分画が35～48％，酢酸分画が23～33％で，正常果と比較して大きな変動はなかった。

各区の第1花房の小果で正常果の化学形態別カルシウム含量を第1図に示す。果実基部では尻腐れ果発生率の高いほど水分画，NaCl分画のカルシウム含量が少ない傾向がみられた。果実頂部では尻腐れ果発生率の高い区ほど水分画のカルシウム含量が少ない傾向がみられた。小果で正常果のカルシウム含量と同段花房の尻腐れ果発生率との相関係数を第4表に示す。果実基部の水分画，NaCl分画のカルシウム含量と尻腐れ果発生率と

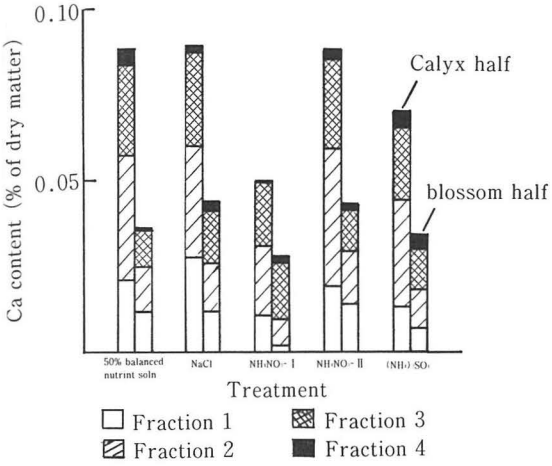

Fig. 1　Calcium concentration in 1st truss tomato fruit grown in various solutions.
Fraction 1. water, 2. 1N NaCl, 3. 2% CH_3COOH, 4. 0.6N HCl

Table 4.　Coefficients of correlations relating rate of BER to calcium contents.

Fraction	Coefficient	
	Calyx half	Blossom half
water	−0.72^{XX}	−0.75^{XX}
1N NaCl	−0.77^{XX}	−0.61^{X}
2% CH_3COOH	−0.37	−0.38
0.6N HCl	−0.24	−0.22
Total	−0.82^{XX}	−0.65^{X}

X　Significant in 0.05% level
XX　Significant in 0.01% level

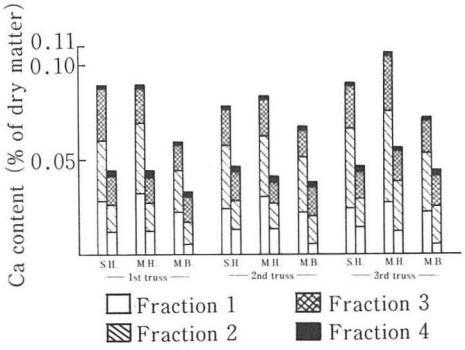

Fig. 2　Difference of calcium concentration of healthy and BER-affected tomato fruit grown in 50% balanced nutrient solution added with 2000ppm NaCl.
S : small size, M : middle size
H : healthy fruit, B : BER-affected fruit
Other details are as described in Fig. 1.

の間に高い負の相関関係が認められた。

小果の正常果，中果の正常果と中果の尻腐れ果のカルシウム含量を比較したものを第2図に示す。この図はNaCl区の結果を示したもので，この区では尻腐れ果の発生は平均して3.0cmから4.5cmの中果の大きさであった（第2表）。この大きさの果実のカルシウム含量を正常な小果，正常な中果と比べてみると果実基部の水分画のカルシウム含量が少なく，症状が現れて後この分画のカルシウム含量が減少したものと思われた。

考　　察

Cerdaら（1979）はNaClで培養液の浸透ポテンシャルを低くすることによって，トマトの尻腐れ果が増加する事を報告した。このとき，茎葉ならびに成熟した正常果のカルシウム含量は培養液の浸透ポテンシャルには左右されなかった。カルシウム含量の差異は成熟した正常果と尻腐れ果との間で認められた。培地のNaCl濃度を高くすることによって生育は抑制されるが，茎葉のカルシウム含量はNaClが極端に高濃度でない限りほとんど変わらない事がトマトで確認されている（大沢1960, 1961）。NaClはカルシウムの吸収を抑制するが，生体内カルシウム含量は影響を受けにくいと言える。しかし，NaCl区の果実基部のカルシウム含量は園試処方区のそれと比べて少なかった。西村（1982）もNaClの添加により果実内のカルシウム含量が低下することを認めている。培養液に添加したNaClが生体内カルシウム含量に及ぼす影響は茎葉よりも果実に対して強く現れると考えられる。同様に，アンモニア態窒素濃度を高くした場合にも，カルシウム含量の低下が茎葉よりも果実の方で大きい事がPillら（1978）の結果から明らかである。生体内のカルシウム栄養状態を茎葉中のカルシウム含量で評価することは難しく，BarkeとMenary（1971）も葉内カルシウム含量と尻腐れ果発生との関連を認める事ができないと述べている。

これまでに報告された正常果と尻腐れ果のカルシウム含量をみてみると，例えば正常果0.07%，尻腐れ果0.04%（Maynardら1957），正常果0.08%，尻腐れ果0.02～0.07%（Ward 1973）などがある。これに比べEvansとTroxler（1953）の値は正常果0.17%，尻腐れ果0.10～0.13%と高い，また，Spurr（1959）は正常果と尻腐れ果との間でカルシウム含量に差を認めなかった。果実

内カルシウム含量は，例えば測定する果実の成熟段階の違い（西尾と中村 1980），品種の違い（Greenleaf と Adams 1969, Maynard ら 1957）等で異なることが知られており，水耕や土耕といった栽培方法の違い，NaCl やアンモニア態窒素あるいは水ストレスといった尻腐れ果発生を引き起こす要因の違いによっても異なることが予想される。尻腐れ果で特に問題となるのは，どの成熟段階の果実を測定するかという点である。第2図で示したように尻腐れ症状が出た果実では，ほぼ同じ成熟段階の正常果あるいはそれより成熟段階の早い未熟な正常果と比較すると果実頂部水分画のカルシウム含量が明らかに少なくなっている。尻腐れ果のカルシウム含量は発生後に減少することが考えられるため，尻腐れ果の発生原因としての果実内カルシウム含量を求めるためには症状が出る以前の果実を分析することが必要である。

尻腐れ症状が現れる果実の大きさは尻腐れ果発生率が高い程小さくなる傾向があった。しかし，園試処方区第2花房の尻腐れ果発生率は64％と高い値を示したのに，症状が現れた果実の大きさは NH_4NO_3-Ⅰ区に比べて大きかった。NH_4NO_3-Ⅰ区の尻腐れ症状は激しく，症状が果実全体に及ぶ場合が多かった。通常の栽培で発生する尻腐れと高濃度のアンモニア態窒素を与えた場合に発生する尻腐れがまったく同一のものであるかという疑問がある。アンモニウムイオンの毒性とトマトの尻腐れ症状との関連について検討する必要がある。

Maynard（1975）は尻腐れ果の発生が果実頂部のカルシウム含量と関連が深いと述べている。本実験の結果では果実頂部よりも果実基部のカルシウム含量の方が尻腐れ果発生と高い相関があることが明らかとなった。Millikan ら（1971）は正常果と尻腐れ果のカルシウム含量の差が果実頂部では認められず果実基部で認められると述べている。尻腐れ果の発生に関する限り，果実頂部よりも果実基部の方がカルシウム栄養状態をよく示していると考えられる。

カルシウムの生理作用を明らかにするため，生体内のカルシウムを化学形態別に定量することが行われた。わが国ではイネに関する伊藤（1967a, b），太田ら（1970a, b, 1975）の報告が詳しい。太田ら（1970a）のまとめたカルシウムの分画別予想化学形態を第5表に示す。カルシウムは水分画では主に水溶性有機酸塩として，NaCl 分画では主にペクチン酸塩として存在すると考えられる。本実験では80％エタノール分画のカルシウムは水分画の中に含まれている。よって，硝酸塩あるいは塩化物などの無機塩の化学形態を持つカルシウムは水分画中に含まれることになり，この分画内にはイオン状態のカルシウムが存在すると考えられる。NaCl 分画に多く存在するペクチン酸カルシウムは中葉（middle lamella）の構成にあずかっている。カルシウムの欠乏した分裂組織細胞においては，原形質や細胞器官の崩壊（Marinos 1962），液胞膜や液胞の形成阻害（Marschner と Günther 1964），膜の透過性の増大（Van Goor 1968）などが起こることが観察されている。このようにカルシウムは細胞の構造，とくに膜構造の形成と機能維持にとって極めて重要な役割を果している（Van Stevenick 1965, Hecht-Buchholz 1979）。カルシウムが欠乏すると，種々の作物に共通して組織の壊死が認められる。組織の壊死がどのようにしてカルシウムの欠乏によって引き起こされるのか十分には解明されていないが，カルシウム欠乏によって細胞の膜の構造ないし機能が乱されることに原因があると考えられている（Collier, G, F. 1982）。水分画と NaCl 分画に

Table 5. Method of fractional analysis of calcium and main form of calcium compounds in plnt tissues.

Extraction solvent	Form of calcium compound
80% ethanol	inorganic salt (ex. nitrate chloride)
H_2O	water soluble organic acid salt
1N NaCl	calcium pectate, calcium carbonate
2% CH_3COOH	calcium phosphate
0.6N HCl	calcium oxalate
——	silicate salt ?

は細胞ないし組織の機械的保持や膜構造の形成と機能維持に必要とされる形態のカルシウムが存在している。それゆえに，本実験で果実基部のNaCl分画ないし水分画のカルシウム含量と尻腐れ果発生率との相関が高かったことが理解される。

伊藤ら（1967a, b）はイネにおいて，2％酢酸抽出のカルシウムが細胞壁形成にとって生理的に重要であるとしている。しかし，本実験では着果数日後の未熟な果実ではこの分画のカルシウム含量と尻腐れ果発生との関連は認められず，尻腐れ果発生におけるこの分画の重要性を見いだすことはできなかった。

塩酸分画にはシュウ酸カルシウムが含まれている。シュウ酸を中和解毒する作用がカルシウムにあると考えられてきたが，太田と橘（1978）はシュウ酸とカルシウム含量との関係を調査し，可溶性シュウ酸の有毒性やカルシウムによる不溶化解毒作用を否定すべき結果を得た。一方，加藤と勘如（1975）はトマトの尻腐れ果発生と塩酸分画のカルシウム含量との間に関連が認められたことから，果実内のシュウ酸が尻腐れ果発生に関わっているとした。トマト果実の生育にとって果実内のシュウ酸がいかなる影響を及ぼしているのか明らかではないが，本実験では塩酸分画のカルシウム含量と尻腐れ果発生との間に関連は認められなかった。

引　用　文　献

1）Barke, R.E. and R.C. Menary (1971) Austr. J. Exp. Agri **11**：562-569
2）Cerda, A., F.T. Bingham and C.K. Labanauskas (1979) J. Amer. Soc. Hort. Sci. **104**：236-239
3）陳　文孝・鈴木芳夫・山崎肯哉（1979）園学雑 **45**：33-44
4）Collier, G.F. (1982) Hort. Rev. **4**：49-65
5）Dekock, P.C., A.H. Robert, H.E. Inkson and R.A. Robertson (1979) J. Sci. Food Agri. **30**：508-514
6）Evans, H.J. and R.V. Troxler (1953) Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **61**：346-352
7）Geraldson, C.M. (1957) Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **69**：309-317
8）Gerard, C.J. and B.W. Hipp (1968) Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **93**：521-531
9）Hecht-Buchholz, C.L. (1979) Comm. Soil. Sci. Plant Anal. **10**：67-81
10）伊藤　信・藤原彰夫（1967a）土肥誌 **38**：126-130
11）――――・――――（1967b）土肥誌 **38**：260-264
12）加藤　徹・勘如純一（1975）園学要旨　秋 252-253
13）小西茂毅・葛西善三郎（1963）土肥誌 **34**：67-70
14）Marinos, N.G. (1962) Amer. J. Bot. **49**：834-841
15）Marschner, H. and I. Günther (1964) Zeitschr. Pflanzenernähr **107**：118-136
16）Maynard, D.N., W.S. Barham and C.L. McCombs (1957) Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **69**：318-322
17）Millikan, C.R., E.N. Bjarnason, R.K. Osbon and B.C. Hanger (1971) Austr. J. Exp. Agri. **11**：570-575
18）西尾敏彦・中村英司（1980）園学要旨　春 252-253
19）西村俊治（1982）京都府立大学修士論文
20）太田安定・山本和子・出口正夫（1970a）土肥誌 **41**：19-26
21）――――・――――・――――（1970b）土肥誌 **41**：167-172
22）――――・鈴木純夫・橘　泰憲（1975）土肥誌 **46**：223-228
23）――――・橘　泰憲（1978）土肥誌 **49**：12-15
24）大沢孝也（1960）園学雑 **29**：294-304
25）――――（1961）園学雑 **31**：53-63
26）Pill, G.W., V.N. Lamheth and T.M. Hinckley (1978) J. Amer. Soc. Hort. Sci. **103**：265-268
27）Spurr, A.R. (1959) Hilgardia **28**：269-291
28）Van Goor, B.J. (1968) Physiol. Plant **21**：1110-1121
29）――――（1974）Comm. Soil Sci. Plant Anal. **5**：13-24
30）Van Stevenick, R.F.M. (1965) Plant Physiol. **18**：54-69
31）Ward, G.M. (1973) Can. J. Plant Sci. **53**：169-174
32）Wilcox, G.E., J.F. Hoff and C.M. Tones (1973) J. Amer. Soc. Hort. Sci **98**：86-89

Sumarry

Relationship between incidence of blossom-end rot and Ca content in tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.* cv. Ohgata-fukujyu) fruits was studied. Incidence of blossom-end rot was secured by adding NaCl to, or raising ammonium-N concentration in the nutrient solution in which the tomato plants were grown. Young fruits were harvested prior to appearance of the symptom, divided into blossom- and calyx-halves, and freeze-dried. Ca was extracted for analysis from each fruit sample, with water or NaCl, acetic acid or hydrochloric acid solutions.

High negative correlation was recognized between the incidence of blossom-end rot and Ca content of the water- and the NaCl-fractions in the calyx half. High negative correlation was also recognized between the incidence of blossom-end rot and Ca content of the water-fraction in the blososom-half.

The fruits showing the symptom had lower Ca content in the blossom-half, than did the healthy fruits of approximately the same size and on the same truss. It was suggested that Ca content in the water-fraction begins to decrease in the blossom-half after the symptom has appeared.