

高色素遺伝子保有トマト系統における果実のビタミンC含量 の変動

誌名	野菜試験場報告. B, 盛岡 = Bulletin of the Vegetable and Ornamental Crops Research Station. Ser. B
ISSN	0386250X
巻/号	6
掲載ページ	p. 1-16
発行年月	1986年3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



高色素遺伝子保有トマト系統における 果実のビタミンC含量の変動†

望月 龍也・上村 昭二*

I 結 言

現在トマトの生産量は年間約90万t, そのビタミンC含量はおよそ20mg%とされており, 著者らの推定によると, 我が国における全ビタミンC摂取量に対するトマトの寄与率は約4%と考えられる(望月ら, 1985[†]). ところで KELLY(1969)が指摘しているように, 大量消費品目であるトマトでは, 消費量の少ない他品目と比較した場合, ビタミンC含量の変動が全ビタミンC摂取量に及ぼす影響は大きいものと考えられる. したがってトマト果実中のビタミンC含量の変動要因の解明とその制御技術の開発及びビタミンC含量が高くかつその変動が小さい品種の育成は今後の重要な課題である.

トマト果実中のビタミンC含量の変動については多数の報告があり, 品種, 栽培時期, 収量水準, 施肥条件, 花房位, 果実の大きさ, 果実への日射量, 果実内の部位, 果実の熟度, 収穫後の経過時間, 加工処理等によって10~50mg%程度の範囲で変動することが明らかにされている(YEAGERら, 1946, HASSANら, 1956, WARD, 1963, MAIEWSKIら, 1971, MATTHEWS, 1974, BRECHTら, 1976, 木下ら, 1976, PRICE, 1976, RICK, 1978, SAYAMA, 1979, 篠原ら, 1980, 西村ら, 1982, 篠原ら, 1982, WARNOCK, 1983).

一方トマトの高ビタミンC育種については, REYNARDら(1942)以降幾つかの報告があるが, 近年高色素遺伝子(*hp*)の利用が注目されている(望月ら, 1985b). 高色素遺伝子保有系統の特性についてはSAYAMA(1979)及びJARRET(1983)が要約しているとおおり, 果実のカロチノイド含量, ビタミンC含量の増加等の育種上有用な作用が報告されている. その反面, 発芽, 植物体の生育, 果実の成熟等生育の全過程にわたって遅延現象が認められている.

本報ではこのような特性を有する*hp*遺伝子保有系統をトマトの高ビタミンC育種に利用する立場から, 本系統のビタミンC含量と栽培時期, 花房位, 果房内の果実の位置, 果実の熟度, 果実の大きさ及び果実内の部位等との関係を一般系統と比較検討し, 本系統の高ビタミンC性を確認しようとした.

本研究の実施に当たり, Table 1 に記した方々から種子の分譲を受けた. ここに記して厚く感謝の意を表する.

II 材料及び方法

本報告に用いたトマト品種, 系統の導入先及び保有色素遺伝子をTable 1 に一括して示す. なお本報告は実験1~6で構成されており, 実験ごとにこれらから適宜選択した品種, 系統を用いた. またビタミンC含量の定量法のDNP法及び蛍光法は日本食品工業学会食品分析法編集委員会編「食品分析法」によった.

実験1 *hp* 遺伝子保有系統及び同系統と一般系統との F₁ における果実中のビタミンC含量と他形質の関係

1) 供試材料 *hp* 遺伝子保有系統として 'Y-13-1524-10-64, LA1664, T3790, 盛岡15号, 盛岡16号, 盛岡16号4倍体' また普通系統として '早生だるま, H1370, Florida MH-1, Calmart, Travelar 76, Line 31-St-6, Young, PU74-43, PU74-43 4倍体, Ohio 7663, Ohio 7663 4倍体', 及びこれらの間に作出した F₁17系統 (*hp*系統 × *hp*系統: 2系統, *hp*系統 × 普通系統: 9系統, 普通系統 × 普通系統: 6系統) を用いた. またこれら以外に黄色果実品種の 'Golden heart, 黄寿', 多因子型高色素品種の 'Ark. 60-19-1' 及び同系統と *hp*系統

† 本報告の一部は日本育種学会第64回講演会(昭和58年10月)及び第65回講演会(昭和59年4月)において発表した.

* 現カネコ種苗くにさだ育種農場

Table 1. Introduced tomato lines and cultivars used in the experiments^z

Donors and/or breeders	Organizations	Lines or cultivars	Genes ^y
FARLEY, J. D.	Ohio State Univ.	Ohio M-R13	+
KERR, E. A.	Hort. Res. Inst. of Ontario	PU 74-43	<i>og</i>
KONSLER, T. R.	North Carolina State Univ.	Dark Green	<i>dg</i>
LAMBETH, V. N.	Univ. of Missouri	31-St-6	+
MCFERREN, J.	Univ. of Arkansas	Travelar 76	+
PERRY, B. A.	Texas Univ.	Young	+
RAULSTON, J. C.	Univ. of Florida	Florida MH-1	+
REYNARD, G. B.	Campbell Soup Co., N. Jersey	Y-13-1524-10-64	<i>hp</i>
RICK, C. M.	Univ. of California	LA348	<i>og</i>
		LA806	<i>og</i> ^c
		LA1501	<i>Ip</i>
		LA1563	<i>Ip</i>
		LA1664	<i>hp, Ip</i>
SIMS, W. L.	Univ. of California	Calmart	+
THOMPSON, A. E.	Univ. of Illinois	High Crimson	<i>og</i>
		Ark. 60-19-1	(dr) ^x
WANN, E. V.	Agr. Res. Service, S. Carolina	T3790	<i>hp, og</i> ^c

^z Except these lines or cultivars, 4 commercial varieties 'Wasedaruma' (Matsunaga seed), 'Ouju' (Takii seed), 'H 1370' (Eastern State Farmer's Exchange), 'Golden heart' (Farmer Seed & Nursery) and our breeding lines 'Morioka 15', 'Morioka 16' and 'Morioka 17' (all of them are the *hp* lines) were used.

^y Pigment intensifier genes × Dark red (multigenic)

の F₁ 系統, 同じく一般系統との F₂ 系統を供試した。

2) 栽培方法 1982年4月8日に播種し, 6月1日に定植した。栽植距離はうね幅165cm, 株間40cmとし, 黒ポリマルチによる無支柱栽培とした。試験区は1区5~8株の3反復とした。

3) 調査方法 果汁のビタミンC含量測定は, DNP法(ヒドラジン比色法)及びインドフェノール吸着ろ紙ストリップ法(望月ら, 1985)によって行い, 検量線よりのビタミン含量の推定には農林水産研究計算センターライブラリー所収のプログラムCALIB(神田ら, 1980)を用いた。また果汁の糖度, 酸度及びpH, 並びに一果重, 収量, 莖葉重も調査した。さらに系統ごとに収穫時期別のビタミンC含量と収量の積の合計を求め, ビタミンC生産量の推定値とした。

実験2 色素遺伝子を異にする系統における果実中のビタミンC含量の栽培時期及び花房位による変動

1) 供試材料 Table 3に示す色素遺伝子を異にする12

品種・系統を供試した。

2) 栽培方法 以下に示す3種類の栽培を行った。

a. 温室ポット栽培 1982年7月29日に播種し, 24cmポリポットに定植して最低気温を13℃に保った温室内に配置した。各品種とも主枝2本仕立てとした。試験区は1区4株の2反復とした。

b. ビニルハウス有支柱栽培 1983年4月6日に播種し, 6月1日にビニルハウス内に定植した。栽培距離はうね170cm, 株間40cmの1条植えとした。非心止まり型品種・系統については連続2段摘心仕立てとし, 心止まり型品種・系統についても各結果枝は2段で摘心した。試験区は1区4株の2反復とした。

c. 露地有支柱栽培 1983年4月6日に播種し, 5月31日に露地は場に定植した。栽培距離はうね幅165cm, 株間45cmの2条植えとした。非心止まり型品種・系統については1本仕立てとし, 心止まり型品種・系統については各結果枝を2段で摘心し, 各結果枝の第1果房直下の側枝を次の結果枝とした。試験区は1区5株の2反復とした。

3) 調査方法 温室ポット栽培では1982年12月20~21日

(各主枝の1~2段花房)及び1983年2月9日(各主枝の3~4段花房),ビニルハウス有支柱栽培では8月29日(第1段結果枝),9月9日(第2段結果枝)及び9月20日(第3段結果枝),また露地有支柱栽培では8月26日(1~2段果房)及び9月19日(3~4段果房)にそれぞれ完熟果を採取して試料とした。いずれの場合もDNP法及びインドフェノール吸着ろ紙法によりビタミンC含量を測定した。なおビニルハウス有支柱栽培については,調査対象花房の全果について開花から完熟までに要した日数を調査し,その平均値を求め,品種・系統ごとの完熟所要日数の推定値とした。

実験3 色素遺伝子を異にする系統における果実内部別位のビタミンC含量

- 1) 供試材料 Table 3に示す色素遺伝子を異にする12品種・系統を供試した。
- 2) 栽培方法 実験1に準じて露地有支柱栽培とした。
- 3) 調査方法 8月26日に各品種・系統10~15果の完熟果を採取し,各果実の半分を部位別の測定用,残り半分を全果の測定用の試料とした。部位別の測定に当たっては,ゼリー部と果肉部に分別して部位別の重量を測定後,DNP法により各部のビタミンC含量を測定した。なお全果重に対するゼリー部重量の割合を求め,ゼリー率の推定値とした。一方全果の測定に当たっては,果汁原液を用いたインドフェノール吸着ろ紙法及び原液の5%メタリル酸による5倍希釈液を用いたDNP法によりビタミンC含量を測定した。

実験4 露地栽培における果実中のビタミンC含量と果実熟度及び果重の関係

- 1) 供試材料 *hp*遺伝子保有の‘盛岡15号,盛岡16号’及び普通系統の‘早生だるま,Florida MH-1’を供試した。
- 2) 栽培方法 1984年3月23日に播種し,5月25日に定植した。栽植距離はうね幅165cm,株間40cmとし,黒ポリマルチによる無支柱栽培とした。試験区は1区5株の2反復とした。
- 3) 調査方法 8月20~21日に,緑熟期(MGと略す),催色期(T),桃熟期(P),完熟期(M)の果実を採取し,完熟期の果実については果重によりさらに3段階に区分後,蛍光法によりビタミンC含量を測定した。

実験5 冬期温室ポット栽培における果実中のビタミンC含量と果実熟度の関係

- 1) 供試材料 *dg*遺伝子を保有し非心止まり型の‘Dark green’,*hp*遺伝子を保有し心止まり型の‘盛岡15号’,*og*遺伝子を保有し非心止まり型の‘LA806’,*og*遺伝子を保有し心止まり型の‘PU74-43’非心止まり型普通品種の‘Ohio M-R13’,心止まり型普通品種の‘Florida MH-1’の計6品種・系統を供試した。
- 2) 栽培方法 1983年8月5日に播種し,9月26日に24cmポリポットに定植して最低気温を13℃に保った温室内に配置した。非心止まり品種・系統では1本仕立てとし,心止まり品種・系統では第1花房の3~4花開花時に,第1花房直下の側枝以外の側枝を全て摘除し,以後は放任した。試験区は1区4株の2反復とした。
- 3) 調査方法 1984年1月17日~2月1日の間に,実験4に準じて熟度の異なる果実を採取し,DNP法によりビタミンC含量を測定した。

実験6 春期温室ポット栽培における果実中のビタミンC含量と果実熟度,果重等との関係

- 1) 供試材料 *hp*遺伝子保有の‘盛岡15号’,*og*遺伝子保有の‘PU74-43’及び普通系統の‘Florida MH-1’を供試した。
- 2) 栽培方法 1984年3月7日に播種し,4月20日に24cmポリポットに定植して最低13℃に保った温室内に配置した。トマトーン(パラクロルフェノキシ酢酸0.15%液剤)処理区(50倍液の花房散布)と無処理区を設け,処理区は40株,無処理区は10株の反復なとした。
- 3) 調査方法 7月16日~20日の間に,トマトーン処理区から実験4に準じて熟度の異なる果実を採取し,完熟果については果重により3段階,また花房内の着果位置により3段階に区分後,蛍光法によりビタミンC含量を測定した。

III 実験結果

実験1 *hp*遺伝子保有系統及び同系統と一般系統とのF₁における果実中のビタミンC含量と他形質の関係

Table 2に供試40品種,系統を*hp*遺伝子保有型に分類した場合(ただし多因子型高色素品種の‘Ark. 60-19-

Table 2. Variation of vitamin C content and other characters in *hp*, normal and their F₁ hybrids(Exp. 1)

genotype	Number of lines	Vitamin C content	Soluble solid	pH	Titratable acidity	Yield	Fruit		Vine		Yield		Early yield	Total V.C. ^x
							weight	weight	weight	weight	weight	weight		
<i>hp/hp</i>	8	mg%	%		%	kg	g	kg			%	mg		
<i>hp/+</i>	9	28.7	4.6	4.40	0.330	5.71	74.3	0.85	5.23	73.7	1641.0			
<i>+/+</i>	19	23.4	4.5	4.34	0.353	7.03	75.7	1.20	6.87	82.2	1641.3			
		21.0	4.5	4.37	0.366	5.37	98.1	1.14	6.70	76.7	1266.2			
Ark.60-19-1(dr ^z)		37.7	6.2	4.31	0.466	3.39	82.1	3.41	0.99	69.9	1278.0			
Ark.60-19-1 × <i>hp</i>		30.5	5.3	4.32	0.389	6.84	77.3	3.11	2.20	53.9	2086.2			
Ark.60-19-1 × normal		29.4	5.9	4.32	0.422	5.24	112.2	3.31	1.59	68.0	1542.5			
Mean		24.17	4.66	4.36	0.360	5.81	87.5	1.25	6.40	76.8	1401.0			
Standard deviation		4.99	0.49	0.063	0.054	1.21	35.7	0.82	3.53	13.8	379.1			
Correlation to vitamin C content ^y		0.446**	-0.110	0.070	-0.062	0.056	0.424**	-0.364*	-0.367*	0.712**				

^z Dark red (multigenic) ^y Significant 5%(*), 1%(**)

^x \sum (V.C. content in each harvesting × yield in each harvesting)

1' 及び本品種を交配親としたF₁系統は他の品種、系統と区別した)の、果汁中のビタミンC含量、可溶性固形物含量、pH、滴定酸度、一果重、茎葉重、収量-茎葉重比、前期収量率(8月末までの収量の全収量に対する割合)及びビタミンC生産量の平均値、並びに全系統を込みにした場合の各形質の平均値及び標準偏差、ビタミンC含量とその他形質との相関係数を示す。

ビタミンC含量については、*hp*ホモの品種、系統が28.7mg%であったのに対し、普通品種、系統では21.0mg%であり、*hp*遺伝子をホモに保有する品種、系統の高ビタミンC性が確認された。なお*hp*ヘテロの系統では23.4mgと低く、*hp*遺伝子保有系統の高ビタミンC性は、F₁では低い方が部分優性に発現するものと考えられた。果実形質については、滴定酸度で*hp*ホモ品種、系統と普通品種、系統の間に差が認められ、*hp*ホモ品種、系統では普通品種、系統と比較して、滴定酸度が10%程度低かった。収量及び前期収量率については、*hp*ホモ品種、系統と普通品種、系統との間では差が認められなかったが、*hp*ヘテロ系統では収量、前期収量率とも増加した。ビタミンC生産量については、ビタミンC含量の差を反映して、*hp*ホモ品種、系統が普通品種系統より30%程度高かったが、*hp*ヘテロ品種、系統では収量が高かったため、*hp*ホモ品種、系統と同程度のビタミンC生産量を示した。

一方多因子型高色素系統の'Ark.60-19-1'は、37.7mg%と極めて高いビタミンC含量を示したが、収量が低いため、ビタミンC生産量は普通品種、系統と同程度で

あった。本系統と*hp*系統及び普通系統のF₁のビタミンC含量は約30mg%程度と高く、収量も比較的高いため、これらのF₁系統のビタミンC生産量は高かった。特に本系統と*hp*系統である'盛岡15号'とのF₁では、2086.2mgと極めて高いビタミンC生産量を示した。

調査した9形質中では、可溶性固形物含量(r=0.446**)及び茎葉重(r=0.424**)とビタミンC含量の間に比較的高い正の相関が認められた。また収量/茎葉重比(r=-0.364*)及び前期収量率(r=-0.367*)とビタミンC含量の間に比較的高い負の相関が認められた。なおビタミンC含量とビタミンC生産量の間には、高い正の相関関係(r=0.712**)が認められた。

Fig. 1に収穫前期(8月20~25日)と収穫後期(9月7日~13日)におけるビタミンC含量の関係を示す。前期におけるビタミンC含量の総平均値は24.1mg%、標準偏差は5.22mg%、また後期におけるビタミンC含量の総平均値は24.2mg%、標準偏差は4.99mg%であった。また両時期におけるビタミンC含量の間には高い相関関係(r=0.701**)が成立した。このように無支柱かつ無整枝で栽培した本実験では、有支柱1本仕立て栽培で報告されているような、生育ステージあるいは収穫果房位の上昇に伴うビタミンC含量の増加は、*hp*遺伝子の保有様式に関わりなく、認めることはできなかった。

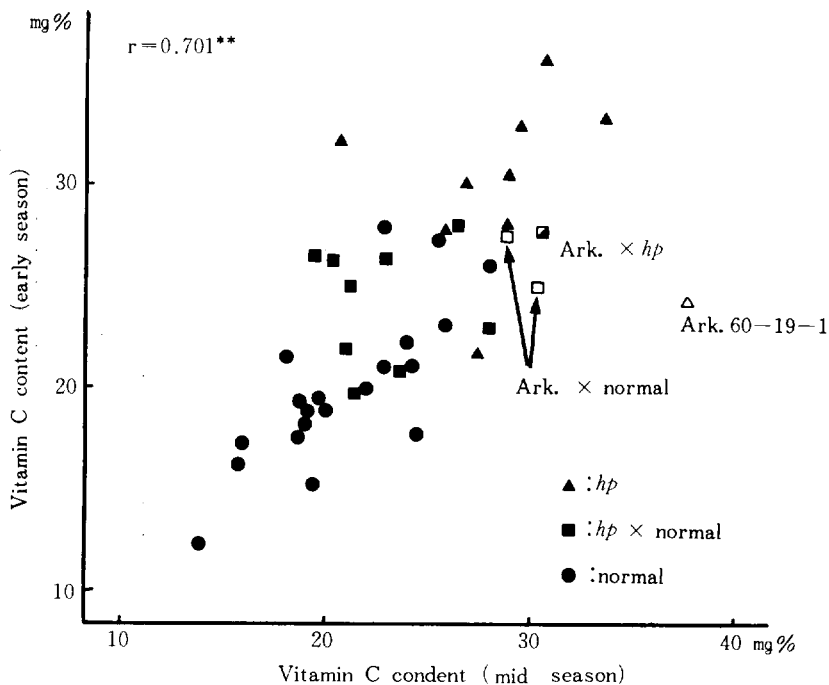


Fig. 1 Correlation of vitamin C content between harvesting times. (Exp. 1)

実験2 色素遺伝子を異にする系統における果実中のビタミンC含量の栽培時期及び花房位による変動

Table 3に各品種，系統の栽培時期及び花房位ごとのビタミンC含量を，またTable 4にはビタミンC含量に関する分散分析表を，さらにTable 5には栽培時期及び花房位ごとのビタミンC含量相互の相関係数を示す。

供試全品種，系統の栽培時期及び花房位ごとの平均値は，冬期温室栽培の第1及び第2花房並びにビニルハウス栽培の第1及び第2段結果枝における約25mg%から，ビニルハウス栽培の第3段結果枝の32.7mg%まで変異し，栽培時期あるいは花房位ごとのビタミンC含量間に，明らかな差が認められた。また冬期温室栽培及びビニルハウス栽培では収穫花房位の上昇に伴ないビタミンC含量の増加する傾向が認められたが，露地栽培では明らかな傾向は認められなかった。一方各品種，系統ごとに，栽培時期及び花房位を込みにした平均値は，‘High crimson’及び‘Florida MH-1’の21.9mg%から，‘Y-13-1524-10-64’及び‘T 3790’の36.6mg%まで変異し，品種，系統間に明らかな差が認められ，特にhp遺伝子保有系統では32.4~36.6mgとビタミンC含量が高か

った。

各栽培時期においては，収穫花房位ごとのビタミンC含量の間に比較的高い相関関係($r=0.663^* \sim 0.850^{**}$)が成立した。しかし各栽培時期相互には必ずしも高い相関が認められず，特に冬期温室ポット栽培とビニルハウス栽培及び露地栽培との間の相関は低かった($r=0.227 \sim 0.521$)。

次いで各品種，系統の栽培時期によるビタミンC含量の変動を解析するために，EBERHARTら(1966)の手法によって回帰分析を行った。すなわち各栽培時期を込みにした計7回のビタミンC含量測定時期ごとの，供試全品種，系統の平均値に対する，各品種，系統の単回帰直線を計算し，その直線の傾き(b_1)及び回帰寄与率(R^2)を求めた。この方法によると b_1 が1に近くかつ R^2 が大きい品種，系統が，各種栽培時期(あるいは本実験の場合には同一栽培時期における収穫花房位の上昇を含む)に良く適応して，安定したビタミンC含量を示すものと考えられる。これに対し， b_1 が1より小さければ，ビタミンC含量の栽培時期による変動が小さく，ビタミンC含量について，不良環境に対する適応性が高く，逆に b_1 が1より大きければ，ビタミンC含量の栽培時期に

Table 3. Seasonal change of vitamin C content of *hp*, *og* and normal lines of tomato (Exp.2)

Lines or cultivars	Genes ^z	Green house culture		Vinyl house culture			Open field culture		Average
		Early ^y	Late ^y	1st ^x	2nd ^x	3rd ^x	1st & 2nd ^w	3rd&4th ^w	
		mg%	mg%	mg%	mg%	mg%	mg%	mg%	mg%
Morioka 15	<i>hp</i>	20.5	37.1	30.9	38.0	29.1	33.7	37.2	32.4
Y - 13	<i>hp</i>	41.8	35.7	31.5	42.0	32.4	28.1	44.5	36.6
High crimson	<i>og</i>	20.5	19.3	21.1	22.6	21.5	22.1	26.1	21.9
PU 74-43	<i>og</i>	17.4	15.0	24.8	27.1	21.5	23.6	28.8	22.6
LA 806	<i>og'</i>	22.0	33.9	19.2	14.5	24.0	25.3	26.4	23.6
LA 348	<i>og</i>	39.4	41.4	23.4	22.6	24.0	25.5	33.6	30.0
LA 1563	<i>Ip</i>	22.8	22.8	28.1	32.1	22.7	17.7	29.3	25.1
LA 1501	<i>Ip</i>	38.6	39.9	23.5	33.1	25.5	19.9	27.6	29.7
Florida MH-1	+	23.9	17.2	20.9	22.1	25.5	18.8	24.7	21.9
Young	+	41.3	39.1	23.4	22.1	21.5	17.7	24.7	27.1
LA 1664	<i>hp</i> , <i>Ip</i>	41.7	37.1	32.0	30.0	29.3	31.2	44.5	35.1
T - 3790	<i>hp</i> , <i>og'</i>	40.7	37.2	27.8	32.0	29.4	44.5	44.5	36.6
Average		25.6	28.2	25.5	25.7	32.7	30.9	31.3	29.0

^z Pigment intensifier genes ^y Harvesting time during planting season

^x Fruiting branches ^w Fruit clusters

Table 4. Analysis of variance for vitamin C content (Exp.2)

Source of variance	df	Mean squares	F value for error	F value for interaction
Season or stage(S)	6	198.130	11.236**	3.130*
Cultivar(C)	11	176.205	9.992**	2.783*
S × C	66	63.308	3.590*	
Error	72	17.634		
Total	155			

** indicates significance at 1% level and * indicates at 5% level

Table 5. Correlation of vitamin C content among seasons or stages (Exp.2)

Season or stage	1	2	3	4	5	6	7
1. Green house (early)	1.000	0.753**	0.464	0.269	0.521	0.341	0.270
2. Green house (late)		1.000	0.462	0.389	0.452	0.306	0.227
3. Vinyl house (1st)			1.000	0.680*	0.861**	0.718**	0.697*
4. Vinyl house (2nd)				1.000	0.812**	0.515	0.375
5. Vinyl house (3rd)					1.000	0.836**	0.663*
6. Open field (1st & 2nd)						1.000	0.850**
7. Open field (3rd & 4th)							1.000

** indicates significance at 1% level and * indicates at 5% level

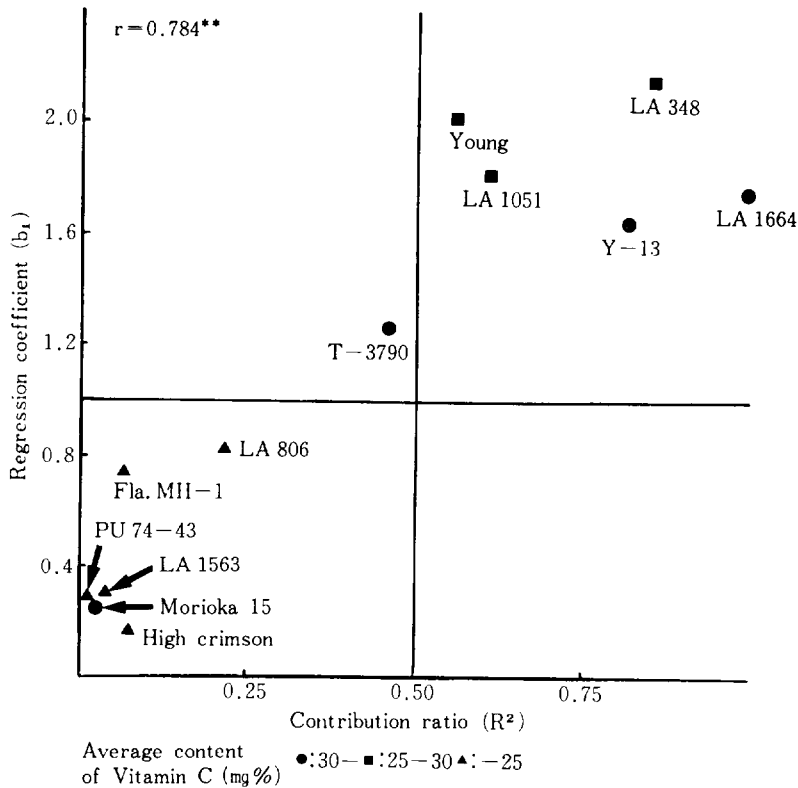


Fig. 2 Relationship between regression coefficient(b_1) and contribution ratio(R^2) from linear regressions between mean seasonal or stage value and values of each cultivars in vitamin C (Exp.2)

よる変動が大きく、ビタミンC含量について、好適環境に対する適応性が高いと考えられる。

Fig. 2に本実験の場合の b_1 と R^2 の関係を示す。 b_1 と R^2 の間には高い相関関係($r=0.784^{**}$)が成立し、 b_1 が1に近くかつ R^2 の大きい品種、系統は認められなかった。また b_1 と R^2 の組み合わせから供試品種、系統は、両者とも比較的大きい6品種、系統と両者とも比較的小さい6品種、系統に類別され、このようにして類別された各群ともに、 hp 遺伝子保有系統を含んでいた。これら2群の各栽培時期及び花房位におけるビタミンC含量については、冬期温室ポット栽培において両群に差が認められ、特に収穫初期の12月20~21日の測定においてその差が大きかった。

Fig. 3に完熟所要日数とビタミンC含量の関係を示す。供試全品種、系統を込みにすると両者の間には比較的高い相関($r=0.620^*$)が認められた、しかし hp 遺伝子保有の有無により供試品種、系統を分別すると、それぞ

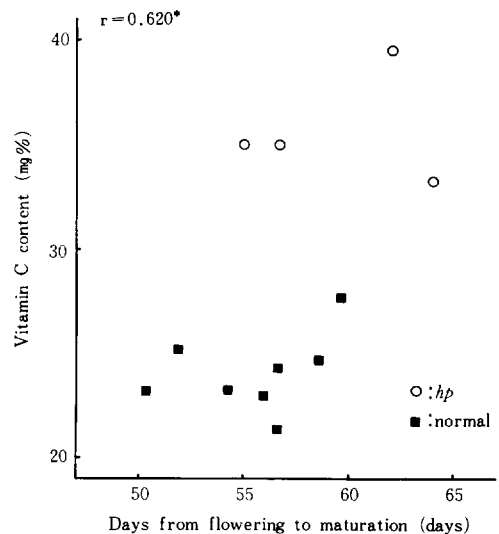


Fig. 3 Correlation between vitamin C content and days from flowering to maturation (Exp.2)

れの群においては完熟所要日数とビタミンC含量の関係は無相関に近かった。この結果から hp 遺伝子保有系統は普通品種、系統と比較してビタミンC含量が高いが、同時に開花後の果実の成熟は遅いものと判断された。

実験3 色素遺伝子を異にする系統における果実内部位別のビタミンC含量

Table 6に各品種、系統のゼリー部、果肉部別及び全果のビタミンC含量を、またTable 7には部位別及び全果のビタミンC含量並びにゼリー率相互の相関係数を示す。

全品種、系統を込みにしたゼリー部ビタミンC含量の

平均値は21.2mg%, また果肉部ビタミンC含量の平均値は21.0mg%であった。さらに全果のビタミンC含量の平均値はインドフェノール吸着ろ紙ストリップ法では23.2mg%, DNP法では21.2mg%であった。個々の品種、系統をみると、ゼリー部ビタミンC含量が果肉部ビタミンC含量より高いものが6品種、系統、ほぼ同程度のものが3品種、系統、また果肉部ビタミンC含量がゼリー部ビタミンC含量より高いものが3品種、系統であり、 hp 遺伝子保有品種、系統においては、それぞれ1、1及び2品種系統であった。また部位別及び全果のビタミンC含量相互間には、いずれの場合も $r=0.960$ 以上の高い相関関係が成立した。これらのことから、 hp 遺伝子保有品

Table 6. Vitamin C content of locular and pericarp tissues of tomato fruits (Exp. 3)

Lines or cultivars	Genes ^z	% of locular tissue	Vitamin C content			
			Locular	Pericarp	Whole-1 ^y	Whole-2 ^x
		%	mg%	mg%	mg%	mg%
Wasedaruma	+	19.5	18.4	17.5	20.9	18.2
H 1370	+	14.1	17.6	17.5	20.9	17.5
Florida MH-1	+	11.7	17.7	19.7	19.5	18.3
Calmart	+	13.2	18.0	16.3	19.6	17.8
Morioka 15	hp	18.2	27.6	26.7	30.5	27.7
Y - 13	hp	21.8	24.8	25.7	28.1	25.1
PU 74-43	og	14.6	21.3	20.4	23.2	21.6
Travelar	+	15.8	18.8	18.2	19.9	18.0
Line 31-St-6	+	8.9	18.4	17.0	18.2	17.8
Golden heart	r	16.5	18.0	16.4	17.6	17.6
LA 1664	$hp, I\phi$	23.0	25.0	27.5	27.8	25.5
T 3790	$hp, og^?$	14.8	29.0	29.1	32.7	29.0
Average		16.0	21.2	21.0	23.2	21.8

z Pigment intensifier genes

y By the DCPFS method (Mochizuki and Kanimara, 1985a) using original juice

x By the DNP method using centrifuged juice diluted with 5% metaphosphoric acid

Table 7. Correlations among vitamin C content of locular and pericarp tissue (Exp. 3)

Factors	1	2	3	4	5
1. % of locular tissue	1.000	0.484	0.563	0.521	0.497
2. Vitamin C (locular)		1.000	0.963**	0.979**	0.996**
3. Vitamin C (pericarp)			1.000	0.965**	0.967**
4. Vitamin C (whole-1)				1.000	0.984**
5. Vitamin C (whole-2)					1.000

** indicates significance at 1% level of Probability

種、系統を含め、供試材料中ではゼリー部ビタミンC含量と果肉部ビタミンC含量の大小関係には一定の傾向が認められず、その差も品種、系統間差より小さいと判断した。

実験4 露地栽培における果実中のビタミンC含量と果実熟度及び果重の関係

Fig. 4に各品種、系統ごとの果実熟度とビタミンC含量の関係を示す。*hp*遺伝子保有の有無にかかわらず、供試全品種、系統とも緑熟期から完熟期まで徐々にビタミンC含量が上昇した。*hp*遺伝子保有系統は、緑熟期においてすでに普通系統よりビタミンC含量が高く、熟度が進んでもその関係が逆転することはなかった。

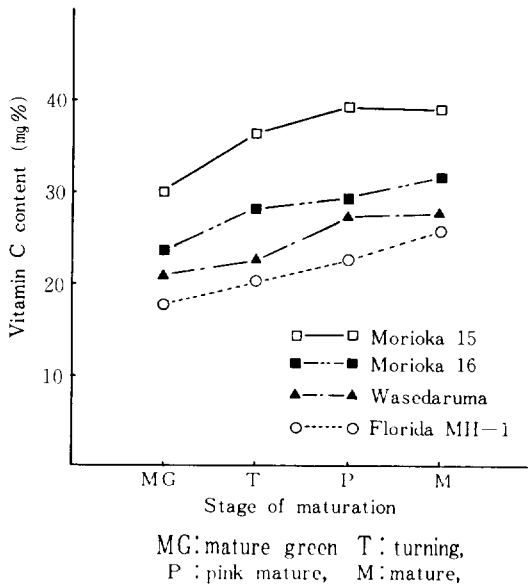


Fig. 4 Change of vitamin C content on maturation (Exp.4).

Table 8に各品種、系統ごとの完熟果における果実の大きさとビタミンC含量の関係を示す、*hp*遺伝子保有の有無にかかわらず、供試全品種、系統とも小さい果実の方がビタミンC含量の高い傾向が認められたが、果実の大きさの変化に伴うビタミンC含量の変化の割合は、普通系統と比較して*hp*遺伝子保有系統でより大きかった。

実験5 冬期温室ポット栽培における果実中のビタミンC含量と果実熟度の関係

Fig. 5に各品種、系統ごとの果実熟度とビタミンC含量の関係を示す。色素遺伝子の種類にかわりなく、供試全品種、系統とも、熟度が進むのに伴ってビタミンC

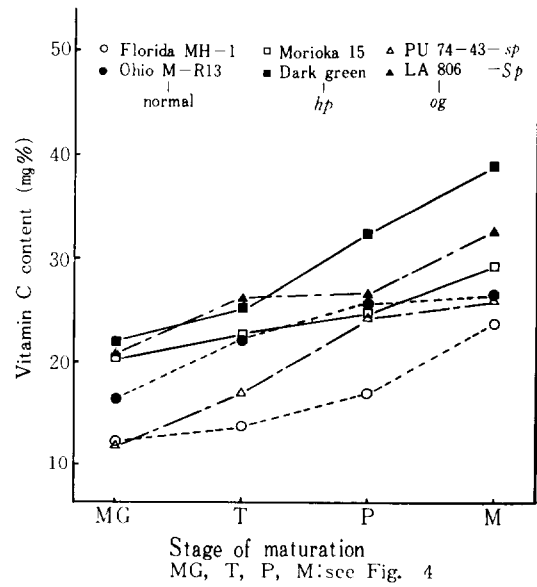


Fig. 5 Change of vitamin C content on stage of maturation (Exp.5).

Table 8. Change of vitamin C content on size of fruit. (Exp.4).

Lines or cultivars	Large fruit		Medium fruit		Small fruit	
	Fruit weight ^z	V. C.	Fruit weight ^z	V. C.	Fruit weight ^z	V. C.
	g	mg%	g	mg%	g	mg%
Morioka 15 (<i>hp</i>)	103.2	38.3	85.1	41.5	71.0	45.2
Morioka 16 (<i>hp</i>)	54.9	32.0	42.9	29.1	31.1	36.3
Wasedaruma (+)	115.6	27.0	72.9	26.2	48.0	28.8
Florida MH-1 (+)	185.0	21.2	122.4	23.1	70.8	26.3

z Average weight of tested fruits

含量はゆるやかに上昇し、完熟期で最高に達した。なお最終的なビタミンC含量では、*hp* (*dg*を含む) 遺伝子保有系統が、*og* (*og*を含む) 遺伝子保有系統及び普通系統より高く、また非心止まり系統が心止まり系統より高い傾向が認められた。

実験6 春期温室ポット栽培における果実中のビタミンC含量と果実熟度、果重等の関係

Fig. 6に‘盛岡15号’(*hp*)と‘PU74-43’(*og*)の果実熟度とビタミンC含量の関係を示す。両系統とも熟度の進むのに伴ってビタミンC含量は上昇したが、特に緑熟期から催色期にかけての増加が顕著であった。なお全成熟段階を通じて、‘PU74-43’より‘盛岡15号’のビタミンC含量が高かった。

Fig. 7に‘盛岡15号’と‘PU74-43’における果実の

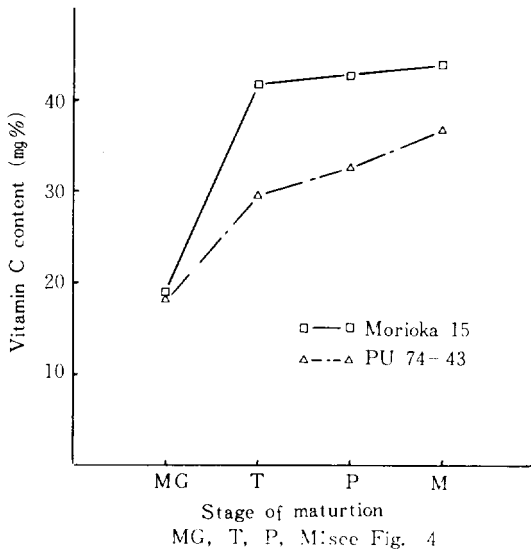


Fig. 6 Change of vitamin C content on stage of maturation (Exp.6).

大きさとビタミンC含量の関係を示す。両系統とも小さ果実の方がビタミンC含量の高い傾向が認められたが果実の大きさの変化に伴うビタミンC含量の変化の割合は、‘PU74-43’より‘盛岡15号’で大きかった。

Fig. 8に‘盛岡15号’、‘PU74-43’及び普通品種の‘Florida MH-1’における、花房内の着果位置とビタミンC含量の関係を示す。‘盛岡15号’及び‘Florida

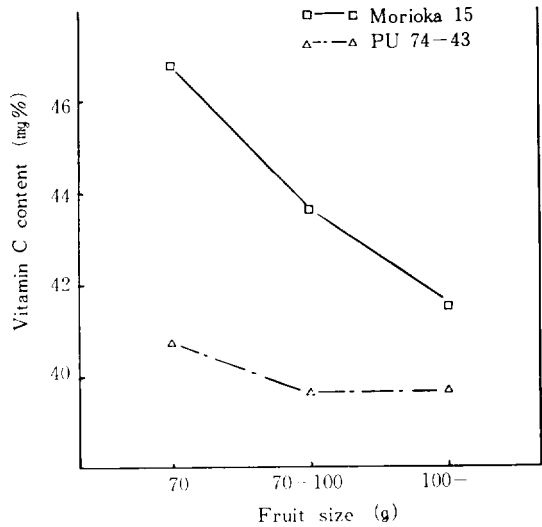


Fig. 7 Change of vitamin C content on size of fruit. (Exp.6).

MH-1’では花房内の先端に近づくにつれ、ビタミンC含量は低下したが‘PU74-43’では逆にビタミンC含量が増加した。このように果房内の着果位置とビタミンC含量の関係は品種、系統により異なった。

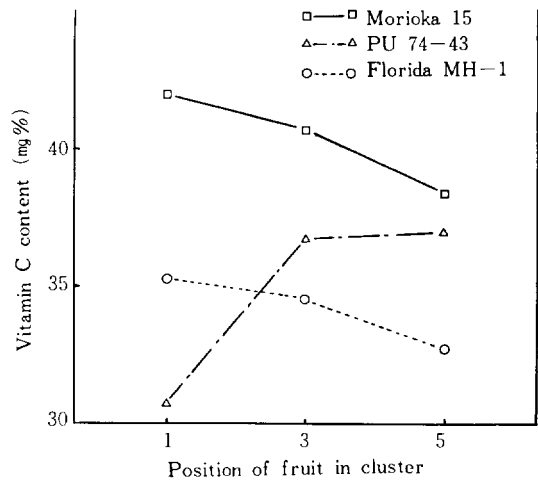


Fig. 8 Change of vitamin C content on the position of fruit in cluster (Exp.6).

Fig. 9に‘盛岡15号’、‘PU74-43’及び‘Florida MH-1’における、果実の部位及びトマトーン処理とビタミンC含量の関係を示す。供試3品種、系統とも、ゼリー部より果肉部のビタミンC含量がやや高い傾向に

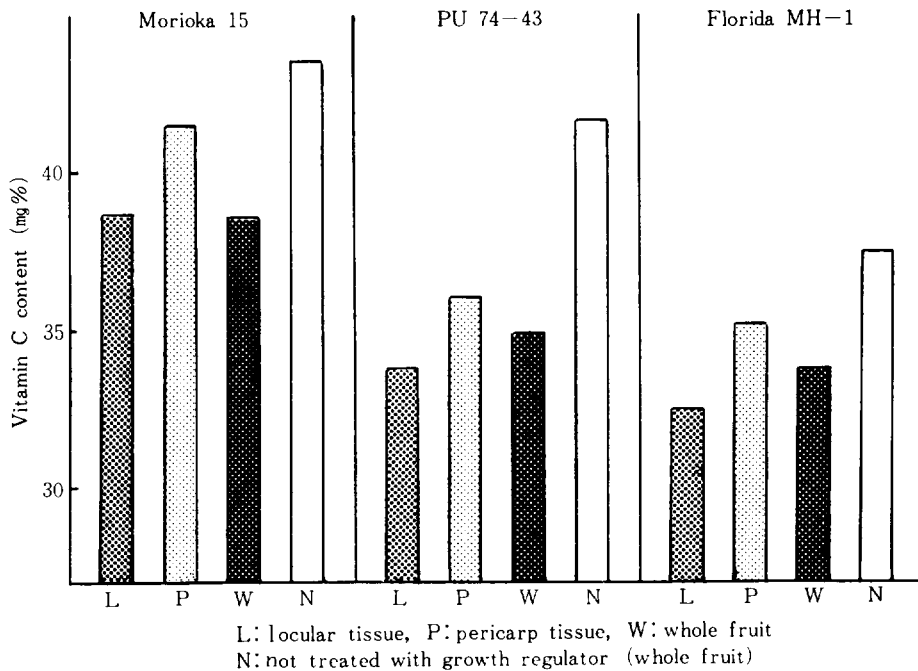


Fig. 9 Change of vitamin C content on part of fruit and treatment of growth regulator. (Exp. 6).

あった。またトマトトーン処理果は、無処理果と比較して肥大、成熟は早い、ビタミンC含量は低い傾向が観察された。

IV 考 察

*hp*遺伝子保有系統は著者ら(1985^b)及びSAYAMA(1979)、JARRET(1983)が要約しているように、発芽、植物体の生育、果実の成熟等生長の全過程にわたって遅延現象が認められている。その反面、果実が堅くまた熟果のカロチノイド含量、ビタミンC含量が高いため、高ビタミン品種育成のための有用な材料と考えられている。しかし*hp*遺伝子に密接に関連して発現する不良形質のために、*hp*遺伝子を保有する実用品種はごく最近まで育成されず、また*hp*遺伝子の有用な作用である高カロチノイド含量及び高ビタミンC含量について、その変動の実態及び要因並びに遺伝性の解明など、*hp*遺伝子を高ビタミン品種に利用する上で不可欠の基礎的知見はほとんど明らかにされていない。最近になって、SAYAMA(1979)は準同質系統を用いて*hp*(*dg*を含む)遺伝子の効果を検

討し、ビタミンC含量の向上することを示した。またJARRET(1983)は同じく準同質系統を用いて、*hp*遺伝子保有系統のビタミンC含量と果実熟度及び果実内の部位の関係を検討している。しかし、普通品種のビタミンC含量の変動についてMATTHEWS(1974)が総説しているとおり、ビタミンC含量の変動には非遺伝的要因がかなり作用していることが明らかにされている。したがって*hp*遺伝子保有系統の高ビタミンC性についても、作期、作型、収穫花房位、果実の熟度、果実の大きさ、果実内の部位などによるビタミンC含量の変動を説明する必要がある。

作期、作型あるいは収穫果房位によるビタミンC含量の変動については、主として施設栽培の有支柱栽培トマトを対象として研究が行なわれている。木下ら(1976)は各種作型で生食用トマト数品種を栽培し、作型間でビタミンC含量に必ずしも優劣はなく、他方同一作型中においては収穫果房位の上昇に伴ってビタミンC含量の増加することを示し、この現象に日射量が関係している可能性を示唆した。日射量がビタミンC含量に影響することはHASSANら(1954)によって明らかにされているが、

同時に主枝1本仕立ての有支柱トマトでは、下位花房と比較して上位花房では一般に果重がやや小さくなる傾向があるので、YEAGER (1946) が述べているようにビタミンC含量と果重の関係も考慮する必要がある。

本報の実験2においては、3種類の栽培方法により hp 遺伝子保有系統を含む12品種、系統のビタミンC含量を比較した。その結果、露地栽培におけるビタミンC含量がビニルハウス栽培及び温室ポット栽培におけるビタミンC含量よりやや高かったが、冬期低日照条件下の温室ポット栽培と夏期で日射量の多いビニルハウス栽培の間にほとんど差を認めなかった。このことから果実の成熟速度とビタミンC含量の間にも何らかの関係のあることが推察された。またビニルハウス栽培及び温室ポット栽培では、下位花房に比較して上位花房のビタミンC含量が高く、木下ら(1976)の結果と一致した。一方実験1において、無支柱栽培における収穫時期とビタミンC含量の関係を検討した結果、収穫初期と収穫盛期の間に差が認められなかった。このことから実験2で認められた、収穫花房位の上昇に伴うビタミンC含量の向上には、植物体のエイジングは関係していないと考えられ、むしろ実験1においてビタミンC含量と収量一茎葉重比及び前期収量率の間に負の相関が認められたことから、収穫期間を通じたビタミンC含量の変動には、果実と茎葉のバランスの変化が影響していると考えるのが妥当であろう。また実験4及び6においては、果重とビタミンC含量の間に負の相関が認められた。このことはYEAGER (1946) の考え方を支持するものであろう。なおこれらの実験を通じ、栽培方法、収穫花房位、果実の大きさとビタミンC含量の関係について、 hp 遺伝子保存系統と普通系統に差は認められなかった。

ところで実験2のデータについてEBERHARTら(1966)の方法によって、ビタミンC含量についての品種と栽培条件の相互関係を検討したところ、供試12品種、系統は冬期温室ポット栽培におけるビタミンC含量を指標として2群に類別され、それぞれの群に普通系統と hp 遺伝子保有系統の両方が含まれた。本実験からでは、冬期温室ポット栽培においてビタミンC含量に影響した環境要因を明らかにすることはできなかったが、以上の結果から、栽培トマト品種、系統中にはビタミンC含量の環境依存性について遺伝的変異の存在する可能性が示唆され、またこの遺伝的変異と hp 遺伝子とは独立の関係にあることが推定される。なおEBERHARTら(1966)の環境安定性パラメータ(b_1 , R^2)は、トマトではCUARTEROら(1982)及びSTTOFFELLAら(1984)によって収量

性に対して適用されたのみであり、成分含量について適用した例は見当たらない。したがって、今後実験例の積み重ねにより、解析方法としての有効性について検討する必要がある。

果実の熟度とビタミンC含量についてはMALEWSKIら(1971)、BRECHTら(1976)及びJARRET(1983)が検討しており、熟度の進行に伴って徐々にビタミンC含量は上昇し、完熟期で最高に達するとしている。またJARRET(1983)は熟度の進行とビタミンC含量の関係について、 hp 遺伝子保有系統と普通系統を比較検討し、未熟果の段階で既に hp 遺伝子保有系統のビタミンC含量は高く、この差が完熟期まで保持されることを示した。本報告の実験4~6では栽培条件を変えた場合の、果実熟度とビタミンC含量の関係を検討したが、露地無支柱栽培及び温室ポット栽培のいずれの場合にも、既往の報告を支持する結果が得られた。なおJARRET(1983)は hp (dg を含む)遺伝子を保有する準同質系統を用い、 hp 遺伝子により開花から催色期までの期間が数日遅延されることを示しているが、本報の実験2においても hp 遺伝子保有系統は普通系統と比較して開花後完熟までの日数が平均して3.3日遅延されている。このことから hp 遺伝子保有系統の高ビタミンC性には果実の成熟が緩慢であることも関係している可能性が考えられる。

果実内の部位とビタミンC含量との関係については、WARD(1963)、JARRET(1983)等が検討しており、果肉部の方がゼリー部より若干高いと報告している。しかしJARRET(1983)はしや光と部位別ビタミンC含量の関係について、 hp 遺伝子保有の有無と関連づけて検討し、しや光条件下では hp 遺伝子保有の有無にかかわらず、果肉部ビタミンC含量の低下が大きいため、果肉部とゼリー部のビタミンC含量に差が認められなくなると報告している。一方本報告の実験3においては露地栽培における果実の部位によるビタミンC含量を検討した結果、 hp 遺伝子保有系統を含め、果肉部とゼリー部のビタミンC含量に差を認めなかったのに対し、実験6においては供試した3系統すべてにおいて、ゼリー部より果肉部で若干ビタミンC含量が高かった。実験6ではトマトトン処理を行っているのに対し実験3では無処理であることの外、栽培時期、栽培方法について、両実験ではかなり異なっており、こうしたことが部位別ビタミンC含量に影響したことはJARRET(1983)の報告からも十分推察できる。しかしいずれにしても部位によるビタミンC含量の高低及びその環境条件による変化については、 hp 遺伝子保有の有無による違いはないものと判断した。

以上の結果から、*hp*遺伝子保有系統のビタミンC含量は、成熟初期から普通系統より高く、また果実の成熟は普通系統より遅いものと判断される。しかし果実熟度、果実の大きさ、果実内部位あるいは栽培条件、収穫花房位によるビタミンC含量の変動の様態には、*hp*遺伝子保有系統と普通系統の間に基本的な差はないものと考えられる。したがって今後*hp*遺伝子保有系統を利用した高ビタミンC育種を進めるに当たって、普通系統のビタミンC含量の変動について得られた既往の成果は、そのまま活用できる部分が多いものと考えられる。

V 摘 要

トマトの高色素遺伝子保有系統の高ビタミンC性を確認し、ビタミンC含量の栽培時期、花房位、果実熟度、果実の大きさ、花房内の果実位置及び果実内の部位等による変動を検討するために1982~1984年に試験を行った。

1) 露地無支柱栽培では、*hp*遺伝子保有系統は普通系統と比較して、30%以上ビタミンC含量が多かった、また普通系統と*hp*遺伝子保有系統とのF₁のビタミンC含量は普通系統と同程度であったが、果実収穫量が多いため、ビタミンC生産量は*hp*遺伝子保有系統と同程度であった。なお収穫前期と後期のビタミンC含量の間に差は認められず、両時間には高い相関関係が成立した。またビタミンC含量と莖葉重及び可溶性固型物含量との間に正の相関、収量—莖葉重比及び前期収量率との間に負の相関が成立した。

2) 栽培時期を変えた有支柱栽培では、*hp*遺伝子保有系統は普通系統と比較して、約40%あまりビタミンC含量が多かった、回帰分析の結果、供試品種、系統は冬期温室ポット栽培で高ビタミンC含量のものと低ビタミンC含量のもの2群に類別されたが、この分類と*hp*遺伝子保有の有無との関係は認められなかった。なおビニルハウス栽培において、*hp*遺伝子保有系統は普通系統と比較して、開花後完熟までの日数が長かった。また温室ポット栽培及びビニルハウス栽培では、下位花房より上位花房のビタミンC含量が高かった。

3) 露地無支柱栽培及び温室ポット栽培のいずれにおいても、また*hp*遺伝子保有の有無にかかわらず、果実熟度の進行に伴いビタミンC含量は徐々に増加し、完熟期に最高に達したが、成熟の全段階において*hp*遺伝子保有系統は普通系統よりビタミンC含量が高かった。

4) 同じく両作型における*hp*遺伝子保有の有無にかかわらず、同一系統内では小さい果実の方がビタミンC含量が高かった。

5) 露地無支柱栽培では、*hp*遺伝子保有の有無にかかわらず、ゼリー部と果肉部のビタミンC含量の差異には一定の傾向が認められなかった。一方トマトーン処理を行った温室ポット栽培では、全般にビタミンC含量の低下する傾向が認められたが、ゼリー部と比較して果肉部のビタミンC含量が若手高かった。

6) 温室ポット栽培において、花房内の果実位置とビタミンC含量の関係を検討したが、一定の傾向は見出せなかった。

引用文献

- 1) BRECHT, P. F., L. KENG, C. A. BISOGNI & H. MUNGER (1976): Effect of fruit portion, stage of ripeness and growth habit on chemical composition of fresh tomato. *J. Food Sci.* 41:945-948.
- 2) CUARTERO, J. & J. I. CUBERO (1982): Genotype-environment interaction in tomato. *Theor. Appl. Genet.* 61:273-277.
- 3) EBERHART, S. A. & W. A. RUSSELL (1966): Stability parameter for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- 4) HASSAN, H. H. & J. P. MCCOLLUM (1954): Factors affecting the content of ascorbic acid in tomatoes. *Bull. Univ. Illinois Agric. Exp. Stn.* 573:1-24.
- 5) JARRET, R. L. (1983): Characterization of green ripe (GR), lutescent (L), high pigment (HP) and dark green (DG) mutants of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Ph. D. Thesis, Purdue Univ.
- 6) 神田健一・竹内誠 (1980): 検量線よみかえプログラム. 農林水産研究計算センター報告 A. 6: 27-39.
- 7) KELLY, J. F. (1969): Improving food values of vegetable. *HortScience* 10:563-569.
- 8) 木下隆雄・穂積清之・野中正義 (1976): 各種作型におけるトマト果実のビタミンC含量の変動について. 昭和51年秋季園芸学会発表要旨: 174-175.
- 9) MALEWSKI, W. & P. MARKAKIS (1971): Ascorbic acid content of the developing tomato fruit. *J. Food Sci.* 36:357.
- 10) MATTHEWS, R. (1974): The ascorbic acid content of tomato—a review. *Proc. Tomato Quality Workshop (Florida)*: 23-33.
- 11) 望月龍也・上村昭二 (1985a): インドフェノール吸着ろ紙法によるトマト果実のビタミンC含量の簡易検定. 野菜試験報 B. 5: 1-11.
- 12) ——— (1985b): 黄色フィルム被覆によるトマトの高色素遺伝子保有系統の早期検定. 野菜試験報 B. 5: 13-25.
- 13) 日本食品工業学会食品分析法編集委員会 (1982): 食品分析法. 光琳, 東京.
- 14) 西村 剛・志村清 (1982): 促成トマトの品質に及ぼす果房段位, 果序順位及び収穫時期の影響. 野菜試験報 A. 10: 135-145.

- 15) PRICE, H. C. (1976) : Vitamin and mineral composition of fresh market tomato grown in Michigan. *Proc. Second Tomato Quality Workshop*: 171-184.
- 16) REYNARD, G. B. & M. S. KANAPAU (1942) : Ascorbic acid (vitamin C) content of some tomato varieties and species. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 41 : 298-300
- 17) RICK, C. M. (1978) : The tomato. *Sci. Amer.* 239(2) : 76-87.
- 18) SAYAMA, H. (1979) : Morphological and physiological effects associated with the crimson (*ogc*), high pigment (*hp*) and other chlorophyll intensifier genes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Ph. D. Thesis, Purdue Univ.
- 19) 篠原 温・鈴木芳夫・渋谷正夫・山本宗輝・山崎肯哉(1980): トマト及びピーマンにおける施肥条件とアスコルビン酸含量について. 園学雑 49:85-92.
- 20) ————— (1982) : 施設トマトの栽培法, 栽培時期及び品種と果実のアスコルビン酸含量. 園学雑 51: 338-345.
- 21) STTOFFELLA, P. J., H. H. BRYAN, T. K. HOWE, J. W. SCOTT, S. J. LOCASCIO & S. M. OLSON (1984) : Stability differences among fresh market tomato genotypes I. Fruit yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 615-618.
- 22) WARD, G. M. (1963) : Ascorbic acid in tomato I. Distribution and method of assay. *Can. J. Plant Sci.* 43: 206-213.
- 23) WARNOCK, S. J. (1983) : Ascorbic acid content of fresh and processed purees from twelve tomato cultivars. *HortScience* 18:728-730.
- 24) YEAGER, A. F. & H. J. PURINTON (1946) : *Lycopersicon peruvianum* as a parent in the development of high ascorbic acid tomato varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 48: 403-405.

Variation of Vitamin C Content throughout Maturity, Size, Part of Fruit, Position of Inflorescence and Different Cultural System in High Pigment Lines of Tomatoes

Tatsuya MOCHIZUKI and Shoji KAMIMURA

Summary

High vitamin c content of high pigment (*hp*) tomato fruit was confirmed, and its variation throughout the cultivation season, position of fruit, fruit maturity, fruit size and part of fruit was studied to utilize the *hp* lines in a breeding program for high vitamin C tomatoes.

1. In open-field cultivation, the vitamin C content of *hp* lines was about 30 % higher than that of normal lines. Although the vitamin C content in F_1 hybrids between the *hp* lines and normal lines was the same as that of normal lines, the vitamin C yield of F_1 hybrids was higher than that of the normal lines and the same as the *hp* lines because of the high yield from F_1 hybrids. There was a high correlation between the vitamin C content at early-harvesting time and at mid-harvesting time. There were also rather high positive correlations between the vitamin C content and vine weight and between the vitamin C content and soluble solids, as well as rather high negative correlations between the vitamin C content and the yield-vine ratio and between the vitamin C content and the early yield ratio.

2. In staked cultivation for several seasons, the vitamin C content of the *hp* lines was about 40 % higher than that of normal lines. In the regression analysis of vitamin C content, all lines including the *hp* lines were divided in two groups according to differences in vitamin C content of greenhouse-potted cultivation in the winter season. In vinyl-house cultivation in summer season, the days from flowering to maturation of the *hp* lines was higher than that of the normal lines. Also, in greenhouse-potted cultivation, and vinyl-house cultivation, the vitamin C content of lower fruit clusters were lower than those of higher fruit clusters.

3. In open-field unstaked cultivation in the summer season and in greenhouse-potted cultivation in both the winter and spring season, the vitamin C content gradually increased throughout fruit maturation and full matured fruit contained the highest vitamin C in all lines including the *hp* lines. On the other hand, the vitamin C content of small fruit was higher than that of large fruit in all lines including *hp* lines.

4. In open-field cultivation, there was no difference in the vitamin C content between the pericarp tissue and locular tissue in all lines including the *hp* lines. But in greenhouse-potted cultivation in the spring season with application of 'Tomato-tone', the vitamin C content of the pericarp tissue was a little higher than that of the locular tissue. In greenhouse-potted cultivation in the spring season, there was no difference in the vitamin c content due to the position of fruit in the fruit cluster.