追熟トマトのビタミンC含量

本 間 清 一*, 鄭 泰 泳**, 阿 部 啓 子*
倉 田 忠 男*, 加 藤 博 通**, 藤 巻 正 生*

* お茶の水女子大学家政学部食物学科

** 東京大学農学部農芸化学科

Ascorbic Acid Content of Tomatoes Stored for Ripening under Various Environmental Conditions

Seiichi HOMMA,* Tae-Yung CHUNG,** Keiko ABE*

Tadao KURATA,* Hiromichi KATO,** Masao FUJIMAKI*

* Department of Nutrition and Food Science, Ochanomizu University, Bunkyo-ku, Tokyo

** Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo

J. Jap. Soc. Nutr. Food. Sci. 35, 417~422, (1982) Tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. Ogatafukuju-2 was grown in the field in Tokyo, harvested and stored for ripening under various environmental conditions. Vitamin C content in the room ripened fruits was determined.

1) Total ascorbic acid was in maximum content in fruits harvested at the stage from breaker to pink.

2) Under the condition of 20°C, dark or artificially illuminated (10,000 lx) storage, significant difference was not found in reduced ascorbic acid content between field ripened (red stage) and room ripened fruits except higher content of reduced ascorbic acid in the room ripened fruits harvested at mature-green stage.

3) Under the storage of temperature changed periodically between 20 and 25°C with natural or artificial illumination (10,000 lx), reduced ascorbic acid was in significantly higher content in room ripened fruits harvested from breaker to pink than in field ripened fruits.

4) Under the storage of temperature changed periodically between 25°C, 10 hr and 30°C, 14 hr with dark or artificial illumination (6,000 lx), total ascorbic acid in fruits decreased during postharvest ripening compared with the fruits at harvest, and the levels in the room ripened fruits harvested at mature-green and breaker stages were similar to those in the field ripened fruits.

(Received May 10 1982)

近年、大都市で消費される生食用トマトは、産地から完熟果で出荷されることは少なく、未熟果で収穫され、流通過程で追熟の上、消費されることが多い。追熟過程においては果皮表面の着色をはじめ、多くの成分が質的にも量的にも変動する。また、加工用トマトの場合、樹上完熟果に近いものを収穫し、ただちに加工処理する場合が多いが、原料トマトの一時的貯蔵もありえようし、その場合当然追熟過程における成分変動が問題となる¹⁾。

追熟条件と成分変化との関係、さらにそれに伴う化学的品質への影響については十分な研究はなされていない。また、樹上完熟果と追熟完熟果とではその化学的品

質に差異がある²⁾とされているが、この差異に関する知見は樹上での成熟過程ならびに収穫後の追熟過程における成分変動を把握することにより明らかにされる。

本研究では、トマトの最適追熟条件のための基礎データを得る目的で、種々の環境条件下で追熟させたトマトのビタミンC（アスコルビン酸）含量を測定した。

実験方法

1. 実験材料

試料A：昭和51年2月19日播種、4月20日定植、東京農工大学農場に露地栽培した大型福寿2号を7月1日から30日までの間収穫した。第1、第2花房はホルモン処理の影響のおそれがあるため、第3花房以後のト

* 〒112 東京都文京区大塚 2-1-1

** 〒113 東京都文京区弥生 1-1-1

マトを収穫した。

試料 B：昭和 52 年 1 月 20 日播種，4 月 12 日定植，東京農工大学農場に露地栽培した大型福寿 2 号を，7 月 7 日と 7 月 23 日に収穫した。収穫は A と同様である。

2. 収穫時の熟度

収穫したトマトは果皮表面の着色度にしたがい肉眼判定により便宜上次の 6 段階に分類した。

熟度 1：(mature-green) 果実は十分に大きい，まだ完全に緑。

熟度 2：(breaker) 果頂部が黄褐色化し，着色部が全果面の 10% 以下。

熟度 3：(turning) 黄褐色または桃色に着色した部位が全果面の 10~30%。

熟度 4：(pink) 桃色または赤色に着色した部位が全果面の 30~60%。

熟度 5：(light red) 桃赤色または赤色に着色した部位が全果面の 60~90%。

熟度 6：(red) 赤色に着色した部位が全果面の 90% 以上，すなわち樹上完熟果。

3. 追 熟

収穫した果実の追熟は東京大学農学部のパイオトロニにおいて次の条件下に行なった。

昭和 51 年

A：20°C 定温，暗黒下

B：20°C 定温，自然光下

C：25°C (12 時間)↔20°C (12 時間) 変温，自然光下

D：25°C (16 時間，10,000 lx)↔20°C (8 時間，暗黒) 変温，人工照明下

A~D の 4 条件下で熟度 1~6 の果実を追熟完熟させるに要した日数は Table 1 のごとくである。

昭和 52 年

E：30°C (14 時間)↔25°C (10 時間) 変温，暗黒下

F：30°C (14 時間，6,000 lx)↔25°C (10 時間，暗黒) 変温，人工照明下

4. アスコルビン酸の定量

昭和 51 年の追熟試験ではトマト 5 個をまとめて 1 分折試料とした。すなわち，5 個のトマトからそれぞれ 1/16 切片を 1 個ずつ計 5 個とり，10 倍量の 2% メタリン酸 (2.5% 塩化第 1 錫を含む) 中で適量の海砂とともに乳鉢中で磨砕した。濾液中の還元型アスコルビン酸を常法のインドフェノール法³⁾により分析した。各追熟条件下での分析試料数は 2~9 (平均 5) であり，その平均値を分析結果とした。

昭和 52 年の追熟試験ではトマト果実全体を等量の 5% メタリン酸とともに磨砕し，浸出液をさらに 5% メタリン酸で希釈して分析試料とした。試料数は 8~10 個であり，その平均値を分析結果とした。アスコルビン酸の定量はヒドラジン法³⁾で行ない，総アスコルビン酸および酸化型アスコルビン酸を測定し，その差を還元型アスコルビン酸とした。

実 験 結 果

露地栽培した大型福寿 2 号を熟度の異なる段階で収穫し，温度と光条件の異なる環境下において追熟完熟した。追熟果のアスコルビン酸含量を測定し，収穫直後および樹上完熟果のアスコルビン酸含量と比較検討した。

1. 熟度の異なるトマトの収穫直後におけるアスコルビン酸含量

樹上熟度の異なるトマトを収穫してただちにアスコルビン酸含量を測定した。この数値は樹上におけるトマトの熟度変化とアスコルビン酸含量との関係を示している。

Table 1. Average storage periods required for room ripening under various environmental conditions (day).

Stage of maturity at harvest	Environmental condition			
	(A)	(B)	(C)	(D)
1. Mature green	8	7	5	5
2. Breaker	4	4	3	3
3. Turning	4	3	3	3
4. Pink	3	3	3	3
5. Light-red	2	2	2	2
6. Red	2	2	1	1

Tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. Ogatafukuju-2 was grown in the field in Tokyo, harvested in July, 1976 and stored for ripening; (A) 20°C, dark room, (B) 20°C, natural light, (C) 20°C, 12 hr, dark/25°C, natural light, (D) 20°C, 8 hr, dark/25°C, artificial illumination of 10,000 lx.

Table 2. Reduced ascorbic acid content of tomatoes stored for ripening under various environmental conditions (mg%).

Stage of maturity at harvest	Reduced ascorbic acid (mg%)				
	Fruit at harvest	Room ripened fruit			
		(A)	(B)	(C)	(D)
1. Mature-green	11.7±0.3	12.2±2.4	14.7±0.9*	15.9±1.8*	11.7±1.0
2. Breaker	13.6±1.0	12.4±1.6	13.2±2.2	15.7±1.3*	16.9±1.2*
3. Turning	13.0±1.4	11.7±1.3	13.2±2.0	16.4±2.6*	16.6±1.1*
4. Pink	12.6±0.2	11.9±2.0	12.1±1.3	17.4±2.1*	—
5. Light-red	12.3±1.0	12.0±2.0	12.7±0.7	13.1±2.0	15.8±4.5*
6. Red	12.1±0.5	12.1±1.1	11.5±0.9	12.2±0.5	14.6±2.1

Figures are shown by mean±SD.

Tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. Ogatafukuju-2 was grown in the field in Tokyo, harvested in July, 1976 and stored for ripening; (A) 20°C, dark room, (B) 20°C, natural light, (C) 20°C, 12 hr/25°C, 12 hr under natural light, (D) 25°C, 16 hr/20°C, 8 hr under artificial illumination of 10,000 lx.

* Figure is significantly different (* $p<0.05$) from those in field ripened fruit, red stage of maturity.

Table 3. Ascorbic acid content of tomatoes stored for ripening at the temperature changed periodically (mg%).

Stage of maturity	Ascorbic acid	Fruit at harvest	Room ripened fruit	
			Dark (E)	Illuminated (F)
1. Mature-green	Dehydro	7.8±3.7	2.2±0.4**, ††	2.0±0.2**, ††
	Reduced	2.8±1.3	9.7±2.2††	10.5±2.2††
	Total	10.6±2.5	12.0±2.4	12.6±2.1
2. Breaker	Dehydro	4.9±1.0	1.8±0.4**, ††	1.8±0.4**, ††
	Reduced	9.2±2.2	9.1±1.4	9.8±1.3
	Total	14.1±2.9	10.9±1.2*, †	11.6±1.1†
4. Pink	Dehydro	3.3±0.7	2.8±1.4*	2.2±0.8**, †
	Reduced	11.6±1.9	11.1±4.7	9.7±1.8
	Total	14.9±2.5	13.9±5.9	11.8±2.4†
6. Red	Dehydro	5.6±2.9	3.6±0.6	2.5±0.8
	Reduced	7.4±4.0	9.5±1.3	—
	Total	13.0±2.5	13.1±1.4	—

Figures are shown by mean±SD.

Tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. Ogatafukuju-2 was grown in the field in Tokyo, harvested in July 7, 1977 and stored for ripening at the temperature changed periodically between 25°C, 10 hr with dark and 30°C, 14 hr with (E) dark or (F) artificial illumination of 6,000 lx.

* Figure is significantly different (** $p<0.01$, * $p<0.05$) from those in field ripened fruit, red stage of maturity.

† Figure is significantly different (†† $p<0.01$, † $p<0.05$) from those in corresponding fresh fruit at harvest.

Table 4. Ascorbic acid content of tomatoes stored for ripening at the temperature changed periodically (mg%).

Stage of maturity	Ascorbic acid	Fruit at harvest	Room ripened fruit	
			Dark (E)	Illuminated (F)
1. Mature-green	Dehydro	7.4±2.9	2.5±0.9*,†	3.2±1.1*,††
	Reduced	12.7±2.8	17.6±3.7*,†	17.4±4.7
	Total	20.0±2.1	20.0±3.8	20.4±5.6
2. Breaker	Dehydro	5.2±1.6	3.3±0.9*,†	3.4±0.6*,†
	Reduced	19.2±2.6*	17.0±3.3*	14.9±2.9†
	Total	24.4±3.7**	20.3±3.9	18.3±3.4†
4. Pink	Dehydro	5.2±0.4	2.3±0.7**,††	2.1±0.6**,††
	Reduced	16.4±1.8	10.5±2.8††	10.4±2.4††
	Total	21.6±1.9*	12.9±3.0*,††	12.5±1.9**,††
6. Red	Dehydro	4.8±1.1	3.4±0.7†	3.4±0.7††
	Reduced	13.1±2.7	13.7±2.8	15.6±2.5
	Total	17.9±2.4	17.1±3.1	19.0±2.9

Figures are shown by mean±SD.

Tomato, *Lycopersicon esculentum* cv. Ogatafukuju-2 was grown in the field in Tokyo, harvested July 23, 1977 and stored for ripening at the temperature changed periodically between 30°C, 14 hr with dark (E) or artificial illumination of 6,000 lx (F) and 25°C, 10 hr with dark.

* Figures are significantly different from those in field ripened fruit, red stage of maturity (** $p<0.01$, * $p<0.05$).

† Figures are significantly different from those in corresponding fresh fruit at harvest (†† $p<0.01$, † $p<0.05$).

昭和 51 年の結果 (Table 2) では熟度 2 (breaker) の還元型アスコルビン酸含量が最も高くなり、以下熟度の進行とともに漸減する傾向を示した。

昭和 52 年の結果 (Table 3, 4) では、梅雨あけ直後の 7 月 7 日に収穫した場合、収穫直後の総アスコルビン酸含量は熟度 2 (breaker), 4 (pink) は樹上完熟果 (red) より高い傾向を示した。7 月 23 日に収穫した場合 (Table 4) 収穫直後の総アスコルビン酸および還元型アスコルビン酸は、同様に熟度 2 (breaker), 4 (pink) が樹上完熟果より高い⁴⁾。

以上 3 回の分析結果から、収穫直後の総アスコルビン酸および還元型アスコルビン酸含量は樹上完熟果 (red) より未熟の熟度 2 (breaker) ないし熟度 4 (pink) の果実に最大値⁵⁾ がみとめられ、北川⁶⁾ の結果と一致した。また、酸化型アスコルビン酸含量が熟度とともに減少する傾向を示した。

2. 追熟トマトのアスコルビン酸含量

1) 20°C 定温追熟 熟度 1~6 の段階のトマトを収穫し、20°C 定温のもとで暗黒および自然光下で追熟した。暗黒下で追熟完熟したトマトの還元型アスコルビン酸含量は 11.7~12.4 mg% であり、樹上完熟果の還元型

アスコルビン酸含量 12.1 mg% との間に有意差はない。自然光下で追熟完熟したトマトの還元型アスコルビン酸含量は暗黒下追熟よりも高くなる傾向を示し、熟度の低いもの、とくに熟度 1 (mature-green) からの追熟果 (14.7 mg%) では樹上完熟果よりも明らかに高い還元型アスコルビン酸含量を示した。

2) 20~25°C 変温追熟 熟度 1~6 のトマトを収穫し、20~25°C 変温のもとに自然光下または人工照明下で追熟完熟させた (Table 2)。熟度 1~4 から追熟したトマトの還元型アスコルビン酸含量は樹上完熟果より明らかに高かった。人工照明下での変温追熟では、熟度 2~5 から追熟したトマトが樹上完熟果より還元型アスコルビン酸含量は高い。

熟度 1 からの追熟果の還元型アスコルビン酸含量が熟度のすすんだトマトの追熟果より低いのは追熟生理機構の温度あるいは光感受性の相違⁷⁾ によるとおもわれる。

3) 25~30°C 変温追熟

i) 昭和 52 年 7 月 7 日に収穫したトマトを 25~30°C のもとに暗黒下または人工光下で変温追熟し、追熟前後でアスコルビン酸含量を比較した (Table 3)。総アスコルビン酸含量は、熟度 2 (breaker), 4 (pink) のトマ

トを収穫し、変温追熟すると減少したが、変温追熟中の光の有無は含量に影響はなかった。熟度 1 (mature-green) のトマトを追熟した場合、酸化型アスコルビン酸が減少し、還元型アスコルビン酸が増加するが、総アスコルビン酸の量は変化しない。追熟果と樹上完熟果 (red) とを比較すると、熟度 2 (breaker) で収穫し、暗黒下で追熟したトマトの総アスコルビン酸含量が少ないのを除き総アスコルビン酸含量に差はない。

酸化型アスコルビン酸は追熟に伴い減少し、熟度の低い段階で収穫したトマトほど追熟による減少は著しい。樹上完熟果の酸化型アスコルビン酸含量はいずれの追熟果よりも高い含量を示した。追熟中の光の影響はない。

還元型アスコルビン酸は熟度 1 (mature-green) のトマトを追熟すると著しく増加したが、それ以上に熟した熟度 2 (breaker), 4 (pink) のトマトを収穫し追熟した場合、追熟果の還元型アスコルビン酸含量は樹上完熟果と有意の差はない。また、追熟中の光の影響はみとめられない。

ii) 7月23日に収穫したトマトを同じ条件下で追熟処理をした。総アスコルビン酸含量は、熟度 2 (breaker), 4 (pink) で収穫したトマトを追熟すると減少した。その減少の程度は熟度の進んだ段階で収穫して追熟したものほど大きい。追熟中の光の影響はみとめられない (Table 4)。熟度 1 で収穫したトマトを追熟した場合、総アスコルビン酸含量は変化しない。樹上完熟果 (red) の総アスコルビン酸含量と比較すると、熟度 4 (pink) からの追熟果が少ないのを除き総アスコルビン酸含量に差はない。

酸化型アスコルビン酸は、いずれの熟度において収穫したトマトも、追熟に伴い減少し、その追熟果の含量は樹上完熟果より低い。追熟中の光の影響はない。

還元型アスコルビン酸は、熟度 1 (mature-green) で収穫したトマトを追熟すると、収穫時より増加し、熟度 2 (breaker) の場合には有意差なく、熟度 4 (pink) の場合は著しく減少した。追熟中の光の影響は認められなかった。

7月7日および7月23日収穫果の追熟試験の結果を比較すると、総アスコルビン酸含量に大きい差がみとめられた。この理由として、7月7日は梅雨明け直後であったこと、7月23日は晴天が続いた期間であったことなど気象条件が関係していると思われる。

収穫時の熟度と追熟完熟果の総アスコルビン酸含量との関係を実際に則して考えると、熟度 1 (mature-green), 2 (breaker) 程度の催色期前にトマトを収穫し、流通過程において追熟させた場合、追熟完熟果の総アスコルビン酸含量は樹上完熟果の含量と同程度である。

3. 官能評価

昭和52年のトマトの追熟試験に際し、追熟中の光照射が追熟完熟果の風味にどのような影響を与えるかしらべた。変温追熟 (条件E) 中に 6,000 lx の光をあてて追熟したトマトと暗黒下で追熟したトマトの匂い、甘味酸味、やわらかさ、風味の5項目について、21名のパネルにより二点嗜好法でしらべた。その結果、熟度 2 (breaker) は匂い、熟度 4 (pink) は風味、熟度 6 (red) はやわらかさの点において暗黒下追熟が人工光下追熟より好ましかった ($p < 0.05$)。熟度 1 (mature-green) からの追熟果はいずれの点についても差は認められなかった。

本実験においては、試料数の関係で熟度 1~6 の各段階で収穫し、追熟したトマト相互間の比較を官能評価により行なうことはできなかった。最適の追熟完熟果になる収穫時の熟度と追熟条件をしらべるため、官能評価をもあわせ行ない、成分変化⁸⁾をしらべることを今後の課題としたい。

要 旨

露地栽培した大型福寿2号のトマトを熟度の異なる6段階 (mature-green~red) で収穫し、温度および光条件の異なる環境下で追熟し、そのアスコルビン酸含量の変化についてしらべた。

1) 収穫直後の総アスコルビン酸含量は breaker から pink (熟度 2~4) 程度の未熟果が樹上完熟果より高い。

2) 20°C 定温追熟の場合、一般に還元型アスコルビン酸含量は追熟中の光の有無にかかわらず樹上完熟果と差はない。

3) 20~25°C、自然光または人工光 (10,000 lx) 下で変温追熟した場合、breaker ないし pink (熟度 2~4) 程度で収穫し追熟したトマトは樹上完熟果より高い還元型アスコルビン酸含量を示した。

4) 25~30°C、人工光 (6,000 lx) または暗黒下で追熟させた場合、総アスコルビン酸含量は収穫時の含量より減少するが、収穫時の果実が未熟であるほど、その追熟に伴う減少量は少ない傾向を示した。樹上完熟果と比較すると、mature-green と breaker (熟度 1, 2) で収穫した追熟果は樹上完熟果と同程度の総アスコルビン酸含量を示した。

終りに、試料について便宜をはかっていただいた東京農工大学農場の松村昭治氏、アスコルビン酸を定量されたお茶の水女子大学食物学科の大住知子君に深謝する。

文 献

- 1) 山田耕二：農加技研誌, 6, 190 (1959)
Rick, C.M. : *Sci. Am.*, 1978 (6), 77
- 2) Dilley, D.R. : *J. Food Sci.*, 37, 518 (1972)
- 3) 東京大学農芸化学教室(編)：実験農芸化学, 上巻, 151 (1960), 朝倉書店 (東京)
- 4) Twomey, D.G. and Ridge, B.D. : *J. Sci. Food Agric.*, 21, 313 (1970)
- 5) 農林省食品総合研究所(編)：食糧技術普及シリーズ, 第9号, トマト加工技術, 16 (1974)
- 6) 北川雪恵：栄養と食糧, 26, 139 (1973)
- 7) Paynter, V.A. and Jen, J.J. : *J. Food Sci.*, 41, 1366 (1976)
- 8) 小倉長雄：日本農芸化学会関東支部シンポジウム要旨「食糧収穫後の品質変化の生化学」, 1 (1981)
(昭和57年5月10日受理)