果房段位,
熟度および根域制限水ストレスがトマトの品質およびラジカル消去活性に及ぼす影響

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 寺沢, なお子, 今井, 希美, 野阪, 皆水, 鯨, 幸夫, Terasawa, Naoko, Imai, Nozomi, Nosaka, Minami, Kujira, Yukio メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00000893

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

果房段位，熟度および根域制限水ストレスがトマトの品質およびラジカル消去活性に及ぼす影響

寺沢なお子[§]，今井希美，野阪皆水，鯨　幸夫
金沢大学教育学部

Effects of Position on the Plant, Ripening Stage and Water Stress Due to Root-zone Restriction on the Quality and Radical Scavenging Activity of Tomato

Naoko Terasawa[§], Nozomi Imai, Minami Nosaka and Yukio Kujira
Faculty of Education, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192

The effects of position on the plant, ripening stage and water stress due to root-zone restriction on the quality and radical scavenging activity of tomato was investigated. The fresh weight of tomato fruit decreased due to root-zone restriction. Brix values and glucose, fructose and reduced ascorbic acid contents tended to increase gradually with progressive ripening stage and cluster order, and were higher in water-stressed than control fruit. The reducing sugar content of tomato pulp was greater than that of jelly, while the reduced ascorbic acid content of jelly was greater than that of pulp. Nitrogen content tended to decrease gradually with progressive ripening stage and increase with progressive cluster order, and was higher in the pulp of control than water-stressed fruit. Acidity tended to decrease gradually with progressive ripening stage. Radical scavenging activity of tomato fruit tended to increase gradually with progressive ripening stage and cluster order, was higher in jelly than pulp, and was higher in water-stressed than control fruit. In addition, the activity of a sample obtained from a market was lower than that of both control and water-stressed tomato.
(Received Aug. 27, 2007 ; Accepted Dec. 22, 2007)

Keywords : tomato, root-zone restriction, water stress, quality, radical scavenging activity
キーワード : トマト，根域制限，水ストレス，品質，ラジカル消去活性

近年，食の安全・安心に対する関心の高まりから，市場には有機栽培や特別栽培など様々な栽培方法の農産物が出回り，さらに産地や生産者の公表も行われるまでになっている．このうち有機農産物とは，種まきあるいは植え付け前の2年間以上および栽培中を通して，禁止された農薬や化学肥料を使用していない土壌で栽培・収穫した農産物をいうが[1]，一口に有機農産物といっても用いた堆肥や栽培地域などにより栄養成分に差があることがわかっており[2)3)]，有機栽培・無機栽培のどちらの栽培方法が成分的に優れているかについては一概に論ずることは困難である[4]．その一方で，野菜のもつ抗変異原性や抗酸化性などの機能性は，有機・無農薬栽培の方が優れるとの報告もみられる[5)6)]．

トマトは近年様々な種類が出回っているが，中でも多く見られるようになってきているのが高糖度（一般的に Brix 8%以上）のトマトである．これはトマトの水分吸収に何らかの制限を加え，濃縮効果により糖濃度を高めたものであり，特に根域制限法はトマトや温州みかんで実用化されているほか，メロン，ホウレンソウ，他の果実類などでも栽培法の検討が行われている[7]．しかし本法により，トマトでは糖度が上昇する反面，結果数の減少，果実の小玉化，尻腐れ果の発生などの問題点が指摘されている[7]．一方，水分ストレスによるトマトの糖，アスコルビン酸，有機酸含有量に関する報告は多いものの[7)~10)]，このような栽培方法がトマトのラジカル消去活性に及ぼす影響についての報告や，果房段位および熟度との関係，果肉とゼリー部の差などについても言及した報告は少ない．そこで本研究では，有機栽培トマトを根域制限による水分ストレス条件下で栽培し，果房段位および収穫時の熟度と各種成分およびラジカル消去活性の関係について，根域制限しないものおよび市販のトマトと比較して検討した．

実　験　方　法

1.　栽培方法

試料とするトマト（穂木：桃太郎8，台木：がんばる根3

〒920-1192 金沢市角間町
[§] 連絡先（Corresponding author），terasawa@ed.kanazawa-u.ac.jp

号）は，2006 年に石川県石川郡野々市町のビニールハウス内で以下のように有機無農薬栽培を行った．この土壌では，約 15 年間にわたってトマトの有機栽培が行われている．また，根域制限栽培を行った圃場を「制限区」，それ以外を「対照区」とした．

対照区では，圃場 10 a 当たりに石膏（カルゲン粉：吉野石膏(株)）67.3 kg, 硬質ゼオライト（秋田県二ツ井産）90 kg, ラブグリーン（多木化学(株)）90 kg を混和した．この土壌を深さ 50〜60 cm，幅約 18 cm に凹型に掘削し，底にボカシ肥料（米糠 75 kg，魚粉 50 kg，油粕 50 kg，ミクロエース（加藤工業所）40 kg，バットグアノ 25 kg，カニから 25 kg，糖蜜 200 ml）400 kg/10 a を入れて掘削土壌を埋め戻し，ここに 45 cm 間隔でトマト苗を定植した（4 月 21 日）．6 月中旬から 1 週間おきに追肥を 3 回行った（有機液肥，N : P : K 比＝6.0 : 8.0 : 4.0，各 6.2 L/10 a）．

制限区では，上記と同様に調製した圃場を深さ約 15 cm，幅 40〜50 cm に凹型に掘削し，不織布を敷いた上に上記のボカシ肥料 200 kg/10 a を入れて掘削土壌を埋め戻した．ここに上記と同様にトマト苗を定植し，畝をくるむように不織布で覆った（4 月 21 日）．また，6 月中旬から 1 週間おきに追肥（同上の有機液肥：各 6.2 L/10 a）を 2 回行った．さらに，樹勢の状態により 3 回目の追肥は NPK 比を変更した（N : P : K 比＝8.0 : 8.0 : 8.0，13 g/株）．

上記のトマトは全てクロマルハナバチを用いて受粉を行い，いずれも種子の形成が認められた．

2.　試　料

試料とするトマトは全て午前中に採取した．

対照区ではトマト樹の第 2，第 4，第 6 果房から，また制限区ではトマト樹の生育が抑制されたため第 2，第 3 果房から，それぞれ大きさは十分だが果皮の色が緑色のもの，ほぼ全体に赤みがかってはいるがヘタ付近は緑色のもの（一般的にはこの段階で収穫される），全体に濃い赤色で果肉がやや軟化したもの，を採取した．これらの試料を，以下「緑熟期（green mature stage，以下 GM）[8]」，「収穫期（pink stage，以下 PK）」，「過熟期（red ripe stage，以下 RR）」とした．試料はいずれも 3 個ずつとした．市販のトマトも同程度の着色度のものとし，金沢市内のスーパー 3 店から「有機」「特別栽培」等の表示のないものをそれぞれ 1 個ずつ購入した．産地，品種については不明であった．これらの試料は重量を測定し，ヘタを取り除いて果肉とゼリー部に分け，果肉は縦に 8 分割して対角にある 4 片を細断し，均一に混ぜて分析に用いた．またゼリー部は全量を分析した．

3.　測定方法

⑴　糖度および還元糖含有量の測定

各試料を乳鉢ですり潰した後，蒸留水を加えて一定濃度とした．これを No. 2 の濾紙で濾過し，濾液の糖度（Brix %）を屈折糖度計（ATAGO PR-1 型）を用いて測定した．一方，濾液をさらにクロマトディスク（0.45 μm）で濾過した後，HPLC で還元糖の分析を行った．条件は以下のとおりとした．カラム：Shim-pack CLC-NH_2（6.0 mm i.d.×150 mm）（島津），カラム温度：40℃，移動相：アセトニトリル–水（80 : 20），流速：1.2 ml/min，検出器：RID-6A 示差屈折計（島津），ポンプ：LC-9A（島津），データ処理機：クロマトパック C–R5A（島津）．糖の標準としてグルコース，フルクトース（いずれも試薬特級，和光純薬）を用いて検量線を作成し，これをもとに含有量を算出した．結果は各試料 3 個の平均値±標準偏差で示した．

⑵　還元型アスコルビン酸含有量の測定

各試料を乳鉢ですり潰した後，5% メタリン酸溶液を加えて一定濃度とした．これを No. 2 の濾紙で濾過し，RQ フレックスプラス（Merck）とリフレクトクァントアスコルビン酸テスト（Merck）を用いて測定した．結果は各試料 3 個の平均値±標準偏差で示した．

⑶　硝酸含有量の測定

各試料を乳鉢ですり潰した後，蒸留水を加えて一定濃度とした．これを No. 2 の濾紙で濾過し，RQ フレックスプラス（Merck）とリフレクトクァント硝酸イオンテスト（Merck）を用いて測定した．結果は各試料 3 個の平均値±標準偏差で示した．

⑷　滴定酸含量の測定

各試料を乳鉢ですり潰した後，蒸留水を加えて一定濃度とした．これを No. 2 の濾紙で濾過し，0.1 mol/l 水酸化ナトリウム溶液で滴定して酸含量を求めた．結果はクエン酸相当量に換算し，各試料 3 個の平均値±標準偏差で示した．

⑸　ラジカル消去活性測定

各試料 5 g に 0.1 M 酢酸緩衝液（pH 5.5）45 ml を加えて 90℃以上の水浴中で 5 分間加熱した．これを冷水浴中で急冷した後，No. 2 の濾紙で濾過し，適宜希釈し試料液とした．この試料液 2 ml とエタノール 2 ml，0.5 mM DPPH/エタノール溶液 1 ml を試験管中で混合し，混合直後（0 分後）と 30 分後に 517 nm で吸光度測定を行った．0.5 mM DPPH/エタノール溶液の代わりにエタノールを加えたものを色ブランク，試料液の代わりに 0.1 M 酢酸緩衝液を加えたものをコントロールとした．測定は 3 連で行い，ラジカル消去活性は以下の式に従って算出した．

$$\text{ラジカル消去活性}(\%) = \{A-(B-C)\} \div D \times 100$$

A＝コントロール 0 分後の吸光度
B＝試料 30 分後の吸光度
C＝色ブランク 30 分後の吸光度
D＝コントロール 30 分後の吸光度

また，Trolox（和光純薬）について濃度とラジカル消去活性の関係を検量線に表し，これを用いて各試料のラジカル消去活性を Trolox 濃度に換算して表した．結果は各試料 3 個の平均値±標準偏差で示した．

実　験　結　果

1.　試　料

通常トマトは深さ 60 cm ほどの根を張るが，今回の制限区では 15 cm の深さで根の生長が阻害される．そのため制限区のトマト樹は対照区に比べて生育が悪く，対照区の第 6 果房収穫時には制限区の茎丈は 2/3 程度，茎径は 1/2 程度であった．また第 4 果房以上では果実の成長はほとんどみられなかった．一方，対照区においても第 6 果房では果実の肥大抑制がみられた．各試料の重量を表 1 に示した．対照区に比べて制限区のトマトは重量が小さい傾向にあり，第 2 果房の PK と RR においては有意な差が認められた．また市販の PK と比べると，対照区の第 6 果房および制限区の第 2，第 3 果房の PK は有意に小さかった．

2.　糖　度

糖度は熟度の進行に伴い増加する傾向にあった（表 2）．また果房段位の上昇に伴って増加する傾向もみられたが，有意差は認められなかった．

対照区と制限区の糖度を比較すると，果肉では対照区 PK, RR の第 2〜第 6 果房の平均がそれぞれ約 5.3，5.5 であるのに対し，制限区では同様に第 2 と第 3 果房の平均がそれぞれ約 6.6 と 6.9 で 1.5% 程度高かった．桃太郎トマトの糖度については，水分制限区および非制限区でそれぞれ 6.4〜6.6，5.7[9]，乾燥区（水分制限区），対照区でそれぞれ 6.1，4.9[10]，有機区，無機区でそれぞれ 4.5，5.0[11] などの報告があり，今回の結果とほぼ同様であった．一方，市販トマトの糖度は対照区と同程度であった．また果肉とゼリーの間には，いずれも有意な差は認められなかった．

3.　還元糖含有量

グルコースおよびフルクトース含有量ともに，果肉では熟度の進行に伴う変化が小さかったが，ゼリーでは増加する傾向にあった（表 3）．また果房段位の上昇に伴って増加する傾向もみられたが，有意差は認められなかった．一方，還元糖含有量は対照区より制限区の方が高い傾向にあり，さらにゼリーより果肉の方が高い傾向にあった．桃太郎トマトのグルコースとフルクトースの合計量については，水

表 1　供試トマトの熟度・果房段位と収穫時期ならびに果実重量の比較

	果房段位	熟度	収穫日	試料重量
有機・対照区	2	GM	6 月 30 日	239±12.3
		PK	6 月 23 日	199±21.7[a]
		RR	7 月 5 日	221± 7.1[B]
	4	GM	7 月 12 日	180±25.0
		PK	7 月 12，14 日	185±15.5
		RR	7 月 19 日	196±26.5
	6	GM	8 月 3 日	125±48.5
		PK	8 月 1，3 日	86±17.3[C]
		RR	8 月 1，3 日	110±30.9[d]
有機・制限区	2	PK	6 月 23，28，30 日	106±32.8[ae]
		RR	7 月 7 日	132±15.2[Bf]
	3	PK	7 月 5 日	124±16.5[G]
		RR	7 月 12 日	130±31.6
			（購入日）	
市販	—	PK	6 月 29 日	193±10.3[CeG]
		RR	7 月 21 日	191±26.0[dF]

アルファベットは，同一文字の間に有意差あり
小文字＜0.05，大文字＜0.01

表 2　栽培条件と熟度ならびに果房段位が異なるトマトの糖度の差異

			Brix（%）		
		果房段位	GM	PK	RR
果肉	有機・対照区	2	5.0±0.17	5.2±0.06	5.5±0.40
		4	4.8±0.38	5.2±0.17[k]	5.2±0.17[a]
		6	5.3±0.21	5.5±0.86	5.7±0.67
	有機・制限区	2	—	6.2±0.93	6.4±1.17
		3	—	6.9±1.61	7.3±0.93[ab]
	市販	—	—	5.0±0.10[C]	5.5±0.06[bC]
ゼリー	有機・対照区	2	4.9±0.21[d]	5.8±0.50[d]	5.4±0.44[e]
		4	4.9±0.29[f]	5.5±0.06[fGhk]	5.1±0.10[Gi]
		6	5.4±0.32	5.5±0.40	6.0±0.35
	有機・制限区	2	—	6.3±0.58	6.4±0.95
		3	—	7.5±1.07[hj]	7.7±1.16[ei]
	市販	—	—	5.3±0.40[j]	6.2±0.57

n＝3，平均値±標準偏差
アルファベットは，同一文字の間に有意差のあることを示す
（小文字，p＜0.05；大文字，p＜0.01）

表 3　栽培条件と熟度ならびに果房段位が異なるトマトのグルコース・フルクトース含有量の差異

			Glc（g/100 g）			Frc（g/100 g）		
		果房段位	GM	PK	RR	GM	PK	RR
果肉	有機・対照区	2	1.51±0.25^{Q}	1.22±0.14^{A}	1.56±0.21^{ef}	1.25±0.21	1.19±0.14	1.51±0.31^{a}
		4	1.51±0.16^{R}	1.47±0.04^{bC}	1.65±0.08^{bghT}	1.33±0.10^{L}	1.42±0.13	1.43±0.02^{Bm}
		6	1.44±0.08^{S}	1.56±0.34^{d}	1.65±0.16^{ij}	1.38±0.07	1.53±0.28	1.52±0.12^{c}
	有機・制限区	2	—	2.43±0.93	2.56±0.41^{egi}	—	2.27±0.72	1.83±0.44
		3	—	2.56±0.35^{ACdK}	3.08±0.71^{fhj}	—	1.58±0.78	2.59±0.43^{aBcd}
	市販	—	—	1.30±0.14^{KL}	1.92±0.19^{L}	—	1.21±0.08^{e}	1.49±0.10^{de}
ゼリー	有機・対照区	2	0.83±0.04^{mQ}	0.99±0.09^{mo}	1.22±0.30	0.99±0.03^{Fg}	1.19±0.07^{Fi}	1.47±0.27^{g}
		4	0.81±0.14^{NR}	1.19±0.24^{p}	1.33±0.08^{NT}	0.92±0.10^{HL}	1.33±0.24	1.30±0.05^{Hjkm}
		6	0.98±0.11^{S}	1.29±0.19	2.04±0.78	1.16±0.12	1.39±0.13	2.07±0.66
	有機・制限区	2	—	1.28±0.30	2.14±0.57	—	1.51±0.25	2.03±0.40^{j}
		3	—	1.96±0.42^{op}	2.19±0.56	—	1.76±0.27^{i}	2.06±0.41^{k}
	市販	—	—	1.23±0.29	1.80±0.43	—	1.45±0.19	1.55±0.24

n＝3，平均値±標準偏差
Glc 欄，Frc 欄のアルファベットは，それぞれ同一文字の間に有意差のあることを示す（小文字，$p<0.05$；大文字，$p<0.01$）

表 4　栽培条件と熟度ならびに果房段位が異なるトマトの還元型アスコルビン酸含有量の差異

			還元型アスコルビン酸量（mg/100 g）		
		果房段位	GM	PK	RR
果肉	有機・対照区	2	14.3±0.91^{A}	16.6±2.10	19.2±0.88^{AfG}
		4	17.6±1.32^{B}	18.3±0.70^{C}	22.8±1.08^{BCj}
		6	20.0±2.93^{d}	23.4±1.32^{hi}	25.4±1.47^{dK}
	有機・制限区	2	—	18.7±1.49^{eh}	23.4±1.50^{efl}
		3	—	21.9±3.38	26.8±2.69^{GM}
	市販	—	—	18.0±0.67^{i}	18.8±1.27^{jKlM}
ゼリー	有機・対照区	2	22.5±1.07	26.1±2.59	25.5±1.58^{Tu}
		4	25.4±0.97^{nO}	27.4±0.58^{nP}	32.2±0.85^{OPV}
		6	24.1±4.61^{q}	28.3±1.62^{r}	33.6±1.79^{qrW}
	有機・制限区	2	—	28.4±1.31^{s}	35.3±2.77^{sTY}
		3	—	31.1±2.76^{x}	33.7±3.73^{uz}
	市販	—	—	26.3±0.52^{x}	25.3±0.51^{VWYz}

n＝3，平均値±標準偏差
アルファベットは，同一文字の間に有意差のあることを示す
（小文字，$p<0.05$；大文字，$p<0.01$）

分制限区および非制限区でそれぞれ約 4.5〜5%，約 4.0%[9]，乾燥区および対照区でそれぞれ 5.7%，4.4%[10] と報告されている．本研究においても，果肉のグルコースとフルクトースの合計量は対照区 PK と RR の第 2〜第 6 果房の平均がそれぞれ 2.8%，3.1%，制限区では同様に第 2 と第 3 果房の平均がそれぞれ 4.4% と 5.0% で制限区の方が高かった．

市販トマトの還元糖含有量は，対照区および制限区試料と大差なかった．

4.　還元型アスコルビン酸含有量

還元型アスコルビン酸含有量は熟度の進行に伴い増加する傾向にあり，対照区では同一果房内で全て GM より RR の方が有意に高かった（表 4）．さらに表には示していないが，アスコルビン酸含有量は果房段位の上昇に伴って増加する傾向がみられ，対照区・果肉では GM，PK，RR ともにそれぞれ第 2 果房より第 6 果房の方が有意に高かった（有意水準 5%）．また，果肉では対照区 PK と RR の第 2〜第 6 果房のアスコルビン酸含有量の平均がそれぞれ 19.4 および 22.5 mg/100 g，制限区では同様に第 2 と第 3 果房の平均がそれぞれ 20.3 および 25.1 mg/100 g で，対照区よりも制限区の方が高い傾向にあった．

また果肉とゼリーでは，ゼリーの方がアスコルビン酸含有量が高く，同一果実内ではほとんどの試料においてゼ

表 5　栽培条件と熟度ならびに果房段位が異なるトマトの硝酸含有量の差異

			硝酸量（mg/100 g）		
		果房段位	GM	PK	RR
果肉	有機・対照区	2	1.96±0.21	2.11±0.23^{aH}	1.60±0.13^{aLm}
		4	2.50±0.23^{BC}	1.67±0.09^{BDi}	0.63±0.00^{CDN}
		6	4.10±0.17^{EF}	2.85±0.21^{EJk}	2.97±0.10^{FOP}
	有機・制限区	2	—	1.42±0.05^{gHiJ}	0.75±0.27^{gLO}
		3	—	1.96±0.35^{k}	1.98±0.17^{mNP}
	市販	—	—	1.03±0.00^{Q}	0.50±0.06^{Q}
ゼリー	有機・対照区	2	1.55±0.06^{RS}	0.35±0.06^{Rw}	0.17±0.21^{SXY}
		4	1.18±0.15^{t}	1.70±0.20^{tu}	1.13±0.20^{uz}
		6	3.93±0.23^{V}	1.70±0.78^{V}	2.99±1.43
	有機・制限区	2	—	1.34±2.33	1.66±0.08^{Xz}
		3	—	2.29±1.05^{w}	1.47±0.08^{Y}
	市販	—	—	1.49±0.16	1.29±0.08

n＝3，平均値±標準偏差
アルファベットは，同一文字の間に有意差のあることを示す
（小文字，p＜0.05；大文字，p＜0.01）

表 6　栽培条件と熟度ならびに果房段位が異なるトマトの滴定酸含量の差異

			滴定酸含量（mg/100 g）		
		果房段位	GM	PK	RR
果肉	有機・対照区	2	314±35.7^{A}	262± 42.5	207± 17.6^{Ac}
		4	298± 2.2^{B}	300± 64.6	192± 26.9^{B}
		6	230±67.0	202± 42.3	220± 31.0
	有機・制限区	2	—	324±102	170± 27.2
		3	—	374±133	177± 3.8^{c}
	市販	—	—	239± 24.7^{d}	315± 30.0^{d}
ゼリー	有機・対照区	2	1090±313^{e}	606± 12.2^{FQ}	333± 5.5^{eFnS}
		4	864± 75.0^{gH}	531±140^{gr}	403± 25.4^{HOS}
		6	602±173^{i}	210± 16.0^{iJlmQr}	400± 45.4^{Jp}
	有機・制限区	2	—	528±184^{l}	282±104
		3	—	694±203^{km}	262± 29.3^{knOp}
	市販	—	—	515± 24.2	186± 17.3

n＝3，平均値±標準偏差
アルファベットは，同一文字の間に有意差のあることを示す
（小文字，p＜0.05；大文字，p＜0.01）

リーの方が有意に高かった（表には示していない，有意水準5%）．

5.　硝酸含有量

硝酸含有量は熟度の進行に伴い減少する傾向にあった（表5）．また，果肉では対照区の方が制限区よりも硝酸含有量が高い傾向にあった．一方，表には示していないが，硝酸量は果房段位の上昇に伴って増加する傾向がみられ，対照区の果肉では全てのGM，PK，RRにおいてそれぞれ第2果房より第6果房の方が有意に高かった．また制限区の果肉においても，RRの第2と第3果房間で有意に増加した（有意水準5%）．市販試料の硝酸含有量は，果肉ではPK，RRともに，制限区・第2果房のRRを除く全てのPK, RRより有意に低かった（表には示していない，有意水準5%）．また果肉とゼリーの硝酸含有量の差については，一定の傾向はみられなかった．

トマトの硝酸含有量については，55〜142 ppm[12]などの報告があるが，本研究では平均で約20 ppm前後と低かった．

6.　滴定酸含量

酸含量は熟度の進行に伴い減少する傾向にあり，特にゼリーでその傾向が顕著であった（表6）．また馬西ら[7]は桃

表 7　栽培条件と熟度ならびに果房段位が異なるトマトのラジカル消去活性の差異

			ラジカル消去活性（Trolox mg/100 g）		
		果房段位	GM	PK	RR
果肉	有機・対照区	2	13.3±3.9^{aB}	27.4±4.2^{aCHIU}	45.5± 3.7^{BClw}
		4	17.7±7.7^{D}	29.7±3.2^{EJKV}	45.9± 3.8^{DEm}
		6	17.2±5.3^{FG}	60.8±6.8^{FOUV}	60.2± 8.3^{Gpw}
	有機・制限区	2	—	55.3±1.4^{HJQ}	53.4± 4.8^{s}
		3	—	60.5±6.2^{IKR}	72.7±14^{lmt}
	市販	—	—	24.0±4.0^{nOQR}	35.7± 5.3^{npst}

n＝3，平均値±標準偏差
アルファベットは，同一文字の間に有意差のあることを示す
（小文字，$p<0.05$；大文字，$p<0.01$）

太郎トマトについて，第 1 果房では果汁 1L あたり 10〜15 g であったが第 3 果房では 7〜10 g となり，上位果房ほど酸含量が減少したと報告している．本研究では対照区において，果肉・ゼリーともに GM と PK で果房段位の上昇に伴う酸含量の減少がみられたが，対照区 RR および制限区では増加あるいは大差なかった．

また対照区・果肉の PK と RR の酸含量は第 2〜第 6 果房の平均がそれぞれ 255 および 207 mg/100 g，制限区は同様に第 2 と第 3 果房の平均がそれぞれ 349 および 173 mg/100 g であり，PK では制限区の方が酸含量が高かったが，RR では対照区の方が高い傾向にあった．ゼリーも同様の傾向であった．

また果肉とゼリーでは，ゼリーの方が酸含量が高い傾向にあり，特に RR では対照区・第 2，第 4，第 6 果房，制限区第 3 果房で有意にゼリーの方が高かった（表には示していない，有意水準 5%）．

市販トマトの酸含量は，果肉では RR が他の全ての RR より有意に高く，ゼリーでは逆に市販・RR が制限区・第 2 果房の RR を除く全ての RR より有意に低かった（表には示していない，有意水準 5%）．

7.　ラジカル消去活性

ラジカル消去活性は熟度の進行に伴い増加する傾向にあった（表 7）．一方，果房段位の上昇に伴って増加する傾向もみられ，特に対照区 PK と RR でその傾向が顕著であった．また，対照区 PK と RR のラジカル消去活性（トロロックス相当量）は，第 2〜第 6 果房の平均がそれぞれ 39 および 51 mg/100 g，制限区では同様に第 2 と第 3 果房の平均がそれぞれ 58 および 63 mg/100 g と制限区の方が高い傾向にあった．

市販トマトのラジカル消去活性は，特に RR が他の RR よりも低かった．

考　　察

トマト栽培における水分ストレスは果実の肥大を抑制するため果実容量が小さくなることがわかっている[8)10)]．また，植物への直接的，間接的な水分ストレスは，果実の糖や有機酸などの濃度を高めることが知られているが，これは果実内水分の減少による濃縮効果と，水分ストレスによる茎葉の生育抑制に伴う植物体周辺の微気象の変化との相乗的作用といわれており，ミニトマトを土壌水分制限した結果では，試料の乾物重が対照区より約 3% 高かったと報告されている[13)]．本研究においても制限区で糖度および還元糖含有量が高く，多くの先行研究報告と同様の結果が得られた．さらに，第 1 果房より果実の受ける水分ストレス期間が長くなる第 3 果房の方が糖度の上昇が著しかったとの報告[8)]もみられ，本研究ではこれについても同様の結果を得た．

一方，糖度および還元糖含有量は熟度の進行および果房段位の上昇に伴って増加する傾向にあったが，果肉ではその差は小さく，果肉の糖度および還元糖含有量は GM の段階でも PK や RR と同程度であることが明らかになった．果房の上昇に伴う糖の増加は光合成のされやすさによると考えられるが，そのような傾向がみられない品種もあったとの報告[14)]や，トマトの糖度は同一果房でも個体差がかなり大きいとの報告[15)]もあり，比較の難しさも示唆されている．

還元型アスコルビン酸含有量の結果は還元糖含有量と同様，熟度の進行および果房段位の上昇に伴い増加した．トマトのアスコルビン酸含有量は 70〜90% 着色までは増加するが，その後は減少傾向にあるとの報告も見られる[2)]が，本研究においては過熟期まで増加傾向にあった．これは，アスコルビン酸はグルコースからガラクトノラクトンを経由し合成されるため[16)]，その含有量は糖含有量と正の相関があるという各報告[2)17)〜19)]と一致した結果であった．またアスコルビン酸も糖と同様制限区で多く，これも濃縮効果によるものであると考えられる[10)13)]．しかしその一方で，水分ストレスによる影響を受けない品種もあるとの報告も見られる[10)]．

市販試料では，PK と RR の還元型アスコルビン酸含有量はほぼ同等であった．このことから，樹上で完熟させたトマトではアスコルビン酸量は徐々に増加するが，摘果後

追熟させたものでは着色度によるアスコルビン酸量の違いはほとんどないことが示唆された．

また，アスコルビン酸含有量は土壌中の硝酸含有量が高い場合に減少するといわれる[2)8)18)]ため，制限区でアスコルビン酸含有量が高かったのは，土壌中の硝酸態窒素の吸収量が低かったことが一因と考えられる．しかし今回，トマト果実のアスコルビン酸含有量と硝酸含有量の間には相関がなかった．これについては，キュウリに対して窒素追肥量を増加した場合，葉身，茎，葉柄の全窒素濃度は高くなったが，果実では変化がなかったとの報告[20)]と同様であると考えられる．

植物は，糖を消費しながら窒素からアミノ酸やタンパク質を合成するため，糖含有量と窒素含有量の間には相関がある．早田らは，多湿区トマトの方が強乾燥区トマトより全窒素量が高かったと報告しており[8)]，また高澤らも窒素の施肥量が増しトマト果実の窒素含有量が高い場合，糖含有量が低下したとしている[11)]．今回，制限区試料において硝酸含有量が低く，糖含有量が高いのはこれが一因と考えられる．また硝酸含有量が果房段位の上昇に伴い増加する傾向にあるのは，追肥の影響であると考えられる．

トマトについては，土壌水分制限下で酸含量が高くなったのは濃縮効果のほかに果実温度の上昇が呼吸量に影響したことも一因として考えられる[13)]．また圖師ら[10)]は，有機酸の種類により土壌水分制限の影響が異なることを挙げ，これは果実内の水分含有率の変化だけではなく，有機酸の代謝機構も影響していると推察している．本研究では，果肉・ゼリーともPKでは制限区の方が対照区より酸含量が高い傾向が見られたが，RRでは逆に対照区の方が高かった．また酸含量は対照区・制限区ともに熟度の進行により減少する傾向にあったが，糖度は逆に増加したことから，糖酸比はRRで増加した．すなわち，果肉において，対照区PKの第2と第4果房および制限区PKの第2と第3果房の糖酸比は約17〜20と大差なかったものの，RRでは対照区の糖酸比が26〜27であるのに対し，制限区では約40であった．ゼリーの糖酸比は果肉より低かった．桃太郎トマトの糖酸比については，約8〜15[7)]，4.5前後[9)]，対照区，乾燥区でそれぞれ6.2，6.0[10)]などの報告があり，これと比較すると今回の結果はかなり高いといえる．しかし糖酸比が高すぎると逆に食味が劣る可能性が考えられるため，これについてはさらなる検討を要する．

吉田ら[21)]は，果肉に比べゼリー部にクエン酸が著しく多いのは，ゼリー部は胎座の肥大した部分であり，TCA回路がより活発に機能しているためであろうと推察している．このことから，今回トマトの熟度の進行に伴って酸含量が減少しているのは，徐々にTCA回路の働きが弱まるためではないかと考えられる．

本研究において，有機栽培を行ったトマトは全て受粉させたため種子の形成が認められたが，市販のトマトは一般的にホルモン処理により果実を肥大（単為結果）させるため種およびゼリーが少ない．両者を比較したところ，市販試料の滴定酸含量は有機栽培試料よりRRの果肉において有意に高く，逆にRRのゼリーでは低い傾向にあった．また，アスコルビン酸含有量は市販試料のRRにおいて果肉・ゼリーともに有機栽培のRRより低い傾向にあった．このように市販試料RRのゼリーに含有される酸およびアスコルビン酸量が低いのは，ホルモン処理によるゼリー形成の抑制に伴うものと考えられる．

一方，生育中のトマトのラジカル消去活性に関する報告は見当たらない．今回，トマトのラジカル消去活性は熟度の進行および果房段位の上昇に伴って高くなる傾向にあることが明らかになった．これはアスコルビン酸の増加によるものと思われる．また，対照区よりも制限区のトマトの方がラジカル消去活性が高い傾向にあり，これもその他の成分と同様，トマトの水分ストレスによるアスコルビン酸やポリフェノールの濃縮効果によるものと推察される．また松添ら[22)]は，土壌水分制限によりトマトの着色が促進されたとし，その一要因として水分ストレスを受けた植物体ではアブシジン酸濃度が増加し，それが果実の成熟を促進するエチレン発生を高めることを挙げている．

本研究では，樹上生育中のトマトのラジカル消去活性は段階的に上昇し，特に対照区でそれが顕著であった．しかし上位果房および制限区においてはPKとRRの差が小さく，これは日光の当たり方の影響などによる可能性が考えられるが，詳細は不明である．また，市販試料のラジカル消去活性もPK-RR間で増加した．しかし，増加率および活性は他の試料よりも低く，このことから摘果後追熟させたトマトより樹上で完熟させたものの方が，より高いラジカル消去活性が得られる可能性が示唆された．

要　　約

果房段位，熟度，および根域制限による水ストレスがトマトの品質およびラジカル消去活性に及ぼす影響について調べ，以下の知見を得た．

⑴　制限区のトマト重量は対照区に比べて小さかった．

⑵　糖度，還元糖含有量，還元型アスコルビン酸含有量は，熟度の進行および果房段位の上昇に伴って増加する傾向にあった．またいずれも対照区より制限区の方が含有量が高かった．また，還元糖含有量はゼリーより果肉の方が，還元型アスコルビン酸量は果肉よりゼリーの方が高かった．

⑶　硝酸含有量は，熟度の進行に伴って減少し，果房段位の上昇に伴って増加する傾向にあった．また果肉では制限区より対照区の方が含有量が高かった．

⑷　滴定酸含量は，熟度の進行に伴って減少する傾向にあった．また果肉よりゼリーの方が酸含量が高かった．

⑸　ラジカル消去活性は，熟度の進行および果房段位の上昇に伴って上昇する傾向にあった．また対照区より制限

区の方が活性が高かった．市販試料の活性は他の試料よりも低かった．

本研究を行うに当たり，トマト栽培にご協力いただきました石川郡野々市町の三納和之氏に深く御礼申し上げます．

文　献

1) 垣田達哉，小売業のための食品表示の常識，(商業会，東京)，pp. 67 (2002).
2) 高澤まき子，保井明子，産地の違いによる有機栽培トマトの成分，日本食生活学会誌，**13**，163-167 (2002).
3) 有田俊幸，宮尾茂雄，有機認証野菜のビタミンC及び硝酸含有量，東京都立食品技術センター研究報告，**13**，16-21 (2004).
4) 鯨　幸夫，有機栽培野菜と普通栽培野菜のビタミンCおよび糖質含量について，栄食誌，**47**，148-151 (1994).
5) 任　恵峰，高木敬彦，包　航，後藤純雄，遠藤英明，林　哲仁，有機無農薬栽培による野菜類抗変異原性の変化，食科工，**47**，460-464 (2000).
6) 任　恵峰，包　航，遠藤英明，林　哲仁，無農薬栽培野菜の抗酸化性・抗菌性およびフラボノイド含量，食科工，**48**，246-252 (2001).
7) 馬西清徳，福元康文，吉田徹志，根域制限による水ストレス条件下でのトマトの生育と果実の品質に対する堆肥施用の影響，土肥誌，**67**，257-264 (1996).
8) 早田保義，田部敏子，近藤　悟，井上興一，水分ストレスがミニトマト果実の発育と糖および窒素含量に及ぼす影響，園学雑，**67**，759-766 (1998).
9) 桜井鎮雄，小山田勉，遮根シート埋設による根域制限がトマトの生育及び果実品質，食味に及ぼす影響，茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告，**3**，23-29 (1995).
10) 圖師一文，松添直隆，土壌水分制限が大果系トマトのビタミンC，糖，有機酸，アミノ酸およびカロチン含量に与える影響，園学雑，**67**，927-933 (1998).
11) 高澤まき子，保井明子，有機栽培トマトの品質と土壌成分，日本食生活学会誌，**10**，32-38 (1999).
12) 宮沢文雄，金井美恵子，尾作加代子，野菜中の硝酸塩量について，実践女子大学家政学部紀要，**24**，63-67 (1987).
13) 松添直隆，圖師一文，中口　恵，筑紫二郎，ミニトマト果実の成分特性に対する水ストレスと果房への遮光の影響，日砂丘誌，**45**，7-12 (1998).
14) 望月龍也，石内伝治，伊藤喜三男，トマト果実における糖含量およびその栽培・環境条件に対する安定性の品種間差異，園学雑，**68**，1000-1006 (1999).
15) 鈴木芳夫編著，野菜栽培の基礎知識，(農山漁村文化協会，東京)，pp. 73-74 (2000).
16) Wheeler, G.L., Jones, M.A. and Smirnoff, N., The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. *Nature*, **393**, 365-369 (1998).
17) 小林和広，金築賀依子，今木　正，有機栽培が果菜類（トマト・ピーマン）の栄養価におよぼす影響，島根大学生物資源科学部研究報告，**1**，29-33 (1996).
18) 篠原　温，鈴木芳夫，渋谷正夫，山本宗輝，山崎肯哉，トマト・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 (1980).
19) 西村　剛，志村　清，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，野菜試験場報告，A. 10，135-145 (1982).
20) 斉藤研二，榎本　優，野菜畑における土壌管理と施肥改善に関する研究　第4報，福島県農業試験場研究報告，**27**，21-28 (1988).
21) 吉田企世子，森　敏，長谷川和久，西沢直子，熊沢喜久雄，トマト果実のゼリー質部および果肉部に含有する成分の比較，女子栄養大学紀要，**16**，29-34 (1985).
22) 松添直隆，圖師一文，城島十三夫，土壌水分制限が赤・桃および黄色型ミニトマトの着色とカロチン形成に与える影響，園学雑，**67**，600-606 (1998).

(平成 19 年 8 月 27 日受付，平成 19 年 12 月 22 日受理)