

可視・近赤外分光法によるミニトマトの糖度およびリコペン含量の非破壊計測

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	元木, 悟 染谷, 美和 樋口, 洋子 森本, 進 藤尾, 拓也 池浦, 博美
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	44巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 145-153
発行年月	2018年5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



可視・近赤外分光法によるミニトマトの糖度 およびリコペン含量の非破壊計測

元木 悟^{*1§}・染谷美和^{*1}・樋口洋子^{*1}
森本 進^{*2}・藤尾拓也^{*3}・池浦博美^{*4}

* 1 明治大学農学部

* 2 (株)クボタ

* 3 岩手県農業研究センター

* 4 島根大学生物資源科学部

Non-Destructive Quality Measurement Using Visible Near-Infrared Spectroscopy for Determining Soluble Solid and Lycopene Content in Cherry Tomatoes

MOTOKI Satoru^{*1§}, SOMEYA Miwa^{*1}, HIGUCHI Yoko^{*1},
MORIMOTO Susumu^{*2}, FUJIO Takuya^{*3} and IKEURA Hiromi^{*4}

* 1 Faculty of Agriculture, Meiji University, 1-1-1 Higashimita, Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa 214-8571

* 2 Kubota Co., Ltd., 1-1-1 Hama, Amagasaki, Hyogo 661-8567

* 3 Iwate Agricultural Research Center, 20-1 Narita, Kitakami, Iwate 024-0003

* 4 Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504

The quality of the pulp and flesh of fruits and vegetables is a key determinant of their commercial value. In the case of tomatoes, sugar content is an important index of their quality; they also contain lycopene, which has proven health benefits. To preserve these components, non-destructive methods to evaluate the quality of tomatoes are required. For large- and medium-sized tomatoes, this can be achieved using visible near-infrared spectroscopy. To date, however, no calibration curves have been developed for non-destructive measurement of sugar and lycopene content of many different cherry (mini) tomatoes. In this study, we developed a non-destructive method to conduct rapid and simultaneous measurements of sugar and lycopene content in cherry tomatoes, and subsequently generated high-precision calibration curves that were incorporated into an existing measuring instrument. The correlation coefficients of the sugar and lycopene content were 0.97 and 0.96, respectively. Measurement of sugar and lycopene content of many different cherry tomatoes, regardless of their shape, color, and size, was conducted using the calibration curves, and the results were not influenced by the temperature of the fruit. The results of this study suggest that non-destructive methods can be applied to measure sugar and lycopene content of cherry tomatoes, and these methods will contribute to the branding and sale of these tomatoes.

(Received Oct. 5, 2017; Accepted Dec. 14, 2017)

Key words: correlation coefficient, fruit character, fruit color, fruit shape, fruit weight

果実形質, 果重, 果形, 果色, 相関係数

トマト (*Solanum lycopersicum* L.) は, 南アメリカのアンデス山脈高原地帯を原産とするナス科ナス属の多年生植物であり, リコペンなどの栄養素を豊富に含む果菜類である。トマトを用途によって分類すると, 生食用お

よび加工用に分けられ, さらに生食用は, 果実の大きさ, 品種および栽培方法の違いにより, 果重が200 g前後の大玉, 50~100 g前後の中玉および30 g前後のミニトマトの3つに分類される¹⁾。そのなかでも, ミニトマトは,

* 1 〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1

§ Corresponding author, E-mail: motoki@meiji.ac.jp

* 2 〒661-8567 兵庫県尼崎市浜1-1-1

* 3 〒024-0003 岩手県北上市成田20-1

* 4 〒690-8504 島根県松江市西川津町1060

果色、果形および大きさがさまざまで、用途が豊富であり、料理の彩りとして用いられる。生産面では、大玉トマトに比べて草勢管理がしやすく、着果性に優れ、栽培しやすいという特徴^{2),3)}から、近年は生産量が増えている⁴⁾。また、品質面では、果実の糖度が高く、色合いや模様、果形、大きさなどの外観が特徴的な品種が増えている。

ところで、野菜や果物などの青果物を販売するうえで、外観のみならず果実内の品質の評価が重要であり、青果物の品質を非破壊で測定する手段として、迅速な分析が可能である非破壊近赤外分光法が注目されている⁵⁾。その方法は、流通現場では、柑橘やリンゴ、メロン、モモなどの果樹や野菜の果菜類における糖度の測定に利用されており^{6)~9)}、それらの果実の糖度を非破壊で計測してから市場に出荷することができるため、販売の際に果実の糖度を保証することができる。トマトにおいても、糖度は品質を表すうえで重要な指標であり、果実の糖度の非破壊測定について多くの報告がある^{10)~12)}。ミニトマトに関しては、伊藤・森本¹¹⁾が果重10 g未満のトマトにおける糖度の非破壊測定で、相関係数 (r) が0.97 ($n=60$) の精度が高い検量線を作成した。しかしながら、その供試材料は緑熟期から完熟期にかけてのマイクロおよびミニトマトであり、果色は緑および赤色に限られていた。現在、全国で普及しているミニトマトは、完熟果の果色が赤や桃、黄、橙、緑、茶色などさまざまである。そのため、伊藤・森本¹¹⁾が作成した検量線が、果色のさまざまなミニトマトに適用できるか不明である。

トマトの果実には、カロテノイド色素であるAll-trans リコペン (以下、リコペン) が含まれており^{13),14)}、近年、機能性成分であるリコペンが人体に及ぼす健康効果が注目されている^{15),16)}。リコペンの健康効果としては、抗酸化作用による皮膚の老化防止やLDLの酸化抑制、脳の虚血ストレスに対する抑制作用、骨密度の低下の抑制および免疫バランスの調節による気管支喘息の改善などが挙げられる¹⁷⁾。これまでに、トマト果実中のリコペン含量の分析法は、高速液体クロマトグラフィーを用いる化学分析法が報告されているが^{18)~20)}、その手法には多くの時間、労力およびコストを要する。リコペン含量も糖度と同様、迅速な分析が可能である非破壊測定に関する報告があり、これまでのトマトの可視・近赤外分光法によるリコペン含量の非破壊測定は、相関係数 (r) が0.99 ($n=96$) や0.97 ($n=82$) と精度が高い検量線であったものの^{21),22)}、果色が桃色の品種の測定値が定量値に比べて高くなる傾向があり、ミニトマトでは予測精度が低いことが判明した (未発表)。

以上から、果色が赤色のミニトマトについて、糖度を対象とした非破壊測定は可能であるものの¹¹⁾、現在全国に普及し始めている、果色および果形がさまざまなミニトマトに適用できる検量線は作成されていない。また、ミニトマトにおいて、糖度およびリコペン含量の2項目

の非破壊測定を同時に行ったという報告はない。

そこで本研究では、ミニトマトにおける果実内の品質を迅速に評価する技術を開発することを目的に、ミニトマトに特化した、糖度およびリコペン含量における非破壊測定の検量線をそれぞれ作成した。

実験方法

1. 供試材料

供試材料は、糠谷の分類¹⁾に準じ、果重が30 g前後までのミニトマトの完熟果とした。糖度およびリコペン含量の検量線の作成に用いた測定日、供試材料、果重、糖度またはリコペン含量、果色、果形を表1および表2に示した。供試材料は、それぞれの検量線を作成した2015~2016年に、日本国内で生産・流通しているミニトマトをできるだけ多く網羅するため、神奈川県川崎市および横浜市内の百貨店やスーパーマーケット、全国各地の直売所や生産者の圃場などから、果色および果形が異なるミニトマトを収集した。それら収集したミニトマトは、露地栽培のほか、ハウスにおける水耕や養液土耕栽培など異なる栽培法でも栽培されていた。そのうち、神奈川県川崎市内のスーパーマーケットから購入し、品種名が特定できなかったミニトマトについてはブランド名で示した。さらに、2015~2016年現在のミニトマトの市販品種を明治大学生田キャンパス内の露地およびハウスで栽培し、完熟果を収穫した。なお、供試材料の果形は、伊藤らの報告²³⁾を参考に、横径/縦径比で0.96以上を丸・偏円形、0.96以下を洋ナシ形として分類した。

全試料の糖およびリコペン含量の定量値についてヒストグラムを作成し、分布状態を調べ、品種・系統とともに定量値の分布に偏りのないよう検量線作成用試料および検量線評価用試料に振り分けた。定量値によって試料数が少ない場合は、検量線作成用に配分した。糖度の検量線作成用試料は98個体、検量線評価用試料は58個体、リコペン含量の検量線作成用試料は34個体、検量線評価用試料は30個体とした。

2. ミニトマトにおける糖度の検量線の作成

(1) スペクトルの測定 ミニトマトの可視・近赤外スペクトルは、フルーツセレクトター (K-SS300-LC, (株)クボタ) を用いて測定した。ミニトマトの果頂部を試料台に置き、果実1個体につき、550~1,000nmのスペクトルを2 nm間隔の条件で3反復測定した。また、外乱光を防ぐため、測定部を遮蔽物 (ダンボールで作成した箱) で覆った。果実温度の違いが測定の誤差に与える影響を考慮し、気温5℃の暗黒条件下で3時間冷蔵した試料のスペクトルを測定した後、常温 (気温25℃) に戻し、暗黒条件下で3時間静置した試料から同様にスペクトルを測定した。また、それぞれの品温におけるスペクトルを測定する直前に、ハンディ形放射温度計 (IR-TA, (株)チノー) を用いて果頂部の果面温度を3反復測定した。

(2) 定量値の測定 スペクトルを測定した後、同一

表 1 糖度の測定に用いた供試材料の特性

測定日 (年.月.日)	供試材料 ²	果重 (g)	糖度 (°Brix)	果色	果形	測定日 (年.月.日)	供試材料	果重 (g)	糖度 (°Brix)	果色	果形	測定日 (年.月.日)	供試材料	果重 (g)	糖度 (°Brix)	果色	果形
2015.6.12	SS-①-1	12.7	7.1	赤	洋ナシ ²	2015.10.12	SS-③-4	14.4	6.1	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-13	17.1	8.9	赤	丸・偏円
2015.6.12	SS-①-2	13.0	7.1	赤	洋ナシ	2015.10.12	SS-③-5	12.7	6.2	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-14	29.0	6.2	赤	丸・偏円
2015.6.12	SS-①-3	12.5	6.7	赤	洋ナシ	2015.10.17	PS-④-1	9.9	7.9	薄赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-15	22.6	6.6	赤	丸・偏円
2015.6.12	SS-②-1	9.4	8.8	赤	丸・偏円	2015.10.17	PS-④-2	10.4	7.5	薄赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-16	22.8	6.6	赤	丸・偏円
2015.6.12	SS-②-2	8.3	8.4	赤	丸・偏円	2015.10.17	PS-④-3	11.1	7.0	薄赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-17	32.1	6.9	赤	丸・偏円
2015.6.12	SS-②-3	9.2	8.6	赤	丸・偏円	2015.10.17	PS-⑤-1	8.1	8.7	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-18	19.0	8.4	赤	丸・偏円
2015.6.12	PS-①-1	17.0	6.0	赤	洋ナシ	2015.10.17	PS-⑤-2	7.1	8.8	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-19	14.3	10.6	赤	丸・偏円
2015.6.12	PS-①-2	21.9	5.8	赤	洋ナシ	2015.10.23	PS-⑤-3	6.7	8.6	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-20	15.4	10.7	赤	丸・偏円
2015.6.12	PS-①-3	22.4	6.2	赤	洋ナシ	2015.11.3	TW-①-1	8.5	8.6	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-21	15.3	9.3	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-①-4	26.6	5.2	赤	洋ナシ	2015.11.3	TW-①-2	8.2	9.8	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-22	15.9	10.5	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-①-5	15.2	4.7	赤	洋ナシ	2015.11.3	TW-①-3	8.1	9.4	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-23	13.5	11.6	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-①-6	22.3	4.8	赤	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-1	11.0	9.6	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-24	12.6	11.1	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-③-1	20.7	7.3	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-2	11.1	9.2	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-25	19.8	9.7	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-③-2	26.3	8.1	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-3	10.6	8.8	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-26	18.0	11.2	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-③-3	21.8	7.4	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-4	11.3	9.8	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-27	19.4	9.2	赤	丸・偏円
2015.6.26	a-①-1	17.3	5.7	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-5	9.0	10.3	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-28	19.9	9.1	赤	丸・偏円
2015.6.26	a-①-2	17.9	6.0	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-6	10.3	9.2	黄	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-29	22.2	9.9	赤	丸・偏円
2015.6.26	a-①-3	17.9	5.7	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-7	8.3	8.3	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-1	7.1	10.4	赤	丸・偏円
2015.6.26	SJ-①-1	10.7	8.8	赤	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-8	8.9	10.3	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-2	7.2	11.7	赤	丸・偏円
2015.6.26	SJ-①-2	10.7	7.2	赤	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-9	10.9	8.8	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-3	7.0	10.5	赤	丸・偏円
2015.6.26	SJ-①-3	11.9	7.4	赤	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-10	7.0	9.3	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-4	6.8	9.8	赤	丸・偏円
2015.6.26	b-①-1	28.5	5.5	桃	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-11	19.6	7.1	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-5	6.4	10.8	赤	丸・偏円
2015.6.26	b-①-2	30.8	5.6	桃	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-12	19.2	7.2	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-6	10.2	9.9	赤	丸・偏円
2015.6.26	b-①-3	30.0	5.5	桃	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-13	5.3	10.6	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-7	8.5	10.2	赤	丸・偏円
2015.6.26	c-①-1	19.2	8.4	橙	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-14	8.6	8.9	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-8	9.2	9.7	赤	丸・偏円
2015.6.26	c-①-2	16.8	7.8	橙	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-15	10.9	9.1	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-9	4.6	9.1	赤	丸・偏円
2015.6.26	c-①-3	13.1	7.3	橙	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-16	17.3	7.2	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-10	3.8	10.3	赤	丸・偏円
2015.7.10	PS-①-4	28.7	5.8	赤	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-17	10.2	10.9	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-11	4.2	10.5	赤	丸・偏円
2015.7.10	PS-①-5	29.3	5.4	赤	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-18	12.3	7.8	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-12	5.8	11.6	赤	丸・偏円
2015.7.10	PS-①-6	23.9	6.1	赤	洋ナシ	2016.2.7	SS-④-19	11.8	8.8	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-13	5.9	10.7	赤	丸・偏円
2015.7.10	d-①-1	19.0	10.1	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-20	12.5	9.9	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-14	5.2	11.1	赤	丸・偏円
2015.7.10	d-①-2	15.6	11.0	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-21	9.8	11.0	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-15	4.4	10.6	赤	丸・偏円
2015.7.10	d-①-3	16.3	7.9	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-22	9.5	9.2	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-16	4.7	10.2	赤	丸・偏円
2015.7.10	e-①-1	15.4	6.2	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-23	10.6	10.8	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-17	7.0	11.8	赤	丸・偏円
2015.7.10	e-①-2	17.9	4.9	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-24	11.3	9.9	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-18	6.5	10.2	赤	丸・偏円
2015.7.10	e-①-3	15.9	5.2	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-25	9.0	10.6	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-19	7.5	10.5	赤	丸・偏円
2015.7.10	f-①-1	23.7	6.5	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-26	8.6	10.3	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-20	7.7	9.5	赤	丸・偏円
2015.7.10	f-①-2	27.0	7.5	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-27	10.4	9.5	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-21	7.2	10.6	赤	丸・偏円
2015.7.10	f-①-3	21.4	8.2	赤	丸・偏円	2016.2.7	SS-④-28	10.0	9.4	黄	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-22	7.9	11.1	赤	丸・偏円
2015.7.10	g-①-1	15.5	4.8	桃	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-1	12.0	11.0	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-23	10.0	10.9	赤	丸・偏円
2015.7.10	g-①-2	16.9	5.0	桃	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-2	11.4	9.3	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-24	7.7	10.2	赤	丸・偏円
2015.7.10	g-①-3	14.7	5.4	桃	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-3	14.7	11.4	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-25	7.9	9.3	赤	丸・偏円
2015.9.1	PS-②-1	12.5	10.5	赤	洋ナシ	2016.2.14	TS-①-4	13.0	10.9	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-26	7.6	10.4	赤	丸・偏円
2015.9.1	PS-②-2	10.2	10.3	赤	洋ナシ	2016.2.14	TS-①-5	14.7	9.8	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-27	5.4	9.1	赤	丸・偏円
2015.9.1	PS-②-3	15.4	10.5	赤	洋ナシ	2016.2.14	TS-①-6	16.4	10.6	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-28	5.3	11.6	赤	丸・偏円
2015.9.11	PS-③-1	12.5	5.0	赤茶・緑 ²	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-7	13.3	11.1	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-29	5.7	11.3	赤	丸・偏円
2015.9.11	PS-③-2	12.1	6.8	赤茶・緑	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-8	11.7	11.3	赤	丸・偏円	2016.2.21	MK-①-30	4.2	9.7	赤	丸・偏円
2015.9.11	PS-③-3	15.4	5.1	赤茶・緑	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-9	18.9	9.5	赤	丸・偏円	2016.2.21	h-①-1	13.2	8.5	赤	丸・偏円
2015.9.18	SS-④-1	8.4	5.5	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-10	26.3	5.9	赤	丸・偏円	2016.2.21	h-①-2	11.0	9.5	赤	丸・偏円
2015.9.18	SS-④-2	9.2	6.0	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-11	21.6	8.4	赤	丸・偏円	2016.2.21	h-①-3	10.9	10.3	赤	丸・偏円
2015.9.18	SS-④-3	8.6	6.7	赤	丸・偏円	2016.2.14	TS-①-12	18.8	6.5	赤	丸・偏円						

²表記は「企業略称（ブランド）－品種・系統－供試番号」の順とし、アルファベットの大文字は企業略称、小文字はブランド（商品名）を示し、異なる丸数字は異品種・系統を示す

²果形は伊藤らの報告²³⁾を参考に分類した

²ストライプ模様

表2 リコペン含量の測定に用いた供試材料の特性

測定日 (年.月.日)	供試材料 ^z	果重 (g)	リコペン含量 (mg・100g ⁻¹ FW)	果色	果形	測定日 (年.月.日)	供試材料	果重 (g)	リコペン含量 (mg・100g ⁻¹ FW)	果色	果形
2015.6.12	SS-①-1	12.2	5.8	赤	洋ナシ ^y	2015.11.24	SS-③-4	13.5	4.3	赤	丸・偏円
2015.6.12	SS-①-2	13.2	6.3	赤	洋ナシ	2015.11.24	PS-③-2	9.0	0.4	黄	丸・偏円
2015.6.12	SS-①-3	12.7	6.2	赤	洋ナシ	2015.11.24	PS-③-3	6.5	1.8	黄	丸・偏円
2015.6.12	SS-②-1	8.9	10.2	赤	丸・偏円	2015.11.27	PS-②-2	15.8	3.8	赤茶・緑	丸・偏円
2015.6.12	SS-②-2	10.4	10.3	赤	丸・偏円	2015.11.27	PS-②-3	16.2	2.5	赤茶・緑	丸・偏円
2015.6.12	PS-①-1	25.2	2.0	赤	洋ナシ	2015.11.27	TW-①-2	8.8	5.8	赤	丸・偏円
2015.6.12	PS-①-2	23.8	1.9	赤	洋ナシ	2015.11.27	TW-①-3	7.4	8.1	赤	丸・偏円
2015.6.12	PS-①-3	21.8	2.9	赤	洋ナシ	2016.3.16	h-①-1	11.5	2.8	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-①-4	18.6	3.9	赤	丸・偏円	2016.3.16	h-①-2	13.5	1.4	赤	丸・偏円
2015.6.26	SS-③-1	25.2	3.1	赤	丸・偏円	2016.4.6	TS-①-1	18.5	2.0	赤	丸・偏円
2015.6.26	a-①-1	19.2	3.1	赤	丸・偏円	2016.4.6	TS-①-2	19.2	1.9	赤	丸・偏円
2015.6.26	SJ-①-1	8.8	8.8	赤	洋ナシ	2016.4.6	TS-①-3	16.0	2.7	赤	丸・偏円
2015.6.26	b-①-1	24.5	2.5	桃	洋ナシ	2016.4.6	TS-①-4	16.2	2.2	赤	丸・偏円
2015.6.26	c-①-1	12.5	0.7	橙	丸・偏円	2016.4.6	TS-①-5	15.0	2.9	赤	丸・偏円
2015.7.10	PS-①-4	27.4	2.3	赤	洋ナシ	2016.4.6	TS-①-6	18.5	2.6	赤	丸・偏円
2015.7.10	d-①-1	18.1	4.0	赤	丸・偏円	2016.4.11	SS-⑤-1	13.7	2.4	赤	洋ナシ
2015.7.10	e-①-1	16.0	3.4	赤	丸・偏円	2016.4.11	SS-⑤-2	9.0	4.9	赤	洋ナシ
2015.7.10	f-①-1	19.6	2.8	赤	丸・偏円	2016.4.11	SS-⑤-3	11.9	4.4	赤	洋ナシ
2015.7.10	g-①-1	16.0	2.3	桃	丸・偏円	2016.4.11	SS-⑤-4	12.6	3.5	赤	洋ナシ
2015.10.12	PS-②-1	12.7	8.9	赤茶・緑 ^x	丸・偏円	2016.4.11	SS-⑤-5	16.5	1.6	赤	洋ナシ
2015.10.17	SS-④-1	10.3	7.3	赤	丸・偏円	2016.7.17	i-①-1	11.6	6.9	赤	丸・偏円
2015.10.17	SS-③-2	13.7	3.4	赤	丸・偏円	2016.7.17	i-①-2	12.0	6.6	赤	丸・偏円
2015.10.23	PS-③-1	7.7	1.1	黄	丸・偏円	2016.7.17	i-①-3	12.1	7.1	赤	丸・偏円
2015.11.7	SS-④-2	9.2	4.5	赤	丸・偏円	2016.7.22	SS-②-3	10.6	8.8	赤	丸・偏円
2015.11.7	SS-④-3	8.9	4.9	赤	丸・偏円	2016.7.22	SS-②-4	9.7	8.3	赤	丸・偏円
2015.11.13	PS-④-1	11.8	3.4	薄赤	丸・偏円	2016.7.22	SS-②-5	9.1	10.7	赤	丸・偏円
2015.11.28	PS-④-2	11.8	2.1	薄赤	丸・偏円	2016.8.5	MS-①-1	9.6	9.5	赤	丸・偏円
2015.11.28	PS-④-3	9.7	3.5	薄赤	丸・偏円	2016.8.5	MS-①-2	7.9	10.1	赤	丸・偏円
2015.11.13	TW-①-1	9.8	4.5	赤	丸・偏円	2016.8.11	MS-①-3	7.1	12.2	赤	丸・偏円
2015.11.15	PS-⑤-1	9.7	4.3	赤	洋ナシ	2016.8.11	MS-①-4	8.9	9.5	赤	丸・偏円
2015.11.15	PS-⑤-2	7.9	8.4	赤	洋ナシ	2016.8.11	MS-①-5	6.9	12.5	赤	丸・偏円
2015.11.15	PS-⑤-3	7.8	6.9	赤	洋ナシ	2016.9.7	SS-⑥-1	10.2	10.0	茶	丸・偏円
2015.11.24	SS-③-3	16.8	2.9	赤	丸・偏円	2016.9.7	SS-⑥-2	9.6	9.0	茶	丸・偏円

^z表記は「企業略称（ブランド）-品種・系統-供試番号」の順とし、アルファベットの大文字は企業略称、小文字はブランド（商品名）を示し、異なる丸数字は異品種・系統を示す

^y果形は伊藤らの報告²³⁾を参考に分類した

^xストライプ模様

個体を用いて糖度の定量値を求めた。ミニトマトの果実は、包丁で小片に切り分けたものを乳鉢内で細かく破碎した。これをろ紙（No.1, 東洋濾紙^株）でろ過し、デジタル糖度計（PR-201 α , ^株アタゴ）を用いて3反復測定した。

（3）検量線の作成 ミニトマトの果実の吸光度を測定した。得られた吸光度スペクトルは二次微分処理を行った。微分処理には、平滑化と微分が同時に行えるSavitzky-Golay法²⁴⁾を用いた。平滑化点数は25点とした。検量線作成用試料を用いて、二次微分値および定量値との相関のある波長を重回帰分析によって求め、検量線を作成した。続いて、検量線評価用試料を用いて、この検量線の定量精度を検証した。

3. ミニトマトにおけるリコペン含量の検量線の作成

（1）スペクトルの測定 ミニトマトの可視・近赤外スペクトルおよび果頂部の果面温度の測定は、糖度の検量線の作成と同様に行った。

（2）定量値の測定 スペクトルを測定した後、ItoとHorieの方法²⁰⁾に準じて、リコペン含量の定量値を求めた。ミニトマトの果実は、包丁で切り分けたものを乳鉢内で液体窒素を投入しながら破碎した後、3gを50mlの遠心管に測りとった。35mlの抽出溶媒（ジエチルエーテル/メタノール（7：3, v/v））を加えてホモジナイザー（エクセルオートホモジナイザー, ED-7, ^株日本精機製作所）を用いて攪拌した。静置後、抽出液を100mlメスフラスコに移した。残渣に15mlの抽出溶媒を加え

て、同様の操作を抽出液が無色になるまで繰り返した。得られた抽出液は、抽出溶媒を用いて100mlに定容した。定容した抽出液は0.2 μ mのフィルター(ADVANTEC, 25 HP020AN, 東洋濾紙(株))でろ過し、抽出溶媒を用いて2倍に希釈後、505nmの吸光度を測定した。505nmにおける吸収係数(3150/1%, 1cm)を用いて、リコペン含量の定量値を算出した。

(3) 検量線の作成 ミニトマトのリコペン含量の検量線の作成は、糖度の検量線の作成と同様に行った。

実験結果および考察

1. ミニトマトにおける糖度の検量線の作成

糖度の定量値を目的変数、吸光度の二次微分スペクトルを説明変数として重回帰分析を行った結果、842, 882, 902および952nmの波長の吸光度を説明変数として選択した。検量線の882および902nmは糖の吸収を捉え、842nmは光路長の補正のための吸収波長²⁵⁾に当たると示唆される。952nmは水の吸収波長であるが、本式では952nmの吸光度と常温および冷蔵の相関が高かったことから試料の温度補正のために選択されたと示唆される。

検量線作成用試料における非破壊計測値と定量値との検量線の相関係数(r)は0.97であり、1%水準で有意であった(n=534)(図1)。また、検量線の標準誤差(Standard error of calibration: SEC)は0.44であった。重回帰式を以下に示した。A_xは、xnmにおける吸光度の二次微分値を示す。

$$\begin{aligned} \text{糖度の非破壊計測値 (°Brix)} = & 8.7 - 7.36 \times 10^4 \times A_{842} \\ & + 2.98 \times 10^5 \times A_{882} - 1.53 \times 10^5 \times A_{902} + 2.42 \times 10^4 \\ & \times A_{952} \end{aligned}$$

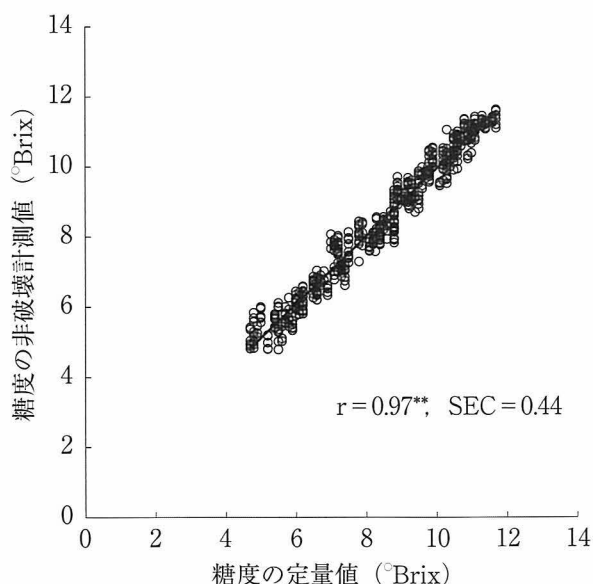


図1 検量線作成用試料における糖度の非破壊計測値および定量値のプロット

rはPearsonの相関係数であり、**は1%水準で有意であることを示す(n=534)
SECは標準誤差を示す

この重回帰式を、検量線評価用試料を用いて定量値の精度を検証すると、相関係数(r)は0.97、予測値の標準誤差(Standard error of prediction; SEP)は0.48であった(n=285)(図2)。また、この重回帰式から得られた予測値と、化学分析で得られた定量値の差の平均値(Bias)は0.03であった。

伊藤・森本¹¹⁾は、果色の緑および赤色を対象にミニトマトの糖度の検量線を作成し、精度良く定量できることを示した。その検量線で採用された波長は、856, 876, 900および952nmであった。本研究では、果色が一般的な赤色だけでなく、桃色や黄色、橙色のミニトマトを収集し、さらに赤茶色に緑色のストライプ模様が入った品種など、さまざまな果色のミニトマトを供試した。また、ミニトマトの一般的な果形として知られている丸・偏円形のほかに、洋ナシ形のミニトマトも供試した。さらに、年間を通じて、露地やハウスで栽培し、成長に合わせて収穫したミニトマトのほか、水耕や養液土耕栽培など異なる栽培法で栽培され、収穫されたミニトマトを供試することにより、多種多様な果色や果形に加え、栽培法の異なる試料にも適用できる汎用性のある検量線を作成した。そのため本検量線では、842nmの波長が適用範囲の拡大により、光路長の補正と推定される856nmよりも適した波長として採用されたものと考えられる。その結果、果色および果形が異なっていたにもかかわらず、相関係数(r)が0.97の精度が高い検量線を作成できた。また、同一のミニトマトの果実について、吸光度スペクトルは果実温度の影響を受けて波長域によってはシフトがみられるものの(図3)、作成した検量線では常温でも冷蔵後でも同じ定量値が得られた(図4)。そのため、試料の

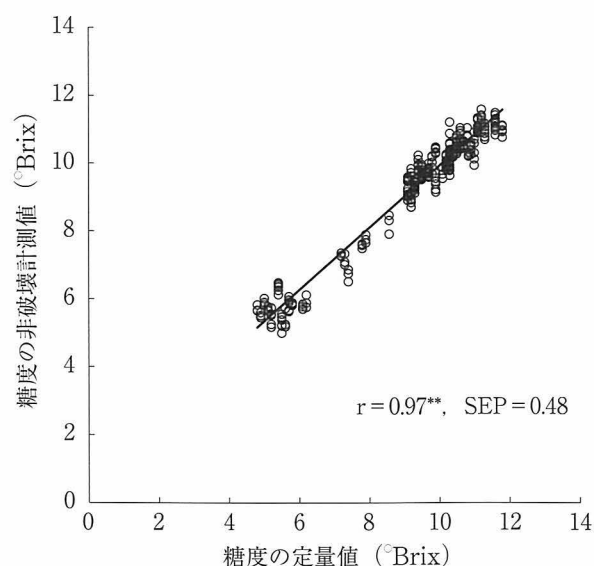


図2 検量線評価用試料における糖度の非破壊計測値および定量値のプロット

rはPearsonの相関係数であり、**は1%水準で有意であることを示す(n=285)
SEPは標準誤差を示す

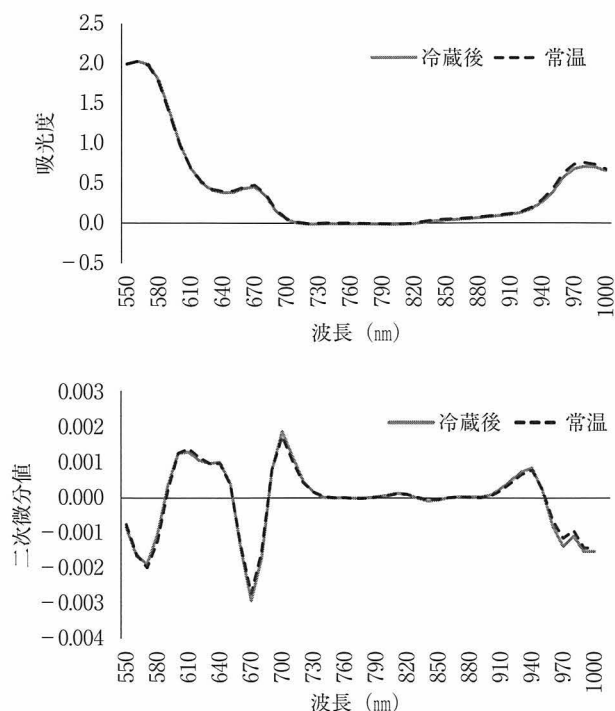


図3 常温および冷蔵後における吸光度および二次微分値 (n=133)

温度の変化についても、ロバスト性がある検量線であると考えられる。

2. ミニトマトにおけるリコペン含量の検量線の作成

リコペン含量の定量値を目的変数、吸光度の二次微分スペクトルを説明変数として重回帰分析を行った結果、624, 652, 688, 798, 822, 878および950nmの波長の吸光度を説明変数として選択した。検量線の624, 652および688nmはリコペンの色素(赤色)の吸収を捉え、822nmの吸光度は果重との相関が高いことから、サンプルの大きさを反映した光路長の補正、950nmは糖度の検量線と同様、試料の温度補正のために選択されたと示唆される。つまり、可視域でリコペンの定量を行い、近赤域で検量線のロバスト性を実現していると推定される。

検量線作成用試料における非破壊計測値と定量値との検量線の相関係数(r)は0.96であり、1%水準で有意であった(n=212)(図5)。また、検量線の標準誤差(SEC)は0.91であった。重回帰式を以下に示した。 A_x は、xnmにおける吸光度の二次微分値を示す。

$$\begin{aligned} \text{リコペン含量の非破壊計測値 (mg} \cdot 100\text{g}^{-1}\text{FW)} = & 4.7 + 3.47 \times 10^3 \times A_{624} + 5.59 \times 10^3 \times A_{652} - 2.96 \\ & \times 10^3 \times A_{688} + 1.99 \times 10^5 \times A_{798} - 3.85 \times 10^5 \times A_{822} \\ & + 7.04 \times 10^4 \times A_{878} + 6.51 \times 10^4 \times A_{950} \end{aligned}$$

この重回帰式を、検量線評価用試料を用いて定量値の精度を検証すると、相関係数(r)は0.94、予測値の標準誤差(SEP)は0.92であった(n=98)(図6)。また、この重回帰式から得られた予測値と、化学分析で得られた定量値の差の平均値(Bias)は0.02であった。

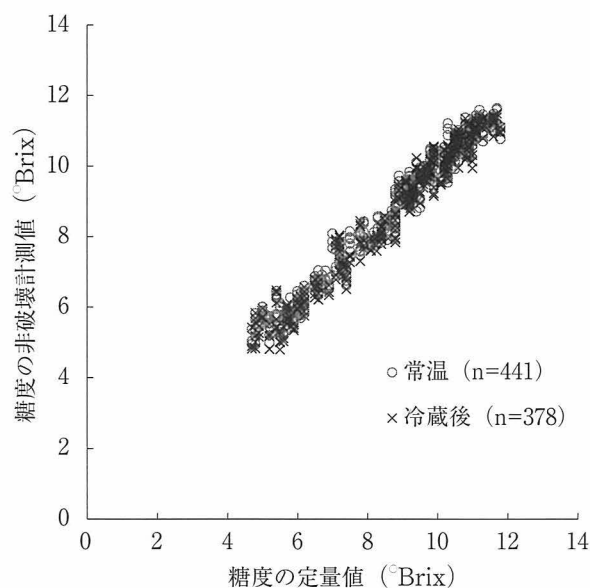


図4 常温および冷蔵後における糖度の非破壊計測値および定量値のプロット

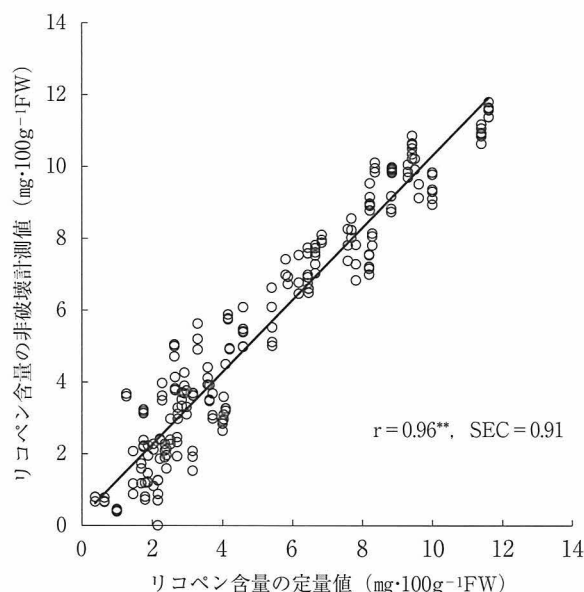


図5 検量線作成用試料におけるリコペン含量の非破壊計測値および定量値のプロット

rはPearsonの相関係数であり、**は1%水準で有意であることを示す(n=212)

SECは標準誤差を示す

伊藤・森本²²⁾が大玉および中玉トマトを用いて作成したリコペン用の検量線は、ミニトマトのリコペン含量の予測精度が低かった(未発表)。これは、大玉および中玉トマトとミニトマトでは果実の大きさが大きく異なることから、光路長に差異があることや、果実のゼリー部や果皮の内部構造が異なることで、成分含量と吸光度との関係に違いがあったためと推察される。

Alainら²¹⁾は、トマトの可視・近赤外分光法によるリコペン含量の非破壊計測において、相関係数(r)が0.99

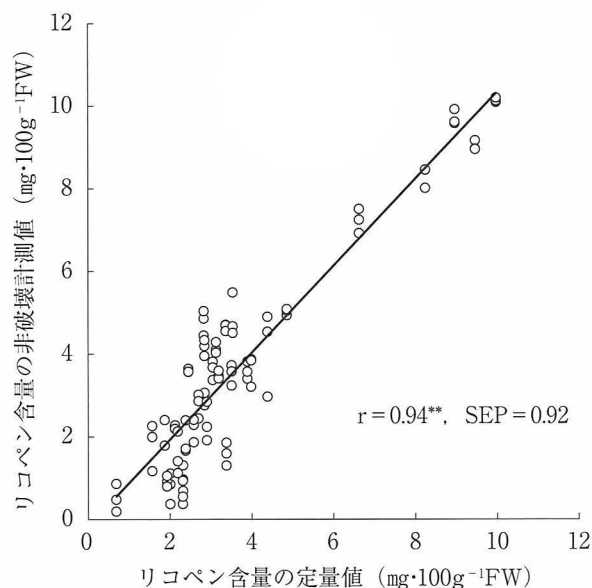


図6 検量線評価用試料におけるリコペン含量の非破壊計測値および定量値のプロット

r はPearsonの相関係数であり，**は1%水準で有意であることを示す ($n=98$)

SEPは標準誤差を示す

($n=96$) の精度が高い検量線を作成したものの，その検量線を用いた非破壊測定では，果色が桃色の品種の測定値が定量値に比べて高くなる傾向があったため，さまざまな果色のトマトに適用できるか不明であった。

本研究で作成した検量線は，果色が一般的な赤色だけでなく，桃色や黄色，橙色のミニトマトを収集し，さらに赤茶色に緑色のストライプ模様が入った品種など，さまざまな果色のミニトマトを供試したところ，相関係数 (r) が0.96 ($n=212$) の精度が高い検量線を作成できた。本検量線では，果色が桃色のミニトマトもほかの赤色のミニトマトと同様に外れ値にならなかったことから，果色が桃色のミニトマトにも適用できると考えられる。さらに，果形が一般的な丸・偏円形だけでなく，洋ナシ形でも非破壊測定が可能であった。

また，糖度と同様に，作成した検量線では常温でも冷蔵後でも類似した定量値が得られた (図7)。そのため，試料の温度の変化についても，ロバスト性がある検量線であると考えられる。

ところで，本研究では完熟果を対象とし，緑熟果，催色果および桃熟果を供試しなかった。Raffoら²⁶⁾は，緑熟期に収穫し，追熟させたミニトマトの糖度およびカロテノイド含量は，完熟期に収穫した果実に比べて低く，成熟段階ごとに糖度およびカロテノイド含量は大きく異なると報告している。しかし，追熟する過程で糖度およびカロテノイド含量がどのように変化するかは不明であり，それを調査するには同一個体を使って成分の変化を経時的に測定する必要があるため，従来の破壊測定では不可能であった。今後は，本研究で作成した検量線をさ

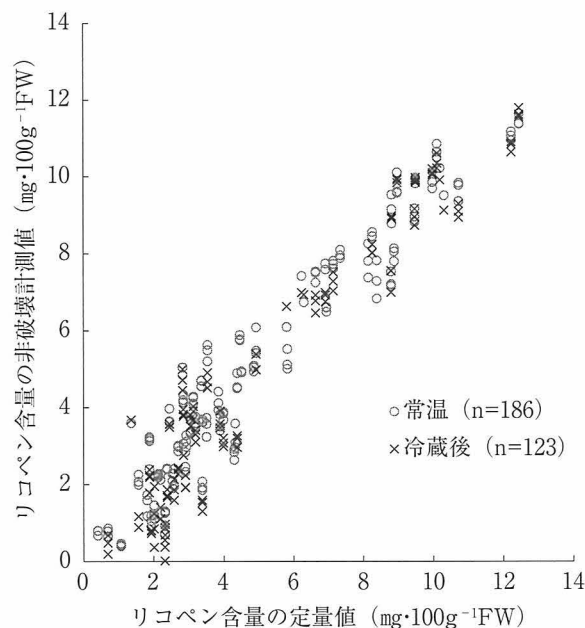


図7 常温および冷蔵後におけるリコペン含量の非破壊計測値および定量値のプロット

らに改良し，熟度別にそれぞれの糖度およびリコペン含量を，経時的に非破壊測定する必要がある。

以上より，本研究では，糖度およびリコペンの2項目を対象としたミニトマトに適用可能な検量線をそれぞれ新たに作成し，既存の測定機に組み込んだ。その結果，果色および果形がさまざまなミニトマトに特化した，糖度およびリコペン含量の非破壊計測検量線について，それぞれの相関係数 (r) が0.97 ($n=534$) および0.96 ($n=212$) の精度が高い検量線を作成できた。この検量線は，果色や果実温度に影響を受けにくいロバスト性を有し，現在販売されている既存の測定機に組み込むことにより，多様なミニトマト品種の糖度およびリコペン含量を短時間で精度良く，同時に非破壊測定することが可能になった。流通現場において，非破壊測定したミニトマトは，品質保証された商品として店頭に並べることができ，他商品に比べて高付加価値化が期待できることから，ミニトマトのブランド化や販売促進などに貢献できるものと考えられる。

要 約

野菜や果物などの青果物を販売するうえで，外観のみならず果実内の品質の評価が重要であり，青果物の品質における非破壊測定の手段として，近赤外分光法が注目されている。トマトにおいて，糖度は品質を表すうえで重要な指標であり，機能性成分として含まれるリコペンは人体に及ぼす健康効果が注目されている。大玉および中玉トマトについては，可視・近赤外分光法による糖度およびリコペン含量の非破壊測定が可能である。しかし，

果色、果形および大きさがさまざまなミニトマトに適用できる糖度およびリコペン含量の非破壊測定の見量線は作成されていない。そこで本研究では、糖度およびリコペン含量において、ミニトマトに特化した非破壊測定の見量線をそれぞれ作成し、既存の測定機に組み込み、これらを短時間で同時に非破壊測定できる手法を開発した。その結果、糖度およびリコペン含量の相関係数が、それぞれ $r=0.97$ および 0.96 である精度が高い見量線を作成できた。また、これらの見量線を用いることにより、果色、果形および大きさがさまざまなミニトマトを、果実の温度の影響を受けずに測定できた。本研究の結果、ミニトマトの糖度およびリコペン含量の非破壊測定が可能となったことから、ミニトマトのブランド化や販売促進などへの貢献が期待できる。

謝 辞 本研究の一部は、食料生産地域再生のための先端技術展開事業「ブランド化を促進する果実等（野菜）の生産・加工技術の実証研究」により実施した。ここに記して謝意を表する。

文 献

- 1) 糠谷 明：第7章 作型と栽培体系①施設利用型野菜、篠原 温編著、野菜園芸学の基礎（農文協、東京）p.76（2014）
- 2) 元木 悟：トマト大特集 ミニトマトの省力収穫に関わる研究の現状と今後の方向性、農耕と園芸、**68**, 26～31（2013）
- 3) 元木 悟・伊藤喜三男・矢ノ口幸夫・岡本 潔・中村武郎：ミニトマトの摘心処理が花房の形態、開花・成熟特性と果実特性及び収量性に及ぼす影響、長野中信農試報、**13**, 63～74（1996）
- 4) ㈱農畜産業振興機構 2011：指定野菜価格安定制度下における野菜の生産・出荷状況について～第4報 トマト編～（<http://vegetable.alic.go.jp/yasaijoho/senmon/1103/chosa01.html>）
- 5) 下村義昭：レーザによる青果物総合品質の非破壊検査技術、長崎工技セ研報、**32**, 1～4（2004）
- 6) 伊予知枝：近赤外分光法による食品分析、ぶんせき、**8**, 450～454（2002）
- 7) 河野澄夫：食品の非破壊計測のための近赤外分光法、応用物理、**70**, 660～665（2001）
- 8) 前田 弘：近赤外分光法による青果物の内部品質測定技術の開発、農林水産技術研究ジャーナル、**26**, 17～20（2003）
- 9) 太田 健：農作物生産と計測に貢献する光技術 光を用いた青果物内部品質の計測—装置と計測実例—、月刊OPTRONICS、**320**, 136～140（2008）
- 10) ITO, H. : New ways to evaluate the quality of vegetables using instruments, *Japan Agric. Res. Quarterly*, **48**, 111～120（2014）
- 11) 伊藤秀和・森本 進：拡散反射・透過モードの近赤外分光法を用いる10g未満のトマトの糖度の非破壊計測、照明学誌、**98**, 581～584（2014）
- 12) SLAUGHTER, D. C., BARRETT, D. and BOERSIG, M. : Nondestructive determination of soluble solids in tomatoes using near infrared spectroscopy, *J. Food Sci.*, **61**, 695～697（1996）
- 13) SHI, J., MAGUER, M. L., KAKUDA, Y., LIPTAY A. and NIEKAMP, F. : Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration, *Food Res. Int.*, **32**, 15～21（1999）
- 14) ZAKARIA, M. and SIMPSON, K. : Use of reversed-phase high-performance liquid chromatographic analysis for the determination of provitamin A carotenoids in tomatoes, *J. Chromatogr.*, **176**, 109～117（1979）
- 15) 片野 力：キッコーマンの加工技術 デルモンテのトマト製品 その1. キッコーマン技術情報、**120**, 4～8（1998）
- 16) 三浦 晃・牧浦啓輔：アイケアの未来 リコペンの特性とアイケアにおける可能性, *Food Style21*, **16**, 54～56（2012）
- 17) 稲熊隆博：トマトの健康効果、日本食育学誌、**6**, 3～8（2012）
- 18) CARAMORI, C. L., CRISTINA, C. E. L., MARIA, S. M. T., ANTONIO, C. M., NUNES, S. H. R. and BORGES, I. V. L. : Antioxidant activity and validation of quantification method for lycopene extracted from tomato, *J. AOAC Int.*, **98**, 1340～1345（2015）
- 19) DIAS, M. G., LUISA, O., CAMOES, M. F. G. F. C., NUNES, B., VERSLOOT, P. and HULSHOF, J. M. P. : Critical assessment of three high performance liquid chromatography analytical methods for food carotenoid quantification, *J. Chromatogr. A.*, **1217**, 3494～3502（2010）
- 20) ITO, H. and HORIE, H. : Proper Solvent Selection for Lycopene Extraction in Tomatoes and Application to a Rapid Determination, *Bull. Natl. Inst. Veg. and Tea Sci.*, **8**, 165～173（2009）
- 21) ALAIN, C., MARTINE, D. and MARCIA, V. : Nondestructive measurement of fresh tomato lycopene content and other physicochemical characteristics using visible-NIR spectroscopy, *J. Agric. Food Chem.*, **56**, 9813～9818（2008）
- 22) 伊藤秀和・森本 進：トマトに含まれるリコペンの可視・近赤外分光法を用いる非破壊計測の可能性について、照明学誌、**93**, 510～513（2009）
- 23) 伊藤喜三男・上村昭二・深谷 潔・宮本吉久：加工用トマトのへた離れ性の品種間差異とへた離れ性に関する要因、野菜試報、**B1**, 13～28（1977）

-
- 24) SAVITZKY, A. and GOLAY, M. J. E. : Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures, *Anal. Chem.*, **36**, 1627~1639 (1964)
- 25) MIYAMOTO, K. and KITANO, Y. : Non-destructive determination of sugar content in satsuma mandarin fruit by near infrared transmittance spectroscopy, *J. Near Infrared Spectrosc.*, **3**, 227~237 (1995)
- 26) RAFFO, A., SALUCCI, M., GENNARO, L., BUGIANESI, R., QUAGLIA, G., LEONARDI, C., FOGLIANO, V., AMBROSINO, P. and GIUFFRIDA, F. : Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F 1) harvested at different ripening stages. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 6550~6556 (2002)
(平成29年10月5日受付, 平成29年12月14日受理)
-