

BULLETIN  
OF THE  
NATIONAL INSTITUTE OF VEGETABLE  
AND TEA SCIENCE

野菜茶業研究所  
研 究 報 告

第 13 号  
平成 26 年 3 月



独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）

野菜茶業研究所

NATIONAL INSTITUTE OF VEGETABLE  
AND TEA SCIENCE (NIVTS)

National Agriculture and Food Research Organization (NARO)



野菜茶業研究所研究報告 第13号

所 長	小島 昭夫
編集委員長	荒木 陽一
編 集 委 員	木幡 勝則
	吉田 建実
	今田 成雄
	高市 益行
	鈴木 克巳
	白川 隆
	松尾 喜義

BULLETIN OF THE  
NATIONAL INSTITUTE OF VEGETABLE  
AND TEA SCIENCE  
No. 13

*Director General* Akio Kojima

**Editorial Board**

*Chairman* Yoichi Araki  
Katsunori Kohata  
Tatemi Yoshida  
Shigeo Imada  
Masuyuki Takaichi  
Katsumi Suzuki  
Takashi Shirakawa  
Kiyoshi Matsuo

野菜茶研研報. 13  
Bull. Natl. Inst.  
Veg. & Tea Sci. No. 13

本研究報告から転載・複製する場合には、  
野菜茶業研究所の許可を得てください。

野菜茶業研究所研究報告

第 13 号

平成 26 年 3 月

目 次

キュウリ量管理養液栽培において発生した白化症状の原因

中野 明正・東出 忠桐・後藤 一郎・金子 壮  
安場 健一郎・大森 弘美 -----1

調理を考慮したナスの品種特性評価

堀江 秀樹・安藤 聡 -----9

培養液のリン濃度がキュウリの生育およびリン吸収に及ぼす影響

安 東赫・岩崎 泰永・河崎 靖・東出 忠桐  
中野 明正・鈴木 克己 -----19

建築基準法および消防法に準拠した植物栽培施設（つくば植物工場拠点）における  
施設内への光透過特性（英文）

東出 忠桐・大塩 貴寛・糠谷 綱希・安場 健一郎・鈴木 克己  
中野 明正・大森 弘美・金子 壮 -----27

細胞壁結合型酸性インペルターゼ遺伝子 *Wiv-1* の果実特異的発現によるトマト果実糖蓄積への影響（英文）

大山 暁男・布目 司・福岡 浩之 -----35

日本産及び外国産の紅茶の含水率

池田 奈実子 -----43

近赤外分光法を用いるタマネギの内部褐変の非破壊検出（英文）

伊藤 秀和・森本 進 -----49

遮光下における結球期キャベツの硝酸イオンの吸収と窒素の蓄積特性

佐藤 文生・東尾 久雄 -----55

仕立て法および栽培環境の違いが、ベイトアルファ型、温室型および日本型キュウリ品種の生育、  
収量に及ぼす影響

岩崎 泰永・安 東赫・下村 晃一郎・東出 忠桐・中野 明正 -----65



Bulletin  
of the  
National Institute of Vegetable  
and Tea Science  
No. 13 March 2014

---

Contents

- Cause of Whitening of Cucumber Laminae Under Quantitative-control Hydroponics  
Akimasa Nakano, Tadahisa Higashide, Ichiro Goto, So Kaneko,  
Ken-ichiro Yasuba and Hiromi Ohmori ..... 1
- Eating-quality Characteristics of Eight Eggplant Cultivars  
Hideki Horie and Akira Ando ..... 9
- Influence of Phosphorus Concentration in the Nutrient Solution on the Growth and Phosphorus Absorption of  
Hydroponic Cucumber  
Dong-Hyuk Ahn, Yasunaga Iwasaki, Yasushi Kawasaki, Tadahisa Higashide,  
Akimasa Nakano and Katsumi Suzuki ..... 19
- Light Transmission of a Greenhouse (NARO Tsukuba Factory Farm) Built to Meet Building and Fire  
Standards  
Tadahisa Higashide, Takahiro Oshio, Tsunaki Nukaya, Ken-ichiro Yasuba,  
Akimasa Nakano, Katsumi Suzuki, Hiromi Ohmori and So Kaneko ..... 27
- Effect of Fruit-specific Expression of the Cell-Wall-Bound Acid Invertase Gene *Wiv-1* on Hexose Accumulation  
in Tomato Fruits  
Akio Ohyama, Tsukasa Nunome and Hiroyuki Fukuoka ..... 35
- Moisture Contents in Black Tea Grown in Japan and Other Countries  
Namiko Ikeda ..... 43
- Non-destructive Detection of Browning of the Inner Scales of Onions using Near-Infrared Spectroscopy  
Hidekazu Ito and Susumu Morimoto ..... 49
- Characteristics of Nitrate Uptake and Nitrogen Accumulation in Cabbage under Shade at Head Developing  
Stage  
Fumio Sato and Hisao Higashio ..... 55
- Optimizing Training Method and Environmental Factors to Improve the Growth and Yield of Cucumbers  
Yasunaga Iwasaki, Dong-Hyuk Ahn, Koichiro Shimomura,  
Tadahisa Higashide and Akimasa Nakano ..... 65



# キュウリ量管理養液栽培において発生した 白化症状の原因

中野 明正・東出 忠桐・後藤 一郎\*  
金子 壮・安場 健一郎\*\*・大森 弘美\*\*\*

(平成 25 年 8 月 9 日受理)

## Cause of Whitening of Cucumber Laminae Under Quantitative-control Hydroponics

Akimasa Nakano, Tadahisa Higashide, Ichiro Goto,  
So Kaneko, Ken-ichiro Yasuba and Hiromi Ohmori

### I 緒 言

近年、施設生産においては、堆肥の多量施肥などにより、土壌における肥料成分の過多が指摘されている。その実態として、リン (P) 過剰も問題となっている (大島ら, 2008)。P 過剰が原因と考えられる生理障害については、温室メロン (鈴木, 1983)、トマト (小宮山ら, 2009)、スイートピー (岡本ら, 2009) 等でも報告があり、最近では、キュウリについても白化症状についての報告 (塩原, 2013) がある。白化症状については、P 過剰に伴うマグネシウム (Mg) の吸収抑制を指摘する事例 (小宮山ら, 2009) や、体内でのカルシウム (Ca) 移動抑制を示す事例 (北村ら, 1994)、P 過剰により誘発された亜鉛 (Zn) 欠乏 (二見ら, 1985) や鉄 (Fe) 欠乏 (田中ら, 1989) を指摘する事例もある。本報告においても、このように植物や発生状況により異なる白化症状について、植物体の無機元素組成を分析することにより、その原因と発生機構について考察した。

実際の農業現場では土耕栽培がほとんどであるため、上記の従来の報告は全て土耕での事例である。本報告では、養液栽培においても、P 過剰の場合に認められる症状と類似する葉脈間の白化を伴う症状を観察した。養液

栽培においては、養液成分を制御できるため通常養分の過不足が発生しにくいとされるが、今回、生理障害と思われる葉の白化症状が発生した。本研究で、対象としたキュウリ栽培は、養液栽培の中でも通常の養液栽培と異なる量管理法を適用した栽培法である。量管理法は、トマトでは水耕栽培で生産現場での適用事例があり (中野ら, 2006)、無機成分を濃度ではなく日施用量等の量で管理するため、施肥量の削減が達成できる手法である。この手法についてはキュウリにおいては適用事例がなく、また、今回報告する白化症状についても養液栽培では報告事例がない。さらに、その発生状況が栽培を実施したハウス環境により異なること、また品種間差も認められたため、これらについても合わせて報告する。

本研究の遂行にあたり、中央農業総合研究センター研究支援センターの佐藤和也氏、内野達哉氏には栽培管理およびデータ取得に多大なご支援をいただいた。ここに記して心よりの感謝を申しあげる。

### II 材料および方法

#### 1 栽培条件

実験は、モデルハウス型植物工場実証・展示・研修事業を実施中の農研機構植物工場つくば実証拠点 (茨城県

〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

野菜生産技術研究領域

\*カネコ種苗株式会社

\*\* 岡山大学大学院環境生命科学研究科

\*\*\* 生物系特定産業技術研究支援センター

つくば市)で行った。施設は軒高5.1m、面積約2,500 m<sup>2</sup>のフェンロー型ハウスであり、ハウス屋根の被覆資材は散光性フッ素系フィルム(FクリーンGRナジジ, AGCグリーンテック)である。18m×18mの栽培室には10列の噴霧水耕方式の養液栽培ベッド(スプレーボニックシステム, カネコ種苗)を設置し、端2列は試験区から除外した。2012年12月13日に播種、同20日にブルームレスカボチャ台木‘バトラー’(カネコ種苗)に接ぎ木を行い、人工光閉鎖型苗生産システム(苗テラス, 三菱樹脂アグリドリーム)内で育苗した。2013年1月9日に上記のハウス内栽培室に定植した。使用品種として、‘ハイグリーン21’(埼玉原種育成会), ‘シルフィーパワー1号’(久留米原種育成会), ‘四川2号’(カネコ種苗), ‘ピノキオ’(カネコ種苗), ‘Sabrina’(Nunhems, オランダ), ‘Khassib RZ’(Rijk Zwaan, オランダ), ‘Proloog RZ’(Rijk Zwaan), ‘Amaranta’(Nunhems)の8品種について評価した。水耕ベッドは横幅50cm長さ13.8mであり、その中央に株間25cmで各キュウリ苗を定植した。ベッド中央間の距離は190cmであった。列ごとに各品種を割り当て、各列中では株を交互左右に振りわけて栽培した。摘心栽培として、主枝は第22~25節で摘心し、第一次側枝は主枝第5節以下では除去、第6節以上では第2節で摘心した。収穫は1週間に3回程度実施し、収穫した果実の標準的な重さは、‘ハイグリーン21’103g, ‘シルフィーパワー1号’103g, ‘四川2号’107g, ‘ピノキオ’55g, ‘Sabrina’144g, ‘Khassib RZ’92g, ‘Proloog RZ’145g, ‘Amaranta’151gであった(南ハウスの平均値)。

## 2 地上部環境制御

栽培室の環境制御にはユビキタス環境制御システム(ステラグリーン)を用いた。天窓の換気設定温度は28℃とした。最低気温14℃以上となるようにガス温風暖房機(HK-1, ネボン)およびヒートポンプ(グリーンパッケージGPAC-1, ネボン)により加温した。終日、循環扇を作動し、10分間のうち1分間のみ停止させた。保温カーテン(LSスクリーン, 誠和)は17:00~8:00に閉鎖した。ガス燃焼式によるCO<sub>2</sub>施用(CG-254S2N, ネボン)は、南ハウスのみで行い、定植35日後から56日後までは8:00~11:00, 定植57日後からは8:00~15:00の間、600μmol/molを維持するようにユビキタス環境制御システム(ステラグリーン)によって制御した。また、細霧装置(流量:約12g/m<sup>2</sup>/min, 有光工業)も南ハウスにおいてのみ行い、定植

33日後からは晴天日のみ手動で、定植99日後以降はユビキタス環境制御システムによって、気温20℃以上の場合、相対湿度75%以上となるように制御した。屋外および屋内の気温、湿度および日射などの気象データはユビキタス環境制御システムにより1分間隔で測定、記録した。

## 3 培養液管理

培養液は窒素分施方式(中野ら, 2006)で管理し、窒素以外の養分を溶解した培養液に対して、毎日1回、KNO<sub>3</sub>およびCaNO<sub>3</sub>を7:3の割合で混合した液を規定量、追加した。追加する窒素の量は、週1回程度、個体当たり24~293mg/dayの範囲で生育に応じて変更した。窒素以外の培養液は、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>・7H<sub>2</sub>OおよびK<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>をそれぞれ水1t当たり300, 400および300gとなるように調整し、微量要素はMnO, B<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe, Cu, ZnおよびMoをそれぞれ、0.95, 1.45, 2.28, 0.09, 0.18および0.04ppmとした。培養液のECは生育に応じて1.8~3.2dS/mの範囲で管理した。使用した井戸水はpH7.3, EC0.35dS/mであった。本研究で使用したpH調整剤は‘ダウン’(大塚アグリテクノ)であり、その詳細については、開示されていないが、「リン酸をベースとし、養液栽培の場面で培養液に添加できます。」との記述が取り扱い説明書にあるとともに、製品安全データシートには、組成及び成分情報として、硝酸≤10%, リン酸20~30%との記載がある。補水量および窒素添加量については、装置の作動記録から算出した。作物への培養液供給は、昼間(8:00~18:00)には10分毎に、夜間(18:00~8:00)には15分毎に1回75秒間行い、余剰液は培養液タンクに回収して循環供給した。培養液タンクにおいては、水用パイプヒーター(100V, 1kW, BWA1111, 八光電気)により終日18℃以上となるように培養液を加温した。

## 4 白化程度と内容成分との関係の評価

定植後61日目の2013年3月11日に、‘ハイグリーン21’のベッド上端面からの高さ50~100cmに配置する葉について、白化程度の異なる葉を採取して、重量を測定後乾燥し粉碎した。白化程度の分類(障害程度)は、4段階として、1:白斑が葉縁付近にわずかに認められる, 2:葉縁付近が白化しその範囲が1/4未満, 3:葉縁付近が白化しその範囲が1/4~1/2程度, 4:葉脈間の全面が白化しその範囲が1/2以上, とした。

また南ハウスと北ハウスでは、障害の外観は一致する

ものの、北ハウスの方が甚大であったので、それぞれのタンク内の培養液の分析も実施した。

### 5 無機元素分析

2013年3月11日に採取した‘ハイグリーン21’の葉については105℃で3日間乾燥し、粉碎後硝酸分解を行った。硝酸分解液については希釈してICP発光分光分析装置(iCAP6300Duo, ThermoFisher Scientific)により、K, P, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cuを測定した。水溶性の元素については、上記8品種について、微粉碎したキュウリ葉200mgに対して10mLの蒸留水を加え、120℃で20分間1気圧をかけてオートクレープし抽出した。その後、遠心分離(12,000g, 5分)し、その上澄のK, P, S, Ca, Mgを同様に測定し、評価した。

培養液については、カネコ種苗において、硝酸態窒素、リン酸イオン、K, CaはHPLC(LC-20AD, SHIMADZU)で、Mgは原子吸光分光光度計(Z-6100, HITACHI)で分析した。

## III 結果

### 1 白化程度と元素成分との関係

‘ハイグリーン21’において生じた白化症状は、葉脈間の全面が白化する著しい症状であり(図-1)、それが個体全体におよぶ株も認められた。障害の程度がひどくなるに従い、硝酸分解により得られた全濃度(以下全濃度)については、P, Mg, Caの濃度が増加した(図-2A)。Pについては、障害程度1~4でそれぞれ、平均

含有量で10.4, 12.9, 20.8, 31.9mg/gと増加した(他元素のデータ省略)。Feの含有率も増加するが障害の程度4については、前の3元素と異なり頭打ちとなった。その他の元素(K, S, Mn, Zn, Cu)については、被害程度により著しい増加および低下は認められなかった。一方で、オートクレープ処理による抽出液(以下水溶性成分)では、Pのみが上昇し、その他の元素は被害程度1の葉に比べ低くなる傾向が認められた(図-2B)。

### 2 白化障害の品種間および南北ハウスでの差違

白化症は北ハウスで多く発生しており、ヨーロッパ系統の品種でやや低くなる傾向が認められた(図-3)。

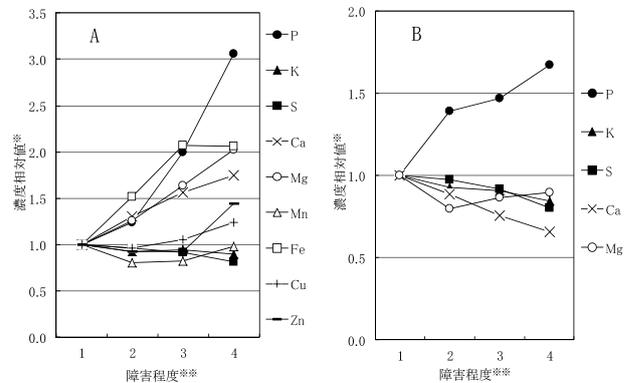


図-2 白化葉の障害程度と各種元素濃度との関係  
A: 硝酸分解により全量を測定, B: オートクレープにより水溶性成分を抽出. 使用品種は‘ハイグリーン21’

※: 障害程度1の各元素の含有率を1とした場合の相対値 (n = 3)

※※: 障害の程度は図1の指標に従った。



図-1 キュウリの量管理養液栽培において発生した白化症状

白化症状の程度は以下の4段階であり、遠観により分別し、上記の写真の左から1~4に相当する葉であった。

1: 白斑が葉縁付近にわずかに認められる, 2: 葉縁付近が白化しその範囲が1/4未満, 3: 葉縁付近が白化しその範囲が1/4~1/2程度, 4: 葉脈間の全面が白化しその範囲が1/2以上, とした。

使用品種は‘ハイグリーン21’

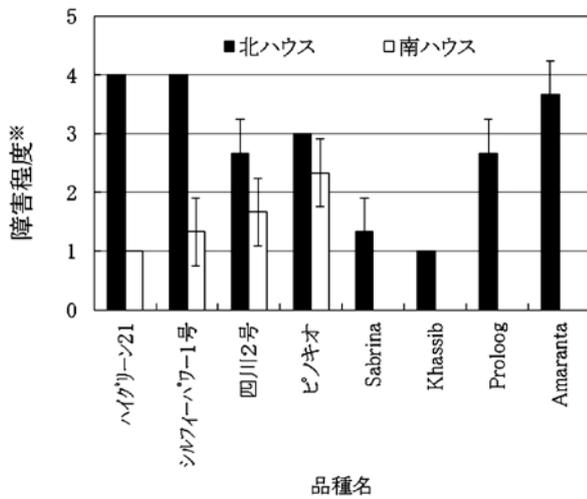


図-3 白化葉の障害程度のハウス間差および品種間差異  
 ※障害程度の値は、各品種においてベッド上端面からの高さ50～100cmに配置する葉を3枚無作為に採取し、それらの白化症状の程度を図1で示した指標により評価した平均値である。縦棒は標準偏差を示す。

南ハウスでは多く発生した日本品種においても、その発生程度は軽減される傾向にあり、ヨーロッパ品種では発生が認められなかった。

### 3 障害程度と収量およびP, Ca, Mg濃度との関係

北ハウスでは収量は障害の発生により低下した(図-4A)。南ハウスでは北ハウスに比べ収量は多く、障害の程度との相関は認められなかった。これは水溶性元素濃度においても同様であり、北ハウスにおいては、障害の程度が高まるほどPの濃度が高まり(図-4B)、反対

にCaおよびMgの濃度は低下する傾向が認められた(図-4C, D)。比較的障害の程度の低い南ハウスではこれらの傾向は認められなかった。

### 4 南北ハウスでの地上部環境の差違

各環境測定項目について、気温と日射では、南北で大きな差は認められず(図-5AおよびB)、平均気温は、南ハウスで17.9℃、北ハウスで17.4℃であり、平均日射量は、南ハウスで63.7kW/m<sup>2</sup>、北ハウスで65.2kW/m<sup>2</sup>であった。CO<sub>2</sub>濃度については、2月6日以降は南ハウスで、高く推移する傾向にあり(図-5C)、南ハウスの平均値で499μmol/molに対して、北ハウスで482μmol/molであった。相対湿度は(図-5D)、南ハウスでおおむね高く推移し、南ハウスで69.8%に対して、北ハウスで58.3%であった。測定したこれらの項目の中では、湿度が最も大きく寄与した可能性が考えられた。

### 5 南北ハウスでの養水分環境の差違

南北ハウスとも、量管理を実施しているため、定植後約1ヶ月の初期の硝酸態窒素濃度は極めて低く推移していた(図-6)。その後、北ハウスでの硝酸態窒素濃度の上昇が認められた一方で、南ハウスでは極端な上昇は認められなかった。

積算の補水量はほぼ吸水量に相当するが、南ハウスでは徐々に増加し、定植後1ヶ月後も増加していった(図-7A)、2月22日に補水量が一時的に増加しているのは、今回の生育の低下が培養液の組成に由来すると考え、一

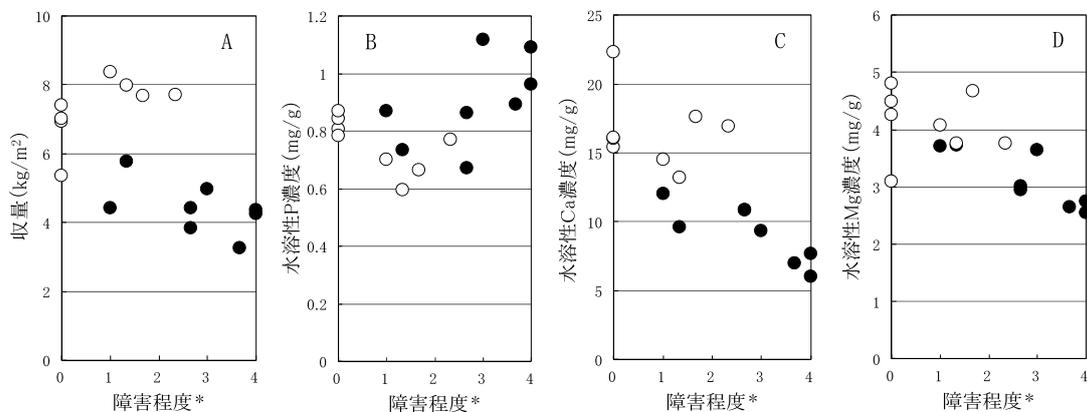


図-4 異なるハウス環境における白化葉の障害程度と収量およびP, Ca, Mg濃度の関係  
 それぞれ、A: 収量, B: 水溶性P濃度, C: 水溶性Ca濃度, D: 水溶性Mg濃度を示す。各点は図3に示す、各8品種の平均値を示す。

※: 障害の程度は図1の指標に従った。

●: 北ハウス, ○: 南ハウス。

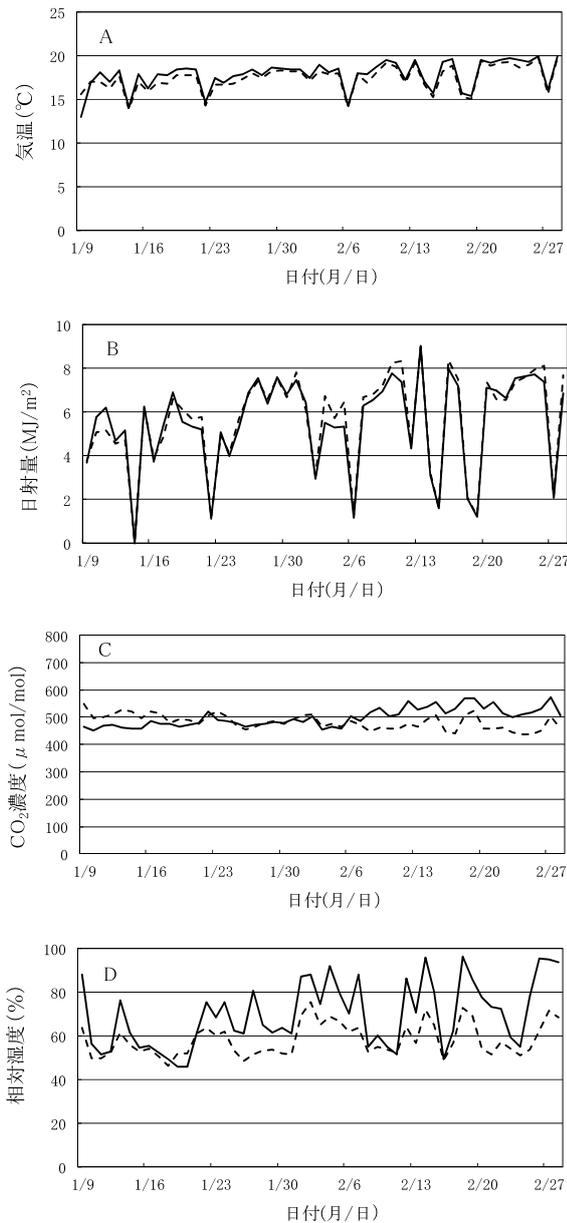


図-5 栽培期間中のハウス内環境の推移  
A：気温，B：日射量，C：CO<sub>2</sub>濃度，D：相対湿度を示す。  
実線：南ハウス，破線：北ハウス

部培養液を廃棄したためである。北ハウスにおいては、その後の補水量の傾きも緩やかであり、十分に吸水が行われていなかった。

窒素については、北ハウスでは定植後1ヶ月後から培養液の硝酸態窒素濃度が増加し始めたため、その添加量を減少させたが(図-7B)、その効果も認められず、培養液の硝酸態窒素が増加し続けた(図-6左)。また、図-6の調査日にpHを測定した結果では、南ハウスで6.73 ± 0.17 (平均値±標準偏差)、北ハウスで6.54 ± 0.55であり適正に管理されていたと判断した(データ省略)。

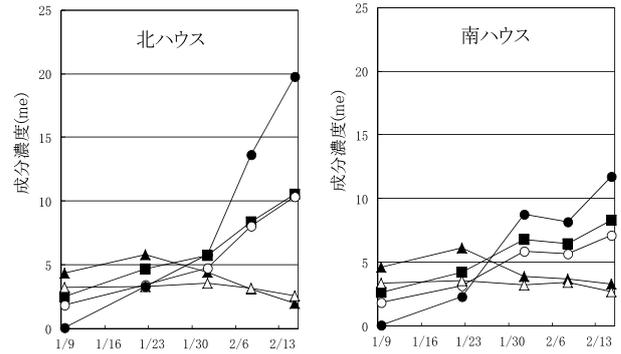


図-6 栽培期間中の培養液濃度等の推移  
●：硝酸態窒素，▲：P，■：K，○：Ca，△：Mg

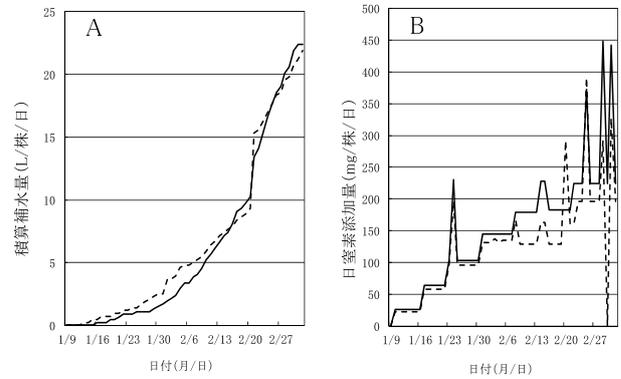


図-7 栽培期間中の1株あたりの積算吸水量(A)および添加窒素量(B)の推移  
実線：南ハウス，破線：北ハウス

## IV 考 察

### 1 キュウリ葉の白化症の原因

温室メロンの小斑点症は葉中P濃度11g/kgで発生するとの報告(鈴木, 1983)がある。海外でも10g/kg以上の濃度でPの過剰障害の発生の確率が上昇するとされ(Hawkesford, et al., 2012)、本報告もほぼ同様の値であった。また、キュウリでは、低温期に半促成栽培で発生する事例が紹介されている(上原, 1998)。ここでは黄白色の小斑が生じ、さらに症状が進行すると葉脈間に白色退色症状が現れるとされ、今回の症状に類似する。土耕で発生した症状であるが、原因としては、ブルームレス台木への変換にともなう根の性質の変化にその原因があるとされている。この場合、障害程度とP, Mg, Caは正の相関があり、NとKには負の相関があるとされるが、今回の結果も同様の傾向であった。しかし、今回の過剰障害は、硝酸分解により得られた全元素の結果では、

Kにおいて極端な低下は生じていなかった。トマトなどではMgの欠乏が著しいが(小宮山ら, 2009), 本報告ではPの増加にともないむしろ増加しているの、品目により、また生産環境により反応が異なることが想定された。一方で、本研究の結果(図-2B)では、水溶性の元素については障害程度に対して増加するのはPのみであり、過剰害としてはPが一連の障害の引き金となっている可能性が示唆された。Mg, Caについては障害程度1の葉に比べて低下する傾向があり、Pの過剰が特にCaの移行を制限したために、組織の白化、引き続き壊死が発生した可能性が考えられた。

## 2 白化症の発生のハウス環境における差違と発生機作の考察

障害が著しく発生した北ハウスでは、南ハウスに比べて環境条件が至適条件から外れていると考えられた(図-5)。各環境測定項目について、気温と日射については大きな差違は認められず、CO<sub>2</sub>濃度と相対湿度、特に相対湿度が地上部の生育促進に大きく寄与した可能性が考えられた。キュウリ果実の相対成長率は相対湿度が高いほど高まり(田附, 2009)、キュウリにおいては高湿度条件が相対的に至適条件である。相対湿度が低下すると、光合成や転流も十分に進まないため、相対的に元素の吸収が過剰になった可能性がある。

特に、通常の養液管理では、硝酸態窒素は13me/Lとされるが(伊達, 2012)、量管理においては、数me/L程度であり、南北双方のハウスにおいて、初期の培養液のP濃度が相対的に高かったため、K, Ca, Mgのカウンターイオンとして硝酸イオンの代わりに過剰に吸収された可能性がある。補水量の曲線を見ると、南ハウスでは定植後1ヶ月後から緩やかに増加しているが、北ハウスでは傾きの増加が認められなかった(図-7)。つまり、2月の下旬までにはすでに、地上部の障害が吸水に影響を与えていたと考えられ、定植直後約1ヶ月間の培養液の管理がキュウリの生長に影響を及ぼしたと推定された。この時期は相対的にPが硝酸態窒素に比べ過剰であり(図-6)、この時期のPの過剰吸収が、Caをはじめとする水溶性画分へのカチオンの移動を制限し、葉脈間のネクロシスを誘発したものと考えられた。おおむね、定植後1ヶ月後の2月9日以降は、北ハウスでは、硝酸イオンを低減させても、吸収されず培養液中に残留していたことから、この時期には既に障害が進行していたと推定される。

## 3 白化症の発生の品種間差違

北ハウスでは、白化症はヨーロッパ系統の品種でやや低くなる傾向が認められた(図-3)。障害程度の低い南ハウスでも、日本品種においてはヨーロッパ品種に比べて多く発生する傾向があった。地下部はすべて接ぎ木をしているため同一であると考え、地上部の養分要求量の差違が引き金となって障害を発生させたと考えられる。白化症はPの過剰が引き金となり、Ca等の水溶性画分への移行の低下を発生させていることは、いずれの品種でも認められる傾向であった。発生についてはおおむねこのような機作が想定されるが、今後詳細に検討する必要がある。また、養液栽培においても、P過剰の評価に際しては、水溶性画分の評価が有効で有り、搾汁液を用いた診断(山崎ら, 2006)が有効である。

## 4 量管理養液栽培において発生した白化症の原因と想定される対策

量管理システムにおいては、窒素を制限するため、草姿管理が容易になる、また、生産物の硝酸イオン濃度を低減させる効果が期待できるが、一方で、今回報告したように、硝酸が低い状態で、培養液のpHが上昇し、それを補正するためのpH降下剤にリン酸が含まれている場合、Pの過剰吸収が発生する可能性が示唆された。量管理を実施する場合、生育初期において、葉縁に白斑症状が認められる場合は、P過剰が発生し甚大な被害となる可能性があるため、pH降下が必要な場合は、硝酸も合わせて添加すると生育が改善する可能性がある。特に、摘心栽培は、つる下ろし栽培に比べ面積当たり多収となるが(東出ら, 2012)、初期に形成される主枝の葉がクロロシスを呈すると、つる下ろし栽培に比べ葉の更新が難しいため、収量低下が顕著となる(図-4A)。そのため、特にキュウリの摘心栽培の場合は、初期の硝酸濃度が過少とならないように養液管理に注意する必要がある。トマトの場合は、初期の窒素濃度を低くすることにより、過繁茂を抑制し収量を増加させるメリットも考えられるが、キュウリの場合は、初期から速やかに葉面積を確保することも重要である。従って、ある程度の草姿制御は必要であるが、適切な窒素施用も必要である。

## V 摘 要

キュウリの量管理栽培システムにおいて、著しい葉の白化症状が観察された。原因としては、P 過剰症により水溶性の Ca や Mg の輸送や移行が阻害され、組織の壊死が生じたためと考えられた。トマトの窒素量管理法は過繁茂などを抑制し、草姿を制御するのに有効であるが、今回の報告事例のように、特にキュウリの初期生育において、硝酸が低い状態で培養液の pH が上昇しそれを補正する必要があり、pH 降下剤に P が含まれている場合、P の過剰吸収により葉の白化症状が発生する可能性が示唆された。

## VI 引用文献

- 1) 伊達修一 (2012), 組成, 培養液の調整・管理, 養液栽培のすべて, 65-78, 誠文堂新光社, 東京.
- 2) 二見敬三・藤井浩 (1985): 土壌蓄積りん酸が大豆の生産性と養分吸収に及ぼす影響. 兵庫県農総セ研報, 33, 21-26.
- 3) Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers H, Schioerring J., Möller I.S., and White, P. (2012): Functions of macronutrients. Mineral nutrition of higher plants, 135-189, Academic Press, London.
- 4) 東出忠桐・後藤一郎・鈴木克己・安場健一郎・塚澤和憲・安東赫・岩崎泰永 (2012): 収量構成要素の解析からみたキュウリ短期栽培の摘心およびつる下ろし整枝法の差異, 園学研, 1(4), 523-529.
- 5) 北村秀教・米山忠克 (1994): 培地カルシウム濃度の違いがキュウリ, コマツナの生体液のカチオン・アニオン濃度におよぼす影響, 土肥誌, 65(6), 660-669.
- 6) 小宮山鉄兵・藤澤英司・新妻成一・加藤雅彦・森国博全 (2009): 隔離床栽培における土壌可給態リン酸含量がトマトの養分吸収に与える影響, 土肥誌, 80(5), 516-521.
- 7) 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行 (2006): トマト水耕栽培の無機成分の日施用法における施用量が収量, 品質および無機成分吸収量に及ぼす影響. 園学雑., 75, 421-429.
- 8) 岡本保・山田裕 (2009): 施設スイートピーに発生したリン酸過剰による葉身白化症状, 土肥誌, 80(6), 630-633.
- 9) 大島宏行・後藤逸男 (2008): 茨城県内の小玉スイカ栽培ハウス土壌におけるリン酸蓄積の実態, 土肥誌, 79(3), 263-271.
- 10) 塩原孝 (2013): リン酸蓄積きゅうり圃場での土壌と葉柄のリン酸濃度測定に基づく施肥の要否判定～白斑症状を発生させない施肥管理を～. グリーンレポート, 525, 12-14.
- 11) 鈴木則夫 (1983): 温室メロンの養分吸収特性とりん酸過剰害に関する研究. 静岡県農試研報, 28, 43-50.
- 12) 田中啓文・磯部泰宏・鈴木康弘 (1989): リン酸過剰コムギにおける鉄の不活性化と鉄クロロシス. 名城大学農学部学術報告, 25, 1-6.
- 13) 田附明夫 (2009): 果実周囲の相対湿度がキュウリ果実の成長, 蒸散速度, 呼吸速度に及ぼす影響. 植物環境工学, 21(3), 123-127.
- 14) 上原洋一 (1998): キュウリ葉の黄白化症状. 四訂 施設園芸ハンドブック, 381-382, 施設園芸協会, 東京.
- 15) 山崎晴民・六本木和夫 (2006): 葉柄汁液の無機リンを指標としたキュウリの栄養診断. 土肥誌, 77(6), 691-694.

## Cause of Whitening of Cucumber Laminae Under Quantitative-control Hydroponics

Akimasa Nakano, Tadahisa Higashide, Ichiro Goto,  
So Kaneko, Ken-ichiro Yasuba and Hiromi Ohmori

### Summary

Under quantitative-control hydroponics, severe whitening of the laminae occurred in cucumber plants. We hypothesized that excessive phosphorus inhibited the transport or translocation of calcium and magnesium and other nutrients, leading to chlorosis of the laminae. Quantitative control of fertilization can effectively control plant form, and can prevent excessive growth (e.g., of tomato), but with low nitrate levels during the initial growth stage of cucumber, adding phosphate to lower the solution pH may cause severe whitening of the laminae.

## 調理を考慮したナスの品種特性評価

堀江 秀樹\*・安藤 聡

(平成 25 年 9 月 9 日受理)

## Eating-quality Characteristics of Eight Eggplant Cultivars

Hideki Horie and Akira Ando

### I 緒 言

野菜の品質については、色、形等の外観や流通適性等で評価される場合が多く、おいしさについての評価は、スイカやメロン等一部の野菜で糖度表示される程度である。著者らは、生食する野菜のおいしさの評価のために、キャピラリー電気泳動法を用いた成分分析法や、テクスチャーの解析による食感の評価法を提案してきた(堀江, 2011)。しかしながら、野菜は生食するだけでなく、加熱や漬け物などの調理後に摂取される場合も多い。ただし、生で喫食した際においしい野菜が、調理した際に必ずしもおいしいとは限らず、調理を前提とした野菜の品質評価が求められる。これまで調理と野菜品種の関係について整理された例は少ないものの、品種によってその調理適性も異なるものと期待されることから、今後は加熱や漬け物などの調理を前提とした野菜のおいしさ評価法を提案していく必要がある。

トマトやブロッコリーなど多くの野菜が江戸時代以降に日本に入ってきたのに比べ、ナスは千年以上もの間、国内で栽培されている野菜である。古くから日本各地で栽培された結果、各地域に外観的にも多様な在来品種が残されている。そして各地域には、それぞれ在来ナスの品種特性を活かした調理法が根付いているものと推定される。このようなことから、調理を前提とした野菜のおいしさの評価法の開発を進めるに際して、ナスは適した材料と期待されるので、本報ではナス果実の特性を品種比較した。供試品種としては、一般的な品種‘千両二号’や‘筑陽’に加え、新潟県長岡地方の在来品種‘巾

着茄子’、山形県庄内地方の在来品種‘民田茄子’、イタリアンナスの‘ローザビアンカ’、生でも多汁質で浅漬け向けの‘泉州水茄子’、果実の長さが特徴的な‘庄屋大長’、および米ナスの‘くろわし’を選択した。‘巾着茄子’は、「蒸かしなす」と呼ばれる蒸し調理に用いられ、‘民田茄子’は辛子漬けなどに加工される小ナスである。これらの品種の間で、呈味成分である遊離糖、遊離アミノ酸、および渋味に寄与するとされるクロロゲン酸の含量を比較した。また、多汁性や果皮、果肉の硬さ、果実の密度などのテクスチャー、とろみの指標として加熱後の粘性を品種間で比較した。また、漬け汁に浸漬した後のテクスチャー、加熱条件とうま味成分グアニル酸の関係等を解析することにより、品種のおいしさを引き出す調理条件についても考察した。

なお、研究推進のためのナスの栽培管理に当たっては、野菜茶業研究所研究支援センター上村敏彦氏の技術支援と助言を受けた。また、本研究の一部は日本うま味調味料協会から助成を得て実施した成果である。

### II 材料および方法

#### 1 ナスの品種と栽培

ナス品種は‘泉州水茄子’ (丸種)、‘巾着茄子’ (米重種苗店)、‘筑陽’ (タキイ種苗)、‘民田茄子’ (渡辺採種場)、‘ローザビアンカ’ (つる新種苗)、‘庄屋大長’ (タキイ種苗)、‘千両二号’ (タキイ種苗) および ‘くろわし’ (タキイ種苗) を用い、‘台太郎’ (タキイ種苗) に接ぎ木した。なお用いた ‘巾着茄子’ については、新潟

県新潟市周辺で浅漬け用として栽培される「十全ナス」ではなく、新潟県長岡地方在来で果肉が硬く加熱向きの「長岡巾着」ともよばれるものである。各品種の苗は2012年5月8日に、野菜茶業研究所（三重県津市）内の試験圃場の実験用パイプハウスに各品種9株以上定植し、6月下旬以降に収穫した。株は60cm間隔で2本仕立てとした。果実は朝9時までに収穫し、8時間以内に試験に供するか、あるいは成分分析のための抽出処理を施した。なお、品種間で果実の品質を比較する場合には、それぞれの品種の収穫適期の果実を試料とした。

## 2 呈味成分の分析

渋味成分とされるクロロゲン酸（黒澤，1996）については、各品種とも収穫適期の5果を試料とし、下記のように調製および分析した。果実中央部から輪切り片5～10gを切り出し、これに0.1%リン酸を含むエタノール40mlを加えて、ブレンダーで破碎し、破碎液を10,000×gで5分間遠心し、上清を100mlのメスフラスコに移し、残渣に上記エタノール液を加えて遠心し、上清を先に遠心したものと合わせた。100mlにメスアップしたものを、メンブレンフィルターに通し、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）用の試料とした。HPLCの条件は次のように設定した。すなわち、100mMのリン酸緩衝液（pH 2.1）をA液、90%アセトニトリルをB液とし、流速1ml/minでB液の割合を2分まで0とし、25分までに30%まで上げるリニアグラジエントとした。カラムはMightysil RP-18GP（粒子径5μm、内径4.6mm×150mm、関東化学）を用い、カラム温度を40℃に設定し、10μlを注入した。エタノールに溶解したクロロゲン酸を標品として、320nmで検出し、面積比からクロロゲン酸含量を算出した。

その他の成分については、7月9日に収穫した各品種5果を分析用試料とし、縮分した果実試料に対して4倍量の水を加え、直ちに家庭用電子レンジ（700W）で沸騰するまで加熱し、ブレンダーで破碎抽出後、濾紙（アドバンテック5A）で濾過した液を分析まで凍結保存した。凍結保存液は解凍後、メンブレンフィルターを通してグアニル酸分析用の試料とした。糖あるいはアミノ酸を分析する場合は、解凍した液をさらに4倍に希釈し、分析に供した。分析条件は既報（堀江・伊藤，2006，堀江，2012）に従った。ただし、グアニル酸の分析においては、グアノシンの分離を改善するため、A液のpHを2.5に変更した。

## 3 物性の評価

### a 果皮の硬さ

果実の赤道部からナイフを用いて果皮を剥がし、直径1cmの穴の空いた治具（山電，PG-103）に、果実の表面側を上にして固定した。テクスチャーアナライザー（Stable Micro Systems, TA-XT plus）を使用し、直径3mmの円柱状プランジャーを速度2.5mm/sで圧縮・貫入させ、プランジャーにかかる荷重を記録した。プランジャーが果皮を穿孔する際の荷重の最大値を果皮の硬さとした。果実毎に5回以上測定し、平均値を求めた。

### b 果肉の硬さ

果実の中央部から厚さ2cmで切り出した輪切り片について、果肉部分について切断面に垂直に直径3mmの円柱状プランジャーで圧縮し、最大の荷重値を果肉の硬さとした。測定条件は果皮の硬さ測定に準じた。測定は、各果実で2箇所以上行い平均値を求めた。

### c 果汁指数（JI）の測定

中村ら（1998）の水ナスの多汁性評価法に基づき、ナス果実の多汁性を評価するための方法として条件設定した。すなわち、果実中央部から厚さ2cmで切り出した輪切り片から、内径1cmのコルクボーラを用いて円柱状に切り出した。得られた直径1cm、長さ2cmの円柱から、5mmの厚みで切り出して試料として秤量した。試料はあらかじめ秤量した2号濾紙（アドバンテック）の上に、円形部分が濾紙に接するように置き、試料の上から25mm×25mmの平板を用いて10Nの力で30秒間圧縮した。30秒後プランジャーを持ち上げ、濾紙の重量を測定した。この測定値をC、あらかじめ秤量した試料重量をA、あらかじめ秤量した濾紙重量をBとし、果汁指数（JI（%））を次式で算出した。

$$JI = (C - B) / A \times 100$$

各果実につき、2回測定し平均値を用いた。

### d 果実の密度の測定

果実の密度（g/cm<sup>3</sup>）は、ヘタの部分を切除した果実について、蒸留水に浸漬して果実の体積を求めることにより測定した。まず果実の重量（g）を測定しDとした。あらかじめ、電子天秤の秤量皿の上に蒸留水を適量入れた容器を準備しておき、細いピンセットを用いて、果実を完全に蒸留水に浸し、果実の浸漬にともなう重量の増加分（g）を測定しEとした。水の比重を1とすれば、重量増加分E（g）は果実の体積E（cm<sup>3</sup>）に相当するの

で、果実の密度はD/Eとして算出した。

なお、果皮の硬さ、果肉の硬さ、果実指数および果実の密度については、それぞれ収穫適期の4果以上を試料として測定した。

#### e 粘度の測定

7月11日に収穫した各品種3果を粘度測定用の試料とした。果実の赤道部から2cmの厚みで切り出した輪切り片から、さらに扇状に20±3g切り出し、過熱水蒸気オープン（シャープ、ヘルシオHC-3）の蒸し加熱「強」のモードで、予熱せずに15分蒸した。この果実片に4倍量の水を添加し、ブレンダーで破碎抽出した。10,000×gで10分間遠心分離した上清を、さらに濾紙（アドバンテック、5A）で濾過した液を試料とした。測定にはオストワルドNo.2粘度計を用い、8mlの試料液が細管を通過する時間と、等量の蒸留水が細管を通過する時間の比を求めた。測定は28℃の室温で3回行い、平均値を求めた。

#### f 蒸し加熱および浅漬け

蒸し加熱には、ガスレンジの炎で水を加熱し下から蒸気を送る家庭用蒸し器、あるいは、上記過熱水蒸気オープン（蒸し物「強」、予備加熱なしの設定）を用いた。90℃以下の一定温度で蒸す場合には、低温スチーミング電気鍋（平山式）を用いた。低温スチーミング電気鍋は、水槽に溜められた水を電気ヒーターで加熱することによって、雰囲気温度を管理し、管理された温度条件下で野菜等を蒸す装置である。

また、浅漬けはポリエチレン袋に入れた即席漬けの素（エバラ、浅漬けの素レギュラー）に、切断した果実片を浸して調製した。

#### 1) 加熱や浅漬け処理にともなう物性の変化

収穫適期の‘ローザビアンカ’果実の赤道部から厚さ2cmの輪切り片を切り出し、半月状に2分割した。半月状の果実片の一方はそのまま試料とし（生試料）、残りの果実片を過熱水蒸気オープンで15分間蒸し加熱した。前述の方法を用いて、果皮の硬さおよびJIについて加熱した試料と生試料との間で比較した。

別途収穫した‘ローザビアンカ’の果実について、同様に輪切り片から半月状に2分した試料を調製した。一方は生試料として、直ちに果皮の硬さを測定した。残った半月状の果実片はさらに4分割した後、市販の浅漬けの素に1時間浸漬して室温に静置した。1時間後、果実片に付着した浅漬けの素をペーパータオルで軽く拭

き取った後、果皮の硬さを測定し、生試料と比較した。

#### 2) 加熱にともなうグアニル酸の生成

収穫適期の‘筑陽’5果の赤道部付近から、それぞれ2cmの厚みで輪切り片を3枚切り出した。輪切り片それぞれを半月状に2分割し、一方は10分間、残りは20分間蒸し加熱した。蒸し加熱には低温スチーミング電気鍋を用い、70℃、80℃および90℃の3段階の温度で、所定の時間処理した。所定時間後、取り出した果実片に含まれるグアニル酸、およびその分解物であるグアノシンをHPLCで分析した。

#### 3) 果実中心部温度の測定

収穫適期の‘巾着茄子’および‘筑陽’の果実（果実重はそれぞれ247gおよび140g）について、縦に2分割した。湯が沸騰し、蒸気が盛んに発生している状態の家庭用蒸し器の蒸し台に、果実の切断面を下にして置き、蓋を閉じて蒸した。食品用中心温度データロガー（ティアンドデイ、おんどとりPush Wireless RTR-61）を果実中央部に挿入し、温度を連続的に記録した。

#### 4) ‘巾着茄子’の加熱によるグアニル酸の増加

収穫適期の‘巾着茄子’3果を、それぞれ縦に2分割した。縦切り片の赤道部から2cmの厚みで切り出し、これをさらに2分割して、一方はそのまま抽出し、生試料とした。もう一方については、家庭用蒸し器で5分間蒸した後、分析に供した（「2cm片」）。残る縦切り片については、そのまま家庭用蒸し器で15分間加熱後、赤道部2cmを切り出して分析に供した（「1/2果実」）。各試料中のグアニル酸とグアノシンをHPLCで分析した。

#### g 統計処理

統計処理にはエクセル統計ver.6.0（エスミ）を用いた。

## III 結果及び考察

### 1 呈味成分の比較

呈味成分を比較した結果を平均果実重の順に表-1にまとめた。

ナスの主たるポリフェノールはクロロゲン酸であり、クロロゲン酸が渋味や褐変に関与すると報告されている（黒澤、1996）。本試験においても、HPLCのチャートで確認する限り、どの品種においてもポリフェノールとしてはクロロゲン酸が主であった。クロロゲン酸含量を品種比較した結果、‘民田茄子’、‘巾着茄子’、‘ローザビアンカ’および‘くろわし’において高かった（表-

1). 黒澤 (1986) も、クロロゲン酸は小ナスや米ナスに多く含まれ、長ナス、水ナスには少ないと報告しており、今回の結果と一致している。

遊離糖については、ナス果実ではブドウ糖、果糖が主であり、‘泉州水茄子’を除けば、前者が後者よりも多く含まれていた (表-1)．‘泉州水茄子’については、別に行った分析結果においても、常に果糖がブドウ糖より多く含まれており、さらに前者は後者よりも甘味が強いことが知られている (松本, 2012)．水ナスは甘味の強い品種と一般に認識されており、分析結果においても遊離糖の含量が高かった (表-1) が、単に糖含量が高いだけでなく、果糖の割合が多いことも水ナスの甘味に寄与するものと考えられる．一方、‘民田茄子’および‘ローザビアンカ’については、糖含量が低かった。

主要な遊離アミノ酸の中では、アスパラギンおよびグルタミンは、平均値の品種間差が大きかった (表-1)．ただし、これらのアミノ酸は呈味力が低い (河合, 2003) こともあり、品種の味覚特性への影響は大きくないものと推察された．一方、アルギニンは‘泉州水茄子’において高い傾向があった．一般にはアルギニンは苦味を示すと記載されている (道山ら, 1995) が、日本の緑茶では上級茶に多く含まれる (後藤ら, 1994) など特有の味を呈し、‘泉州水茄子’のおいしさとアルギニン含量の関連については、今後さらなる検討が必要である．うま味を示すアミノ酸であるグルタミン酸については、小型の果実を供試した‘民田茄子’において、高い傾向が認められた．一方、‘民田茄子’ではγ-アミノ酪酸 (GABA) 含量は低かった．果実の成熟とグルタミン酸含量の関係について、著者らが‘筑陽’および‘千

両二号’について別途調査した結果、収穫適期前の小さな果実にグルタミン酸が多く、GABA が少ない傾向が認められた (堀江ら, 2013)．‘民田茄子’においても同様に、果実の肥大にともないグルタミン酸含量が低下する傾向が認められた (図-1)．アスパラギン酸についても、グルタミン酸とともにうま味を示すアミノ酸であり、統計上は‘筑陽’と‘庄屋大長’の間で有意差は認められた．しかしながら、アスパラギン酸は呈味力が低く (河合, 2003)、含量もグルタミン酸ほど高くないことから、品種間の味の差に対する寄与は小さいものと考えられる。

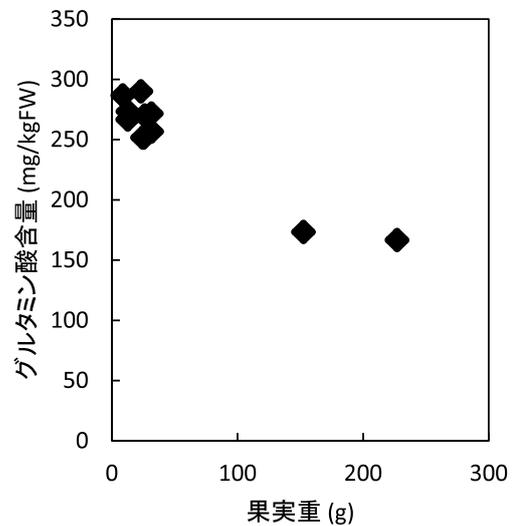


図-1 ‘民田茄子’果実の重さとグルタミン酸含量の関係  
2012年8月30日に採取した大きさの異なる果実を分析に供した。

表-1 ナス品種間の呈味成分比較

品種	果実重 (g)	遊離糖 (%)		遊離アミノ酸 (mg/kg)					クロロゲン酸 (mg/kg)	
		果糖	ブドウ糖	Asp	Glu	Asn	Gln	Arg		GABA
庄屋大長	219	1.20	1.36 abc	53 b	91 c	628 abc	666 cd	110 bcd	284 a	484 d
		0.04	0.06	5	12	154	191	20	32	123
巾着茄子	165	1.10	1.30 abc	73 ab	133 bc	309 c	430 cd	73 d	210 bc	2037 ab
		0.14	0.13	12	18	103	176	20	33	333
ローザビアンカ	163	0.90	1.30 cd	81 ab	137 bc	583 bc	762 bc	124 bcd	193 bc	1935 ab
		0.15	0.15	19	23	142	216	23	30	311
くろわし	159	1.00	1.36 bcd	71 ab	137 bc	957 a	1308 a	163 b	202 bc	1865 b
		0.21	0.21	8	13	180	217	22	30	245
泉州水茄子	148	1.59	1.39 a	64 ab	116 bc	703 ab	917 bc	233 a	214 bc	950 cd
		0.23	0.17	21	18	188	253	56	34	128
筑陽	129	1.23	1.53 ab	84 a	148 b	333 c	326 d	99 bcd	243 ab	819 cd
		0.11	0.13	15	16	65	66	20	17	267
千両二号	112	1.31	1.52 ab	79 ab	150 b	488 b	463 cd	149 bc	194 bc	1083 c
		0.07	0.09	11	27	182	270	41	24	194
民田茄子	17	0.83	0.99 d	70 ab	219 a	788 ab	1250 ab	86 cd	163 c	2413 a
		0.12	0.17	14	40	274	396	29	12	138

上段: 平均値, 下段: 標準偏差.

各列において異なるアルファベット間では Tukey の多重検定の結果5%水準で有意差あり. 遊離糖については果糖、ブドウ糖の合計値について検定.

Asp: アスパラギン酸, Glu: グルタミン酸, Asn: アスパラギン, Gln: グルタミン, Arg: アルギニン, GABA: γ-アミノ酪酸.

遊離糖、遊離アミノ酸については2012年7月9日に収穫した果実(n=5)を供試. クロロゲン酸については7月13日~18日に収穫した果実(n=5)を供試.

表-2 ナス品種間の物性比較

品種	果実の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	果肉の硬さ (N)	果汁指数(JI) (%)	果皮の硬さ (N)	粘度* (水との比)
庄屋大長	0.485 f	1.35 e	19.5 b	6.46 de	1.176 b
	0.024	0.11	5.0	0.48	0.019
巾着茄子	0.702 c	7.05 a	4.8 d	16.41 a	1.473 a
	0.012	0.60	1.6	3.00	0.065
ローザビアンカ	0.686 cd	3.47 c	5.2 d	12.94 b	1.485 a
	0.013	0.34	1.1	2.13	0.073
くろわし	0.654 d	3.28 d	12.3 c	11.94 bc	1.402 a
	0.021	0.12	4.2	0.74	0.035
泉州水茄子	0.761 b	1.32 e	56.5 a	5.15 e	1.135 b
	0.022	0.31	2.3	0.47	0.041
筑陽	0.604 e	1.64 e	18.6 bc	7.73 cde	1.210 b
	0.013	0.11	5.0	0.37	0.048
千両二号	0.579 e	1.64 e	23.7 b	8.99 cd	1.201 b
	0.005	0.10	3.3	0.57	0.085
民田茄子	0.837 a	5.23 b	2.8 d	10.14 bcd	
	0.002	1.04	0.6	1.71	

上段: 平均値, 下段: 標準偏差. 各列において異なるアルファベットは Tukey の多重検定の結果5%水準で有意差あり.

\*粘度については, 加熱した果実からの抽出液の粘度を蒸留水と比較した相対値.

果実密度、果肉の硬さ、JI、果皮の硬さについては7月上、中旬に収穫した果実 (n ≥ 4) を供試.

粘度は2012年7月11日に収穫した果実 (n = 3)、民田茄子については測定せず.

## 2 物性の比較

供試した果実の物性値について、表-2にまとめた。果実の密度については、‘民田茄子’および‘泉州水茄子’が高く、‘庄屋大長’が低かった。後藤ら(2007)は、ナスの品種間で果実の組織構造を比較した結果、‘庄屋大長’、‘千両二号’、‘筑陽’、‘くろわし’の順に細胞間隙が小さくなることを報告している。この順は、表に示した果実の密度との間で傾向が一致しており、細胞間隙の大きさと果実の密度との関係が示唆される。

果肉の硬さは、‘巾着茄子’および‘民田茄子’が高く、‘泉州水茄子’、‘庄屋大長’、‘筑陽’および‘千両二号’が低かった。

多汁性の指標として果汁指数 (JI) を比較した結果、‘泉州水茄子’は他品種と比べて著しく JI が高く、多汁であった。

果皮については、‘巾着茄子’および‘ローザビアンカ’が硬く、‘泉州水茄子’が軟らかかった。果皮が硬い場合には、果皮が口に残り非常に食べづらいので、果皮の硬さに対する調理の影響を検討した。果皮が硬い品種‘ローザビアンカ’を試料とし、蒸し加熱 (図-2) や浅漬け (図-3) の物性への影響を示した。その結果、果実を蒸し加熱すれば、果皮は軟化する (図-2a) もの、漬け汁に漬けるだけでは、果皮は軟化しなかった (図-3)。生果における果皮の硬さは、加熱よりも、浅漬け時に問題になるものと考察される。また、加熱によって JI が増加し、果肉が多汁になることも観察された (図-2b)。

さらに、加熱したナスにおいては、とろみが重要と考えられる (神田ら, 2005)。蒸し加熱した果実片を水抽出し、抽出液の遠心上清の粘度を比較した (表-2)。その結果、‘ローザビアンカ’、‘巾着茄子’および‘くろわし’は、残りの品種と比べて粘度が高かった。本抽出液を口に入れて食感を比較したところ、上記3品種では他品種よりもとろみを強く感じた (データ略) ので、これら3品種は、加熱にともないとろみを生じやすい品種と考えられる。

## 3 グアニル酸と蒸し加熱

野菜中のグアニル酸は、加熱によって増加する (堀江, 2012)。グアニル酸はグルタミン酸との間で相乗作用を示し、グアニル酸の増加が、うま味を強める。そのため、グアニル酸は、調理によって野菜のおいしさを引き出す際の鍵となる成分と期待される。なお、シタケの加熱過程においては、グアニル酸は RNA から酵素作用で生成し、さらに酵素作用によって呈味性の低いグアノシンに分解されることが知られ (澤田・遠藤, 1990)、グアニル酸の蓄積に適した加熱条件が報告されている (澤田, 2013)。

ナスにおいても、適切な加熱条件を設定することにより、グアニル酸を増加できるものと期待されるので、加熱温度とナス果実中のグアニル酸含量の関係を調査した。図-4には、70℃、80℃あるいは90℃に設定した低温スチーミング電気鍋で果実片を加熱し、10分後および20分後の果実片中のグアニル酸、およびその分解産物

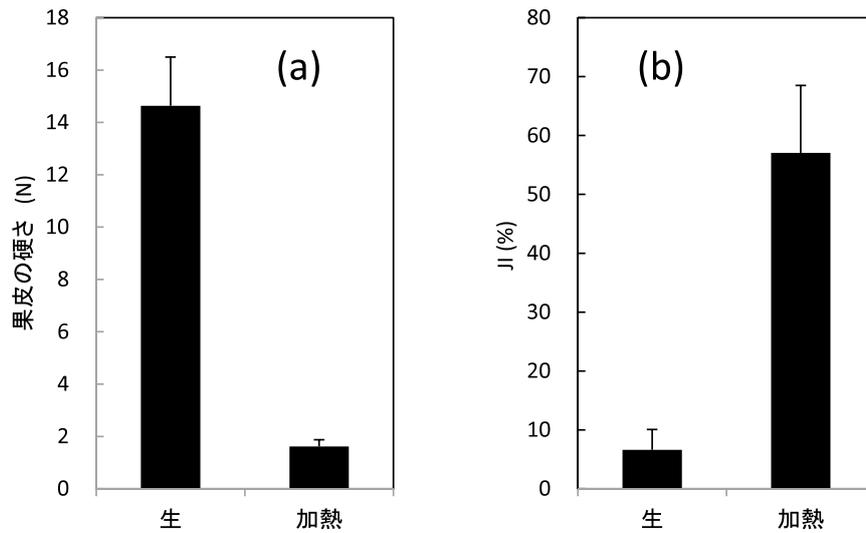


図-2 ナス果実の加熱にともなう物性の変化

(a)：果皮の硬さ、(b)：果汁指数 (JI)。

厚さ 2 cm で輪切りにした‘ローザビアンカ’を過熱水蒸気オーブンの蒸し物「強」で 15 分加熱後、未加熱の場合 (生) と物性を比較した。バーは標準偏差 (n = 5)

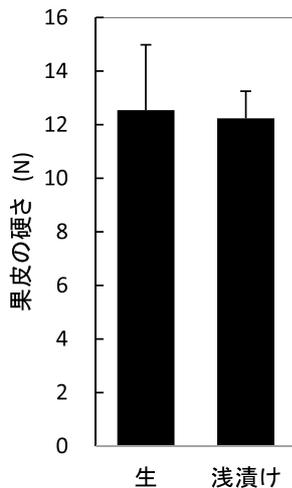


図-3 ナス果実の浅漬けにともなう果皮の硬さの変化

‘ローザビアンカ’を市販浅漬けの素に 1 時間浸漬した果実と生果について、果皮の硬さを測定した。バーは標準偏差 (n = 5)

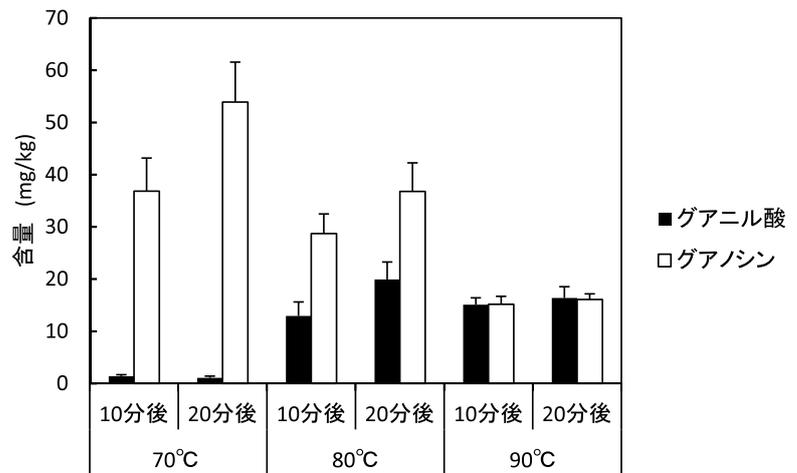


図-4 ナス果実の蒸し加熱温度とガア Nil 酸およびガアノシンの蓄積量の関係

‘筑陽’を 2 cm の厚みで切り出し、輪切り片をさらに 2 分割し、一方を 10 分間、残りを 20 分間、所定の温度で加熱後分析した。バーは標準偏差 (n = 5)

であるガアノシンの含量を示した。なお、果実片の温度は、低温スチーミング電気鍋に投入後徐々に上がり、10 分後には果実片内が所定の温度に達していることが確認できたので、その後 10 分間一定温度下に置けば、内部温度が一定の条件におけるガア Nil 酸およびガアノシンの増減が解析できる。図中の 20 分後と 10 分後の成分含量の差に着目して解析すれば、10 分間のガア Nil 酸の

蓄積 (20 分後と 10 分後の差) は 80°C で最大であった。70°C では、ガアノシンの生成量が大きかったが、これは加熱条件下で生成されたガア Nil 酸が、さらにガアノシンへと分解されたものと考えられる。一方、90°C ではガア Nil 酸の生成・分解に関連する酵素が失活し、10 分後と 20 分後の間の 10 分間には、ガア Nil 酸やガアノシンの生成が進まなかったものと考えられる。80°C で

はグアニル酸は一部分解されるものの、分解に関わる酵素の活性がある程度抑制された結果として、グアニル酸が蓄積したものと考えられる。このようなことから、果実内部の温度を急激に上げるのではなく、内部が80℃程度に維持される時間を長くするほど、グアニル酸が蓄積しやすいものと考えられる。

‘巾着茄子’は、主産地である新潟県長岡地方では、果実を半分に切断したものを蒸して食する。加熱して果肉を軟化するのが目的であれば、あらかじめ食べやすいサイズに切断してから蒸す方が熱効率もよく、調理時間が短縮できるはずである。にもかかわらず、果実半分という大きな塊のまま蒸す要因について、グアニル酸の生成の面から考察したい。

‘巾着茄子’の果実を半分に切断し、家庭用蒸し器で蒸し、加熱時の果実中心部の温度の上昇を、同様に調製した‘千両二号’との間で比較した(図-5)。「巾着茄子」では95℃以上になるまでに12分要したが、「千両二号」の場合はわずか2.5分で95℃以上となった。このような条件で蒸した場合には、「千両二号」では酵素が作用するのに十分な時間がなく、そのためグアニル酸の生成量も少ないものと推定される。一方で、「巾着茄子」は果実が大きく、また球に近い形をしているため、温度上昇が緩やかとなり、グアニル酸の蓄積に適するものと推定される。

‘巾着茄子’について、あらかじめ厚さ2cmの果実片に調製したものを蒸し器で蒸した場合と、果実半分のまま蒸した場合との間で、グアニル酸およびグアノシン

の含量を比較した(図-6)。前者の加熱時間は5分、後者は15分とし、加熱終了時には、試料中心部の温度が95℃以上になっていることは確認した。先の実験で期待されたように、グアニル酸およびグアノシンの含量は、厚さ2cmに調製した果実片よりも、果実半분을蒸した方が高かった。後者の方が内部の温度上昇が緩慢なために、酵素作用によりグアニル酸の生成、およびグア

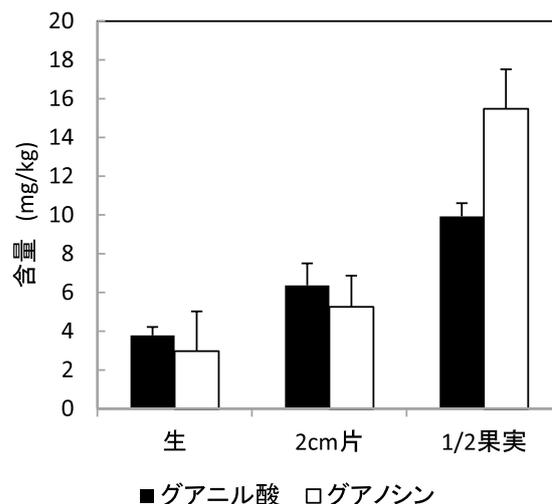


図-6 ‘巾着茄子’果実の調製法と蒸し加熱後のグアニル酸およびグアノシン含量との関係

ナス赤道部から2cmの厚みで切り出した切片を5分間蒸し加熱したもの(2cm片)と果実半분을15分間蒸し加熱したものから赤道部2cmを切り出した切片(1/2果実)の間でグアニル酸、グアノシンの含量を比較した。「生」は未加熱果実の赤道部から2cmの厚みで切り出した切片中の含量。バーは標準偏差(n=3)

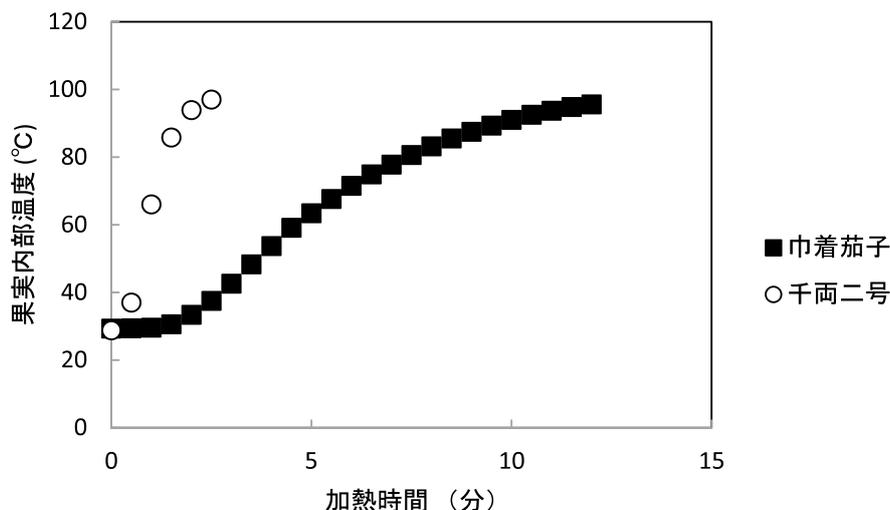


図-5 蒸し加熱時のナス果実内部温度の品種比較

果実重量: ‘巾着茄子’ 247g, ‘千両二号’ 140g.

果実を縦に2分割し、切断面を下にして家庭用蒸し器で蒸し、果実中央部の温度を計測した。

ノシンへの分解が進んだものと考えられる。

熱や時間の効率だけを考えれば、あらかじめ薄く切断した果実を蒸す方が都合よいにも関わらず、産地では、‘巾着茄子’は果実の大きな塊を時間をかけて蒸す。大きな塊として扱うことにより、温度上昇が緩慢となり、温度上昇の過程でグアニル酸の蓄積が期待される。生成されたグアニル酸が、喫食時に用いられる醤油等の調味料成分との相乗効果を示す結果、強いうま味を示し、嗜好性を高めるものと推定される。

#### 4 品種の調理特性

本試験で得られた品種特性を、調理との関係で考察したい。‘泉州水茄子’は、浅漬けに適するとされる(中村ら, 1998)。この品種は、糖含量が高いため甘味が強く、また褐変要因とされるクロロゲン酸含量も高くないので、浅漬け調理時の果肉の褐変への懸念も、他品種と比べて小さいと推測される(表-1)。さらに、JIが高く多汁であり、果皮は軟らかかった(表-2)。中村ら(1998)は水ナスの系統比較において、多汁性に着目し、また西脇ら(1999)は、新潟県産ナスの浅漬け加工適性を調査した結果、果皮の軟らかさを重要な要因としている。多汁で果皮の軟らかいことも、‘泉州水茄子’が浅漬け用の品種として適する要因と考察される。

‘巾着茄子’、‘ローザビアンカ’および‘くろわし’については、生果の果皮および果肉が硬く、またJIが小さいことから、多汁性に欠く特徴を有する(表-2)。果皮の硬さは、浅漬けとして調製しても軟化しない(図-3)ため、これら果皮の硬い品種は浅漬けには適さないものと考えられる。一方、加熱すれば、果皮は軟化され、JIが高くなる(図-2(a,b))ため、嗜好性は向上するものと推測される。さらに、これらの品種では加熱試料の水抽出液の粘度が高く(表-2)、加熱調理によってとろみが付与されるものと推測される。以上のことから、‘巾着茄子’、‘ローザビアンカ’および‘くろわし’は、浅漬けよりも加熱調理に適した品種と考えられる。

‘民田茄子’は、産地の山形県庄内地方では、辛子漬けなどの漬け物用とされる。‘民田茄子’は、浅漬けに適する‘泉州水茄子’とは対照的に、JIは低く、果肉や果皮も硬かったため(表-2)、本品種は、浅漬けに適するとは考え難い。また、‘民田茄子’は、20g以下の小さい果実を収穫して、切断せずに、果実そのままの形で漬け物として調理加工される。本品種は、褐変や渋味に寄与するクロロゲン酸含量が最大であった(表-1)

ことから、調理のために果実を切断すると、切り口の褐変も著しいものと推定される。切断せず、果実の形のまま漬け物にすることにより褐変を抑制し、さらに味の強い辛子で和えるなどの調理操作により、渋味をマスキングしているものと推定される。また、本品種はうま味成分であるグルタミン酸の含量が高かった。グルタミン酸含量について、果実の大きさとの関係を調査したところ、小さい果実の方が含量が高く(図-1)、産地において小さい果実が利用される一因として、グルタミン酸に由来するうま味の寄与があったものと推測される。

‘庄屋大長’、‘筑陽’および‘千両二号’は、果実の特徴が比較的類似していた。これらの品種の中では、‘庄屋大長’はクロロゲン酸含量が低い(表-1)ため、渋味が少なく、食べやすいものと推定される。また、これらの品種は果肉が軟らかく、果実の密度が低く、特に‘庄屋大長’において顕著であった(表-2)。果実の密度が低い品種では、生果の組織中に空気層が多く、いわゆるふわふわとしたテクスチャーであるが、このことと、調理時の油や調味液の浸透との関係については、別途検討する必要がある。なお、これら3品種の糖含量やアミノ酸含量は、他の品種と比べて必ずしも高くはなく(表-1)、加熱した果実の抽出液の粘度も高くなかった(表-2)ので、加熱操作として、「焼く」等の調理方法を用いて、成分を濃縮すれば、とろみや味の強さも増すものと推定される。一方、果皮や果肉が比較的軟らかい(表-2)ので、浅漬け用にも利用できるものと考えられる。

このように、ナスについては、特にクロロゲン酸や物性面で品種の差が大きく、それぞれの特徴を活かした調理法との組み合わせが考えられる。野菜の中でも、特にナスにおいては全国各地に在来品種が残され、地方独特の食され方をしている。調理とおいしさの関係を解析するには、ナスは非常に適した材料であり、さらに多数の品種について特徴を明らかにすることが望まれる。そして、ナスの研究で得られた知見を元に、他の野菜においても、品種の特徴を明らかにし、その特徴を調理法や食べ方に活用することによって、より豊かな食文化の創造へと展開することが期待される。

## IV 摘 要

ナス8品種の果実について、遊離糖、遊離アミノ酸、クロロゲン酸含量、果実の密度、果肉の硬さ、果皮の硬さ、多汁性および粘度を比較した。調理との関係では、

蒸し加熱によって、果皮の軟化や多汁性の増加が認められた。また、うま味成分であるグアニル酸は80℃程度の加熱条件で最も増加した。これらの知見に基づき、各品種に適した調理方法について考察した。すなわち、‘巾着茄子’、‘ローザビアンカ’および‘くろわし’については、果皮が硬いことから、浅漬けには適さないが、加熱するととろみが出るので加熱調理向きである。‘泉州水茄子’は、果皮が軟らかく、多汁で甘味が強いことから浅漬け向きである。一方、‘民田茄子’は果皮が硬く、浅漬けには適さない。‘民田茄子’においては、小さい果実が辛子漬けに用いられるが、小さい果実では切断調製する必要がないため、果実に多く含まれるクロロゲン酸に由来する褐変を防ぐと同時に、うま味成分グルタミン酸の含量が高いという利点が考えられる。‘庄屋大長’、‘筑陽’および‘千両二号’は、果皮が軟らかいので浅漬けにも利用できる。一方、これらの品種は、糖やアミノ酸の含量は他品種と比べて高くないので、成分の濃縮できる焼き調理が適すると考えられる。

#### 引用文献

- 1) 後藤公美・西本登志・矢奥泰章・米田祥二 (2007): ナス果実の組織構造の品種・系統間差. 園学研, 6 (別1), 400.
- 2) 後藤哲久・堀江秀樹・大関由紀・増田英昭・藁科二郎 (1994): 化学成分から見た市販緑茶の品質. 茶研報, 80, 23-28.
- 3) 堀江秀樹・伊藤秀和 (2006): キャピラリー電気泳動法による野菜中の糖分析. 野菜茶研研報, 5, 1-6.
- 4) 堀江秀樹 (2011): 生食用野菜の食味食感評価法. 食品工業, 12.30, 60-65.
- 5) 堀江秀樹 (2012): 野菜の加熱にともなうグアニル酸の生成. 日調科誌, 45, 346-351.
- 6) 堀江秀樹・安藤 聡・齊藤猛夫 (2013): ナス果実中の $\gamma$ -アミノ酪酸含量と加熱による増加. 食科工, 60, 661-664.
- 7) 神田知子・高橋須眞子・重藤祐司・内藤雅浩・刀祢重弘・安藤真美・足立蓉子・島田和子 (2005): 山口県伝統野菜‘田屋’ナスの嗜好特性. 日調科誌, 38, 410-416.
- 8) 河合美佐子 (2003): アミノ酸の味 その2. Ajico News, 209, 1-6.
- 9) 黒澤祝子 (1986): ナスの種類とポリフェノールおよび渋味について. 同志社家政, 20, 46-52.
- 10) 黒澤祝子 (1996): ポリフェノール含有野菜の調理学的研究—特にナスを中心として—. 同志社家政, 30, 117-120.
- 11) 松本伸子 (2012): 味わう一味, 調理と食品の官能評価, pp.29-67, 建帛社, 東京.
- 12) 道山恭子・鴻巣章二 (1985): ホタテガイ合成エキス中のアルギニンの苦味抑制成分の同定. 食科工, 42, 982-988.
- 13) 中村 隆・森下正博・原 忠彦・因野要一 (1998): 水ナス果実特性の品種・系統間差. 大阪農技セ報, 34, 1-5.
- 14) 西脇俊和・吉本 聡 (1999): 県産ナスの浅漬け加工適性とその果実性状との関係. 新潟県農総研・食品研究所センター研究報告, 33, 5-9.
- 15) 澤田崇子 (2013): きこの調理—シイタケを中心に—. 日調科誌, 36, 344-350.
- 16) 澤田崇子・遠藤金次 (1990): シイタケの加熱調理過程における核酸関連物質の変動. 家政誌, 41, 407-411.

# Eating-quality Characteristics of Eight Eggplant Cultivars

Hideki Horie and Akira Ando

## Summary

The fruits of eight eggplant (*Solanum melongena*) cultivars were analyzed to compare their eating-quality characteristics; their contents of free sugars, free amino acids, and chlorogenic acid; the density of the fruits, the hardness of the flesh, the toughness of the skin, the juiciness, and the viscosity of the aqueous extracts. Steaming decreased the toughness of the skin and increased the juiciness of the fruit. The best temperature to increase the contents of guanylic acid in the fruits was around 80 °C . The cooking methods suitable for each cultivar are discussed on the basis of the results of these experiments. 'Kinchaku nasu', 'Rosabianca', and 'Kurowashi' are suitable for cooking, because the heat-treated fruits had a thick texture with good mouth feel (toromi in Japanese). On the other hand, they are not suitable for light pickling because of the toughness of their skin. 'Senshu-mizunasu' is suitable for light pickling because the fruit was juicy and sweet, and its skin was soft. The skin of 'Minden-nasu' was tough, so this cultivar is not suitable for light pickling. The small fruit of this cultivar can be processed to create mustard pickles by adding mustard and pickling the fruits much longer than is required for light pickles. Using whole fruit would decrease the possibility of browning caused by chlorogenic acid, which was abundant in this cultivar. Moreover, the smaller fruits of this cultivar were richer in glutamic acid (which creates the umami taste) than the bigger fruits. 'Shoya onaga', 'Chikuyo', and 'Senryo nigo' can be used for light pickling because of their soft skin. However, since their contents of sugars and amino acids were lower than in the other cultivars, the fruit should be baked to concentrate these components.

## 培養液のリン濃度がキュウリの生育および リン吸収に及ぼす影響

安 東赫・岩崎 泰永・河崎 靖  
東出 忠桐・中野 明正・鈴木 克己

(平成 25 年 9 月 25 日受理)

## Influence of Phosphorus Concentration in the Nutrient Solution on the Growth and Phosphorus Absorption of Hydroponic Cucumber

Dong-Hyuk Ahn, Yasunaga Iwasaki, Yasushi Kawasaki,  
Tadahisa Higashide, Akimasa Nakano and Katsumi Suzuki

### I 緒 言

近年、リン資源の枯渇が懸念されており（黒田ら、2005）、肥料価格の高騰による生産コストの上昇など、生産者の負担が増えているため、野菜生産におけるリン施用量を軽減するとともに利用効率を向上させる技術の開発が求められている。

リンは重要な多量元素として、作物の生育に欠かせない栄養分である（Schachtman ら、1998）。体内のリンが欠乏すると光合成が抑制され、成長速度が低下する（Sawada ら、1982, 1990；Sharkey・Vanderveer, 1989；von Caemmerer・Farquhar, 1981；Zhang ら、2012）とされ、リンは施肥管理において重要な要素である。作物は一般的に低リン条件に強いとされ（渡辺、2009）、過剰施用による障害が出にくく、土壌の種類によっては施用効率が低いことから、吸収量に比べて大量に施用される傾向がある。実際に作物が栽培されている施設の土壌では、リン酸の蓄積が著しく増加しているとする報告もあり（小原・中井、2004；小宮山ら、2009）、蓄積したリンの有効利用に関する取り組みも増えている。

作物のリン含有量は窒素やカリウムに比べて少ないが（尾和、1996）、施肥量に従って吸収量も増加する、いわ

ゆる贅沢吸収の傾向がみられる。

施肥効率が高いとされる養液栽培でも吸収量に応じた処方にも関わらず、リンの施用量は吸収量に比べて高めに設定されている処方が多い（日本施設園芸協会・日本養液栽培研究会、2012）。したがって、栽培方法に関わらず、既存の施肥体系の見直しやリン施用量を軽減する技術の確立が必要とされる。

一方、葉柄汁液分析は養分の吸収状況や根域の養分濃度を簡易に予測するのに有効とされる方法で、窒素、リン、カリを中心に多くの研究がなされ（Hochmuth, 1994）、リンについても栄養診断のツールとして利用される事例がある（山崎・六本木、2006）。古くから土壌中のリン濃度の判定方法やリン濃度に対する生育反応を調べた研究は多い。しかし、土壌中におけるリンの可溶化機構が複雑であり、リン濃度の設定が難しいため、汁液診断値のばらつきが大きく、根域のリン濃度と生育およびリンの吸収との関係性の解析が困難である。また、キュウリにおいて根域のリン濃度と物質生産との関係を評価した例は少ない。特にリン吸収と生産性との因果関係は不明な部分が多いため、リンの吸収および利用効率を定量化するとともに、根域と体内のリン濃度の変動を明確にする必要がある。

そこで、本研究では、キュウリ栽培におけるリン施肥

量を見直すための基礎的知見を得ることを目的として、異なるリン濃度の養液栽培におけるキュウリの生育反応を調べるとともに、リン吸収と物質生産との関係について評価した。

## II 材料および方法

本研究は野菜茶業研究所（愛知県武豊町）内のガラスハウス（80 m<sup>2</sup>、軒高2.2m）で行った。施設の促成栽培で一般的に用いられるキュウリ‘エテルノ’（ときわ研究所）を供試し、2012年9月10日に72穴セルトレイに播種した。閉鎖系苗生産システム（苗テラス、三菱樹脂アグリドリーム株）を利用して昼温25℃、夜温20℃、日長12時間、CO<sub>2</sub>濃度900ppm条件下で育苗後、9月27日に湛液水耕栽培装置に定植した。水耕栽培装置として、プラスチック製コンテナ（長さ65×幅40×高さ15cm）3つに200Lの液肥タンクを連結したものをを用いた。水位調節弁により、植物体が吸収した培養液を自動的に補充し、コンテナ内の水位が常に12cmを維持するようにした。1コンテナ当たり4個体を2条千鳥植えて定植した。各処理は4個体×3反復の計12個体としたが、両端の2個体はボーダーとして調査対象からは外した。栽植密度は約3.4plant m<sup>-2</sup>であった。主枝は摘心せず、すべての側枝を除去しながら、1本仕立てで誘引を行った。誘引の高さはベッドから1.7mとし、上段に達すると約30cmずつつ下のしを行った。また、最上位完全展開葉から第14葉以下の葉は定期的に摘葉し、重量を調査した。

培養液は、硝酸カリウム、硝酸カルシウム、硫酸マグネシウム、硫酸アンモニウムを用い、N、K、CaおよびMg濃度がそれぞれ8、4、4および2 me L<sup>-1</sup>になるようにした。リン濃度のみを異にして5処理区を設けた。培養液のリン濃度のみを変えるため、培養液のリン濃度が0.2、0.4、0.8、1.4および2.2 me L<sup>-1</sup>（以降、それぞれP0.2、P0.4、P0.8、P1.4およびP2.2とする）になるようにリン酸二水素カリウムを添加した。リン酸二水素カリウムの添加によって生じたカリウムの濃度差は塩化カリウムを用いて処理区を通じて同じ濃度になるように調整した。微量元素として大塚ハウス5号（大塚アグリテクノ株）を用いた。実験期間中、培養液の循環は行わず、コンテナの培養液は液肥タンクの培養液と混合されないようにした。コンテナの培養液は3日ごとに捨て、液肥タンクの培養液に更新した。定期的にコンテナ内の培養液を採取し、リン濃度の推移を調査した。また、

コンテナ内の培養液には24時間エアレーションを行った。栽培期間中、気温が25℃以上になると換気扇が稼働し、天窓、側窓が開くように、15℃以下になると温風暖房機が稼働するように設定した。室内の湿度およびCO<sub>2</sub>濃度は成り行きとした。

収穫調査では、100g前後に達した果実を収穫し、その重量を測定した。栽培は11月30日まで行い、栽培終了後にすべての株を解体し、生育調査および無機元素分析を行った。

収穫した果実および摘葉した葉について、それぞれの乾物率をもとに乾物重を算出し、栽培終了時の植物体の乾物重と合わせて総乾物生産量とした。

無機元素分析において炭素および窒素は炭素・窒素同時定量装置（MACRO CORDER JM1000CN, J-Science LAB Co.,Ltd）を用い、その他の元素は湿式灰化後、ICP発光分光分析装置（SPS7700, Seiko instruments Inc.）を用いて分析した。

培養液のリン濃度とリン吸収との関係を調べるため、定植後19、26、47、54および64日目に最上位完全展開葉から第7葉を採取し、葉柄汁液のリン濃度および葉のリン含有率を測定した。栽培終了時には株の部位別リン濃度を調べるために、上位葉（第1～5葉）、中位葉（第6～9葉）、下位葉（第10～14葉）に分け、それぞれの葉柄汁液のリン濃度および葉のリン含有率を測定した。葉柄汁液を用いた分析では、葉柄5gに水50mLを加えてホモジナイズした後、遠心分離し、上澄み液のリン濃度を定量した。葉のリン含量は、乾燥・粉碎した後、硝酸で湿式分解したもので定量した。いずれもリン濃度の定量にはバナド・モリブデン酸法（石塚、1985）を用い、分光光度計（U-3010, 日立）で測定した。

培養液のリン濃度による光合成への影響を調べるために、収穫開始期である定植後27日目に携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400, Li-Cor）を用い、個葉光合成速度を測定した。測定箇所は最上位完全展開葉から第6葉とした。加湿器でチャンバー内の湿度を70%程度に安定させ、CO<sub>2</sub>濃度400および1000 ppm、光合成光量子束密度（PPFD）1000および1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>の条件下で測定を行った。

## III 結 果

栽培期間中の各処理区におけるコンテナ内の培養液のリン濃度は、P0.2区では0.01～0.19、P0.4区では0.02～

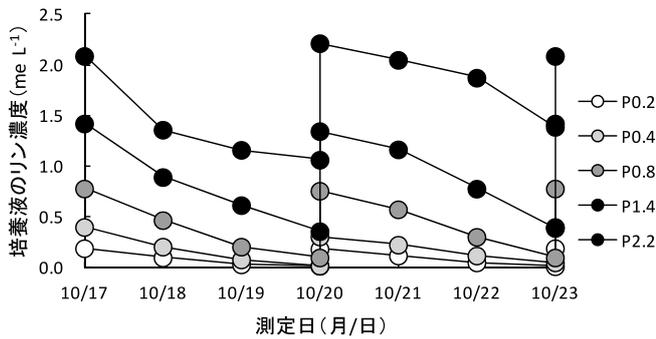


図-1 培養液のリン濃度の推移  
10月17, 20および23日に培養液を更新

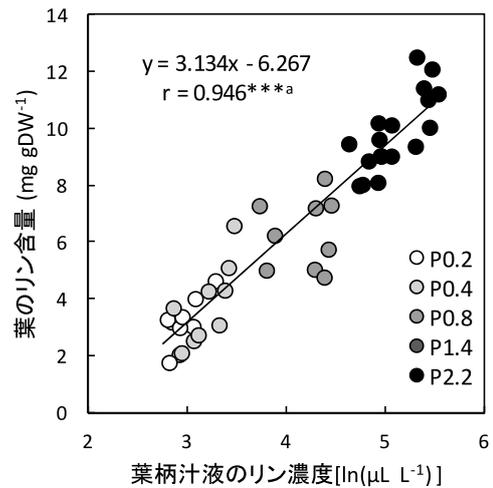


図-2 葉柄汁液のリン濃度と葉のリン含量との関係  
a r は相関係数, \*\*\* は 0.1% 水準で有意

表-1 培養液のリン濃度がキュウリの生育および収量に及ぼす影響

処理	茎長 (cm)	節数	雌花数 <sup>a</sup>	葉面積 (m <sup>2</sup> plant <sup>-1</sup> )	可販果収量 (gFW plant <sup>-1</sup> )	器官別乾物重(gDW plant <sup>-1</sup> )			
						根	茎	葉	果実
P0.2	375.8	33.3	9.0	0.29	422.8	13.0 (13.9 <sup>b</sup> )	14.6 (15.7)	49.3 (52.8)	16.4 (17.6)
P0.4	427.3	36.5	8.9	0.44	529.1	13.2 (10.7)	18.8 (15.3)	67.1 (54.5)	24.0 (19.5)
P0.8	403.4	36.7	8.3	0.51	484.5	13.1 (10.3)	20.9 (16.3)	72.4 (56.5)	21.8 (17.0)
P1.4	453.0	38.6	8.8	0.51	548.9	13.3 (8.8)	24.3 (16.2)	88.2 (58.7)	24.5 (16.3)
P2.2	444.6	38.8	8.8	0.52	656.5	14.0 (9.1)	24.2 (15.8)	86.6 (56.6)	28.1 (18.4)
r <sup>c</sup>	0.64	0.80	0.16	0.66	0.62	0.18	0.85	0.85	0.66
	** <sup>d</sup>	***	NS	**	*	NS	***	***	**

a 30節までの雌花数

b 全乾物重に対する割合(%)

c 培養液のリン濃度との相関係数

d NSは有意ではない, \*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5, 1, 0.1%水準で有意

0.40, P0.8区では0.10～0.78, P1.4区では0.36～1.42, P2.2区では1.06～2.21 me L<sup>-1</sup>の範囲で推移した(図-1)。

### 1 培養液のリン濃度と生育との関係

表-1に各処理区における収量および栽培終了時の生育調査の結果を示した。雌花数および根の乾物重を除いて、いずれの項目もリン濃度との間には有意な相関関係がみられ、特に葉および茎の乾物重における相関係数は高かった。培養液のリン濃度の低下に伴い、節数、葉面積、ならびに葉と茎の乾物重は有意に減少したが、P0.8区以下では大きく減少した。

培養液のリン濃度が高くなると、茎と葉の乾物重は顕著に増加し、相関係数はいずれも0.85と果実の0.66に比べて高かった。しかし、根では培養液のリン濃度による

影響は認められなかった。総乾物生産に対する器官別の乾物分配率を計算すると、葉および茎、ならびに果実では処理による変動は少なかったが、根への分配率では他の器官に比べて処理間の差が大きく、培養液のリン濃度が低下すると、根への乾物分配が増加する傾向にあった。

培養液のリン濃度が最も低かったP0.2区でも、栽培終了時までリンの欠乏によると考えられる症状はみられなかった。

### 2 培養液のリン濃度と葉柄汁液のリン濃度との関係

最上位完全展開葉から第7葉で定期的に測定した葉柄汁液のリン濃度と葉のリン含量との関係を図-2に示した。すべての処理区のデータで計算した結果、葉柄汁液のリン濃度の対数値と葉のリン含量の間には高い正

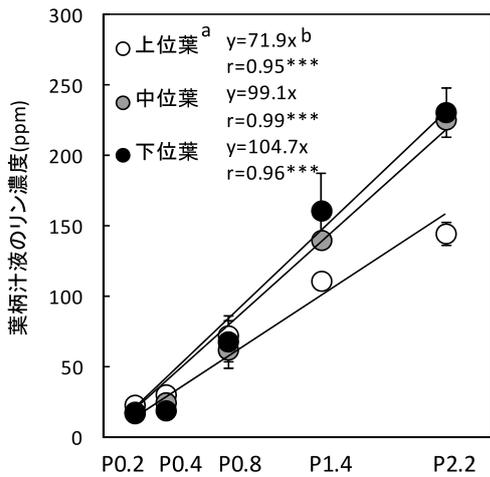


図-3 培養液のリン濃度と葉位別の葉柄汁液のリン濃度との関係

図中のエラーバーは標準誤差 (n = 3)

a 上位葉：最上位完全展開葉から第1～5葉，中位葉：第6～9葉，下位葉：第10～14葉

b 葉位ごとの関係式および相関係数，\*\*\*は0.1%水準で有意

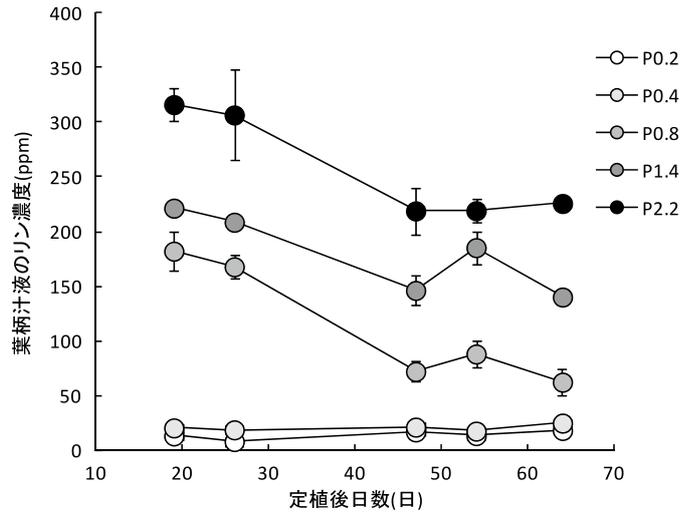


図-4 最上位完全展開葉から第7葉における葉柄汁液のリン濃度の推移

図中のエラーバーは標準誤差 (n = 3)

表-2 培養液のリン濃度が器官別元素含有量に及ぼす影響

器官	処理	C (mg gDW <sup>-1</sup> )	N (mg gDW <sup>-1</sup> )	P (mg gDW <sup>-1</sup> )	K (mg gDW <sup>-1</sup> )	Ca (mg gDW <sup>-1</sup> )	Mg (mg gDW <sup>-1</sup> )	Fe (μg gDW <sup>-1</sup> )	Mn (μg gDW <sup>-1</sup> )
葉	P0.2	366.1	65.7	2.3	36.1	21.5	6.9	39.4	20.2
	P0.4	346.7	63.4	3.4	43.2	26.4	7.9	42.6	24.6
	P0.8	350.6	65.2	7.4	48.9	30.1	7.4	26.7	21.1
	P1.4	349.8	64.3	14.2	47.3	31.2	8.2	29.1	24.8
	P2.2	344.3	62.9	19.8	44.5	38.0	9.3	27.2	25.6
茎	P0.2	379.8	45.6	1.8	36.6	11.4	2.6	10.8	5.0
	P0.4	376.7	41.0	2.8	45.8	11.0	2.8	8.9	4.6
	P0.8	371.3	41.3	8.0	53.4	10.2	2.3	17.6	3.4
	P1.4	363.2	39.1	15.2	53.9	10.5	2.3	10.6	4.6
	P2.2	366.9	38.0	19.7	54.4	11.0	2.5	11.2	4.1
根	P0.2	400.8	42.7	1.3	59.6	10.5	2.6	389.1	33.2
	P0.4	406.6	43.3	1.1	48.7	8.1	2.4	578.7	6.5
	P0.8	414.4	47.1	1.3	40.3	11.4	2.5	949.2	29.2
	P1.4	413.9	45.4	2.1	39.4	9.9	2.4	895.3	19.4
	P2.2	413.3	43.9	1.7	40.8	10.8	2.5	1208.7	21.7
r	葉	-0.55 <sup>a</sup> * <sup>b</sup>	-0.52 *	0.99 ***	0.46 NS	0.90 ***	0.81 ***	-0.34 NS	0.51 *
	茎	-0.78 ***	-0.81 ***	0.98 ***	0.77 ***	-0.17 NS	-0.36 NS	0.01 NS	-0.19 NS
	根	0.79 NS	0.79 *	0.98 NS	0.80 NS	0.91 NS	0.89 NS	0.51 NS	0.79 NS

a 培養液のリン濃度との相関係数

b NSは有意ではない，\*，\*\*，\*\*\*はそれぞれ5，1，0.1%水準で有意

の相関 (r = 0.946, P<0.0001) が認められ，葉柄汁液のリン濃度 (P<sub>Ps</sub>) と葉のリン含量 (P<sub>L</sub>) との関係は，次の回帰式で示すことができた。

$$P_L = 3.134 \times \ln(P_{Ps}) - 6.267 \quad \text{式1}$$

また，培養液と葉柄汁液のリン濃度の間にも高い正の相関があり，培養液のリン濃度が上昇すると，葉柄汁液

のリン濃度は直線的に上昇した（図-3）。しかし、採取した葉位によっては濃度に差があり、中位および下位葉に比べて第1～5葉の上位葉における葉柄汁液のリン濃度がP1.4および2.2区で低い傾向がみられた。

図-4に各処理区における定植後19, 26, 47, 54および64日目に採取した葉柄汁液のリン濃度を示した。収穫開始前である定植後19日目に採取した葉柄汁液に比べて収穫開始後の定植後47日目の葉柄汁液のリン濃度がP0.8区以上の処理で低かった。定植後54, 64日目に採取した葉柄汁液のリン濃度も定植後19日目の濃度に比べて低い傾向がみられた。

### 3 培養液のリン濃度と養分吸収との関係

表-2に培養液のリン濃度と器官別の元素含有量と

の関係を示した。根においては、Nを除いて培養液のリン濃度による影響はみられなかったが、葉および茎においては、培養液のリン濃度とN含有量との間には有意な負の相関関係が、P含有量との間には正の相関関係が認められた。さらに、葉においてはCaおよびMgの含有量と、茎においてはK含有量との間に正の相関関係が認められた。培養液のリン濃度が上昇すると、葉および茎のP含有量は著しく上昇し、P2.2区でそれぞれ19.8および19.7 mg gDW<sup>-1</sup>と最も高かった。

乾物重と無機元素含有量をもとに養分吸収量を算出すると、培養液のリン濃度と各元素の吸収量との間にはFeを除いたすべての元素で高い相関関係が認められた（表-3）。特にPの吸収量との間には極めて高い相関関係があった。培養液のリン濃度が上昇すると、いずれの

表-3 培養液のリン濃度が養分吸収量に及ぼす影響

処理	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
P0.2	36.4	5.3	0.2	4.1	1.5	0.5	0.011	0.001
P0.4	46.6	6.8	0.4	6.0	2.3	0.7	0.010	0.002
P0.8	48.3	7.3	0.8	6.7	2.7	0.7	0.012	0.002
P1.4	56.1	8.5	1.8	7.7	3.3	0.9	0.032	0.003
P2.2	56.9	8.4	2.4	7.7	3.9	1.0	0.018	0.002
r <sup>a</sup>	0.79	0.79	0.98	0.80	0.91	0.89	0.51	0.79
	***b	***	***	***	***	***	NS	***

a 培養液のリン濃度との相関係数

b NSはNonsignificant, \*\*\*は0.1%水準で有意な相関あり

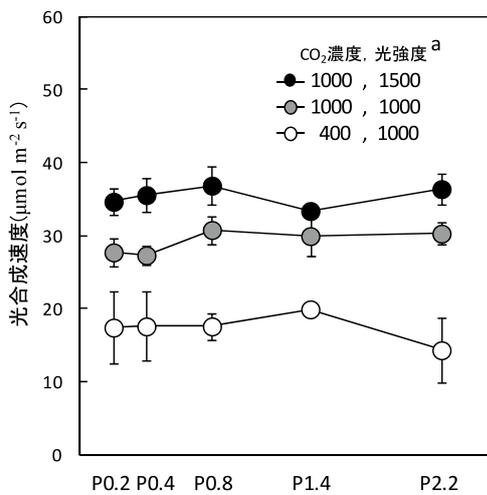


図-5 培養液のリン濃度と個葉光合成速度との関係

図中のエラーバーは標準誤差 (n = 6)

a 光合成測定条件：CO<sub>2</sub>濃度 (ppm), 光強度 (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)

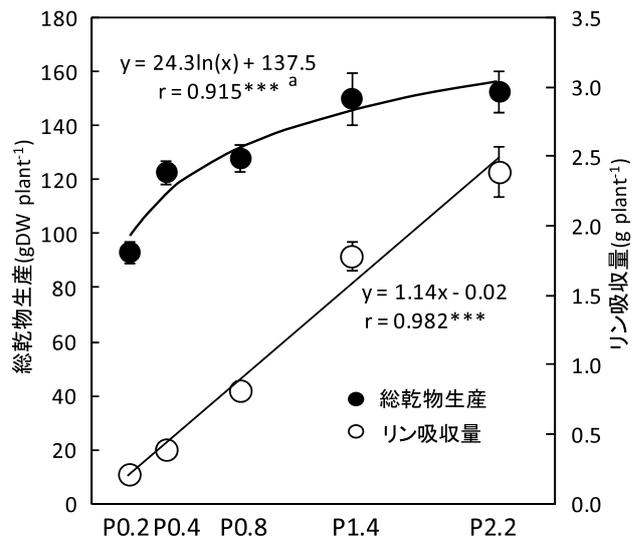


図-6 培養液のリン濃度と総乾物生産およびリン吸収量との関係

図中のエラーバーは標準誤差 (n = 10)

a rは相関係数, \*\*\*は0.1%水準で有意

多量元素の吸収量は上昇したが、N、KおよびMgではP1.4区以上で増加傾向は緩慢になった。

#### 4 培養液のリン濃度と光合成との関係

定植後27日目の最上位完全展開葉から第6葉でCO<sub>2</sub>濃度および光強度を変え、個葉の光合成速度を測定した(図-5)。光合成速度はCO<sub>2</sub>濃度や光強度によって変動したが、培養液のリン濃度の影響はなかった。光合成速度は、CO<sub>2</sub>濃度1000ppm、光強度1500μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>条件下で35μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>前後で、CO<sub>2</sub>濃度400ppm、光強度1000μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>条件下で15μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>前後であった。

### IV 考察

キュウリのリン吸収や生育は培養液のリン濃度によって左右され、培養液のリン濃度が高くなると、植物体のリン含量および総乾物重は増加したが、総乾物重については1.4 me L<sup>-1</sup>以上のリン濃度での増加は大きくなかった(表-3、図-6)。一方、培養液のリン濃度が常に0.8 me L<sup>-1</sup>より低かったP0.8区以下の処理において、葉面積や葉および茎の乾物重、ならびにN、Kの吸収量が著しく低下する傾向があった。すなわち、培養液の低リン条件によって生育や養分吸収が抑制されないようにするためには、培養液のリン濃度は0.8 me L<sup>-1</sup>以上に保つ必要があると考えられる。

器官別の乾物分配率をみると、培養液のリン濃度が低下するにつれて、根への乾物分配率が著しく上昇した。これはリン獲得のための根の生理反応によって根への乾物分配が増加した結果であると考えられ、リン欠乏条件下で根への乾物分配率が上昇するといった報告(Zhangら, 2012; Cakmakら, 1994; Ciereszko・Kleczkowski, 2002)と同様の結果であった。

本研究では、リンの低濃度区でもリン欠乏と考えられる症状は確認できず、光合成速度の低下もみられなかった。体内のリン濃度が低下すると、光合成活性が抑制され、光合成速度の低下につながるとされているが(Sawadaら, 1982, 1990; Sharkeyら, 1989)、リン欠乏による光合成抑制に関する研究では、処理としてリンを供給しないか、あるいは培養液のリン濃度が0.2 me L<sup>-1</sup>以下で栽培を行った事例が多い。本研究では、吸収によって減少した培養液は常に補給されるようになっており、3日ごとに培養液が更新されたため、欠乏症が出難い条件であったと考えられるが、本研究でのP0.2区

の葉、茎、根のリン含量がそれぞれ0.23, 0.18, 0.13%であったことから、これ以上の含量であれば光合成は抑制されないことを示唆している。しかし、培養液のリン濃度の低下とともに、節数および葉面積は著しく制限された。これによって、個葉の光合成速度に処理間差は認められなかったものの、栽培期間を通じて積算受光量が減少した結果、総乾物生産量が制限されたと考えられる。

定植後64日間の栽培において、培養液のリン濃度(P<sub>N</sub>, me L<sup>-1</sup>)は、リン吸収量(P<sub>A</sub>, g plant<sup>-1</sup>)および総乾物生産量(TDW, g plant<sup>-1</sup>)の間にはそれぞれ高い相関関係が認められたが(図-6)、リン吸収量との間には直線的な相関(r = 0.982, P < 0.0001)が、総乾物生産量との間には曲線的な相関(r = 0.915, P = 0.0002)があり、それぞれ次の回帰式の関係であった。

$$P_A = 1.14 \times P_N - 0.02 \quad \text{式 2}$$

$$TDW = 24.35 \times \ln(P_N) + 137.49 \quad \text{式 3}$$

例えば、キュウリのリン吸収量が0.2から1.2 g plant<sup>-1</sup>に増えると、総乾物生産量は97.4から139.1 g plant<sup>-1</sup>と約43%増加するが、リン吸収量が1.2から2.2 g plant<sup>-1</sup>に増えても、総乾物生産量は139.1から153.7 g plant<sup>-1</sup>と約10%しか増えない計算になる。このように、リンの供給量を増やせば、いわゆる贅沢吸収によってリン吸収量は直線的に増加するが、物質生産の増加は緩慢になっていくと考えられる。

養液栽培においてキュウリやトマト、ナス、ピーマンなど果菜類で用いられる処方では、培養液のリン濃度は2~5 me L<sup>-1</sup>が一般的である(日本施設園芸協会・日本養液栽培研究会, 2012)ことを考えると、本研究で用いたリン濃度は低い範囲であると言えるが、乾物生産の観点から考えると、培養液のリン濃度が1.4 me L<sup>-1</sup>以上ではリンの施用効率を高める効果は少ないと考えられる。

0.2~2.2 me L<sup>-1</sup>のリン濃度条件下では葉柄汁液のリン濃度と葉のリン含量の間には有意な相関関係があり、低リン濃度管理下でのリンの栄養診断として葉柄汁液分析値の有効性が示唆された。また、リンは他の無機元素に比べて体内での移動が容易で部位別の濃度差が少ないと考えられるが、本研究の結果、葉位や生育ステージによって濃度差が生じることが示された。

葉柄汁液診断の対象を最上位完全展開葉から第7葉にした場合、収穫開始から実験終了までP0.8区の葉柄汁液のリン濃度は62.4~88.2 ppmで推移した。前述したように、生育、養分吸収ならびに総乾物生産の観点から、培養液のリン濃度を0.8 me L<sup>-1</sup>以上に保つことが必要であれば、葉柄汁液のリン濃度は90 ppm以上に維

持するような管理が望ましいと考えられる。しかし、低温期や高CO<sub>2</sub>環境、他の無機元素の濃度などによっては変動の可能性が考えられ、更なる検討が必要である。

培養液のリン濃度を0.2～2.2 me L<sup>-1</sup>とした実験を通して、低リン条件下でのキュウリの生育やリンの吸収および乾物生産の関係から、リンの減肥の可能性や葉柄汁液を用いた診断基準が示された。トマトの窒素施用に関しては、生育ステージに合わせて必要な施肥量を週などの単位で与えることで施肥量を節減し、環境負荷を低減する研究が進んでおり（Matsudaら、2011；Nakanoら、2010）、キュウリにおけるリン施用においても、省資源技術の確立のため、今後、施肥体系の見直しや詳細な量管理方法の検討が必要であると考えられる。

## V 摘 要

養液栽培および葉柄汁液診断の手法を利用し、低リン条件下でのキュウリの生育反応やリンの吸収および物質生産について評価した。培養液のリン濃度を0.2, 0.4, 0.8, 1.4, 2.2 me L<sup>-1</sup>と異にし、定植後64日間、湛液水耕栽培を行った。培養液のリン濃度と植物体のリン吸収量（ $r = 0.982$ ）および総乾物生産（ $r = 0.915$ ）の間には、それぞれ高い相関があったが、培養液のリン濃度が1.4 me L<sup>-1</sup>以上では、総乾物重の増加傾向はみられなかった。0.8 me L<sup>-1</sup>以下の低リン区では、生育や葉面積、養分吸収が制限され、総乾物重は大きく減少した。葉柄汁液のリン濃度（P<sub>PS</sub>）と葉のリン濃度（P<sub>L</sub>）の間には、 $P_L = 3.134 \times \ln(P_{PS}) - 6.267$ で示される有意な相関関係（ $r = 0.946$ ）が認められた。一方、培養液のリン濃度の増加に伴い、葉柄汁液のリン濃度は直線的に上昇した。

本研究の生育および養分吸収の結果から、乾物生産を維持するためには、培養液のリン濃度を約0.8 me L<sup>-1</sup>以上とし、葉柄汁液のリン濃度を約90 ppm以上に保つ管理が望ましいと考えられた。しかし、培養液のリン濃度が1.4 me L<sup>-1</sup>以上では、リンの施用効率を高める効果は少ないと考えられた。

## 引用文献

- 1) Cakmak I., C. Hengeler and H. Marschner (1994): Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J. Exp. Bot.*, 45, 1245-1250.
- 2) Ciereszko I. and L. A. Kleczkowski (2002): Growth and metabolism of cucumber in phosphate-deficient conditions. *J. Plant Nutr.*, 25, 1115-1127.
- 3) Hochmuth G. J. (1994): Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *HortTechnology*, 4, 218-222.
- 4) 石塚潤爾 (1985): 最新作物生理実験法、無機成分の測定法, pp281-283. 農業技術協会, 東京.
- 5) 小原 洋・中井 信 (2004): 農耕地土壌の可給態リン酸の全国変動. 農耕地土壌の特性変動 (II). 土肥誌, 75, 59-67.
- 6) 小宮山鉄兵・藤澤英司・新妻成一・加藤雅彦・森国博全 (2009): 隔離床栽培における土壌可給態リン酸含量がトマトの養分吸収に与える影響. 土肥誌, 80, 516-521.
- 7) 黒田章夫・滝口 昇・加藤純一・大竹久夫 (2005): リン資源枯渇の危機予測とそれに対応したリン有効利用技術開発. 環境バイオテクノロジー学会誌, 4, 87-94.
- 8) Matsuda R., K. Suzuki, Y. Nakano, H. Sasaki and M. Takaichi (2011): Nutrient supply and fruit yields in tomato rockwool hydroponics under daily quantitative nutrient management: Analysis and evaluation based on leaf area index. *J. Agric. Meteorol.*, 67, 117-126.
- 9) Nakano Y., H. Sasaki, A. Nakano, K. Suzuki and M. Takaichi (2010): Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, 79, 47-55.
- 10) 尾和尚人 (1996): わが国の農作物の養分収支. 平成8年度関東東海農業環境調和型農業生産における土壌管理技術に関する第6回研究会 養分の効率の技術の新たな動向, pp1-15. 農業研究センター, つくば.
- 11) Sawada S., T. Igarashi and S. Miyachi (1982): Effects of nutritional levels of phosphate on photosynthesis and growth studied with single, rooted leaf of dwarf bean. *Plant Cell Physiol.*, 23, 27-33.
- 12) Sawada S., H. Usuda, Y. Hasegawa and T. Tsukui (1990): Regulation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity in response to changes in the source/sink balance in single-rooted soybean leaves: The role of inorganic orthophosphate in activation of the enzyme. *Plant Cell Physiol.*, 31, 697-704.
- 13) Schachtman D. P., R. J. Reid and S. M. Ayling (1998): Phosphorus uptake by plants: From soil to cell. *Plant Physiol.*, 116, 447-453.
- 14) Sharkey T. D. and P. J. Vanderveer (1989): Stromal phosphate concentration is low during feedback limited photosynthesis. *Plant Physiol.*, 91, 679-684.
- 15) von Caemmerer S. and G. D. Farquhar (1981): Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, 153, 376-387.
- 16) 渡辺和彦 (2009): ミネラルの働きと作物の健康—要素障害対策から病害虫防除まで, pp26-37. 農文協, 東京.
- 17) 山崎晴民・六本木和夫 (2006): 葉柄汁液の無機リンを指標としたキュウリの栄養診断. 土肥誌, 77, 691-694.
- 18) Zhang B., Q. Chen, S. Luo, C. Zhang, Q. Yang and K. Liu (2012): Effects of NPK deficiencies on root architecture and growth of cucumber. *Int. J. Agric. Biol.*, 14, 145-148.
- 19) 日本施設園芸協会・日本養液栽培研究会 (2012): 日本養液栽培のすべて—植物工場を支える基本技術, pp64-69. 誠文堂新光社, 東京.

1) Cakmak I., C. Hengeler and H. Marschner (1994): Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J. Exp. Bot.*, 45,

# Influence of Phosphorus Concentration in the Nutrient Solution on the Growth and Phosphorus Absorption of Hydroponic Cucumber

Dong-Hyuk Ahn, Yasunaga Iwasaki, Yasushi Kawasaki,  
Tadahisa Higashide, Akimasa Nakano and Katsumi Suzuki

## Summary

We used hydroponic culture and performed a leaf petiole sap test to study the influence of low phosphorus (P) availability on the growth, nutrient uptake, and dry matter production of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plants were grown by the deep-flow technique for 64 days after transplanting, using nutrient solutions with different P levels (0.2, 0.4, 0.8, 1.4, or 2.2 meq L<sup>-1</sup>). The P concentration in the nutrient solution was strongly and significantly correlated with P absorption ( $r = 0.982$ ) and total dry matter ( $r = 0.915$ ). There was a linear correlation between the P level in the nutrient solution and P absorption. However, the increase in total dry matter in response to the P level in the nutrient solution exhibited a peak, with no additional increase of total dry matter at a P concentration of 1.4 meq L<sup>-1</sup> or more. For plants grown with a low P level ( $\leq 0.8$  meq L<sup>-1</sup>), dry matter production was significantly reduced compared with growth in other treatments because of decreased leaf area development and decreased nutrient uptake. There was a strong and significant correlation ( $r = 0.946$ ) between the P concentrations in the leaf petiole sap ( $P_{PS}$ ) and in the leaves ( $P_L$ ):

$$P_L = 3.134 \times \ln(P_{PS}) - 6.267$$

$P_{PS}$  increased linearly with increasing P level in the nutrient solution. These results suggest that to sustain dry matter production, the P concentrations in the nutrient solution and the leaf petiole sap should be maintained at  $\geq 0.8$  meq L<sup>-1</sup> and  $\geq 90\mu\text{L L}^{-1}$ , respectively. However, at a P concentration in the nutrient solution higher than 1.4 meq L<sup>-1</sup>, the P fertilization efficiency decreases.

# Light Transmission of a Greenhouse (NARO Tsukuba Factory Farm) Built to Meet Building and Fire Standards

Tadahisa Higashide, Takahiro Oshio<sup>\*</sup>, Tsunaki Nukaya<sup>\*\*</sup>, Ken-ichiro Yasuba<sup>\*\*\*</sup>,  
Akimasa Nakano, Katsumi Suzuki<sup>\*\*\*\*</sup>, Hiromi Ohmori<sup>\*\*\*\*\*</sup> and So Kaneko

(Accepted; September 26, 2013)

## I Introduction

Crop yield depends on light interception by plants (Cockshull et al., 1992; Scholberg et al., 2000) and light use efficiency (LUE; dry matter production per intercepted light) (Higashide and Heuvelink, 2009). Light interception by plants is determined by plant conditions (leaf area index and light extinction coefficient), and by light level in a greenhouse. Light level in a greenhouse is lower than outside on account of the structural materials, which determine light transmission, one of the most important factors for greenhouse vegetable production. Researchers have experimented with greenhouse structures and covering materials (Baeza and López, 2012; Critten, 1993; von Elsner et al., 2000a, b), increasing light transmission to 80% in the Netherlands (Hemming et al., 2011).

Factory farms have been gaining ground in Japan through government support. Some have been built in urban zones, where they must meet building and fire standards (Hasegawa, 2013). To meet earthquake-resistance standards, they must incorporate sturdy frames. To meet fire standards, they may be covered in glass instead of plastic, thereby needing even sturdier frames. Such massive structural elements decrease light transmission (Kozai, 1974). The NARO Tsukuba factory farm, which incorporates a large controlled greenhouse for vegetable production, was built to meet these standards in 2011 (Nakano et al., 2012). We measured its light transmission in this study.

## II Materials and Methods

The experiment was conducted on the Tsukuba factory farm of the National Agriculture and Food Research Organization (NARO, Tsukuba, Japan; 140.1024782°E, 36.0285626°N). The greenhouse (40.5 m width, 63 m length, 2552 m<sup>2</sup> area, 5.1 m eave height) is covered with ethylene tetrafluoroethylene film (F-clean GR diffused type, AGC Greentech, Tokyo, Japan) on the roof and with glass on the walls. To accommodate several hydroponic systems and crops (Nakano et al., 2012), it is divided with film into two large (18 m × 18 m = 324 m<sup>2</sup>) and eight small compartments (9 m × 18 m = 162 m<sup>2</sup>) (Fig. 1). The roof is supported by steel H-beams (250 mm × 125

---

Vegetable Production Technology Division

3-1-1, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8666, Japan

\* Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University

\*\* Daisen

\*\*\* Okayama University

\*\*\*\* Senior Coordinator of Vegetable Research

\*\*\*\*\* Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

mm) set every 3 m in the north-south direction and 9 m in the east-west direction, which are connected by roof trusses made from T-beams (100 mm × 100 mm), L-beams (50 mm × 50 mm), and square pipe (50 mm × 50 mm) (Fig. 2). Shade screens are hung just below the trusses at 3-m intervals (200 mm wide when furled), and ribs (30 mm wide) hold the film together every 50 cm. Gutters (300 mm wide) are mounted in every valley.

We measured solar radiation in the horizontal plane inside the greenhouse (at 4.3 m height) and outside with 13 pyranometers (PCM-01(L), Prede, Tokyo, Japan; LI-200, Li-Cor, Lincoln, NE, USA), and readings were recorded by a datalogger (GL-220, Graphtech, Yokohama, Japan) every 1 min. The solar radiation outside above the greenhouse was also measured and recorded by a Ubiquitous Environmental Control System (Stella Green, Osaka, Japan) every 1 min. The sensors were calibrated against a pre-calibrated pyranometer (SR11, Hukse Flux, Delft, The Netherlands;  $r^2 = 0.99$  in all regressions) from 22 to 26 December 2011.

With the shade screens furled, we measured the solar radiation for five days at six points each in compartments N4 and S4 of the greenhouse (8–12 March 2012) and at four points each in compartments N1 (21–25 February) and S2 (14–19 February) (Fig. 3). Each measurement period included both clear and rainy days. The daily cumulative solar radiation was 2.1–14.2 MJ·m<sup>-2</sup> on 8–12 March, 1.1–14.4 MJ·m<sup>-2</sup> on 21–25 February, and 2.5–14.6 MJ·m<sup>-2</sup> on 14–19 February.

The light transmission ( $T_r$ ) at each point was derived from the radiation at each point inside ( $R_i$ ) and outside ( $R_o$ ) as:

$$T_r = R_i / R_o \quad (1)$$

To avoid errors caused by the low sensitivity of the sensors at low radiation levels, we excluded data before 08:00 and after 16:00 ( $n = 481$ ).

To obtain the light components inside the greenhouse, we divided the data between periods when each point was or was not shaded by the frames of the greenhouse on cloudless days (Fig. 4). With  $L_u$  as the transmission at unshaded points (due to both direct and diffuse light) and  $L_s$  as that at shaded points (due to diffuse light), the transmission due to direct light,  $L_d$ , was calculated as:

$$L_d = L_u - L_s \quad (2)$$

We estimated the light components in N4 and S4 on

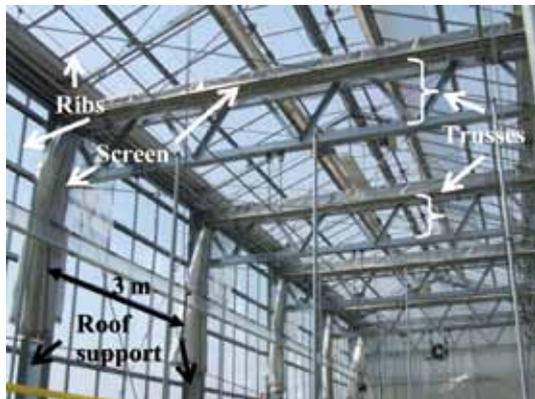


Fig. 2 Internal structure of the greenhouse. See text for description.

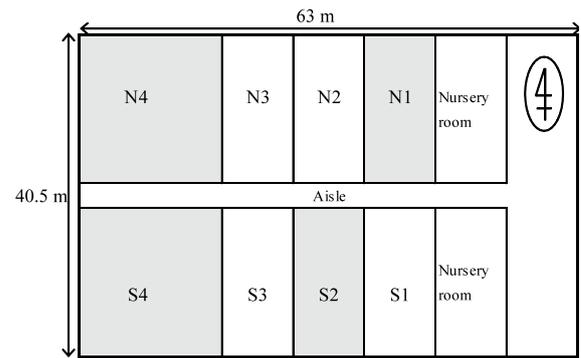


Fig.1 Plan of NARO Tsukuba greenhouse. Compartments N4, S4, S2, and N1 were used for this experiment.

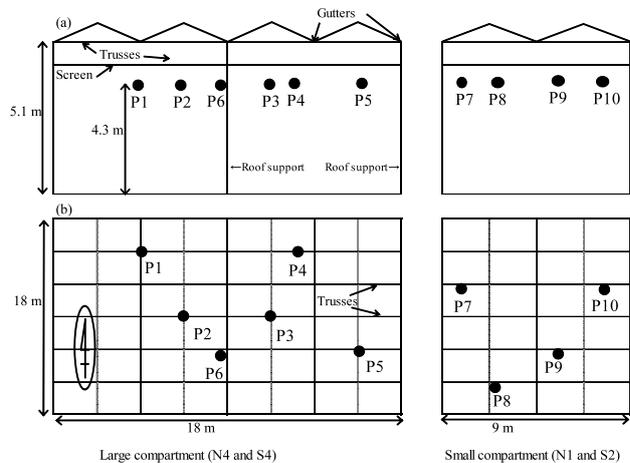


Fig.3 Measurement points in the large (N4, S4) and small (N1, S2) compartments. (a) Side view. (b) Plan view.

12 March ( $n = 35$ –127), in N1 on 21 February ( $n = 67$ –111), and in S2 on 19 February ( $n = 49$ –92).

We also estimated the light attenuation in the greenhouse due to the covering film and ribs ( $A_c$ ) and to the structural frames ( $A_s$ ) as:

$$A_c = 1 - L_u \quad (3)$$

$$A_s = L_u - T_a \quad (4)$$

where  $T_a$  = daily average transmission at the measurement point.

### III Results and Discussion

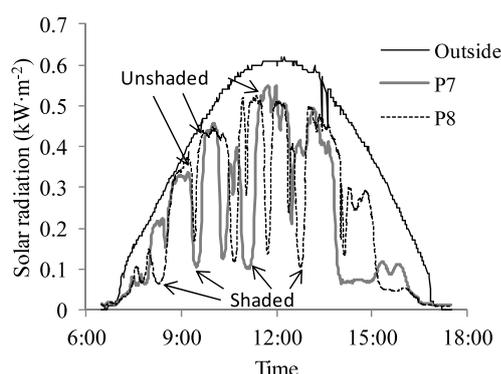


Fig. 4 Solar radiation outside and at points P7 and P8 in compartment S2 on a clear day (21 February 2012) at shaded and unshaded times [Eqn. 2].

In the large compartments, the light transmission was higher at pyranometers P3, P4, and P5 in N4 (0.50–0.75) and at P2, P3, and P5 in S4 (0.48–0.74) than at the other points (Table 1). The transmission at P6 was much lower than at the other points in both compartments on account of the support and the gutter above (Figs. 2, 3). As crops are not planted immediately beneath P6, we calculated the average transmission in each compartment without P6. Although both N4 and S4 faced outside to the west but inside to the east, the transmission on the western side of each compartment (P1, P2) was the same as or slightly lower than that on the eastern side (P3, P4,

Table 1 Light transmission measured at 6 points in the large compartments (N4 and S4), and solar radiation outside, from 08:00 to 16:00 for 5 days.

Compartment	Position	Transmission <sup>2</sup> from 08:00 to 16:00 (W·m <sup>-2</sup> ·W <sup>-1</sup> ·m <sup>2</sup> )					Average for 5 d						
		8-May	9-May	10-May	11-May	12-May							
N4	P1	0.40	b <sup>y</sup>	0.45	b	0.41	b	0.41	a	0.54	ab	0.44	ab
	P2	0.45	c	0.49	c	0.47	c	0.50	b	0.63	c	0.51	b
	P3	0.50	de	0.52	c	0.51	d	0.59	d	0.75	d	0.57	b
	P4	0.51	e	0.66	d	0.52	d	0.53	bc	0.62	bc	0.57	b
	P5	0.51	e	0.65	d	0.51	d	0.56	cd	0.73	d	0.59	b
	P6	0.26	a	0.20	a	0.30	a	0.38	a	0.46	a	0.32	a
	Average P1-5	0.48		0.55		0.48		0.52		0.65		0.54	
S4	P1	0.43	b	0.49	b	0.44	b	0.44	a	0.57	ab	0.47	ab
	P2	0.50	de	0.56	c	0.51	d	0.56	c	0.73	c	0.57	b
	P3	0.50	e	0.54	c	0.51	d	0.55	c	0.73	c	0.57	b
	P4	0.48	c	0.60	d	0.49	c	0.49	b	0.60	b	0.53	b
	P5	0.48	cd	0.59	d	0.49	c	0.54	c	0.74	c	0.57	b
	P6	0.31	a	0.27	a	0.34	a	0.41	a	0.49	a	0.37	a
	Average P1-5	0.48		0.56		0.49		0.52		0.67		0.54	
Outside solar radiation (MJ·m <sup>-2</sup> ·day <sup>-1</sup> )		5.4		2.1		4.6		11.2		14.2		7.5	

<sup>2</sup> Daily average of transmission ( $Tr = R_i$  (radiation at each point) /  $R_o$  (outside solar radiation) [Eqn. 1]) measured at 1-min intervals on 8–12 May 2012.

<sup>3</sup> Values within a column followed by the same letter do not differ significantly within a compartment ( $P < 0.05$ ; ANOVA followed by Tukey's multiple-comparison test;  $n = 481$  [daily] or 5 [5-d average]).

P5). This is unlikely to be due to outside influences, since we measured the radiation at 4.3 m height (whereas differences are more likely at floor level, on account of the lowering western sun in the evening). The overall daily average transmission at P1–5 over the five days was the same (0.54) in N4 and S4. The daily solar radiation was not significantly correlated with transmission.

Although the outside solar radiation on a cloudless day (21 February 2012) suggested a bell curve, the inside radiation at points P7 and P8 in S2 fluctuated wildly between peaks and troughs, indicating an alternation between full illumination and shading caused by the structural frames and their interaction with the sun at different angles (Fig. 4). The radiation at the peaks was due to both direct and diffuse light. The radiation at the troughs was due to diffuse light. This pattern was apparent at all points in all compartments, though it differed in the occurrence and degree.

In the large compartments on a cloudless day (12 May 2012), the transmission of direct light ( $L_d$ ) averaged 0.65–0.67 (P1–5) (Table 2). The transmission of direct + diffuse light ( $L_u$ ) was lower at P6 than at the other points, on account of the support and the gutter above (Fig. 3). The transmission of diffuse light ( $L_s$ ) averaged 0.21–0.23 (P1–5). The attenuation by film and ribs ( $A_c$ ) was lower at P2 and P3 (0.05–0.09) than at the other points, and was higher at P6.  $A_c$  averaged 0.11–0.12 (P1–5). The attenuation by structural frames ( $A_s$ ) was higher than  $A_c$  at each point, and averaged 0.21–0.23 (P1–5). These results indicate that the frames blocked twice as much light as the film and ribs.

In the small compartments, the light transmission was slightly higher at P8 and P9 (Table 3). As in the large compartments (Table 2),  $L_u$  reached 0.90, and averaged 0.85–0.87. In N1,  $L_s$  averaged 0.23 and  $L_d$  averaged 0.62. In S2,  $L_s$  averaged 0.19 and  $L_d$  averaged 0.67.  $A_c$  averaged 0.13–0.15, and  $A_s$  averaged 0.28–0.30. The values of light transmission were slightly higher in S2 (14–19 February) than in N1 (21–25 February).

Table 2 Light components (transmission of diffuse light,  $L_s$ ; of direct + diffuse light,  $L_u$ ; and of direct light,  $L_d$ ) and attenuation by film and ribs ( $A_c$ ) and by structural frames ( $A_s$ ) at 6 points in the large compartments (N4 and S4) on a cloudless day (12 May 2012).

Compartment	Position	Light components <sup>z</sup> (W·m <sup>-2</sup> ·W <sup>-1</sup> ·m <sup>2</sup> )			Attenuation ratio <sup>y</sup> (W·m <sup>-2</sup> ·W <sup>-1</sup> ·m <sup>2</sup> )		
		$L_s$	$L_u$	$L_d$	$A_c$	$A_s$	
N4	P1	0.22	a <sup>x</sup> 0.82	b	0.61	0.18	0.28
	P2	0.21	a 0.92	e	0.71	0.08	0.29
	P3	0.23	ab 0.93	e	0.70	0.07	0.18
	P4	0.25	bc 0.86	c	0.61	0.14	0.24
	P5	0.26	c 0.89	d	0.62	0.11	0.16
	P6	0.23	ab 0.74	a	0.51	0.26	0.28
	Average P1–5	0.23	0.88	0.65	0.12	0.23	
S4	P1	0.20	b 0.83	b	0.63	0.17	0.26
	P2	0.21	b 0.91	c	0.69	0.09	0.17
	P3	0.21	b 0.95	d	0.74	0.05	0.22
	P4	0.22	b 0.84	b	0.62	0.16	0.25
	P5	0.22	b 0.89	c	0.67	0.11	0.16
	P6	0.18	a 0.71	a	0.53	0.29	0.22
	Average P1–5	0.21	0.89	0.67	0.11	0.21	

<sup>z</sup> Average transmission at shaded ( $L_s$ ) and unshaded ( $L_u$ ) points;  $L_d = L_u - L_s$  [Eqn. 2].

<sup>y</sup>  $A_c = 1 - L_u$  [Eqn. 3];  $A_s = L_u - T_u$  (daily average transmission) [Eqn. 4].

<sup>x</sup> Values within a column followed by the same letter do not differ significantly within a compartment ( $P < 0.05$ ; ANOVA followed by Tukey's multiple-comparison test;  $n = 35-127$ ).

Table 3 Average light transmission over 5 days, light components (transmission of diffuse light,  $L_s$ ; of direct + diffuse light,  $L_u$ ; and of direct light,  $L_d$ ), and attenuation by film and ribs ( $A_c$ ) and by structural frames ( $A_s$ ) on cloudless days at 4 points in the small compartments (N1 and S2).

Compartment	Position	Transmission <sup>z</sup> ( $W \cdot m^{-2} \cdot W^{-1} \cdot m^2$ )	Light components <sup>y</sup> ( $W \cdot m^{-2} \cdot W^{-1} \cdot m^2$ )			Attenuation ratio <sup>x</sup> ( $W \cdot m^{-2} \cdot W^{-1} \cdot m^2$ )	
			$L_s$	$L_u$	$L_d$	$A_c$	$A_s$
N1	P7	0.48 a <sup>w</sup>	0.21 a	0.80 a	0.59	0.20	0.27
	P8	0.52 a	0.26 b	0.85 b	0.59	0.15	0.27
	P9	0.57 a	0.26 b	0.90 c	0.64	0.10	0.29
	P10	0.48 a	0.19 a	0.85 b	0.66	0.15	0.35
	Average P7-10	0.51	0.23	0.85	0.62	0.15	0.30
S2	P7	0.57 a	0.18 a	0.89 b	0.71	0.11	0.32
	P8	0.60 a	0.21 c	0.89 b	0.68	0.11	0.26
	P9	0.60 a	0.20 bc	0.88 b	0.68	0.12	0.26
	P10	0.55 a	0.19 ab	0.81 a	0.62	0.19	0.28
	Average P7-10	0.58	0.19	0.87	0.67	0.13	0.28

<sup>z</sup> Average transmission ( $T_i = R_i$  (radiation at each point) /  $R_o$  (outside solar radiation) [Eqn. 1]) measured at 1-min intervals during 08:00–16:00 for 5 days.

<sup>y</sup> Average transmission at shaded ( $L_s$ ) and unshaded ( $L_u$ ) points on 19 Feb (N1) or 21 Feb (S2) 2012;  $L_d = L_u - L_s$  [Eqn. 2].

<sup>x</sup>  $A_c = 1 - L_u$  [Eqn. 3];  $A_s = L_u - T_a$  (daily average transmission) [Eqn. 4].

<sup>w</sup> Values within a column followed by the same letter do not differ significantly within a compartment ( $P < 0.05$ ; ANOVA followed by Tukey's multiple-comparison test;  $n = 5$  [transmission], 67–111 [N1], or 49–92 [S2]).

The proportion of diffuse light increases as solar elevation angle decreases (Papadakis et al., 1998). Uchijima et al. (1976) measured the proportion in a greenhouse covered with PVC film as ca. 30% in Japan. We measured  $L_s$  as ca. 20% (Tables 2, 3), but the proportion is influenced by covering materials, latitude, solar elevation angle, and weather conditions (Kozai, 1977; Kurozumi and Kawashima, 1979).

Light transmission of greenhouses has improved (Critten, 1993; von Elsner et al., 2000a, b), reaching ca. 80% in The Netherlands (Hemming et al., 2011). In contrast, the value in the NARO Tsukuba greenhouse is still <60% (Tables 1, 3), similar to previously reported values in Japan (Kurata, 1994). These numbers indicate that crops in the NARO Tsukuba greenhouse receive at most 3/4 of the light in the Dutch greenhouse at the same outside light intensity. This lower light intensity will compromise crop yields (Cockshull et al., 1992; Higashide et al., 2012a, 2012b; Higashide and Heuvelink, 2009; Scholberg et al., 2000). The main cause of light attenuation in the NARO Tsukuba greenhouse was shading by the structural frames (Tables 2, 3). To improve light transmission of this greenhouse, we should give priority to improving the structure rather than the covering materials (Baeza and López, 2012). The number and size of the frames should both be decreased while still meeting earthquake standards. Alternatively, zoning provisions could be made to provide exceptions (i.e., different construction standards) for greenhouses.

Our results show that the light transmission of the greenhouse built to meet building and fire standards was only 50%–60%. The structural frames blocked >20%–30% of the light, and the film and ribs blocked >10%–15% on a cloudless day. Improvements to the frames retaining their structural strength could increase light transmission. Differences in transmission between compartment sizes and facing-orientations were minor.

## Summary

We investigated light transmission in the NARO Tsukuba greenhouse, which was built to meet building and fire standards. Solar radiation was measured outside and inside large and small north- or south-facing compartments in February and March 2012. Light transmission averaged only 50%–60%. Differences in transmission between large and small compartments and between north- and south-facing compartments were minor. Measurement of light intensity during shaded and unshaded periods on cloudless days indicated that diffuse light accounted for >20% of transmitted light and direct light accounted for 60%–70%. Film and ribs blocked 10%–15% of the light, and the structural frames blocked 20%–30%. Improvements to the structural frames retaining their structural strength could increase light transmission in this greenhouse.

## Literature Cited

- 1) Baeza, E. and J.C. López (2012): Light transmission through greenhouse covers. *Acta Hort.*, **956**, 425-440.
- 2) Cockshull, K.E., C.J. Graves and C.R.J. Cave (1992): The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.*, **67**, 11-24.
- 3) Critten, D.L. (1993): A review of the light transmission in to greenhouse crops. *Acta Hort.*, **328**, 9-31.
- 4) Hasegawa, T. 2013. Introduction to the Building Standard Law - Building regulation in Japan. 1-212. Building Center of Japan, Tokyo.
- 5) Hemming, S., F.L.K. Kempkes and V. Mohammadkhani (2011): New glass coatings for high insulating greenhouses without light losses-energy saving, crop production and economic potentials. *Acta Hort.*, **893**, 217-226.
- 6) Higashide, T. and E. Heuvelink (2009): Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **134**, 460-465.
- 7) Higashide, T., K. Yasuba, K. Suzuki, A. Nakano and H. Ohmori (2012a): Yield of Japanese tomato cultivars has been hampered by a breeding focus on flavor. *HortScience*, **47**, 1408-1410.
- 8) Higashide, T., I. Gotoh, K. Suzuki, K. Yasuba, K. Tsukazawa, D. Ahn and Y. Iwasaki (2012b): Effects of pinching and lowering on cucumber yield and yield components. *Hort. Res. Jap.*, **11**, 523-529 (in Japanese with English abstract).
- 9) Kozai, T. (1974): Numerical experiments on light transmission in greenhouses (2). *J. Agric. Meteorol.*, **4**, 239-247 (in Japanese with English abstract).
- 10) Kozai, T. (1977): Direct solar light transmission into single-span greenhouses. *Agric. Meteorol.* **18**, 327-338.
- 11) Kurata, K. (1994): Light environmental control. p. 233-242. In: Nishi, S., M. Amano, T. Itagi, T. Ito, I. Ueno, S. Okitsu, I. Kurata, T. Kozai, Y. Odaka, R. Sakiyama, K. Seike, T. Takakura, H. Hakura, T. Murai, (eds.). Greenhouse horticulture handbook 3rd edition (In Japanese). Japan Greenhouse Horticulture Association, Tokyo, Japan.
- 12) Kurozumi, T. and N. Kawashima (1979): Model experiments on the light transmission in the greenhouse. 2. The influences of covering-materials and structural elements. *Bull. Nara Agric. Exp. Sta.*, **10**, 1-9 (in Japanese with English abstract).
- 13) Nakano, A., T. Higashide, K. Yasuba, H. Ohmori, S. Kaneko and K. Suzuki (2012): Research centers for intelligent plant production systems in Japan (5) National Agriculture and Food Research Organization (NARO) Institute of Vegetable and Tea Science, Tsukuba plant factory. *J. Soc. High Technol. Agric.*, **24**, 219-223 (in Japanese with English abstract).
- 14) Papadakis, G., D. Manolacos and S. Kyritsis (1998): Solar radiation transmission of a single-span greenhouse through measurements on scale models. *J. agric. Eng. Res.*, **71**, 331-338.
- 15) Scholberg, J., B.L. McNeal, J.W. Jones, K.J. Boote, C.D. Stanley, and T.A. Obreza (2000): Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. *Agron. J.*, **92**, 152-159 (doi: 10.2134/agronj2000.921152x).
- 16) Uchijima, Z., K. Inoue and S. Kimura (1976): The climate in growth chamber: (6). Diffuse radiation environment in vinylhouses. *J. Agric. Meteorol.* **32**, 117-125 (in Japanese with English summary).
- 17) von Elsner, B., D. Briassoulis, D. Waaijenberg, A. Mistrionis, Chr. von Zabeltitz, J. Gratraud, G. Russo and R. Suay-Cortes (2000a): Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, Design requirements. *J. Agric. Eng. Res.*, **75**, 1-16.
- 18) von Elsner, B., D. Briassoulis, D. Waaijenberg, A. Mistrionis, Chr. von Zabeltitz, J. Gratraud, G. Russo and R. Suay-Cortes (2000b): Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part II: Typical designs. *J. Agric. Eng. Res.*, **75**, 111-126.

## 建築基準法および消防法に準拠した 植物栽培施設（つくば植物工場拠点）における 施設内への光透過特性

東出 忠桐・大塩 貴寛\*・糠谷 綱希\*\*・安場 健一郎\*\*\*  
鈴木 克己\*\*\*\*・中野 明正・大森 弘美\*\*\*\*\*・金子 壮

### 摘 要

建築基準法および消防法に準拠して建設された植物栽培施設（つくば植物工場拠点）における施設内への光透過特性を調査した。大きさや位置の異なる区画内の日射を測定し、屋外日射と比較した。その結果、屋外日射に対して施設内に入った日射の割合を示す日射透過率は、約50～60%であった。日射透過率において区画の大きさや南北の位置による大きな違いは確認できなかった。雲のない晴天日に測定点が骨材などの陰になる場合とそうでない場合に分けて計測したところ、施設内の光成分は、散乱光が20%以上、直達光が60～70%であった。施設による日射の減衰は、10～15%がフィルムとその留め具によるものであり、20～30%が骨材等の構造によるものと推定された。したがって、この施設の日射透過率の向上には、施設の強度を維持したままで骨材等の構造を改良することが効果的であると考えられる。

〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1

野菜生産技術研究領域

\* 千葉大学環境健康都市園芸フィールド科学教育研究センター

\*\* 株式会社大仙

\*\*\* 岡山大学大学院環境生命科学研究科

\*\*\*\* 野菜研究調整監

\*\*\*\*\* 生物系特定産業技術研究支援センター

平成25年9月26日受理



# Effect of Fruit-specific Expression of the Cell-Wall-Bound Acid Invertase Gene *Wiv-1* on Hexose Accumulation in Tomato Fruits

Akio Ohyama, Tsukasa Nunome and Hiroyuki Fukuoka

(Accepted; September 27, 2013)

## I Introduction

Soluble sugar content is an important breeding objective because it contributes to the eating and processing quality of various fruit crops, including tomato. In these crops, various sugars and organic acids are stored in the vacuoles. The cultivated species of tomato (*Solanum lycopersicum*) accumulates mainly hexoses, whereas some wild relatives of tomato (*S. chmielewskii*, *S. peruvianum*, *S. habrochaites*, and others) accumulate mainly sucrose (Miron and Schaffer, 1991; Stommel, 1992; Yelle et al., 1991). Sucrose is the main sugar translocated in most plants, including tomato (Yamaki, 2010). The sucrose synthesized in source leaves is loaded into the phloem by the H<sup>+</sup>-sucrose co-transporter (Riesmeier et al., 1994), is translocated into the fruit through the phloem, and is then unloaded into sink cells via a symplastic pathway (plasmodesmata) or an energy-dependent apoplastic pathway (Roitsch and Gonzalez, 2004; Yamaki, 2010). Sucrose unloaded into the apoplast from the sieve elements can be cleaved by cell-wall-bound (extracellular or apoplastic) acid invertase (CWI; Roitsch and Gonzalez, 2004; Yamaki, 2010). Hexoses (glucose and fructose) generated by CWI are then transported into the sink cells by one or more hexose transporters (Roitsch and Gonzalez, 2004; Ruan and Patrick, 1995; Ruan et al., 1997).

In tomato, four paralogous genes for CWI (*Lin5*, *Lin6* (*Wiv-1*), *Lin7*, and *Lin8*) have been identified (Godt and Roitsch, 1997), and have been characterized extensively (Jin et al., 2009; Zanon et al., 2009). One gene has been isolated independently by two research groups using different methods, but has been confirmed to be the same gene: *Wiv-1*, which was isolated by Ohyama et al. (1998), is the same gene as *Lin6*, which was previously isolated by Godt and Roitsch (1997). Among the four CWI genes, expression of *Lin5* has been reported to be fruit-specific (Godt and Roitsch, 1997) and *Wiv-1* expression is observed in vascular tissues (Ohyama et al., 2006), but its expression is very low in the fruits (Godt and Roitsch, 1997; Ohyama et al., 1998). Fridman et al. (2000) reported that a quantitative trait locus (QTL) for high soluble sugar content in tomato fruits contains a fruit-type CWI gene (*Lin5*); the high-sugar allele was derived from a wild relative of tomato (*S. pennellii*). Fridman et al. (2004) suggested that the high-sugar trait from the wild species is due to a difference in enzyme kinetics, probably derived from amino acid sequence changes caused by single-nucleotide polymorphisms (SNPs) detected at the *Lin5* locus. RNAi-mediated knockdown of hexose transporter genes (McCurdy et al., 2010) or *Lin5* (Zanon et al., 2009) caused a reduction of hexose accumulation in tomato fruits. Further, elevation of CWI activity by RNAi inhibition of an invertase inhibitor gene caused increases in seed weight and hexose levels in the fruit (Jin et al.,

2009). These important results suggest that sugar accumulation in tomato fruit occurs in part through an apoplastic pathway. However, an important point must still be clarified: can a specific increase in the level of a sucrose-cleaving enzyme in the apoplast of sink organs such as fruits enhance sugar transport and elevate hexose levels? To answer the question, we combined the cDNA for *Wiv-1* (Ohyama et al. 1998) with a young-fruit-specific promoter for a tomato sucrose synthase (SS) gene, *TOMSSF 5'* (Ohyama et al., 2010), and introduced the construct into a dwarf tomato cultivar ('Micro-Tom'). SS gene promoters isolated from tomato and Japanese pear (*Pyrus serotina*) both showed expression specific to young tomato fruits in promoter-*GUS* experiments (Ohyama et al., 2010). The level of expression of the promoter *TOMSSF 5'* from tomato seemed to be higher than that of the promoter *PypSUS1 5'* from Japanese pear; this might be at least partially due to the presence of an intron located downstream of the start of transcription site of *TOMSSF* (Ohyama et al., 2010; see also Fig. 1). By comparing the sugar contents and gene expression in the transformants, we assessed the effects of the construct on sugar accumulation and the physiological roles of CWI in sugar metabolism.

We thank H. Maeda, K. Tanaka, J. Sano, and S. Negoro of the NARO Institute of Vegetable and Tea Science (NIVTS) for their technical assistance. This work was supported by a grant from the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (Recombinant Plant Project, No. 3110).

## II Materials and Methods

### 1 Construction of *TOMSSF 5'::Wiv-1*

The binary vector was constructed by replacing the  $\beta$ -glucuronidase (*GUS*) gene and the *35S* promoter of pBI121 (Jefferson et al., 1987) with the *Wiv-1* cDNA (Ohyama et al., 1998) and *TOMSSF 5'* (the tomato fruit SS promoter; Ohyama et al., 2010), respectively (Fig. 1). The vector was introduced into *Rhizobium radiobacter* (formerly *Agrobacterium tumefaciens*) by electroporation (Sambrook and Russell, 2001).

### 2 *Rhizobium*-mediated transformation of tomato and selection of true transformants

Tomato (*S. lycopersicum* 'Micro-Tom'; Meissner et al., 1997) was transformed as described previously (Ohyama et al., 1995) with *R. radiobacter* LBA4404 harboring the construct *TOMSSF 5'::Wiv-1* (Fig. 1). Regenerated plants were grown in a greenhouse at 15 to 25 °C under natural day length during the autumn and winter in Mie,

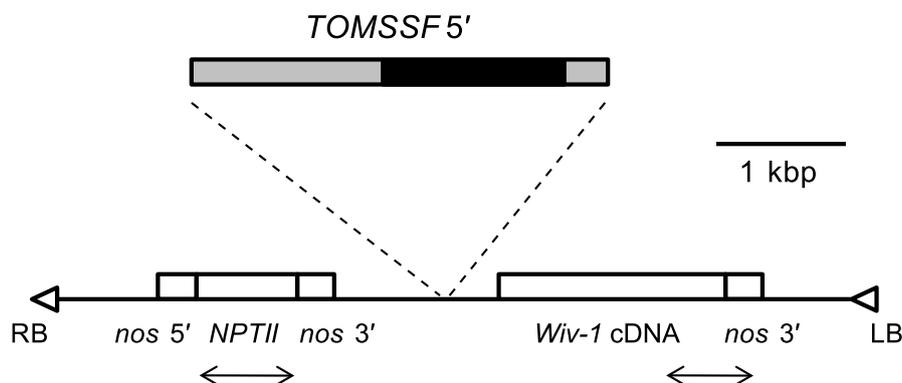


Fig. 1 Structure of the binary vector.

The black box indicates an intron approximately 1.6 kbp in length near the 3' end of the *TOMSSF 5'* sequence (Ohyama et al., 2010). PCR screening to identify transformants was done at the positions indicated by double arrows (see Materials and Methods). LB and RB indicate the left and right borders of the T-DNA, respectively. *nos 5'*, *NPTII*, and *nos 3'* are the promoter of the nopaline synthase gene, the neomycin phosphotransferase coding region, and the nopaline synthase 3' untranslated region, respectively (Jefferson et al., 1987).

Japan. Transformation with the complete T-DNA was confirmed by means of PCR using two primer pairs (see also Fig. 1): *Wiv-1* FS1 (5'-GGTGGTCTTGGGCCTTTTGGG-3') and *Tnos* (5'-ATCATCGCAAGACCGGCAAC-3') to detect the *Wiv-1* cassette, and NPT-1 (5'-CAAGATGGATTGCACGCAGG-3') and NPT-2 (5'-GAAGAACTCGTCAAGAAGGCG-3') to detect the *NPTIII* cassette. The PCR reaction followed an initial 30 s at 94 °C; 35 cycles of 30 s at 94 °C, 1 min at 55 °C, and 1 min at 72 °C; and a final 5 min at 72 °C. PCR products were analyzed by electrophoresis in 1.2% agarose gel.

### 3 Northern blot analysis of *Wiv-1* expression

Transformed 'Micro-Tom' fruits were sampled at an early stage (20 to 30 days after anthesis [DAA]) and then stored at -80 °C. Extraction of total RNA from the fruit, RNA electrophoresis, northern blotting, and hybridization were performed as described previously (Ohyama et al., 2010). PCR labeling of the cloned *Wiv-1* cDNA (Ohyama et al., 1998) with DIG (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany) was done using the M13 universal primers M4 (5'-GTTTTTCCCAGTCACGAC-3') and RV (5'-CAGGAAACAGCTATGAC-3') according to the manufacturer's protocol.

### 4 Real-time PCR analysis

Total RNA was extracted from individual fruit halves (the other half of each fruit was used for sugar measurements, as described below) using an RNeasy Plant Mini Kit with an RNase-Free DNase Set (Qiagen K.K., Tokyo, Japan). First-strand cDNA was synthesized using the ThermoScript RT-PCR System (Life Technologies Japan Ltd., Tokyo, Japan) with an oligo (dT)<sub>20</sub> primer and the total RNA samples used as templates. Quantitative real-time PCR analysis was performed with a QuantiTect SYBR Green PCR Kit (Qiagen) and a LightCycler (Roche). The reaction mixture (20µL), containing specific primers and appropriate template DNA (1:10-diluted first-strand cDNA), was prepared according to the manufacturer's protocol. A primer pair (W1488F, 5'-CCGATGCCTCAAGGTCAAG-3', and W1631R, 5'-CAGCACCAAACTTTCCACTATC-3') was used for amplification of the cDNAs (144 bp in length) derived from both the endogenous and introduced *Wiv-1* mRNAs (DDBJ/GenBank/EMBL accession numbers AF506004 and AB004558). This primer pair was designed from sequences flanking the 4th and 5th introns of *Wiv-1* to avoid amplification of contaminating genomic fragments of the *Wiv-1* gene (data not shown). For amplification of mRNAs (cDNAs) of tomato actin (DDBJ/GenBank/EMBL accession number AW217630) and *Lin5* (Godt and Roitsch, 1997; DDBJ/GenBank/EMBL accession numbers AY173050 and AJ272304, respectively), we used the primers T-actin-F1 (5'-CCCAAAGGCTAATCGTGAAA-3') and T-actin-R1 (5'-GACCACTGGCATAACAGTGAGAG-3'; product length of 107 bp), and the primers *Lin5*F1537 (5'-GAAGCAATGTACAAGCCCTCA-3') and *Lin5*R1668 (5'-TATGCATGTTTTGCCACCAG-3'; product length of 132 bp), respectively. *Lin5*F1537 and *Lin5*R1668 were designed from regions flanking the 5th intron of *Lin5* to avoid amplification of contaminating genomic fragments of *Lin5* (data not shown).

After the mixture was preheated at 95 °C for 15 min, a thermal cycle consisting of 15 s at 94 °C, 20 s at 55 °C, and 8 s at 72 °C was repeated 60 times, with no final extension. The amount of cDNA was determined using a set of diluted plasmid DNAs (1 to 0.0001 pg) as external standards: pλZWI65-2 for *Wiv-1*; p5M21 for *Lin5*, amplified using *Lin5*F1537 and *Lin5*R1786 (5'-TACATGCATCCATGCTCCAA-3'; DDBJ/GenBank/EMBL accession number AB695289); and pm1 for tomato actin, amplified using LeACTIN-F (5'-ATTCCCTGACTGTTTGCTAGT-3') and LeACTIN-R (5'-TCCAACACAATACCGGTGGT-3'; DDBJ/GenBank/EMBL accession number AB695290). The levels of *Wiv-1* and *Lin5* expression (measured by the amount of cDNA produced) were normalized to that of the tomato actin gene.

## 5 Measurement of the soluble sugar content

Soluble sugars were extracted from 100- to 200-mg aliquots from a single fruit of each line by grinding the fruit with a mortar and a pestle in 1 mL of distilled water, and proteins in the extracts were removed by the addition of 9  $\mu$ L of 20% (w/v) 5-sulfosalicylic acid solution, followed by centrifugation ( $20,000 \times g$ , 10 min). The sugar content in each filtered extract was measured by high-performance liquid chromatography, as described previously (Ohyama et al., 1995).

## III Results

### 1 Introduction of a chimeric gene into tomato

The *Wiv-1* binary vector (Fig. 1) was used for transformation of tomato ('Micro-Tom') by *Rhizobium*. Regenerated plants were screened by PCR using two primer pairs to identify transformants. The transgene was found in 15 lines (verified by PCR), which were used for subsequent analyses (Table 1, Figs. 2–4). Putative nontransformants found to lack *Wiv-1* by PCR (this study) were used as controls (3 lines in total; Figs. 2, 3). All transformants showed normal growth, flower setting, fruit color, ripening period, and single-fruit fresh weight (data not shown).

### 2 Northern blotting analysis of the young fruits of transformants

As the *TOMSSF 5'* promoter used in the *TOMSSF 5'::Wiv-1* construct is specific to young fruits (Ohyama et al., 2010; Wang et al., 1994), the *Wiv-1* expression levels in young fruits of the transformants were analyzed (Fig. 2). The levels of *Wiv-1* mRNA in the transformed lines were higher than those in the control lines, indicating that the *TOMSSF 5'::Wiv-1* construct achieved overexpression of *Wiv-1* mRNA.

### 3 Quantification of invertase gene expression in young fruits

Figure 3 shows the expression levels of *Wiv-1* mRNA in young fruits (20 to 30 DAA) of each transformed line. Nine (1-4, 1-13, 1-J, 2-2, 2-8, 2-11, 2-17, 3-9, and 3-19) of the 15 transformed lines showed higher expression levels than the average of the three control lines (C1-3). The levels for 1-48 and the control C1 line disagreed with the northern results (Fig. 2), probably because of differences in the maturity between the fruits used for the northern analysis and the real-time PCR analysis.

### 4 Correlation analysis

Correlations between the levels of *Wiv-1* mRNA and the sugar contents in young fruits of the transformants were significant (Table 1, Fig. 4). The fruits used for measurement of the sugars were the same as those used for mRNA quantification (Fig. 3). Differences in soluble sugar contents between the control and transformed plants were not dramatic

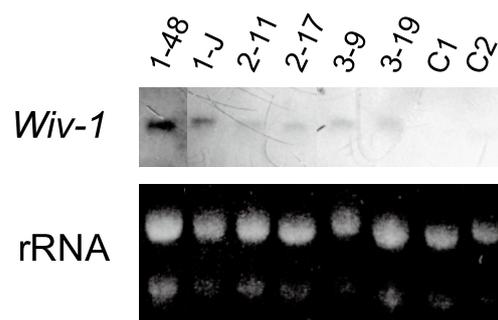


Fig. 2 Northern blot analysis of young 'Micro-Tom' fruits transformed with the *TOMSSF 5'::Wiv-1* construct.

Total RNAs were extracted from fruits at 20 to 30 DAA, electrophoresed under denaturing conditions, and blotted onto a nylon membrane, and then the *Wiv-1* mRNA was detected as described in the Materials and Methods. The rRNA bands on the same gel were visualized by ethidium bromide staining as a loading control. Each lane contains total RNA from the fruit of an independent transformant (1-48, 1-J, 2-11, 2-17, 3-9, and 3-19) or a control nontransformant (C1 and C2).

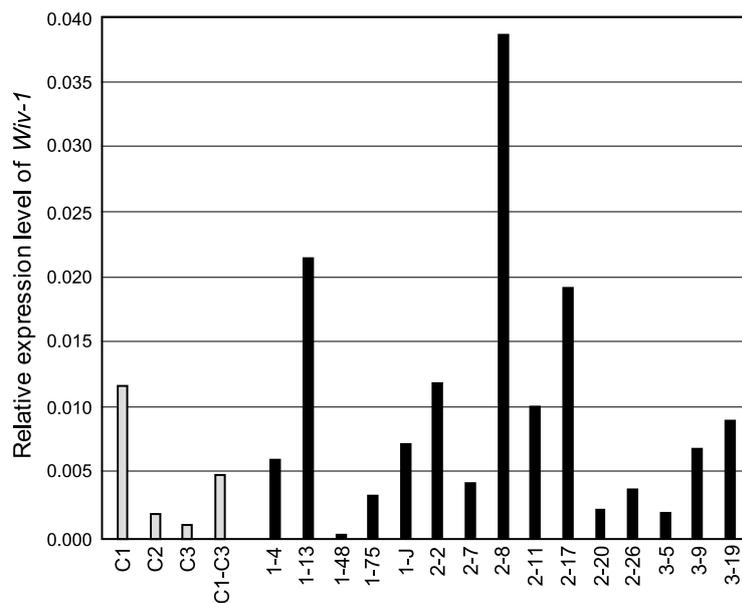


Fig. 3 Relative expression levels of *Wiv-1* (based on mRNA levels) in young fruits of lines transformed with the *TOMSSF 5'::Wiv-1* construct. C1, C2 and C3 are the levels in control nontransformants, and C1–C3 means the average value of the levels in the three nontransformants.

(data not shown). The correlations tended to be higher for lines with lower expression levels (Table 1, Fig. 4).

As the expression of *Lin5* is fruit-specific (Godt and Roitsch, 1997), we analyzed whether compensatory changes in the *Lin5* mRNA level occurred in the transformants. We found no significant correlations between the levels of *Lin5* mRNA and *Wiv-1* mRNA in young fruits of the transformants ( $r = 0.134$ ), or between the levels of *Lin5* mRNA and the sugar contents ( $r = 0.176$  for sucrose,  $r = 0.135$  for hexoses, and  $r = 0.146$  for total sugars).

Table 1 Correlations between *Wiv-1* expression (based on mRNA levels) and the contents of soluble sugars in young fruits of the transformants

	Correlation coefficient	
	Relative expression level <sup>a</sup> of <i>Wiv-1</i> <sup>b</sup> is 0.0002 to 0.0120 ( $n = 12$ ) <sup>c</sup>	Relative expression level <sup>a</sup> of <i>Wiv-1</i> <sup>b</sup> is 0.0002 to 0.0400 ( $n = 15$ , total) <sup>c</sup>
Sucrose	0.462	0.232
Hexoses	0.679*	0.527*
Total sugars	0.662*	0.495

<sup>a</sup> Normalized to the level of tomato actin mRNA.

<sup>b</sup> The primers that we used did not distinguish between the endogenous gene-derived mRNA and the transgene-derived mRNA.

<sup>c</sup> Number of lines.

\* Significant at  $P < 0.05$ .

The raw data are also displayed in a scatterplot (Fig. 4).

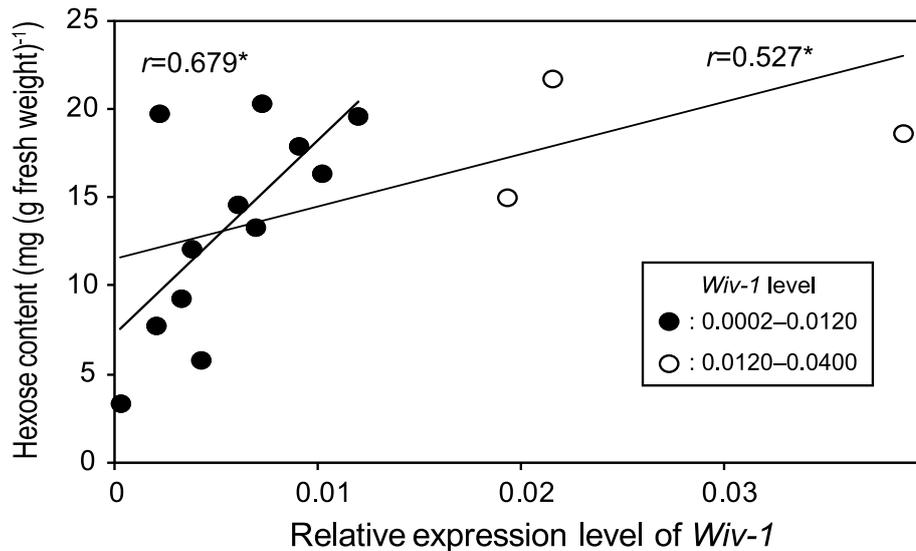


Fig. 4 Scatterplot of the relative expression level of *Wiv-1* (based on mRNA levels; see also Table 1) and hexose content in young fruits transformed with the *TOMSSF 5'::Wiv-1* construct.  
 $r$ : correlation coefficient; \*Significant at  $P < 0.05$ .

#### IV Discussion

We introduced a chimeric *Wiv-1* construct, *TOMSSF 5'::Wiv-1*, into 'Micro-Tom' (Fig. 1). No detrimental effects on plant growth, such as those found in tobacco transformants that expressed a yeast invertase gene driven by the constitutive 35S promoter (Sonnewald et al., 1991), were observed in the transformants. The level of *Wiv-1* mRNA was positively correlated with hexose content in young fruits of the transformants (Table 1, Fig. 4).

Why did we observe positive correlations among the hexose contents and the *Wiv-1* mRNA levels in young fruits of the transformants? It is known that the sugar unloading process involves two pathways: sucrose from sieve elements enters the sink organs with extracellular hydrolysis (apoplastic pathway via hexose transporters) or without extracellular hydrolysis (mainly the passive symplastic pathway via plasmodesmata) by CWI (Roitsch and Gonzalez, 2004; Ruan and Patrick, 1995). Several authors have suggested that an apoplastic pathway using CWI is involved in the unloading process in tomato fruits (Jin et al., 2009; McCurdy et al., 2010; Ruan and Patrick, 1995; Zanon et al., 2009). The absence of correlation of *Wiv-1* and *Lin5* mRNAs suggests that no compensatory changes in the level of *Lin5* mRNA had occurred in the transformants. It is likely that most of the fluctuation in the level of *Wiv-1* mRNA in fruits of the transformants (Fig. 3) was caused by overexpression of the mRNA driven by the *TOMSSF 5'* promoter (Fig. 2). The promoter of the tomato SS gene *TOMSSF* is strongly expressed in the vascular tissues of young fruits (Ohyama et al., 2010). Considering the present results together with previously published data, we suggest that the positive correlations between the hexose and the *Wiv-1* mRNA levels observed in young fruits of the *TOMSSF 5'::Wiv-1* transformants (Table 1, Fig. 4) were probably achieved by promotion of the apoplastic hexose transport during the early stages of fruit development, through an increase in sucrose degradation activity in the apoplasts of vascular tissues (probably phloem). The correlations between the mRNA level and the hexose contents in young fruits of transformants were higher at lower levels of *Wiv-1* mRNA (Table 1, Fig. 4), which suggests that extreme expression of *Wiv-1* is not necessary to increase fruit hexose content. The fact that CWI is an enzyme with a low Michaelis constant,  $K_m$  (Karuppiyah et al., 1989), may support this hypothesis. Furthermore, the lack of correlations between the levels of *Wiv-1* mRNA

and the sucrose content (Table 1) may indicate that most of the sucrose transported into the fruit's cytosol is derived from the symplastic pathway without extracellular hydrolysis.

Even though the apoplastic pathway is active in young fruit, it's unclear why there was no correlation among the hexose contents and the natural fluctuation of *Lin5* mRNA levels in young fruits of the transformants. One possibility is that the *TOMSSF* promoter (used for the construct) drives more favorable gene expression than does the native promoter of *Lin5*.

One limitation of our study is that the results were obtained only from the T<sub>0</sub> generation of transformants. To further characterize the sugar accumulation mechanisms in tomato fruit, it will be necessary to re-evaluate the transformed lines for both their mRNA levels and their enzyme levels after the transgenes are fixed (made homozygous). It will also be necessary to introduce the *TOMSSF* 5' ::*Wiv-1* construct into normal tomato cultivars, rather than dwarf cultivars such as 'Micro-Tom'. Furthermore, in addition to the young-fruit-specific promoter, it will be necessary to analyze the effects of a ripening-related phloem promoter construct to analyze the effects of CWI on sugar content in ripening fruits.

## Summary

Because soluble sugars are an important component of tomato fruit quality, we investigated the possible role of a key enzyme, cell-wall-bound acid invertase (CWI), in sugar accumulation in tomato fruit. We fused cDNA for *Wiv-1*, a gene encoding tomato CWI, to a young-fruit-specific tomato sucrose synthase (SS) gene promoter, and introduced the chimeric construct into tomato ('Micro-Tom'). Significant positive correlations were found between the level of *Wiv-1* expression and the hexose content in young developing fruits of the transformants. These results suggest that the hexose transport in young fruits was promoted by the expression of *Wiv-1*, probably through an increase in the level of sucrose degradation in the apoplast.

## Literature Cited

- 1) Fridman E., F. Carrari, Y. S. Liu, A. R. Fernie and D. Zamir (2004) Zooming in on a quantitative trait for tomato yield using interspecific introgressions. *Science* **305**, 1786-1789.
- 2) Fridman E., T. Pleban and D. Zamir (2000) A recombination hotspot delimits a wild-species quantitative trait locus for tomato sugar content to 484 bp within an invertase gene. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **97**, 4718-4723.
- 3) Godt D. E. and T. Roitsch (1997) Regulation and tissue-specific distribution of mRNAs for three extracellular invertase isoenzymes of tomato suggests an important function in establishing and maintaining sink metabolism. *Plant Physiol.* **115**, 273-282.
- 4) Jefferson R. A., T. A. Kavanagh and M. W. Bevan (1987) GUS fusions: beta-glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants. *EMBO J.* **6**, 3901-3907.
- 5) Jin Y., D. A. Ni and Y. L. Ruan (2009) Posttranslational elevation of cell wall invertase activity by silencing its inhibitor in tomato delays leaf senescence and increases seed weight and fruit hexose level. *Plant Cell* **21**, 2072-2089.
- 6) Karuppiyah N., B. Vadlamudi and P. B. Kaufman (1989) Purification and characterization of soluble (cytosolic) and bound (cell wall) isoforms of invertases in barley (*Hordeum vulgare*) elongating stem tissue. *Plant Physiol.* **91**, 993-998.
- 7) McCurdy D. W., S. Dibley, R. Cahyanegara, A. Martin and J. W. Patrick (2010) Functional characterization and RNAi-mediated suppression reveals roles for hexose transporters in sugar accumulation by tomato fruit. *Mol. Plant* **3**, 1049-1063.
- 8) Meissner R., Y. Jacobson, S. Melamed, S. Levyatuv, G. Shalev, A. Ashri, Y. Elkind and A. Levy (1997) A new model system for tomato genetics. *Plant J.* **12**, 1465-1472.
- 9) Miron D. and A. A. Schaffer (1991) Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulating *Lycopersicon hirsutum* Humb. and Bonpl. *Plant Physiol.* **95**, 623-627.
- 10) Ohyama A., H. Ito, T. Sato, S. Nishimura, T. Imai and M. Hirai (1995) Suppression of acid invertase activity by antisense RNA modifies the sugar composition of tomato fruit. *Plant Cell Physiol.* **36**, 369-376.
- 11) Ohyama A., S. Nishimura and M. Hirai (1998) Cloning of cDNA for a cell wall-bound acid invertase from tomato (*Lycopersicon esculentum*) and expression of soluble and cell wall-bound invertases in plants and wounded leaves of *L. esculentum* and *L. peruvianum*. *Genes Genet. Syst.* **73**, 149-157.
- 12) Ohyama A., K. Suwabe, T. Nunome and H. Fukuoka (2006) Characterization of the promoter of the *Wiv-1* (*Lin6*) gene encoding a wound-inducible cell wall-bound acid invertase in tomato. *Plant Biotechnol.* **23**, 365-371.

- 13) Ohyama A., K. Tanase, K. Suwabe, M. Kuniyama, T. Nunome and H. Fukuoka (2010) Characterization of fruit-type sucrose synthase gene promoters isolated from tomato and Japanese pear. *JARQ-Jpn. Agric. Res. Q.* **44**, 17-23.
- 14) Riesmeier J. W., L. Willmitzer and W. B. Frommer (1994) Evidence for an essential role of the sucrose transporter in phloem loading and assimilate partitioning. *EMBO J.* **13**, 1-7.
- 15) Roitsch T. and M. C. Gonzalez (2004) Function and regulation of plant invertases: sweet sensations. *Trends Plant Sci.* **9**, 606-613.
- 16) Ruan Y.-L. and J. W. Patrick (1995) The cellular pathway of postphloem sugar transport in developing tomato fruit. *Planta* **196**, 434-444.
- 17) Ruan Y.-L., J. W. Patrick and C. Brady (1997) Protoplast hexose carrier activity is a determinate of genotypic difference in hexose storage in tomato fruit. *Plant Cell Environ.* **20**, 341-349.
- 18) Sambrook J. and D. W. Russell (2001) *Molecular Cloning: a Laboratory Manual*. 3rd ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, New York.
- 19) Sonnewald U., M. Brauer, A. von Schaewen, M. Stitt and L. Willmitzer (1991) Transgenic tobacco plants expressing yeast-derived invertase in either the cytosol, vacuole or apoplast: a powerful tool for studying sucrose metabolism and sink/source interactions. *Plant J.* **1**, 95-106.
- 20) Stommel J. R. (1992) Enzymic components of sucrose accumulation in the wild tomato species *Lycopersicon peruvianum*. *Plant Physiol.* **99**, 324-328.
- 21) Wang F., A. G. Smith and M. L. Brenner (1994) Temporal and spatial expression pattern of sucrose synthase during tomato fruit development. *Plant Physiol.* **104**, 535-540.
- 22) Yamaki S. (2010) Metabolism and accumulation of sugars translocated to fruit and their regulation. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* **79**, 1-15.
- 23) Yelle S., R. T. Chetelat, M. Dorais, J. W. Deverna and A. B. Bennett (1991) Sink metabolism in tomato fruit: IV. Genetic and biochemical analysis of sucrose accumulation. *Plant Physiol.* **95**, 1026-1035.
- 24) Zhan M. L., S. Osorio, A. Nunes-Nesi, F. Carrari, M. Lohse, B. Usadel, C. Kuhn, W. Bleiss, P. Giavalisco, L. Willmitzer, R. Sulpice, Y. H. Zhou and A. R. Fernie (2009) RNA interference of LIN5 in tomato confirms its role in controlling Brix content, uncovers the influence of sugars on the levels of fruit hormones, and demonstrates the importance of sucrose cleavage for normal fruit development and fertility. *Plant Physiol.* **150**, 1204-1218.

## 細胞壁結合型酸性インベルターゼ遺伝子 *Wiv-1* の 果実特異的発現によるトマト果実糖蓄積への影響

大山 暁男・布目 司・福岡 浩之

### 摘 要

糖含量はトマト果実の品質を左右する重要な要素である。そこで我々は、トマト果実の糖蓄積における鍵酵素の1つ、細胞壁結合型酸性インベルターゼ (CWI) の生理的役割について調査した。細胞壁結合型酸性インベルターゼ cDNA *Wiv-1* を、若い果実の特異的な発現を示すトマトシヨ糖合成酵素遺伝子プロモーターと連結し、得られたキメラ遺伝子をトマト (マイクロトム) に導入した。その結果、形質転換体の若い果実においては、*Wiv-1* 発現レベルと還元糖量との間に有意な正の相関が見出された。以上の結果は、形質転換体の若い果実において、*Wiv-1* 遺伝子の発現に起因するアポプラスト部のシヨ糖分解レベルの増大を介して果実中への還元糖輸送が促進されたことを示唆している。

## 日本産及び外国産の紅茶の含水率

池田 奈実子

(平成 25 年 9 月 30 日受理)

### Moisture Contents in Black Tea Grown in Japan and Other Countries

Namiko Ikeda

#### I 緒 言

二番茶・三番茶価格の低迷(社団法人日本茶業中央会, 2012), 機能性飲料用として導入されたチャ品種‘べにふうき’の用途の変更(中村, 2010; 日本食料新聞社, 2011; 日本食糧新聞社, 2013)によって国産紅茶の生産が増えている。大部分の国産紅茶は品質が劣るが, その中で瀬戸茶生産組合(鹿児島県枕崎市)の‘べにふうき’を用いた紅茶「姫ふうき」は2009年英国の食品コンテストグレイトテイスティングアワードで三つ星金賞を獲得して, 日本国内でも評価が高い。しかし, 国内の紅茶卸売業者 tastea の山口高史社長から「姫ふうき」は紅茶の品質はすぐれているが, 開封後フラワリーな香りが抜けるのが外国産紅茶に比べて早いとの指摘を受けた。

煎茶の場合, 仕上げ前の荒茶の乾燥程度は含水率5%前後が適切で(柴田, 2006), 多すぎても少なすぎても早期劣化の原因になる(古谷ら, 1961)。「姫ふうき」の香りが抜けやすい原因が, 紅茶の含水率が多すぎる, あるいは少なすぎるからでないかと考えて, 「姫ふうき」を含む日本産及び外国産の茶の含水率を測定し, 日本産及び外国産紅茶と日本産緑茶の含水率の比較を行った。また紅茶の製法による含水率の違いについても調べた。

Anjani Tea Company (インド), Glendale Tea Estate (インド), Khobong Tea Estate (インド), Shyam Tea

Factory (インド), Finlays Tea Estate (ケニア), Labookellie Estate (スリランカ), New Vitanakande Tea Factory (スリランカ), Waltrim Tea Estate (スリランカ), 井村製茶, かねかわ園, 金川製茶, 月ヶ瀬久保田農園, マルイ製茶, マル昇製茶, 益井園, 丸大茶業組合, 森内茶農園, 錦園石部商店, 大石製茶園, 星峰園, 田中緑茶園, 太郎五郎久家茶園, 有限会社 tastea, 横田園, 吉田園, Sena Yaddehige 博士, 原利男博士, 長嶋良彰氏, 西澤陽介氏, 小野亮太郎氏, 大隣和真氏, 長田幸子氏, 堺田輝貴博士, 坂本孝義氏, 武田善行博士, 辻浩孝氏, 山崎英太郎氏, 横澤秀訓氏, 渡辺拓哉氏には試料を提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

#### II 材料及び方法

材料は日本, インド, スリランカ, ネパール, ケニア産の茶181点を用いた。スリランカのセミオーソドックス製法の紅茶は, オーソドックス製法に分類した。日本産紅茶のうち8点は2011年から2013年に著者が野菜茶業研究所内で製造した。‘べにふうき’の新芽を手摘みして, 16から20時間萎凋棚に並べて萎凋させて, 伊達式4kg用少量揉捻機で揉捻し, 発酵後, 棚式乾燥機を用いて発酵止め, 乾燥を行った(表-1)。香料や他の植物を添加した茶は用いなかった。試料約5gを秤量瓶に入れて, 105°Cで48時間加熱し, 加熱前と加熱後の重量差から含水率を求めた。統計解析は統計ソフトウェア STATISTICA '98 Edition を用いて行った。

表-1 生産国別の茶試料数

	緑 茶			紅 茶	
	煎茶	蒸し製玉緑茶	釜炒り茶	オーソドックス	CTC
日本	20	1	1	76	
インド				44	4
スリランカ				17	1
ネパール				9	5
ケニア					3

表-2 生産国・茶種別の茶の含水率についての分散分析

要因	自由度	平均平方	F 検定
生産国・茶種間	5	20.99	5.80**
生産国・茶種内	175	3.62	
全体	180		

\*\* : F 検定の結果, 1%水準で有意.

### III 結 果

日本産緑茶, 日本産紅茶, インド産紅茶, スリランカ産紅茶, ネパール産紅茶, ケニア産紅茶を要因とする1元配置分散分析を行った. F 検定の結果, 1%水準で有意であり, 茶種や産地の違いによって含水率に差が認められた(表-2).

それぞれの生産国及び茶種の含水率の平均値についてチューキーの多重比較検定を行った結果, 日本産緑茶と日本産紅茶, 日本産緑茶とインド産紅茶, 日本産緑茶とスリランカ産紅茶, 日本産緑茶とネパール産紅茶の間には1%水準で有意差が認められた(表-3).

日本産緑茶22点(煎茶20点, 蒸し製玉緑茶1点, 釜炒り茶1点)の含水率は, 平均値が4.66%であった. 日本産緑茶の含水率の標準偏差は1.25で, 日本産及び外国産の紅茶に比べて小さく, ばらつきが小さかった.

日本産紅茶76点の含水率の平均値は7.02%で, 日本産緑茶の平均値より2.36%高かった. 76点中15点の含水率は8%以上であった. 「姫ふうき」の含水率は7.47%であった. 2011年, 2012年に筆者が野菜茶業研究所(金谷茶業研究拠点)でチャ品種「べにふうき」を原料としてオーソドックス製法で製造した紅茶5点の含水率は, 7.39%から7.82%であった. 一方, 2013年

に筆者が「べにふうき」を原料として, 萎凋を前年までより長時間行い, オーソドックス方法で製造した紅茶3点の含水率は4.01%から4.83%で2011年, 2012年に比べて低かった.

インド産紅茶の含水率の平均値は6.97%で日本産緑茶の平均値より2%以上高かったが, 日本産紅茶とは同程度であった. アッサムのPanitola茶園のオーソドックス製法による紅茶の含水率は12.59%で, すべての試料の中で最も高かった. この試料は, 含水率測定後アルミラミネート茶袋に入れて窒素封入機で密封し, 数ヶ月常温で保存したが, 品質の大きな低下はなかった. 一方, ダージリンのOkayti茶園のオーサムナルの含水率は1.93%で, すべての試料の中で最も低かった. 標準偏差は日本産緑茶, 日本産紅茶に比べて大きく, 含水率が高いものから低いものまで分布していた.

スリランカ産の紅茶は, オーソドックス製法が1点, CTC製法が1点, 他はすべてセミオーソドックス製法である. 含水率の平均値は6.77%で, 日本産緑茶と比べると2%以上高かったが, 日本産紅茶とは同程度であった. 標準偏差は1.44で, インド産紅茶やネパール産紅茶と比較すると小さかった. CTC製法の紅茶の含水率は4.48%でスリランカ産の茶18点の中で最も少なかった.

ネパール産紅茶15点の含水率は平均値6.84%で, 日

表－3 生産国・茶種による茶の含水率（％）の差異

	試料数	平均値	最高値	最小値	中間値	標準偏差
日本産緑茶	22	4.66 a	6.96	2.60	4.62	1.25
日本産紅茶	76	7.02 b	11.22	4.01	6.87	1.61
インド産紅茶	48	6.97 b	12.59	1.93	7.24	2.44
スリランカ産紅茶	18	6.77 b	9.61	4.48	6.70	1.44
ネパール産紅茶	14	6.84 b	9.96	4.19	5.96	2.38
ケニア産紅茶	3	7.45 ab	10.69	5.68	5.97	2.81

平均値について、テューキーの多重比較検定の結果、異なるアルファベット間には1%水準で有意差あり。

表－4 製造法による紅茶の含水率（％）の差異

	試料数	平均値	最高値	最小値	中間値	標準偏差
オーソドックス製法	146	7.08	12.59	1.93	7.01	1.94
CTC 製法	13	5.68	10.69	4.19	5.08	1.69

本産緑茶より2%以上高かった。オーソドックス製法の紅茶9点の含水率は、平均値8.03%、最高値9.96%、最小値4.31%が高かったが、CTC製法の紅茶5点の平均値は4.69%、最高値5.06%、最小値4.19%と低かった。製法によって含水率が異なったため、平均値と中間値の差が0.88%と大きかった。

ケニア産紅茶はいずれもCTC製法であった。1点が10%以上であったが、他の2点は6%以下であった。

オーソドックス製法の紅茶146点の含水率の平均値は7.08%、CTC製法の紅茶13点の含水率の平均値は5.67%であった。CTC製法の紅茶の含水率は1点を除いて、4.19%から6.53%の間に分布していた（表－4）。オーソドックス製法とCTC製法の紅茶の含水率の平均値についてt検定を行った結果、 $t = 2.54$ で、5%水準で有意差が認められた。

#### IV 考 察

生産地・茶種別の茶の含水率は日本産緑茶と日本産及び外国産紅茶では差が認められたが、日本産紅茶と外国産紅茶では差が認められなかった。したがって茶の含水率は産地よりも製茶法による差が大きいと考えられた。

日本の煎茶の製造工程では、揉捻以外は加熱するため、それぞれの工程で水分が減少し、乾燥直前の含水率は

11～13%である。しかし紅茶は乾燥までの工程では加熱しないので、製造中に水分の減少が少なく、乾燥直前の含水率は50%以上であるため（岩浅，1988）、乾燥後に水分が多く残ると考えられた。

また、日本の煎茶は、出荷前に茶温を90℃以上にして火入れすることが多い（柴田，2006）。日本産煎茶で火入れが強いと感じられる試料は、含水率4%以下のものもあった。一方、紅茶は仕上げ工程で火入れは行わないことも、含水率が高い理由と考えられた。

日本製緑茶の製造工程では、初めに蒸熱や釜炒りによって茶葉の酵素反応を止める。しかし、紅茶製造では乾燥直前まで茶葉の酵素反応は止まっていない。したがって、紅茶の乾燥の目的には、含水率を減らして貯蔵中の変質を防ぐことの他に、茶葉の酵素反応を止めることが加わる（Tea Research Association, 2011）。

インドの研究機関が示した紅茶の適正な乾燥後の含水率は3%とされている（Tea Research Association, 2011）。スリランカの研究機関で示した適正な含水率も3%で、6%以上では急速な品質の低下が起り、8%では微生物が増殖するので流通上不安であり、7%以上では再加熱を推奨している（Samaraweera, 2008）。しかし、インド、スリランカの研究とも品質低下や微生物増殖に関する具体的なデータは示していない。実際には、インド産の試料のうち含水率4%以下は54点中7点で、

20点は8%以上であった。スリランカ産の試料18点のうち、4%以下のものはなく、8%以上のものが3点あった。両国産の試料とも研究所の指針より含水率はかなり高かった。

筆者がインドのダージリンの4ヶ所の茶園（池田，2011）、スリランカのNew Vithanakande茶園（池田，2013）を訪問した時に、乾燥後に団子状の固まりが湿っていて、日本の緑茶製造の感覚では乾燥が不十分であると感じた。2012年12月に訪問したスリランカの4ヶ所の茶園では、どこの工場でも乾燥後の含水率は3%が基準であるということであったが、土産として茶園から提供された紅茶の含水率は4.48%から7.97%で、基準値よりすべて高かった。

日本の緑茶については、古谷ら（1961）によって含水率が貯蔵中の変質に及ぼす影響について明らかにされている。現在の日本の緑茶用製茶機には水分計が取り付けられて、生産者は含水率5%を遵守している。一方、インド・スリランカでは紅茶の含水率の指針は3%となっているが、守られていない。紅茶の製茶機には水分計は付いておらず、製造中に水分の測定は行っていない。乾燥終了の判断は経験をもとに触感で行っている。

インド産紅茶の含水率はスリランカ産紅茶の含水率に比べて分布の幅が広がった。インドの紅茶産地は広い国土に点在していて、気候、原料、製茶法が多様であるため、含水率の幅が広いと考えられた。

CTC製法の茶13点の含水率の平均値は5.65%であった。ケニア産の1点が10.69%であったのを除き、4.19%から6.53%の範囲に分布していて、紅茶の中では少ないものが多かった。CTC製法の茶の乾燥には流動層乾燥機が用いられる。流動層乾燥機では茶葉の粒がばらばらになり、効率よく均一に乾燥できるため、茶葉の含水率が減少しやすいと考えられた（Tea Research Association, 2011; Samaraweera, 2008）。

紅茶の含水率が日本の緑茶より高いことや再加熱を行っていないことは、日本の茶生産者や流通業者、消費者にはほとんど知られていない。著者も含めて日本の紅茶生産者の大部分は煎茶の製造経験があり、煎茶と同様の触感の時に乾燥を終了しているが、紅茶は煎茶より含水率は2%以上高くなる。茶は開封後、比較的長期に渡り飲用されることもあるので、微生物的な安全性の観点からの検討が待たれる。

「姫ふうき」の含水率は7.47%で日本産緑茶と比べると高かったが、外国産紅茶と比べて特に多いということではなく、含水率が高いことが「姫ふうき」の封切り後の

フラワリーな香りが抜けやすい原因であるとは言えなかった。含水率が12%を超えるアッサムの紅茶は、急速な香りの減少はみられない。したがって紅茶の保存及び熟成に適正な含水率は日本の緑茶より高くても品質の低下には影響しない、あるいは高い方が品質を維持あるいは向上させる可能性があると考えられた。今後、製造・保存試験を行うことにより、適正な含水率についてさらなる解析が必要である。

## V 摘 要

日本産の緑茶及び紅茶、インド、スリランカ、ネパール、ケニア産の紅茶、合計181点の含水率を測定した。日本産緑茶の含水率の平均値は4.66%でばらつきは小さかった。日本産紅茶及びインド、スリランカ、ネパール、ケニア産紅茶の含水率は7%前後で、ばらつきも日本産緑茶より大きかった。CTC製法の紅茶の含水率はオーソドックス製法の紅茶の含水率より低かった。

## 引用文献

- 1) 古谷弘三・原利男・久保田悦郎（1961）：煎茶の貯蔵条件が品質に及ぼす影響について。茶研報，18，42-46。
- 2) 池田奈実子（2012）：最近のダージリンのファーストフラッシュティーの特徴。東海作物研究，142，1-5。
- 3) 池田奈実子（2013）：スリランカの茶(3)。茶，66(4)，16-20。
- 4) 岩浅潔（1988）：紅茶製造法。静岡県茶業会議所編，新茶業全書第8版，368-376，静岡県茶業会議所，静岡。
- 5) 中村順行（2010）：日本における紅茶品種の系譜。茶，63(11)，16-20。
- 6) 日本食糧新聞（2010）：緑茶特集：「やぶきた」を超える新品种探しの機運「つゆひかり」に注目。日本食糧新聞，10336，15。
- 7) 日本食糧新聞（2013）：胃心伝真＝べにふうき。日本食糧新聞，10805，1。
- 8) Samaraweera, D. S. A. T(2008):Dryer room operations. Handbook on Tea, 289-315, Tea Research Institute of Sri Lanka, Colombo.
- 9) 柴田雄七（2006）：荒茶を変質させない乾燥度。柴田雄七，機械製茶の理論と実際，111-112，農文協，東京。
- 10) 柴田雄七（2006）：いい荒茶と仕上げ茶。柴田雄七，機械製茶の理論と実際，112-114，農文協，東京。
- 11) 社団法人日本茶業中央会（2012）：緑茶の茶期別，茶種別価格の推移。平成24年度茶関係資料，40，社団法人日本茶業中央会，東京。
- 12) Tea Research Association(2011):Drying. Tea Manufacturing Manual, 77-96, Tea Research Association Toklai Experimental Station, Jorhat.

---

# Moisture Contents in Black Tea Grown in Japan and Other Countries

Namiko Ikeda

## Summary

We investigated the moisture contents in 181 tea samples, including Japanese green tea and black tea that were grown in Japan, India, Sri Lanka, Nepal and Kenya. The difference in between the tea types was significant at the 1% level. The average moisture content of green tea produced in Japan was 4.66%, which was less than those of black tea from Japan (7.02%), India (6.97%), Nepal (6.77%) and Sri Lanka (6.84%). There was no significant difference between countries in the moisture contents of black tea. The moisture contents of black tea made using the orthodox method were higher than those made using the crush-tea-curl (CTC) method. The results suggest that the optimal moisture content of black tea is higher than that of Japanese green tea.



# Non-destructive Detection of Browning of the Inner Scales of Onions using Near-Infrared Spectroscopy

Hidekazu Ito and Susumu Morimoto \*

(Accepted; October 3, 2013)

## I Introduction

Browning of the inner scales of onions (*shingusare* in Japanese; Fig. 1) appears to be caused directly by nematodes. The nematodes can secrete pectolytic enzymes, which loosen the cells and soften the tissues. The infested areas become brown, and infested onion bulbs usually develop bacterial rot (Rabinowitch and Brewster, 1990), likely caused by *Pseudomonas gladioli* (Tesoriero et al., 1982; Tanaka et al., 1990).

After harvest, onions affected by this browning can be easily identified and eliminated because juice is exuded when the neck is pressed. However, it is difficult to remove the brown inner scales, and consumers often return affected onions to the merchant.

Near-infrared (NIR) spectroscopy has been used as a practical and rapid non-destructive way to assess the internal quality of vegetables and fruits in Japan because of its low cost and high performance in a non-contact mode (Schaare and Fraser, 2000; Ito, 2007). The potential of this method for non-destructive detection of disorders of the outer scale of onions (*hadagusare* in Japanese) was recently reported (Ito and Hattori, 2012). However, the potential for non-destructive detection of browned inner scales has not yet been reported.

If the browning of inner scales could also be detected non-destructively, returns of damaged onions to the merchant would decrease, leading to more confidence in products from the cultivation region. Therefore, the objective of this study was to assess the potential of NIR technology for non-contact, non-destructive detection of the browning of inner scales in onions.

## II Materials and Methods

We obtained 'Momiji 3' onions from Japan's Hyogo Prefecture. We also obtained onions (of an unknown cultivar) grown in Hokkaido Prefecture from a merchant. Previous testing revealed that onions should be stored at a range of temperatures to facilitate analysis (Ito and Morimoto, 2007). We therefore stored samples at 7 °C in a refrigerator (hereafter, the low-



Fig. 1 Browning of the inner scales of the onion 'Momiji 3' (*shingusare* in Japanese). The browning symptoms occurred in the second to sixth scales from the outside.

temperature [L] sample). After spectral measurements were obtained, the onions were stored at 23 °C in an incubator (FLI-2000, EYELA, Tokyo Rikakikai, Tokyo, Japan) (hereafter, the medium-temperature [M] sample). After a second spectral measurement, the onions were then stored at 35 °C (hereafter, the high-temperature [H] sample), and a third spectral measurement was obtained. Table 1 summarizes the sample characteristics. Just before the optical measurements of onions from each storage treatment, the surface temperature of each sample was measured by thermometer (3527A, Tsuruga, Osaka, Japan). During the measurements, room temperature was set at 22.5 °C.

A spectrophotometer (K-BA100R, Kubota, Yao, Japan) was used to measure the spectra of each intact onion. The spectrophotometer was equipped with a fiber-optic probe. The end of the probe had a concentric outer ring illuminator and an inner circular light receptor (set to use interactance mode). The diameter of the illuminator was 38 mm (Fig. 2). To measure the NIR absorption spectrum (800 to 1000 nm) of an intact onion, each onion was placed on a support, 3 mm from the end of the fiber-optic probe (Ito et al., 2005; Ito, 2007; Ito and Morimoto, 2007). The side of an onion near the top was centered on the support (Fig. 3). The opposite side of the onion at the top was also measured to provide two spectral measurements per onion.

Table 1 Sample characteristics and results of non-destructive detection of internal browning in onions

Sample sets	Temperature of samples <sup>3)</sup>	Date	Production Prefecture	Number of spectra (n)	Inner scale <sup>1)</sup>						Outer scale <sup>2)</sup>		Failure rate of non-destructive detection(%)
					Occurrence (n)	Success of non-destructive detection(n) <sup>4)</sup>	Non-destructive detection rate (%)	Failure of non-destructive detection(n) <sup>5)</sup>	Another failure of non-destructive detection(n) <sup>6)</sup>	Other success in C(n) <sup>7)</sup>	Success of non-destructive detection in C (n) <sup>8)</sup>	Failure rate	
Onion1 <sup>9)</sup>	L, M, H	2009/11/06	Hyogo	120	18	17	94	1	4	2	1	1.7	
Onion2-1	L	2009/11/12	Hyogo	40	3	3	100	0	5	1	4	0.0	
Onion2-2	M	2009/11/12	Hyogo	40	3	3	100	0	3	0	3	0.0	
Onion2-3	H	2009/11/12	Hyogo	40	3	3	100	0	4	0	4	0.0	
Onion3-1	L	2009/11/17	Hokkaido	36	0	0	-	0	1	0	1	0.0	
Onion3-2	M	2009/11/17	Hokkaido	36	0	0	-	0	0	0	0	0.0	
Onion3-3	H	2009/11/17	Hokkaido	36	0	0	-	0	1	0	1	0.0	
Onion4-1	L	2009/11/26	Hyogo	40	2	2	100	0	3	0	2	2.5	
Onion4-2	M	2009/11/26	Hyogo	40	2	1	50	1	2	0	2	2.5	
Onion4-3	H	2009/11/26	Hyogo	40	2	1	50	1	3	0	2	5.0	
Onion5-1	L	2009/12/25	Hyogo	36	0	0	-	0	1	0	1	0.0	
Onion5-2	M	2009/12/25	Hyogo	36	0	0	-	0	1	0	1	0.0	
Onion6-1	L	2010/03/11	Hokkaido	32	0	0	-	0	0	0	0	0.0	
Onion6-2	M	2010/03/11	Hokkaido	32	0	0	-	0	0	0	0	0.0	
Onion6-3	H	2010/03/11	Hokkaido	32	0	0	-	0	0	0	0	0.0	
Onion7-1	L	2010/04/28	Hokkaido	28	0	0	-	0	3	0	3	0.0	
Onion7-2	M	2010/04/28	Hokkaido	28	0	0	-	0	3	0	3	0.0	
Onion7-3	H	2010/04/28	Hokkaido	28	0	0	-	0	4	0	4	0.0	
Onion8-1	L	2011/04/01	Hokkaido	20	0	0	-	0	3	0	2	5.0	
Onion8-2	M	2011/04/01	Hokkaido	20	0	0	-	0	2	0	1	5.0	
Onion8-3	H	2011/04/01	Hokkaido	20	0	0	-	0	4	0	2	10.0	
OnionD-1	M	2011/04/07	Hokkaido	22	2	2	100	0	3	0	2	4.5	
Total (n)				802	35	32		3	50	3	39		
Average (%)					4.4%		91.4%					1.4%	

<sup>1)</sup>Inner scale browning of second to sixth scale from outside (Shingusare in Japanese).

<sup>2)</sup>Outer scale browning or decay of first scale from outside (Hadagusare in Japanese).

<sup>3)</sup>L:low, M:medium(room), H:high temperature

<sup>4)</sup>Non-destructively determined inner scale browning score was more than 0.037 and the inner scale browning was able to detect successfully.

<sup>5)</sup>Though non-destructively determined inner scale browning score was less than 0.037, the inner scale browning occurred.

<sup>6)</sup>Though non-destructively determined inner scale browning score was more than 0.037, the inner scale browning didn't occur in the same side.

<sup>7)</sup>Detecting non-destructively inner scale browning from the opposite side.

<sup>8)</sup>Detecting non-destructively outer scale browning or decay.

<sup>9)</sup>A Calibration sample set (The rest of sample sets is validation sample sets.)

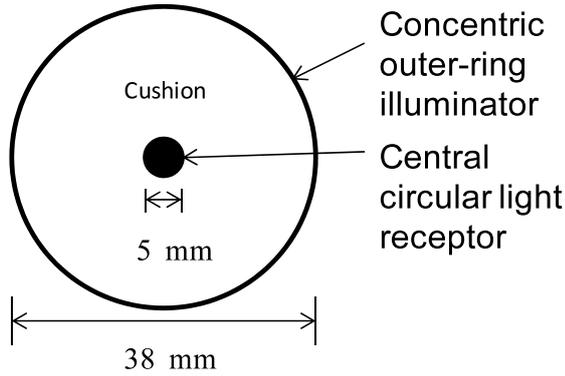


Fig. 2 Illustration of the end of the fiber-optic probe used with the K-BA100R spectrophotometer to obtain the NIR spectral samples.



Fig. 3 The measurement of the NIR spectrum of an onion using the K-BA100R spectrophotometer. The onion is being illuminated with the NIR beam.

Following the optical measurements, each onion was cut vertically, and browning symptoms inside the area irradiated by the NIR beam was visually scored as 0 (sound, with no signs of browning) or 0.1 (with browning of the inner scales) and the cut surface was digitized (CanoScan 8600F, Canon, Tokyo, Japan).

Any browning or decay (water soaking) that occurred in the first scale was distinguished as browning of the outer scale.

To enable non-destructive detection of browning of the inner scales, we developed a multiple linear regression (MLR) equation using a calibration sample set ( $n = 120$ , 'Momiji 3'). The independent variable was the 2nd derivative of the spectral absorption values at six wavelengths (810, 830, 844, 860, 862, and 910 nm). Next, the calibration was evaluated using a validation sample ( $n = 682$ ) (Table 1).

### III Results and Discussion

Browning of the inner scales occurs on the upper side of the onions (Fig. 1). Therefore, we used the NIR beam to illuminate the upper side of the onions during our measurements. The rate of browning was 4.4% (Table 1, column *a*).

MLR analysis of the visual scores and the spectral absorption values produced a calibration equation using the 2nd derivative of the absorption values at the six wavelengths ( $A$ ) as the independent variables. The multiple correlation coefficient was strong and significant ( $R = 0.72^{**}$ ,  $n = 120$ ). The calibration equation was as follows:

$$\text{Browning score} = 0.004 - 2435.648 \times A_{810\text{nm}} + 874.647 \times A_{830\text{nm}} + 255.533 \times A_{844\text{nm}} - 6258.117 \times A_{860\text{nm}} + 9955.718 \times A_{862\text{nm}} + 1127.968 \times A_{910\text{nm}}$$

We validated the MLR calibration using a different and larger sample of onions. The NIR method was able to detect 91.4% of the onions with symptoms when the threshold of the non-destructively determined browning score was 0.037. The calibration derived from onions grown in Hyogo Prefecture ('Momiji 3') was also able to non-destructively detect browning of the inner scales of onions ( $n = 2$ ) grown in Hokkaido Prefecture (Table 1).

Wavelengths near 810 nm have been used for non-destructive evaluation of browning inside apples (Clark et al., 2003) and melons (Ito et al., 2004). A wavelength of 830 nm was used for non-destructive calibration of the soluble solids content of melons (Ito, 2007). The 2nd derivative of the absorption at 844 nm was negatively

correlated with satsuma mandarin fruits for different path lengths (Miyamoto and Kitano, 1995). Wavelengths around 910 nm were selected as one of the main independent variables for non-destructive determination of carbohydrates in the soluble solids content and for dry matter determination in onions (Birth et al., 1985). In the present study, a combination of these wavelengths enabled the non-destructive detection of scale browning.

Some samples in which browning of inner scales occurred ( $n = 3$ ) had a browning score of  $<0.037$  (Table 1, columns *a*–*b*). In some samples ( $n = 50$ ), browning of the inner scales didn't occur on the same side where the browning score was determined above the threshold of 0.037 (Table 1, column *c*). Among these 50 samples, browning of inner scales was detected from the opposite side of the onion in 3 samples (Table 1, column *d*), and browning or decay of the outer scale was detected in 39 samples (Table 1, column *e*). Except for these samples ( $n = 42$ ), failure to detect browning occurred in only 11 samples. Thus, the average failure rate was 1.4% (Table 1).

These results suggest that NIR scanning technology offers the potential for effective non-destructive detection of browning of the inner scales in onions.

## Summary

Consumers will return onions to the merchant if they detect browning of the inner scales (*shingusare* in Japanese). We tested whether this browning could be detected by use of the NIR absorption spectrum by placing onion samples 3 mm from the end of a fiber-optic probe (in non-contact interactance mode). Following the optical measurement, the onion was cut vertically, and browning of the inner scales inside the irradiated area was visually scored as 0 (sound, with no signs of browning) or 0.1 (browning detected). Multiple linear regression (MLR) analysis using six wavelengths (810, 830, 844, 860, 862, and 910 nm;  $n = 120$ ) produced a strong and significant calibration equation using the 2nd derivative of the absorption values at the six wavelengths ( $R = 0.72^{**}$ ). We validated the MLR calibration equation using an independent sample of onions ( $n = 682$ ) and found that the NIR method detected 91.4% of the onions that exhibited browning symptoms.

## Literature Cited

- 1) Birth, G. S., G. G. Dull, W. T. Renfore and S. J. Kays (1985): Nondestructive spectrophotometric determination of dry matter in onions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **110**, 297-303.
- 2) Clark, C. J., V. A. McGlone and R. B. Jordan (2003): Detection of brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.*, **28**, 87-96.
- 3) Ito, H. (2007): Development of a non-destructive near infrared (NIR) spectroscopy method for determining the internal quality of melons. *Bull. Natl. Inst. of Veg. Tea Sci.*, **6**, 83-115. (In Japanese with English abstract, tables and figures)
- 4) Ito, H., N. Fukino-Ito and H. Horie (2005): Non-destructive determination of soluble solids content in strawberries using near infrared (NIR) spectroscopy with fiber optics in interactance modes. : What is needed for the instrument? *Acta Hort.*, **687**, 271-276.
- 5) Ito, H., N. Fukino-Ito, H. Horie and S. Morimoto (2004): Non-destructive detection of physiological disorders in melons using Near Infrared (NIR) spectroscopy. *Acta Hort.*, **654**, 229-234.
- 6) Ito, H. and G. Hattori (2012): Potential of non-destructive evaluation of internal disorder, browning of outer scale in onions using near infrared (NIR) spectroscopy. *Acta Hort.*, **969**, 197-202.
- 7) Ito, H. and S. Morimoto (2007): Non-destructive determination of nitrate ion in leaf stalks of *Brassica chinensis* using visible-near infrared (NIR) spectroscopy: Potential for sample temperature compensation. *Acta Hort.*, **746**, 289-293.
- 8) Miyamoto, K. and Y. Kitano (1995): Non-destructive determination of sugar content in satsuma mandarin fruit by near infrared transmittance spectroscopy. *J. Near Infrared Spectroscopy*, **3**, 227-237.
- 9) Rabinowitch, H. D. and J. L. Brewster (1990): Onions and Allied Crops, **2**, 161, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- 10) Schaare, P. N. and D. G. Fraser (2000): Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *Postharvest Biol. Technol.*, **20**, 175-184.
- 11) Tanaka, T. and T. Aota (1990): *Ann. Phytopath. Soc. Japan*, **56**, 393-394.
- 12) Tesoriero, L. A., P. C. Fahy and L. V. Gunn (1982): First record of bacterial rot of onion in Australia caused by *Pseudomonas gladioli* pv. *allicola* and associated with internal browning caused by *Pseudomonas aeruginosa*. *Australasian Plant Pathology*, **11**, 56-57.

## 近赤外分光法を用いるタマネギの内部褐変の非破壊検出

伊藤 秀和, 森本 進

### 摘 要

タマネギの内部鱗片が褐色になる症状（芯腐れ）は消費者からのクレームとなる。そこで、近赤外分光法（800-1000nm）を用いる芯腐れの非破壊検出法を検討した。スペクトルは高精度な非破壊計測が可能な非接触の拡散反射モードで測定した。芯腐れはタマネギの上部に発生するため、タマネギ上部のスペクトルは1球につき2カ所測定し、さらに品温を3段階に変えて測定した。非破壊計測用検量線（重回帰式）は6つの説明変数（810, 830, 844, 860, 862, 910 nmにおける2次微分値）を採用することにより $0.72^{**}$  ( $n=120$ )の相関係数を得た。その他の $n=682$ のタマネギを非破壊計測した結果、芯腐れが発生したタマネギの91.4%を検出できた。



## 遮光下における結球期キャベツの硝酸イオンの吸収と窒素の蓄積特性

佐藤 文生・東尾 久雄\*

(平成 25 年 10 月 4 日受理)

### Characteristics of Nitrate Uptake and Nitrogen Accumulation in Cabbage under Shade at Head Developing Stage

Fumio Sato and Hisao Higashio

#### I 緒 言

野菜類の多くは生育に必要な窒素を主に硝酸イオンの形態で根から吸収するため、野菜の体内には硝酸イオンが蓄積しやすい。硝酸イオンは人体に摂取されると有害な亜硝酸イオンになり、さらに発ガン性のあるニトロソアミンが生成されることが知られている(山下, 2002)。一方、野菜の体内に蓄積した硝酸イオンは、亜硝酸イオン、アンモニアと還元され、さらにはアミノ酸やタンパク質へと同化される(米山・建部, 1992)。これらの窒素同化産物は、野菜の生育に不可欠な成分であることはもとより、野菜の栄養価や食味にも関係する。したがって、高品質で安心な野菜を消費者に提供していくためには、様々な栽培環境下における野菜の硝酸イオンの吸収や同化、窒素の蓄積特性を把握することが重要である。

野菜の硝酸イオン濃度の低減化については、これまで主にホウレンソウやリーフレタス、コマツナといった硝酸イオンを比較的高濃度に含む品目(孫・米山, 1996)を対象に研究が行われてきた。これらの野菜では、体内の硝酸イオン濃度は、その吸収量と同化量のバランスによって変動し(Yoneyama ら, 1987; Kim ら, 2002)、過剰な窒素施用により、植物の硝酸イオン吸収量が増加すると、体内の硝酸イオン濃度も増加することが知られている(建部ら, 1995)。このため、生育量に応じた適

量施肥や収穫前の窒素施用中断といった肥培管理による硝酸イオン濃度の低減化が試みられてきた(山崎, 2005; 岡崎ら, 2006; 加藤ら, 2008)。一方、硝酸イオンの同化には、硝酸イオンから亜硝酸イオンへの反応を触媒する硝酸還元酵素(Nitrate reductase: 以下, NR と略す)が一連の代謝を律速する鍵酵素とされている(Lillo, 1994)。NRの活性は光条件と密接に関係し、光量低下によって不活性化し、量的にも減少する(Kojima ら, 1995)。このため、体内の硝酸イオン濃度は、日中よりもNRの活性が低下する夜間で高く(藤倉・杉山, 2004)、また、光強度の低下(Cantliffe, 1972a)や日照時間の短縮(Cantliffe, 1972b)によって増加することが知られている。

ところで、キャベツなどの結球性野菜では、食用部位である結球の内部には光がほとんど届かないため、主に外葉が結球に光合成産物を供給する役割を担う(Wien・Wurr, 1997)。このような形態的な特徴から、キャベツの硝酸イオンの蓄積や同化に及ぼす光の影響は、光合成器官と食用部位が同一である野菜類とは異なると考えられる。結球性野菜については、施肥窒素量の増加や追肥時期の遅れにより結球中の硝酸イオン濃度が上昇することがハクサイ(上園・餅田, 2007)やキャベツ(清水ら, 2005)で知られているが、光条件と硝酸イオンや窒素同化産物の蓄積との関係については明らかではない。

そこで本研究では、結球期のキャベツを異なる遮光率で遮光し、さらに<sup>15</sup>Nで標識した硝酸イオンを施用して、遮光中における施用窒素の吸収量と各部位への蓄積を窒素の形態別に調査した。また、体内の硝酸イオン濃度とNR活性についても調査を加え、遮光下におけるキャベツの硝酸イオンの吸収と窒素の蓄積特性について考察した。

## II 材料および方法

### 1 供試材料

キャベツの育苗と栽培は、最低気温15°Cに設定した野菜茶業研究所内のガラス室（茨城県つくば市）で行った。2004年1月30日に、慣行法に準じて128穴セルトレイで1ヶ月間育苗したキャベツ（*Brassica oleracea* L. var. *capitata*）品種‘金系201号’（サカタのタネ）の苗を、黒ボク土壌を詰めた1/2000aワグネルポットに移植した。基肥として、溶出期間100日タイプの被覆複合肥料（ロング424-100、チッソ旭肥料、N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 14:12:14）を、窒素量で6g/ポットとなるように移植前の土壌に混和した。栽培期間中は、土壌のpF値が2.3を上回った時点で1ポット当たり1L灌水し、ポットの底穴から流出した水は、鉢皿で受けて回収し、再び灌水した。

### 2 遮光処理と<sup>15</sup>N標識硝酸イオンの施用

結球の重量が約0.9kg/株に達した2004年4月11日（移植後71日目）に、黒色寒冷紗（ダイオネット、ダイオ化成）をワイヤーでつり下げて株に触れないように展開し、株全体を遮光した。処理区として、遮光率50%および90%の寒冷紗で遮光して栽培した50%遮光区および90%遮光区に加え、対照として遮光せずに栽培した0%区の3区を設けた。遮光開始直後に<sup>15</sup>Nで標識した硝酸カリウム（10.3 atom %、昭光通商）を2.16g/ポット（0.3gN/ポット）の量で100mLの蒸留水に溶解して施用した。処理個体数はいずれの区も1区当たり10株とした。

### 3 株のサンプリング

遮光処理4日目および9日目にキャベツの地上部をそれぞれ1区当たり5株採取した。採取したキャベツは、外葉と結球に分割し、さらに、外葉については、外葉全体の重量の3~4割を占める上位4枚の若い葉（外葉上位）とそれより下位にある残りの葉（外葉下位）お

よび茎に分けた。また、結球については、結球全体の重量の約3割を占める表層の3~4枚の葉（結球外部）とそれより内側の葉（結球内部）および芯に分けた。各部位の重量を秤量後、1cm四方に裁断して均一に混ざるように攪拌し、20g~30gを分取して液体窒素で凍結し、-20°Cおよび-80°Cで保存した。

### 4 <sup>15</sup>Nの分析

遮光処理4日目と9日目に採取した全ての部位の凍結試料を凍結乾燥後、振とう粉碎機（TI-100、シー・エム・ティ）で粉末状に粉碎した。その粉末試料の一部を窒素量で100μg~200μgとなるように分取してスズカプセルに封入し、安定同位体比分析装置（Delta Plus XP, Thermo Finnigan）を用いて、乾物当たり窒素濃度と<sup>15</sup>N atom %を測定した。各部位における施用硝酸カリウムに由来する窒素（以下、Nfと略す）の乾物当たり濃度を式（1）により算出し、各部位の乾物重との積から株のNf吸収量を求めた。

各部位のNf濃度（mg/g DW）=各部位の<sup>15</sup>N atom % excess/施用硝酸カリウムの<sup>15</sup>N atom % excess ×各部位の窒素濃度（mg/g DW）・・・（1）

$$^{15}\text{N atom \% excess} = ^{15}\text{N atom \%} - ^{15}\text{N 天然存在率 (0.367\%)}$$

また、外葉の上位と下位、結球の外部と内部については、前報（佐藤・東尾、2009）の抽出方法に従って、各部位に含まれるNfを硝酸イオン、遊離アミノ酸、不溶性窒素として抽出される画分（硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分）に分けた。それぞれの抽出画分に含まれる窒素の濃度と<sup>15</sup>N atom % excessを測定し、各画分の乾物当たりNf濃度を式（2）により算出した。

各画分のNf濃度（mg/g DW）=各画分の<sup>15</sup>N atom % excess/施用硝酸カリウムの<sup>15</sup>N atom % excess ×各画分の窒素濃度（mg/g DW）・・・（2）

### 5 硝酸イオン含量とNR活性の測定

9日目に採取した外葉の上位と下位、結球の外部と内部について、硝酸イオン濃度とNR活性を測定した。硝酸イオン濃度については、凍結乾燥後の粉末試料約10mgを70°Cの蒸留水10mLで1時間熱水抽出し、抽出液中の硝酸イオン濃度をイオンクロマトグラフ（ICS-90、

DIONEX) で測定した。NR 活性については、 $-80^{\circ}\text{C}$  で凍結保存した試料を用いて、壇ら (2005) の方法に従ってリン酸化された NR を含む全 NR の活性を測定した。

### III 結 果

#### 1 株の生育と Nf の吸収

遮光処理期間の天候については、処理後 3 日目、4 日目および 8 日目で曇天となったが、それ以外の日は概ね良好で、この間の屋外の平均日積算日射量は、遮光処理 4 日目までで  $14.4\text{MJ}/\text{m}^2$ 、9 日目までで  $20.0\text{MJ}/\text{m}^2$  であった。

遮光 4 日目では、外葉、結球とも乾物重に有意な処理区間差は認められなかったが、9 日目になると結球の乾物重が 90% 区で他区より少なくなった (表 1)。

株の Nf 吸収量は、4 日目、9 日目とも 0% 区に比べ 50% 区と 90% 区で少なかった (表 2)。4 日目では 50%

表 1 遮光率 90% および 50% の遮光がキャベツの乾物重に及ぼす影響

処理日数	遮光率	乾物重 (g/株)	
		外葉	結球
4 日目	90%	57.4a <sup>z</sup>	65.8a
	50%	52.5a	69.7a
	0%	61.2a	74.6a
9 日目	90%	54.6a	62.5b
	50%	58.7a	81.9a
	0%	61.0a	79.4a

<sup>z</sup>同一列の異なるアルファベットは、各処理後日数内において Tukey の多重検定により 5% レベルで有意差があることを示す

区と 90% 区の間には Nf 吸収量に有意な差が認められなかったが、9 日目になると、その値が 50% 区より 90% 区で小さくなった。また、結球内部では遮光によって乾物当たりの Nf 濃度が低下したが、それ以外の部位では Nf 濃度に有意な処理区間差が認められなかった。

#### 2 各抽出画分の Nf 濃度

外葉下位では、遮光 4 日目において、硝酸画分の Nf 濃度に有意な差は認められなかったが、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は遮光によって低下した (図 1)。9 日目も 4 日目とほぼ同様に、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は遮光によって低下する傾向を示したが、硝酸画分の Nf 濃度は、9 日目になると 90% 区と 50% 区で 0% 区より増加した。外葉上位では、遮光 4 日目において、遮光率が高いほど硝酸画分の Nf 濃度は増加し、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は低下した (図 2)。9 日目も 4 日目とほぼ同様の傾向が認められ、硝酸画分の Nf 濃度は 90% 区で 0% 区より高かったが、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は 90% 区で 0% 区より低い値を示した。

結球外部では、4 日目、9 日目ともに、硝酸画分の Nf 濃度には遮光による影響が認められなかったが、アミノ酸画分の Nf 濃度は遮光によって低下した (図 3)。また、不溶性画分の Nf 濃度も有意な処理区間差は認められなかったが ( $p > 0.05$ )、アミノ酸画分の Nf 濃度と同様に遮光によって低下する傾向にあった。結球内部でも、硝酸画分の Nf 濃度については 4 日目、9 日目ともに遮光による影響が認められなかった。しかし、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は、4 日目、9 日目とも遮光によって低下し、9 日目には遮光率が大きいほどこれらの

表 2 遮光率 90% および 50% の遮光がキャベツの  $^{15}\text{N}$  標識硝酸イオン由来窒素 (Nf) の吸収に及ぼす影響

処理日数	遮光率	Nf 吸収量 (mg/株)	Nf 濃度 (mg/gDW)					
			外葉下位	外葉上位	結球外部	結球内部	茎	芯
4 日目	90%	127.3b <sup>z</sup>	1.77a	1.43a	0.35a	0.56b	1.45a	4.64a
	50%	128.5b	1.81a	1.71a	0.31a	0.37b	1.30a	3.50a
	0%	201.6a	2.03a	2.02a	0.40a	1.27a	1.41a	4.95a
9 日目	90%	168.7c	1.73a	2.31a	0.38a	0.79c	2.06a	5.41a
	50%	245.8b	2.10a	2.46a	0.34a	1.52b	2.11a	5.70a
	0%	308.6a	1.96a	2.69a	0.62a	2.65a	1.98a	5.26a

<sup>z</sup>同一列の異なるアルファベットは、各処理後日数内において Tukey の多重検定により 5% レベルで有意差があることを示す

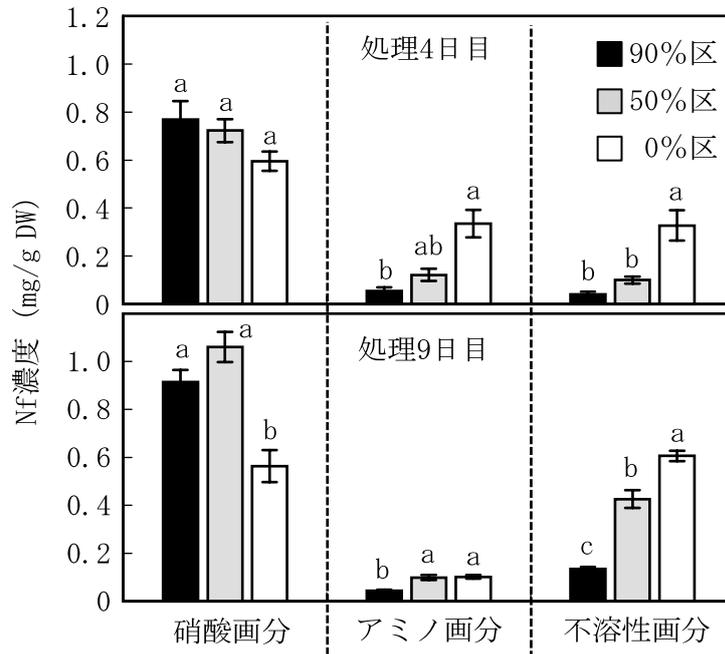


図-1 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ外葉下位の硝酸画分、アミノ画分、不溶性画分に含まれる<sup>15</sup>N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響  
各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。  
縦棒は標準誤差(n=5)を示す

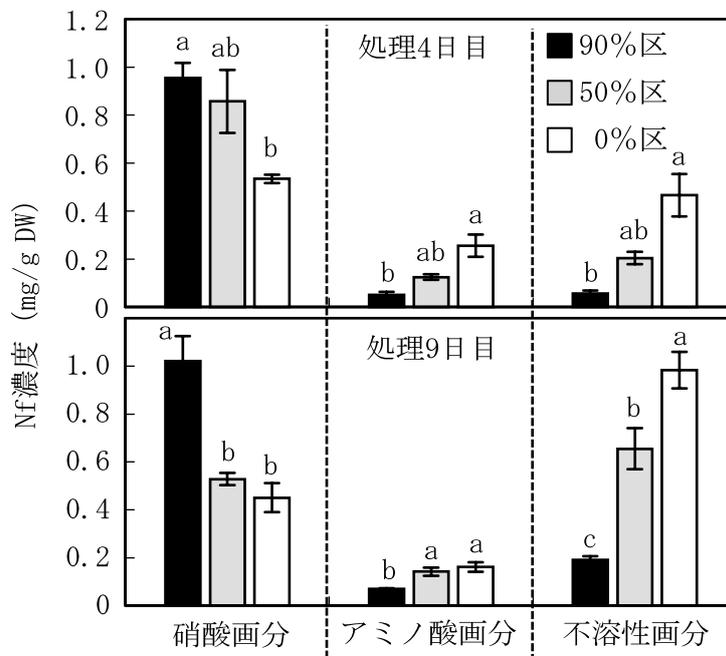


図-2 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ外葉上位の硝酸画分、アミノ画分、不溶性画分に含まれる<sup>15</sup>N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響  
各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。  
縦棒は標準誤差(n=5)を示す

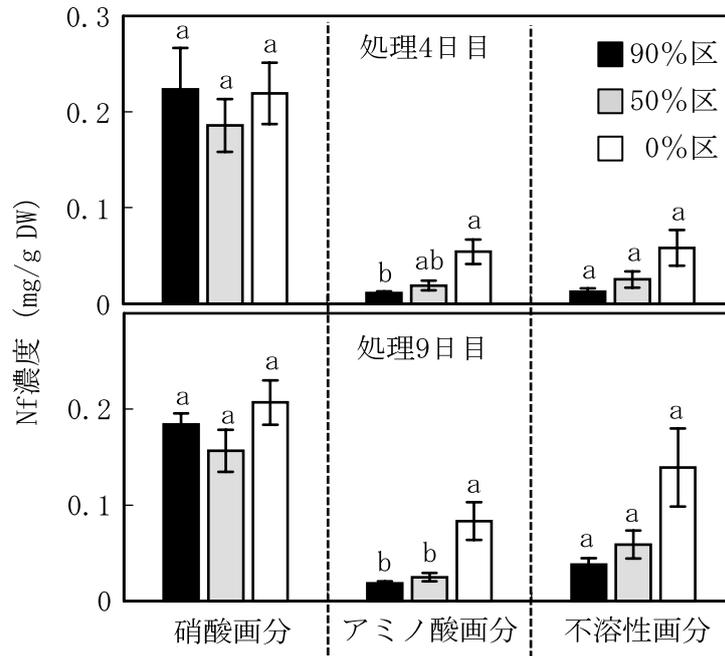


図-3 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ結球外部の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる<sup>15</sup>N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響。各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。縦棒は標準誤差(n=5)を示す。

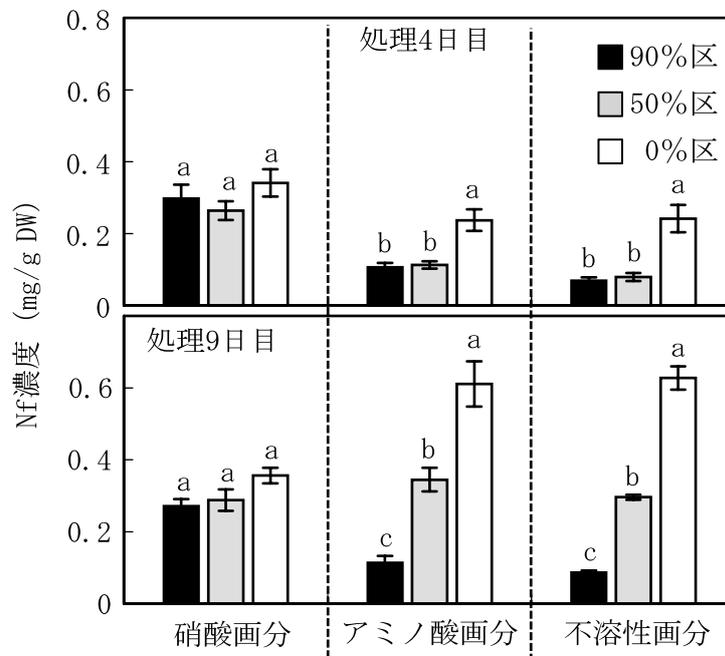


図-4 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ結球内部の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる<sup>15</sup>N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響。各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。縦棒は標準誤差(n=5)を示す。

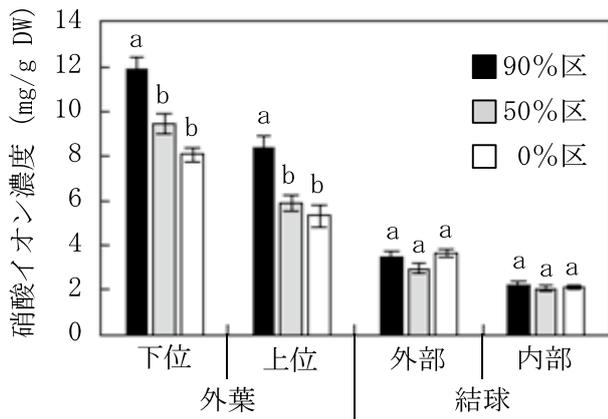


図-5 遮光率90%および50%の遮光がキャベツの硝酸イオン濃度に及ぼす影響(処理9日目) 各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定). 縦棒は標準誤差(n=5)を示す

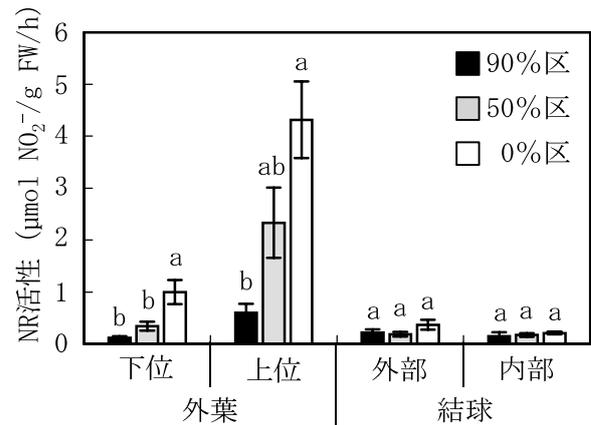


図-6 遮光率90%および50%の遮光がキャベツの硝酸還元酵素(NR)活性に及ぼす影響(処理9日目) 各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定). 縦棒は標準誤差(n=5)を示す

値が小さくなった(図4).

### 3 硝酸イオン濃度

遮光処理9日目の外葉の硝酸イオン濃度は、下位、上位とも90%区で他区より高い値を示した(図5)。一方、結球の硝酸イオン濃度は、外部、内部とも有意な処理区間差が認められなかった。

### 4 NR活性

遮光処理9日目のNR活性は、全般的に外葉の上位で他の部位より高い値を示した(図6)。外葉では下位、上位とも遮光率が高いほどNR活性が低くなる傾向を示したのに対し、結球では外部、内部ともにNR活性に有意な処理区間差が認められなかった。

## IV 考 察

本実験では、90%、50%いずれの遮光率においても遮光4日目には、株のNf吸収量が低下することが認められた。光は植物の硝酸イオンの吸収に影響する主要な外部環境で、日周変動のような短期的な明暗の変化に対しても、その吸収量は敏感に反応して増減することが知られている(Yoneyama et al., 1987)。光強度の低下に伴って植物の硝酸イオン吸収量が低下する理由としては、根から茎葉部への硝酸イオンの移動の原動力となる導管内の蒸散流が、気孔の閉鎖によって低下すること(小畑・茅野, 1997)に加え、根による硝酸イオンの能動的

な取り込みに必要な光合成産物の供給が不足することが挙げられている(谷田沢, 1980)。遮光4日目においては、遮光した株の乾物重が無遮光のものとの差がなかったものの、すでに上述のような生理的な変化が生じていたと推測され、このために株のNf吸収量が低下したと考えられた。

また、本実験では遮光によってNf吸収量が低下した株では、受光部位である外葉でNf濃度に遮光の影響がみられなかった一方、光がほとんど当たらない結球内部でその値が遮光により低下した。このときのNf濃度を抽出画分別にみると、外葉では、遮光により不溶性画分とアミノ酸画分のNf濃度は低下したが、硝酸画分のNf濃度は増加する傾向にあった。このため、外葉のNf濃度に遮光の影響がみられなかった一因には、これらの抽出画分におけるNf濃度の増減の違いにより、全体として遮光の影響が相殺されたことがあると考えられた。一方、結球内部では、不溶性画分とアミノ酸画分のNf濃度は遮光によって低下したが、硝酸画分のNf濃度には遮光の影響が認められなかった。このことから、結球内部で認められた遮光によるNf濃度の低下は、主にこれら2つの抽出画分のNf濃度の低下によって引き起こされたものと考えられた。

筆者らは、<sup>15</sup>N標識法を用いて結球期キャベツの窒素転流を解析した既報(佐藤・東尾, 2009)において、硝酸イオンとして施用した窒素の多くがまず外葉に取り込まれ、その後数日間かけて結球内部に転流することを確認している。また、このとき、結球内部では、アミノ酸

画分や不溶性画分に蓄積する施用窒素の割合が、外葉からの施用窒素の転流量の増加に伴って増加することも確認している。これらのことから、結球期のキャベツでは外葉から結球内部への窒素同化産物の転流が活発に行われていることが示唆される。本実験では、硝酸イオンの同化作用の鍵酵素となる NR の活性が、各部位の中で外葉上位で最も高く、結球内部では外葉上位に比べると僅かであった。また、外葉上位の NR 活性の低下に応じて、結球内部のアミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度が低下した。これらのことから、結球内部への窒素同化産物の蓄積は外葉上位の硝酸イオンの同化作用とその後の結球への窒素転流に大きく依存するものと考えられた。

植物体内の硝酸イオン濃度と光条件との関係については、光量低下によって NR 活性が低下するために、硝酸イオン濃度が増加することがハウレンソウ（福田ら、1999）やコマツナ（壇ら、2005）で報告されている。本実験においても、外葉では、遮光によって硝酸イオン濃度や硝酸画分の Nf 濃度が増加し、コマツナやハウレンソウと同様の光条件に対する反応が認められた。しかし、結球では、硝酸イオン濃度、硝酸画分の Nf 濃度のいずれもが遮光による影響を受けなかった。このことから、キャベツでは体内の硝酸イオン濃度に及ぼす光条件の影響は外葉と結球で異なることが示唆された。この点について筆者らは、既報（佐藤・東尾、2009）において結球の硝酸画分への施用窒素の蓄積は、硝酸イオン施用直後の根が硝酸イオンを吸収する時期に起こることを認めている。また、キャベツと同種のプロッコリーでは、師管液に含まれる窒素成分のほとんどはグルタミン酸などの遊離アミノ酸で、師管液に含まれる硝酸イオンは微量であることが示されている（Liu・Shelp, 1993）。このため、硝酸イオンの結球への移行経路としては、外葉を経由せずに、主に導管を通じて根から直接結球へ運ばれる可能性が高い。この場合、結球に蓄積した硝酸イオンには、遮光によって低下した外葉の NR 活性の影響は及ばないことになる。また、結球外部、内部とも NR 活性は外葉上位の値に比べると弱く、遮光の影響を受けなかった。このことを踏まえると、根から結球に直接移行して蓄積した硝酸イオンの同化量は僅かで、株全体が遮光下におかれてもその同化量はほとんど変化しないものと推測される。このようなキャベツ体内における硝酸イオンの移行経路と NR 活性の部位による違いによって、結球では硝酸イオン濃度や硝酸画分の Nf 濃度に遮光の影響が及ばなかったものと考えられた。

以上の結果から、結球期にキャベツの受光量が低下す

ると、硝酸イオンの蓄積量にはほとんど影響がない一方で、アミノ酸や不溶性窒素といった窒素同化産物への代謝量は低下することが明らかとなった。キャベツの結球には、遊離アミノ酸としてうま味を呈するグルタミンやグルタミン酸、アスパラギン酸が多く含まれる（矢野・小濱、1983）。このため、結球期に受光量が低下すると、これらの成分量の低下によって結球の食味が損なわれる可能性がある。実際のキャベツ栽培では、曇天や隣接する株同士の相互遮蔽によって株の受光量が低下することが多い。このような条件においては、結球における硝酸イオンよりも窒素同化産物の蓄積量の変化に注意を払う必要がある。本実験では、結球の窒素同化産物の蓄積には外葉上位における硝酸イオンの同化作用の寄与が大きいことが示唆された。このため、結球中の窒素同化産物の蓄積量を高く維持するためには、株間の拡大や開張性品種の活用などといった外葉の光環境の改善が有効な対策になるものと考えられる。これらの効果については、今後さらに検討する必要がある。

## V 摘 要

<sup>15</sup>N 標識法を用いて遮光下におけるキャベツの硝酸イオンの吸収と窒素の分配特性について調査した。ポット栽培した結球期のキャベツを黒色寒冷紗で遮光し、さらに <sup>15</sup>N で標識した硝酸イオンを施用した。株の施用硝酸イオン由来窒素 (Nf) の吸収量は遮光によって減少した。外葉では、遮光により硝酸画分の Nf 濃度は増加し、アミノ酸画分、不溶性画分の Nf 濃度は減少した。結球では、遮光によりアミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は減少したが、硝酸画分の Nf 濃度には遮光の影響が認められなかった。外葉の硝酸イオン濃度は遮光により増加したが、結球の硝酸イオン濃度には遮光の影響が認められなかった。外葉上位の硝酸還元酵素 (NR) 活性は他の部位に比べ高く、その値は遮光によって低下した。一方、結球の NR 活性には遮光の影響が認められなかった。これらの結果から、キャベツの結球では、受光量が低下しても硝酸イオン蓄積への影響はないものの、窒素同化産物の蓄積は受光量の低下により抑制されると考えられる。結球における窒素同化産物の蓄積は外葉上位での硝酸同化作用と密接な関係があることから、キャベツの品質向上のためには、この部位の光環境の改善が重要と考えられる。

## 引用文献

- 1) Cantliffe, D. J. (1972a): Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. *J. Amer. Soc. Hort.*, **97**, 152-154.
- 2) Cantliffe, D. J. (1972b): Nitrate accumulation in vegetable crops as affected by photoperiod and light duration. *J. Amer. Soc. Hort.*, **97**, 414-418.
- 3) 壇 和弘・大和陽一・今田成雄 (2005): 光強度および赤色光/遠赤色光比の違いがコマツナの硝酸イオン濃度および硝酸イオン還元活性に及ぼす影響. *園学研*, **4**, 323-328.
- 4) 藤倉潤治・杉山 裕 (2004): タどり収穫方法を活用したホウレンソウ等の硝酸塩濃度低減化. 平成16年度北海道農業研究成果情報.
- 5) 福田直也・宮城 慎・鈴木洋二・池田英男・高柳謙治 (1999): 深夜照明と培養液からのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>除去がホウレンソウの生育と苦笑の汁液中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度に及ぼす影響. *園学雑*, **68**, 146-151.
- 6) 加藤一幾・植田稔宏・松本英一 (2008): 黒ボク土地域の高温期コマツナ施設栽培における可食部硝酸イオン濃度の低減化. *園学研*, **7**, 345-350.
- 7) Kim, T. K., M. Takebe, W. M. H. G. Engelaar, H. Y. Kim, and T. Yoneyama (2002): Interaction between assimilations of fixed carbon and newly absorbed nitrate estimated by <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N tracing in intact spinach. *J. Plant Nutr.*, **25**, 1527-1547.
- 8) Kojima, M., S. Wu, H. Fukuki, T. Sugimoto, T. Nanmori and Y. Oji (1995): Phosphorylation/dephosphorylation of Komatsuna (*Brassica campestris*) leaf nitrate reductase in vivo and in vitro in response to environmental light conditions: Effects of protein kinase and protein phosphatase inhibitors. *Physiol. Plant.*, **93**, 139-145.
- 9) Liu, L., Shelp, B. J. (1993): Nitrogen partitioning in greenhouse-grown broccoli in response to varying NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ratios. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **24**, 45-60.
- 10) Lillo, C. (1994): Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. *Physiol. Plant.*, **90**, 616-620.
- 11) 小畑 仁・茅野充男 (1997): 個体における水とイオン. 茅野充男編, 現在植物生理学 5 物質の輸送と貯蔵, pp.61-52. 朝倉書店, 東京.
- 12) 岡崎圭毅・建部雅子・唐澤敏彦 (2006): ホウレンソウにおける汁液硝酸イオン濃度の推移および糖・シュウ酸含有率に対する養液土耕栽培の効果. *土肥誌*, **77**, 25-32.
- 13) 佐藤文生・東尾久雄 (2009): 結球期のキャベツにおける硝酸イオンの吸収と窒素の分配特性. *野菜茶研研報*, **8**, 7-13.
- 14) 清水知子・長屋浩治・恒川 歩・矢部和則・今川正弘 (2005): 窒素の施用時期及び形態がキャベツの硝酸イオン濃度に及ぼす影響. *愛知農総試研報*, **37**, 87-91.
- 15) 孫 尚穆・米山忠克 (1996): 野菜の硝酸: 作物体の硝酸の生理, 集積, 人の摂取. *農及園*, **71**, 1179-1182.
- 16) 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克 (1995): 窒素施用がホウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. *土肥誌*, **66**, 238-246.
- 17) 上園一郎・餅田利之 (2007): ハクサイにおける硝酸イオンの蓄積に対する窒素施肥の影響. *鹿児島農総セ研報 (耕種)*, **1**, 37-47.
- 18) Wien, H. C., Wurr, D. C. E. (1997): Cauliflower, broccoli, cabbage and Brussels sprouts. In: Wein, H. C. (ed.), *The physiology of vegetable crops*. pp.511-552, CABI Publishing, Cambridge.
- 19) 山下市二 (2002): 野菜の硝酸. *食衛誌*, **43**, J12-J15.
- 20) 山崎晴民 (2005): ホウレンソウ, コマツナの硝酸含量の特別実態と施肥管理による低減化. *埼玉農総研研報*, **4**, 25-31.
- 21) 矢野昌充・小濱節雄 (1983): 野菜の品質に及ぼす影響 (4) IV キャベツの遊離アミノ酸組成・含量. *野菜試報*, **A.11**, 57-69.
- 22) 谷田沢道彦 (1980): 養分の吸収に及ぼす環境条件. 高橋英一編, 新版作物栄養学, pp.94-103. 朝倉書店, 東京.
- 23) Yoneyama, T., T. Yamada and M. Yamagata (1987): Nitrate reduction and partitioning of nitrogen in komatsuna (*brassica campestris* L var *rapa*) plants - compartment analysis in combination with N-15 tracer experiments. *Plant Cell Physiol.*, **28**, 679-696.
- 24) 米山忠克・建部雅子 (1992): アスコルビン酸 (ビタミンC)・シュウ酸・硝酸の代謝と相互関係. *農及園*, **67**, 1055-1062.

## Characteristics of Nitrate Uptake and Nitrogen Accumulation in Cabbage under Shade at Head Developing Stage

Fumio Sato and Hisao Higashio

### Summary

We studied nitrate uptake and nitrogen accumulation in cabbages grown in pots under shade. Cabbages at the head developing stage were covered by 50% or 90% black shade cloth and fed with  $^{15}\text{N}$ -labeled potassium nitrate. Shading decreased the uptake of N derived from the nitrate feeding (Nf) relative to the unshaded control. In the outer leaves, shading increased the Nf content of the nitrate fraction and decreased those of the amino acid and insoluble-N fractions. In the heads, shading did not affect the Nf content of the nitrate fraction, but it decreased those of the amino acid and insoluble-N fractions. Shading increased the nitrate content in the outer leaves but had no effect in the heads. Shading decreased the activity of nitrate reductase (NR) in the outer leaves, especially in the upper position of those leaves, but did not affect NR activity in the heads, which was feeble compared with that in the outer leaves. These results suggest that shading has no effect on the accumulation of nitrate, but it diminishes the accumulation of assimilated N in the heads. In the upper position of the outer leaves, the involvement of NR activity in the accumulation of assimilated N indicates the importance of light conditions in this part to the quality of cabbage heads.



## 仕立て法および栽培環境の違いが、ベイトアルファ型、 温室型および日本型キュウリ品種の生育、収量に及ぼす影響

岩崎 泰永・安 東赫・下村 晃一郎\*・東出 忠桐・中野 明正

(平成 25 年 10 月 15 日受理)

### Optimizing Training Method and Environmental Factors to Improve the Growth and Yield of Cucumbers

Yasunaga Iwasaki, Dong-Hyuk Ahn, Koichiro Shimomura,  
Tadahisa Higashide and Akimasa Nakano

#### I 緒 言

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) には形態や特性の異なる多様な品種が存在するが、現在国内では果実の形状や外観が似通った日本型と呼ばれる品種を利用する画一的な生産が行われている (Sakata ら, 2010)。

また、日本のキュウリの生産性は世界的にみると必ずしも高くない。FAO (2011) の統計によると日本の単位面積あたり収量は  $5.0\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  で、世界第 26 位である。収量の高い冬春期の生産に限ってみても日本の単位面積あたり収量は  $10.0\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  である (農林水産省, 2013)。

北ヨーロッパには単位面積あたり収量の高い国が多く、1 位のオランダは  $65\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  以上 (FAO, 2011) で日本とは大きな差がある。

さらに、キュウリは日本の主要な野菜品目の一つであるにもかかわらず、近年生産量の減少が著しい (農林水産省, 2013) という問題がある。その要因には、収穫や管理作業に多大な時間が必要であることや、作業工程が複雑で技術や経験が必要であること、収量や販売価格の低迷による収益の低下によって、他の品目に変更したり、高齢化のために廃業する生産者が多いにもかかわらず、新規参入が少なく生産者数が減少していることなどが考えられる。今後、生産量を維持してゆくためには、新品

種の育成や新技術の開発によって新しい栽培体系を確立し、労働時間の短縮、作業の簡素化、高品質化による販売価格向上や単位面積あたり収量の増加などを実現し、生産性を向上することが必要である。

海外と国内の大きな収量の差は、品種、気候、栽培方法、ハウスの構造および設備などが異なることに起因すると考えられる。このような収量差の生じる要因を定量的に明らかにすることは、生産性の高い栽培体系の確立に有益な知見を得ることにつながると考えられるが、現在のところそのような研究は少ない。

Sakata ら (2010) は海外および日本で栽培されている主要な 5 タイプのキュウリ (温室型、スライス型、ピクルス型、ベイトアルファ型および日本型) 合計 8 品種について、作型を変えて 4 回栽培実験を行い、それらの形態的な特徴や収量を比較している。その結果、収量は、温室型、ベイトアルファ型およびスライス型で高かったと述べている。また同時に摘心栽培とつる下ろし栽培を比較し、摘心栽培の収量が高かったと述べているが、それらの理由については定量的な検討はなされていない。

一方、東出ら (2012) は日本型キュウリ品種を 3 種類供試し、2 種類の整枝誘引法 (つる下ろし栽培と摘心栽培) の収量の差異を乾物重、果実分配率、LAI、受光体勢、光利用効率など物質生産 (黒岩, 1990) の観点か

ら解析した。その結果、果実収量はすべての品種で摘心栽培が多く、その理由として、摘心栽培は総乾物重が多く、また果実分配率が高いことを明らかにした。そして総乾物重の違いは光利用効率の違いに起因すると考察した。このような解析手法を用いることによって品種や栽培方法の違いによって生じる収量差の要因を明確にすることが可能となり、品種の選定や栽培方法の改善、育種の方向性などについての知見を得ることができる。

また、キュウリの栽培においてCO<sub>2</sub>施用が収量の増加に効果があることはすでに報告されているが（川城ら、2009）、国内の生産現場では実際に導入されている事例は少ない。さらに、高軒高ハウスを利用したつる下ろし栽培において、海外および国内で利用されている品種を栽培しCO<sub>2</sub>施用の影響を比較検討した報告はみあたらない。

本実験では国内キュウリ栽培の生産性を向上するための新品種の育成や新しい栽培技術の確立に資する基礎的な知見を得ることを目的として、海外および国内のキュウリ品種を供試して、とくに収量に及ぼす影響が大きいと思われる仕立て法と環境条件（CO<sub>2</sub>濃度と湿度）に着目し、収量の品種間差について物質生産の観点から解析を試みた。

本研究の実施にご協力いただいた、研究支援センターの粕山敏夫氏、岩切浩文氏、内野達哉氏に深く感謝いたします。

## II 材料及び方法

温室型およびベイトアルファ型の品種は種苗会社からの聞き取り情報に基づいて栽培面積が多いものを選定した。実験1、実験2ともに、温室型として‘Proloog RZ’（Rijk Zwaan社）を、ベイトアルファ型として‘Media RZ’（Rijk Zwaan社）を用いた。日本型として‘エテルノ’（ときわ研究場）を用いた。‘エテルノ’はつる下ろし栽培に適した品種の一つとして国内の生産者に支持されている。主枝着果率は11月～2月までで70～80%とされており、摘心栽培もできる（ときわ研究場、2013）とされている。

国内のつる下ろし栽培では通常、主枝を10～15節程度で摘心し、側枝を2～4本伸張させる（太田ら、2005）。一方、海外のつるおろし栽培では主枝を伸張させる方法が一般的である。本実験では、海外で一般的な主枝を伸張させるつる下ろし栽培を用いた。

また、品種の受光体勢の違いを評価するため、本実験

の栽植密度は既往の報告（加藤ら、2005；太田ら、2005；東出ら、2012）よりも高めに設定した。実験1、実験2ともに密植による病害の多発や徒長など外観上の大きな異常は観察されなかった。

### 1 仕立て法の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異（実験1）

武豊野菜研究拠点（愛知県知多郡武豊町）内の単棟鉄骨ハウス（間口8m、奥行き20m、軒高2.0m、南北棟、被覆材はガラス）において実験を実施した。2011年10月13日に園芸用土（商品名ナテラ、MKVドリーム）を詰めた72穴セルトレイに播種し、閉鎖型苗生産施設内で育苗したのち、同年10月27日にロックウールスラブ（商品名グロトップエキスパート、長さ0.9m、幅0.195m、高さ0.075m、グロダン製）を培地とする栽培ベッドに定植した。ハウス内部には長さ14m、幅0.3mの栽培ベッド4本を南北方向に設置した。一つの栽培ベッドにはロックウールスラブを15枚設置した。ベッド間隔は1.6mとした。

各品種について、主枝1本仕立て区（側枝を利用するつる下ろし栽培と区別するため、本実験では1本仕立て区と呼ぶことにした）と摘心区を設けた。ロックウールスラブ5枚を1区画とし、一つの栽培ベッドを3区画に区切り、上記3品種をランダムに割り付けた。1区画当たりの定植株数は25株（1スラブ当たり5株、株間0.182m、3.43株・m<sup>-2</sup>）とし、そのうち、中央付近の10株を収穫調査の対象にした。4本の栽培ベッドのうち、2本を主枝1本仕立て区に、残り2本を摘心区とし、仕立て法ごとに交互に割り当て、1処理区あたり2区画（2反復）とした。

主枝1本仕立て区は側枝をすべて取り除き、栽培期間を通して主枝を伸張させた。摘心区は、主枝を第20節で摘心し、第5節までに発生した第1次側枝はすべて除去し、第6節以降の第1次側枝は第2節で摘心した。栽培ベッドは地上から0.4mの高さに設置し、誘引パイプは地上から2.0mの高さに設置した。誘引パイプは各ベッドに2本ずつ設置（間隔は0.45m）して、主枝1本仕立て区と摘心区ともに、左右振り分け誘引とした。栽培ベッドより下に伸びた第2次側枝などは床面に接触したときに切除した。不要な側枝はできる限り初期のうちに取り除いた。栽培中の下葉は黄変したものを取り除いた。除去した茎葉は区画ごとに回収し乾物重を測定した。

定植時および定植から28、42および105日後に1区

画当たり3株ずつサンプリングを行い、葉面積、葉数、莖長、葉や莖の新鮮重および乾物重を測定した。その際、収穫調査用個体の光条件に影響を与えない位置からサンプリング用の個体を選んだ。

収穫する果実の大きさはSakataら(2010)の報告を参照して決めた。‘Media RZ’と‘エテルノ’は長さ0.18～0.22mで、‘Proloog RZ’は0.25～0.3mを目安として週に3回収穫調査を行った。収穫調査は定植41～105日後(2011年12月6日～翌年2月6日)まで行った。果実数、新鮮重および曲り果などの不良果数を調査した。

果実乾物重は果実新鮮重に乾物率をかけて算出した。乾物率は定植45日後および76日後に、各区より20本ずつ果実をサンプリングし、新鮮重と乾物重から乾物率＝乾物重／新鮮重として求めた(n=40)。乾物率は‘エテルノ’で0.039、‘Media RZ’および‘Proloog RZ’ではそれぞれ0.038であった。

天窓の換気設定温度は28℃とした。温風暖房機の設定温度は13℃とした。培養液は大塚A処方を用い、株当たり0.5～2.0L・日<sup>-1</sup>を5～10回に分けて生育や天候に応じて供給した。培養液のECは生育に応じて1.2～2.4dS・m<sup>-1</sup>の範囲で管理した。

ハウス内のCO<sub>2</sub>濃度および相対湿度は制御システム(CO<sub>2</sub>当盤およびしつど当盤、トヨハシ種苗)を利用して制御した。相対湿度は気温25℃以上の場合に70～75%となるようにミストを噴霧した。天窓を閉じた状態ではCO<sub>2</sub>の最低濃度を800ppm、一方、天窓が開いて換気が行われている状態では、CO<sub>2</sub>の最低濃度は400ppmとして、液化CO<sub>2</sub>ガスを用いて、ハウス内にCO<sub>2</sub>を供給した。

吸光係数の測定と光利用効率、積算受光量の計算はHigashideら(2009)の方法に準じて行った。定植103日後に光量子センサ(LI-190, Li-Cor)を群落の上に設置し、データロガー(GL220, GRAPTEC)にて光合成有効光量子束密度(PPFD)を10秒ごとに記録した。群落上部から群落最下部までの高さを3分割し、ロング光量子センサ(LI-191, Li-Cor)を分割した高さごとに群落内部に栽培ベッドと直交するように差し込み、水平面のPPFDを一区画当たり3カ所ずつ測定した。測定より2日後の定植105日後に、測定点付近の個体を1区画当たり3個体ずつサンプリングし、群落内のPPFDを測定した高さごとに葉面積を調査した。群落上部の光強度をI<sub>0</sub>、高さ別の群落内光強度をI<sub>n</sub>(n=1～3)とし、相対光強度をI<sub>n</sub>/I<sub>0</sub>として、高さ別の葉面

積と株あたり占有面積から算出した高さ別のLAIを横軸にとり、相対光強度を縦軸として散布図上にプロットし、それぞれの座標と、LAI=0(相対光強度1)を一次式で回帰しその傾きを吸光係数(k)として、品種および仕立て法ごとに求めた(Monsiら, 1953)。積算受光量は、LAIと吸光係数およびその日の積算日射量から算出した。その際、毎日のLAIは3回のサンプリングから得られた葉面積データから、線形補完によってサンプリング間の値を推定した。定植後28日、42日および105日における積算受光量とその時点における総乾物重をプロットし、原点を通る一次式で回帰した場合の傾きを光利用効率とした。

## 2 栽培環境の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異(実験2)

武豊野菜研究拠点(愛知県知多郡武豊町)にある、鉄骨ハウスを2棟供試して実験を行った。一棟(間口4.5m×2連棟、奥行24m、うち栽培部分は18m、軒高3.6m南北棟、被覆材はPO)は実験1と同様なCO<sub>2</sub>施用および湿度制御を行った(以下、制御ハウス)。もう一棟(間口4.5m×6連棟、奥行36m、軒高3.6m、南北棟、被覆材はPO、うち栽培部分は9×16m)はそれらの処理を行わなかった(以下、対照ハウス)。2011年10月13日に実験1と同様に園芸用土を詰めた72穴セルトレイに播種し、閉鎖型苗生産施設内で育苗したのち、同年10月28日にロックウールを培地とする栽培ベッドに定植した。ハウス内に長さ14m、幅0.3mの栽培ベッド4本を南北方向に作成し、各ベッドにはロックウールスラブを15枚設置した。ベッド間隔は1.8mとした。ロックウールスラブ5枚を1区画(1反復)とし、一つの栽培ベッドを3区画に区切り、上記3品種をランダムに割り付けた。1区画当たり20株(1スラブ当たり4株、株間0.228m、2.44株・m<sup>-2</sup>)定植し、中央付近の10株を収穫調査の対象とした。試験区は中央の栽培ベッド2本に設置し、1処理区あたり2区画(2反復)とした。第5節までに発生した強い側枝を第2主枝として伸ばし、主枝2本仕立てのつる下し誘引とした。実験1の主枝1本仕立て区同様に、側枝はすべて取り除き、栽培期間を通して主枝を伸張させた。栽培ベッドは地上から0.3mの高さとなるように設置し、誘引パイプは地上から3.0mの高さに栽培ベッドに沿って0.45m間隔で2列に設置した。側枝の処理や解体調査、光環境の調査は実験1と同様にして行った。

吸光係数は制御区のみ測定し、その値を対照区にも適

用した。収穫調査は定植42～126日後(2011年12月7日～翌年2月29日)まで行った。乾物率は実験1と同様にして求め、‘エテルノ’は0.036, ‘Media RZ’および‘Proloog RZ’は、それぞれ0.034 (n=40)であった。

天窓の換気設定温度は28℃とした。温風暖房機の設定温度は13℃とした。培養液管理は実験1と同様に行った。

制御区のCO<sub>2</sub>濃度および相対湿度はユビキタス環境制御システム(安場ら, 2012)によって制御した。相対湿度は気温25℃以上の場合に75～80%となるようにミストを噴霧して制御した。天窓が連続して5分以上閉じた状態が続いた場合は、CO<sub>2</sub>の最低濃度を終日800ppm、一方、天窓が開いて換気が行われている状態では、CO<sub>2</sub>の最低濃度は400ppmとして、液化CO<sub>2</sub>ガスを用いて、ハウス内にCO<sub>2</sub>を供給した。

### Ⅲ 結果

#### 1 仕立て方法の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異(実験1)

収量(果実新鮮重)は、商品果収量および商品果と不良果を合計した総収量ともに、すべての品種において主枝1本仕立て区よりも摘心区が多かった(表-1)。主枝1本仕立て区、摘心区内において、それぞれ品種の違いをみると、商品果収量は‘Media RZ’がもっとも多く、次いで、‘Proloog RZ’、‘エテルノ’の順になった。一方総収量は、‘Media RZ’と‘Proloog RZ’がほぼ同等で有意な差はなく、‘エテルノ’がやや少なかった。収穫果実数においても同様な傾向であった(データ略)。

その結果、商品果率は‘Media RZ’が主枝1本仕立て区0.79, 摘心区0.75でもっとも高く、次いで、‘Proloog RZ’(主枝1本仕立て区0.53, 摘心区0.57), ‘エテルノ’(主枝1本仕立て区0.54, 摘心区0.44,)の順となった。‘Media RZ’および‘Proloog RZ’は摘心区と主枝1本仕立て区の商品果率は同様な値となったが、‘エテルノ’では、主枝1本仕立て区の商品果率が高かった。

実験終了時(定植105日後)についてみると(表-2)、節数は同一品種では仕立て法について有意な差はなく、仕立て法ごとに品種の差をみると、‘Proloog RZ’がもっとも多く、次いで‘Media RZ’、‘エテルノ’の順となった。

LAIは、同一品種では主枝1本仕立て区が摘心区よりも小さい傾向であった。仕立て法ごとに品種の違いをみると、主枝1本仕立て区では‘エテルノ’と‘Proloog RZ’が同等であり、‘Media RZ’は他の2品種よりも大きかった。一方摘心区では‘Proloog RZ’と‘Media RZ’の間に有意な差がみられた。

吸光係数は、同一品種でみると、主枝1本仕立て区が摘心区よりも大きかった。主枝1本仕立て区、摘心区内でそれぞれ品種の違いを見ると、仕立て法に関わらず‘エテルノ’の吸光係数が有意に大きく、‘Media RZ’および‘Proloog RZ’はほぼ同等であった。

果実乾物重は、収量と同様にいずれの品種においても摘心区が主枝1本仕立て区よりも大きかった。また、主枝1本仕立て区および摘心区ともに‘エテルノ’の果実乾物重が他の品種に比べて小さかった。定植105日後の総乾物重は、同一品種では摘心区で大きく、主枝1本仕立て区で小さかった。

表-1 仕立て法および品種の違いが果実新鮮重に及ぼす影響

仕立て法	品種	収量(果実新鮮重量)		商品果率
		商品果収量 <sup>w</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	総収量 (kg/m <sup>2</sup> )	
1本仕立て区	エテルノ	4.1 a <sup>y</sup>	7.6 a	0.54 a
	Media	8.2 b	10.3 b	0.79 b
	Proloog	5.3 a	9.9 b	0.53 a
摘心区	エテルノ	4.9 a (119) <sup>x</sup>	11.0 a (145)	0.44 a
	Media	8.9 c (109)	11.9 ab (116)	0.75 c
	Proloog	7.0 b (133)	12.3 b (123)	0.57 b
分散分析 <sup>z</sup>	仕立て法	*	*	*
	品種	*	*	*
	交互作用	ns	ns	*

w 商品果: 曲がり果, 尻細果, 尻太果を除いた正形果

x 主枝1本仕立て区に対する摘心区の収量比(%)

y 同一区内の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により危険率5%水準で有意差があることを示す

z \*\*は1%で, \*は5%水準で有意差があることを示し, nsは有意差なしを示す

表-2 仕立て方法及び品種の違いが節数、LAI、吸光係数、乾物重、分配率、積算受光量、光利用効率に及ぼす影響

仕立て法	品種	節数 (節/株)	LAI (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	吸光係数	乾物重					果実 分配率 (%)	積算 受光量 (MJ/m <sup>2</sup> )	光利用 効率 (g/MJ)
					茎	葉	下葉	果実	総乾物重			
1本仕立て区	エテルノ	40.3 a <sup>y</sup>	2.46 a	1.69 b	116 b	97 b	138 a	325 a	674 a	48.1 a	611 a	0.98 a
	Media	42.2 ab	3.20 b	1.20 a	89 a	85 a	114 a	425 b	713 b	59.7 b	610 a	1.04 b
	Proloog	44.6 b	2.52 a	1.33 a	79 a	85 a	119 a	442 b	725 b	61.0 b	602 a	1.06 b
摘心区	エテルノ	34.7 a	3.78 ab	1.15 b	217 b	101 b	23 a	460 a	801 a	57.4 a	583 a	1.08 a
	Media	40.2 b	3.47 a	0.94 a	149 a	92 a	53 b	533 b	827 b	64.4 b	581 a	1.27 b
	Proloog	47.2 c	3.90 b	0.91 a	136 a	107 b	51 b	535 b	829 b	64.5 b	576 a	1.29 b
分散分析 <sup>z</sup>	仕立て法	ns	*	**	*	*	**	**	**	**	ns	*
	品種	*	*	*	**	ns	ns	*	**	*	ns	*
	交互作用	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

y 同一区同一列中の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により、危険率5%水準で有意差があることを示す

z \*\*は1%で、\*は5%水準で有意差があることを示し、nsは有意差なしを示す

表-3 栽培環境および品種の違いが果実新鮮重に及ぼす影響

試験区	品種	収量(果実新鮮重量)		商品果率
		商品果収量 <sup>w</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	総収量 (kg/m <sup>2</sup> )	
対照区	エテルノ	11.8 a <sup>y</sup>	12.4 a	0.95 a
	Media	14.0 b	15.9 b	0.88 a
	Proloog	12.6 ab	14.1 b	0.89 a
制御区	エテルノ	14.5 a (123) <sup>x</sup>	15.2 a (123)	0.95 a
	Media	18.5 b (132)	18.7 b (118)	0.99 a
	Proloog	19.4 b (154)	19.7 b (140)	0.98 a
分散分析 <sup>z</sup>	環境	*	*	ns
	品種	*	*	ns
	交互作用	*	ns	ns

w 商品果:曲がり果、尻細果、尻太果を除いた正形果

x 対照区に対する制御区の収量比(%)

y 同一区内の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により危険率5%水準で有意差があることを示す

z \*\*は1%で、\*は5%水準で有意差があることを示し、nsは有意差なしを示す

果実への乾物分配率は同一品種でみると摘心区が主枝1本仕立て区よりも高かった。主枝1本仕立て区および摘心区内で品種の差をみると、‘エテルノ’が他の品種よりも有意に低く、他の2品種は同等であった。

積算受光量は仕立て法および品種の違いによる有意な差はみられなかった。

光利用効率は0.98～1.29の範囲となり、同一品種では、摘心区が主枝1本仕立て区よりも高かった。主枝1本仕立て区および摘心区内でそれぞれ品種による違いをみると、主枝1本仕立て区、摘心区ともに、‘エテルノ’の光利用効率が他の2品種よりも低かった。

なお、雌花の着生に関しては、‘Proloog RZ’および‘Media RZ’では主枝および側枝の雌花着生率が極めて高く、また‘エテルノ’では主枝には雌花と雄花が混生し、側枝にはほとんどの節に雌花が着生したことが観察された(データ略)。

## 2 栽培環境の違いが生育および収量に及ぼす影響の品種間差異(実験2)

商品果収量および総収量ともに、いずれの品種においても対照区よりもCO<sub>2</sub>施用および湿度制御を行った制御区が多かった(表-3)。制御区は対照区に対して商品果収量で23～54%、総収量で18～40%増加した。品種による商品果収量の違いをみると、対照区では‘エテルノ’と‘Proloog RZ’が同等で、‘Media RZ’が高く、制御区では‘エテルノ’、‘Media RZ’、‘Proloog RZ’の順に高かった。総収量は‘エテルノ’がもっとも低く‘Proloog RZ’と‘Media h RZ’が同等となり、制御区では‘エテルノ’、‘Media RZ’、‘Proloog RZ’の順に高かった。収穫果実数は収量と同様な傾向がみられた(データ略)。商品果率は対照区、制御区ともいずれの品種においても0.88以上と高く、環境制御の有無や品種による差はなかった。

実験終了時(定植126日後)についてみると(表-4)、節数は同一品種内では制御区が対照区よりも多

表4 環境制御方法および品種の違いが節数, LAI, 吸光係数, 乾物重, 分配率, 積算受光量, 光利用効率に及ぼす影響

試験区	品種	節数 (節/株)	LAI (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	吸光係数	乾物重				果実 分配率 (%)	積算 受光量 (MJ/m <sup>2</sup> )	光利用 効率 (g/MJ)	
					茎	葉	下葉	果実				総乾物重
対照区	エテルノ	55.8 a <sup>y</sup>	3.37 a	1.03 b	84 a	136 a	50 a	454 a	724 a	62.7 a	707 a	0.99 a
	Media	65.8 b	4.28 b	0.80 a	93 b	130 a	54 a	587 c	864 b	67.9 a	696 a	1.18 b
	Proloog	85.0 c	4.54 b	0.86 a	120 c	139 a	70 a	510 b	840 b	60.8 a	688 a	1.17 b
制御区	エテルノ	64.7 a	3.57 a	1.03 b	102 a	136 a	63 a	555 a	855 a	64.9 a	738 a	1.11 a
	Media	80.3 b	4.15 b	0.80 a	123 b	114 a	90 a	658 b	985 b	66.8 a	715 a	1.31 b
	Proloog	98.8 c	4.00 b	0.86 a	142 c	104 a	107 a	705 c	1,059 b	66.6 a	724 a	1.39 b
分散分析 <sup>z</sup>	環境	**	ns	-	*	ns	**	**	**	ns	ns	**
	品種	*	*	*	**	ns	ns	*	**	ns	ns	*
	交互作用	ns	ns		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

y 同一区同一列中の異なるアルファベットはTukeyの多重検定により, 危険率5%水準で有意差があることを示す

z \*\*は1%で, \*は5%水準で有意差があることを示し, ns は有意差なしを示す

かった。制御区および対照区内で品種の差をみると‘Proloog RZ’がもっとも多く, ついで, ‘Media RZ’, ‘エテルノ’の順となった。

LAIは, 同一品種では対照区, 制御区で差がみられなかった。対照区および制御区内で品種による差をみると, ‘エテルノ’のLAIが他の2品種よりも有意に小さかった。

吸光係数は‘エテルノ’が他の2品種よりも大きかった。

果実乾物重は, 果実新鮮重と同様にすべての品種において制御区が対照区より大きかった。総乾物重についてみると, 同じ品種では制御区で大きく, 対照区で小さかった。また, 制御区および対照区内ともに‘エテルノ’が他の品種に比べて小さかった。

果実への乾物分配率は環境制御の有無および品種による差はみられなかった。

積算受光量は環境制御の有無および品種による差はみられなかった。

光利用効率は, 0.99~1.39の範囲にあり, 同一品種でみると制御区が対照区よりも高かった。制御区および対照区内で品種による違いをみると, ‘エテルノ’が有意に低かった。

実験1同様‘Proloog RZ’および‘Media RZ’では雌花着生率が極めて高く, ‘エテルノ’では雌花と雄花が混生して発生したことが観察された(データ略)。

#### IV 考察

東出ら(2012)は2種の整枝法(摘心栽培とつる下ろし栽培)と3つの品種を組み合わせて収量の差異を収量構成要素から評価した。その結果, 収量(果実新鮮重)が多かった摘心区および品種は果実乾物重が多く,

果実乾物重が多い理由として, 総乾物重および果実への乾物分配率がともに多いためであると報告した。さらに, 総乾物重の違いは光利用効率の違いによって生じると説明し, 光利用効率と吸光係数との間には有意な負の相関関係があることを述べて, 光利用効率の大小には受光態勢が関与することが示唆されると報告している。また, つる下ろし栽培において光利用効率が低かった理由について言及し, 群落下部の弱光条件に光合成能の高い成熟葉が存在することであると考察している。本実験においても商品果収量および総収量ともに主枝1本仕立て区よりも摘心区が多くなった。主枝1本仕立て区は摘心区よりも吸光係数が大きく, 光利用効率が低い結果を得ており, 東出らの結果と一致する。一方で, 東出らは品種間の収量の差異については具体的には言及していない。そこで本実験は, 海外および国内のタイプの異なるハウス栽培用のキュウリ3品種を供試し, 実験1では異なる仕立て法を, 実験2では異なる環境条件を与え, 品種の特性を物質生産の観点から解析することを試みた。

実験1では, 商品果収量, 総収量ともにいずれの仕立て法においてもベイトアルファ型の‘Media RZ’がもっとも多く, 次いで温室型の‘Proloog RZ’, 日本型の‘エテルノ’の順となった。‘エテルノ’は他の2品種と比較して総乾物重が小さく, 乾物重の果実分配率が他の2品種よりも低かった。総乾物重が低下した要因として, ‘エテルノ’の光利用効率が仕立て法に関わらず, 他の2品種より有意に低かったことが考えられる。‘エテルノ’は他の2品種より吸光係数が大きい(主枝1本仕立て区1.69, 摘心区1.15), LAIがある程度以上の大きさとなると, 群落上層でほとんどの光が吸収され, 群落内部に存在する光合成能力の高い成熟葉を十分に活用できないことが, 光利用効率が低くなった要因と考えられた。乾物重の果実分配率が‘エテルノ’にお

いて低かった要因は、雌花の着生特性すなわち、性表現の違いが反映されていると考えられる。Sakataら(2010)は、本実験とは品種が異なるが温室型およびベイトアルファ型品種の性表現を雌性(gynoeocious)としている。本実験で供試した品種においても雌花着生率が極めて高いことから同様に雌性であると判断される。一方、‘エテルノ’では主枝着果率が11月～2月まで70～80%とされており(ときわ研究場, 2013)、本実験においても雌花と雄花が混生して発生したことから雌雄同株性(monoecious)であると判断される。‘エテルノ’は雌雄同株性であるために、乾物重の果実分配率が低かったと推察される。

仕立て法の違いが収量に及ぼす影響の強さは品種によって差があり、とくに‘エテルノ’では摘心区は主枝1本仕立て区より総収量が45%と多くなった。これは仕立て法によって‘エテルノ’の果実分配率が大きく異なることから生じたと考えられる。‘エテルノ’では主枝の雌花着生率は70～80%とされており(ときわ研究場, 2013)、本実験においてもほぼ同様な状況が観察された。一方、多くの品種同様に側枝の雌花着生率は‘エテルノ’においても高かった。これらのことから‘エテルノ’では主に側枝を利用して収穫する摘心栽培で果実分配率が多くなったことが推測される。

以上のように、日本型品種‘エテルノ’は、ベイトアルファ型の‘Media RZ’、温室型の‘Proloog RZ’より総乾物重、果実分配率が低いこと総収量が低いことが明らかとなった。総乾物重が低い要因は吸光係数大きいことであり、一方、果実分配率が低い要因は性表現が雌雄同株性であることと判断された。

実験2では、オランダなどで行われている仕立て方法と環境制御を想定し、高軒高ハウスにおいて、主枝を垂直に誘引して伸張させるつる下ろし栽培を行い、一方のハウスでは光合成を促進するためにCO<sub>2</sub>濃度と相対湿度を高め維持した(岩崎ら, 2011)。CO<sub>2</sub>施用と湿度制御によって、すべての品種において、商品果収量、総収量ともに増加した。CO<sub>2</sub>施用と湿度制御の影響の強さは品種によって異なった。特に‘Proloog RZ’で商品果収量、総収量ともに増加の幅が大きかった(32～54%)。光利用効率をみると、CO<sub>2</sub>施用と湿度制御によって対照区に対して11～19%増加した。これはCO<sub>2</sub>施用と湿度制御によって光合成速度が向上したことを反映していると考えられる。‘Proloog RZ’では光利用効率は19%増加した。これに対して、総収量、商品果収量はそれぞれ40%、54%増加した。‘Proloog RZ’は

CO<sub>2</sub>と湿度を高めた条件で葉への乾物分配が減少し、果実への分配率が60.8%から66.6%まで増加している。この要因として、‘Proloog RZ’は雌花の着生数をもっとも多かったことが考えられる。‘Proloog RZ’はほぼすべての節に雌花の着生する雌性であり、それに加えてもっとも節数が多かった。雌花着生数が多い状況で、CO<sub>2</sub>施用と湿度制御による光合成産物が増加したことにより、落花や肥大途中で停止する果実が減少した結果、収穫果数が増加したと考えられる。

本実験では、実験1と実験2の商品果率が大きく異なった。商品果率は実験2がすべての区で0.88以上と非常に高かったが、実験1では0.44～0.79であった。不良果はそのほとんどが曲がり果と尻細果であることから、不良果は光合成産物の不足によって発生したと考えられる。このような差が生じた要因の一つとして、実験2では、高軒高ハウスを用いることによって葉面積が増加し、光合成量が増加した結果として不良果の発生が少なかったと考えられる。また、本実験では被覆資材の日射透過率は測定していないが、実験1は旧型のガラス温室を利用しているため、日射透過率が低下している可能性があり、商品果率低下の要因の一つと考えられる。

以上をまとめると、品種による収量の差には受光体勢と乾物分配率が大きく影響していることが確認された。さらに、仕立て法や栽培環境の違いは受光体勢や乾物分配率の違いを通して収量に影響するため、品種によって仕立て法や栽培環境条件に対する収量の増減が異なることが明らかとなった。受光体勢の改善には吸光係数の低い特性を有する品種が有利であり、果実分配率を高めるためには、雌花着生数が多い特性が望ましいと考えられる。また、本実験では調べていないが、単為結果率が高い品種は果実分配率が高くなりやすいと考えられる(齋藤, 1982)

オランダでは高軒高ハウスで主枝つる下ろし栽培を行い、CO<sub>2</sub>と相対湿度などの環境を光合成に好適な条件に維持している。このような条件に、雌花着生数も多く吸光係数の低い品種を組み合わせることで高い収量を達成していると考えられる。

## V 摘要

日本型品種‘エテルノ’(雌雄同株性)、ベイトアルファ型品種‘Media RZ’(雌性)、温室型品種‘Proloog RZ’(雌性型)を供試し、実験1では異なる仕立て方法(主枝1本仕立てと摘心栽培)、実験2では異なる栽培

環境条件 (CO<sub>2</sub> 濃度と湿度) で栽培し、品種ごとの収量の差異を物質生産の観点から調べた。仕立て法や環境条件に関わらず、‘エテルノ’の総収量がもっとも低かった。‘エテルノ’では総乾物重、果実乾物重が低く、総乾物重は光利用効率が低いことが、果実乾物重は乾物重の果実分配率が低いことが要因であることが明らかとなった。‘エテルノ’は吸光係数が大きいために光利用効率の低下が生じた可能性がある。性表現が雌雄同株性である‘エテルノ’は主枝の雌花着生率が他の品種より低いため、乾物重の果実乾物率が低くなると推測される。また、栽培環境や仕立て法は、光利用効率や乾物重の果実乾物率、すなわち、受光体勢や着果特性といった品種特性を介して収量に影響するため、それらの条件に対する収量の増減は品種ごとに異なることが確認された。‘エテルノ’では主枝の雌花着生数が少ないが、一方で側枝の雌花着生数は多くなりやすい。このため、摘心仕立てと主枝1本仕立ての収量比が他の品種より大きくなったと推測された。一方、‘Proloog RZ’は雌性である上に節数が多いので、主枝の雌花着生数が多くなり、CO<sub>2</sub> 施用と湿度制御による収量の増加割合が他の品種より大きかったと推測された。以上の結果から、収量を高めるためには吸光係数が低く、雌花の着生数が多い品種特性が有利であると判断された。

#### 引用文献

- 1) 東出忠桐・後藤一郎・鈴木 克己・安場健一郎・塚澤和憲・安東赫・岩崎泰永 (2012) : 収量構成要素の解析からみたキュウ
- リ短期栽培の摘心およびつる下ろし整枝法の差異. 園学研., 11, 523-529.
- 2) Higashide, T. and E. Heuvelink (2009): Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 134, 460-465.
- 3) 岩崎泰永・三浦慎一 (2011): トマトおよびイチゴ促成栽培における加湿制御が生育および収量に及ぼす影響. 園学研., 10(別2), 455
- 4) 加藤香織・高橋 登 (2005): キュウリつる下ろし栽培における整枝法. 群馬農技セ研報., 2, 121-129.
- 5) 川城英夫・土屋 和・崎山 一・宇田川雄二 (2009): 低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価. 園学研., 8, 445-449.
- 6) 黒岩澄雄 (1990): 物質生産における個体と群落, 物質生産の生態学, 74-105. 東京大学出版会, 東京
- 7) Monsi, M. and T. Saeki(1953): Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. *Jpn. J. Bot.*, 14, 22-52.
- 8) 農林水産省 (2013). 全国の作付面積・収穫量・出荷量. 平成23年産野菜生産出荷統計. e-Stat 政府の統計窓口.
- 9) 太田友代・清野英樹・井上直和 (2005): 施設キュウリの新整枝法「つる下ろし栽培」の特徴と生産安定技術. 埼玉農総セ研報., 4, 79-83.
- 10) 斎藤 隆 (1982): 開花, 結実の過程. キュウリ 農業技術体系野菜編第1巻, 基 80-85. 農文協. 東京
- 11) Sakata, Y., M. Sugiyama and Y. Yoshioka (2010) : Morphological characteristic and yields of five major cucumber types under cultivation in Japan. *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science*, 9, 113-123.
- 12) 安場健一郎・黒崎秀仁・高市益行・鈴木克己 (2012): ユビキタス環境制御システム通信実用規約に基づいた施設園芸用管理ソフトウェアの開発. 野菜茶研研報., 11, 63-72.
- 13) FAO(2011), <http://faostat.fao.org/>
- 14) ときわ研究場 (2013) (<http://www.tokiwa-cucumber.com/hinshu/eterno/eterno.html>)

## Optimizing Training Method and Environmental Factors to Improve the Growth and Yield of Cucumbers

Yasunaga Iwasaki, Dong-Hyuk Ahn, Koichiro Shimomura, Tadahisa Higashide and Akimasa Nakano

### Summary

We investigated the yield differences among three cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars in greenhouses from October 2011 to February 2012. We grew the greenhouse cultivar 'Proloog RZ', the Beit Alpha cultivar 'Media RZ', and the Japanese cultivar 'Eteruno'. We investigated the effects of support and training methods (the Japanese teki-shin method and the single-stem method) and of environmental factors ( $\text{CO}_2$  concentration and relative humidity) on the fresh fruit yield, dry matter (DM) production, leaf area index, DM partitioning to fruit, and light use efficiency. Teki-shin is a common Japanese training method that involves (1) supporting and training the primary vine up a vertically strung cord, (2) topping the primary vine at the 18 to 20th node, (3) pinching off the first and secondary lateral branches at the first or second node. The single-stem method that we used involved (1) supporting and training the primary vine up a long vertically strung cord, (2) pruning all lateral branches and harvesting fruits from the primary vine. The fresh fruit yield was lowest in 'Eteruno' under all growing conditions, owing to the low DM production and low DM partitioning to fruit. The DM production was determined by the light use efficiency, which was correlated with the light extinction coefficient. The DM partitioning to fruit was determined by the fruit set characteristic such as the number of pistillate-flowers per plant. Support and training methods and environmental factors affected fresh fruit yield through determining light interception and the fruit set characteristic, and therefore their effects depended on cultivar. For example, the low rate of pistillate-flower set on the main stem of 'Eteruno' caused a large difference in fruit yield between the two support and training methods. 'Proloog RZ' had the most nodes and the most pistillate flowers, so a higher  $\text{CO}_2$  concentration and higher humidity improved the fruit yield the most. To achieve high yields, it is necessary to grow cultivars with a low light extinction coefficient and a high rate of pistillate-flower set. Breeding should focus on these characteristics.



野菜茶業研究所研究報告 第13号

所 長	小島 昭夫
編集委員長	荒木 陽一
編 集 委 員	木幡 勝則
	吉田 建実
	今田 成雄
	高市 益行
	鈴木 克巳
	白川 隆
	松尾 喜義

BULLETIN OF THE  
NATIONAL INSTITUTE OF VEGETABLE  
AND TEA SCIENCE  
No. 13

*Director General* Akio Kojima

**Editorial Board**

*Chairman* Yoichi Araki  
Katsunori Kohata  
Tatemi Yoshida  
Shigeo Imada  
Masuyuki Takaichi  
Katsumi Suzuki  
Takashi Shirakawa  
Kiyoshi Matsuo

野菜茶研研報. 13  
Bull. Natl. Inst.  
Veg. & Tea Sci. No. 13

本研究報告から転載・複製する場合には、  
野菜茶業研究所の許可を得てください。

