

## 有機栽培トマトにおける土壌からの微量元素の移動

### —第3報：2地区における元素量の比較—

武井早憲，高澤まき子\*1，寺田信幸\*2

個人研究者

310-0836 茨城県水戸市元吉田町

\*1 仙台白百合女子大学 人間学部 健康栄養学科

981-3107 仙台市泉区本田町6番1号

\*2 東洋大学 工学部 機能ロボティクス学科

350-8585 埼玉県川越市鯨井2100

#### 1 はじめに

化学肥料と農薬の使用を前提とする集約農法は、有機農法と比較して収量が多くなるという長所があるが、人為的に投入される化学物質は生態系にさまざまな影響を及ぼしている<sup>1)</sup>。近年、集約農法で栽培された農産物と比較して有機農法で栽培された農産物は品質がよいと言われ、有機農法が見直されている。しかし、有機農法においても農産物の収量を多くするために多量の有機質肥料を使用した場合、農作物の中に人体に有害な硝酸態窒素の含量が多くなることも指摘されている<sup>2)</sup>。

有機農法が集約農法より優れている理由の一つとして、有機農法では植物が栄養を必要とするタイミングに合わせて無機態窒素を堆肥から補給するから<sup>3)</sup>とも言われているが、実際には解明されていない。高澤らは、有機質肥料の施用効果を把握するため、化学肥料及び有機質肥料の構成成分量を同一に施用し、トマト果実の成分を比較した研究<sup>4,5)</sup>、有機質肥料及び栽培方法を同一とし、異なる栽培地で生育したトマト果実の比較研究<sup>6)</sup>を行ってきた。主な結果をまとめると以下の通りである。

- ① 化学肥料及び有機質肥料による生育を比較した結果、果実のビタミンC含量は有機質肥料の方が多くなる傾向がある。
- ② 栽培地の違いによる果実の総ビタミンC量を比較したところ、すべての栽培地のものが食品成分表値<sup>7)</sup>より上回っており、有機質肥料の効果と思われる。
- ③ 同様に、土壌中のカリウム含量が多い栽培地の場合、ビタミンC含量が多い果実となる。しかし、土壌中のカリウム含量が多い場合でも土壌中の硝酸態窒素含量も多くなると果実中のビタミンC含量が減少する一つの原因になると考えられる。

有機質肥料から吸収された硝酸態窒素は、植物中の微量元素の働きによりアミノ酸等に還元されることが知られている<sup>8)</sup>。すなわち、根から吸収された硝酸態窒素はモリブデン(Mo)を含む硝酸レダクターゼの働きにより亜硝酸に還元され、鉄(Fe)、硫黄(S)を含む亜硝酸レダクターゼによりアンモニアに還元される。その後、アンモニアはアミノ酸の一つであるグルタミン酸に転移される。硝酸レダクタ

ーゼや亜硝酸レダクターゼは根や葉身に存在するので、有機栽培された植物体の根や葉における Mo, Fe, S などの元素の動態を把握することは重要である。しかしながら、有機栽培されたトマト苗の微量元素量については経時変化も含め十分なデータがないため、本研究では、土壌や有機質肥料中の微量元素がトマト苗に吸収、移動する様子を把握しようとした。

具体的な方法として、トマト苗の生育に応じて、PIXE 法で苗の各部位の元素量を求め、数年にわたってデータを蓄積する。特に、本研究では、苗全体を分析する。データを蓄積した後、有機質肥料及び栽培条件を同一とし、異なる栽培地で生育されたトマト苗において、同様な定量分析を行い、果実のビタミン C 等の含量と比較する。この比較から有機質肥料の施用効果をより明確に把握することを予定している。一般に、植物における微量元素の働きについては、肥料中の特定元素の濃度を過剰又は不足の状態にして生育を比較するケースが多いが、本研究では同一の有機質肥料を使用しても土壌の性質等によりその施用効果が異なる点に着目した。

まず、第 1 報では生育に応じて PIXE 分析用試料を調製する方法を確立した<sup>9)</sup>。第 2 報では、トマト苗の生育段階に応じて、その元素濃度を把握するため、茨城地区で栽培されたトマト苗（品種 ポンテローザ, F4）の種子から果実収穫開始時期までの元素濃度の変動を PIXE 分析で求めた<sup>10)</sup>。その結果、この栽培期間の全ての部位で PIXE 分析により検出された元素は、Mg, P, S, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Sr の 11 元素で、それらの元素濃度は元素の種類、部位、生長時期に応じて複雑に変化していた。また、各部位における元素分布の類似性を調べたところ、葉柄と葉身、果柄と果実のように、隣接した部位間で元素分布が大きく異なっていた。さらに、果実収穫開始時期の元素分布と水耕栽培の結果を比較したところ、Mn, Fe を除き同じような傾向を示していた。しかし、Mn, Fe は吸収特性の違いにより分布は異なっていた。

本年度は、施肥および栽培方法を同一とし、異なる二カ所の栽培地でトマト苗を栽培し、土壌中の化学成分がトマト苗の元素濃度やトマト果実のビタミン C 等の成分含量へ与える影響を比較することとした。

なお、特に断らない限り、元素濃度は PIXE 法で得られた元素の濃度を表し、化学形態別の濃度と区別することとした。

## 2 実験方法

### 2.1 栽培概要

トマト栽培圃場は茨城県新治郡八郷町（以下、茨城地区と記す）及び宮城県岩沼市（以下、宮城地区と記す）で、すでに 10 年以上も前から有機栽培に切り替えている 2 地区である。これら 2 地区における施肥および栽培方法を同一とした。すなわち、実験圃場はビニルハウス内に設け、畝の幅を 1.0m とした。有機質肥料は牛糞、糞を主原料とする完熟堆肥（堆肥を作ってから約 1 年自然発酵させ、アンモニア臭が無くなったもの）とし、定植の約 1 ヶ月前に通路を除く畝に施用した。この有機質肥料の成分は、窒素 (N) 0.30 %, リン酸 ( $P_2O_5$ ) 0.42 %, カリウム ( $K_2O$ ) 0.18 % で、施肥量を 7 t /10 a とした。また、肥料は全量を元肥のみとし、栽培期間中の追肥は行わず、果実の生育促進のためのトマトトーン、その他一切の農薬、消毒剤の散布は行わなかった。土壌中の水分蒸発を防ぐための藁は敷かず、適宜灌水を行った。栽培方法などの詳細は、前報<sup>10)</sup>に準じているが、栽培期間などは表 1 に示すように各地区の慣例に従った。

トマトの品種として、自家採種できるポンテローザ（家庭園芸用）を選定した。種子は同一の F1 から各地区で自家採種を繰り返したものを使用した。表 1 の播種日に、ビニルハウス内の土壌を細かく篩って苗床を作り、種子を播種した。本葉展開後、発芽した苗のうち生育状態の良いものを直径 10 cm 位のビニールポットに移植した。ビニールポットには、ハウス内の土壌と前述の有機質肥料を目分量で 1 対 1 の割合で混ぜたものを使用した。有機質肥料は約 3.5t/10 a 施用した。さらに表 1 の定植日に、生

育状態の良い苗を畝に定植した。

本研究では根を含めて元素分析を行うことを目的としているので、根を採取するとき他の根を傷つけないようにするため、PIXE 分析用苗及び完熟果実採取用苗を生長させるブロックに畝を分画した。完熟果実採取用苗ブロックの苗に対して PIXE 分析を実施しなかった理由は、完熟果実を全て保管する適当な方法が見つからなかったこと、枯れた葉身や葉柄を全て採取できなかったからである。また、土壌の化学組成の経時変化を調べるために有機質肥料のみを施用した無栽培ブロック (1m×1m) を完熟果実採取用苗ブロックに隣接して設けた。

PIXE 分析用苗ブロック及び完熟果実採取用苗ブロックでは、作業性を考え、苗の間隔が 70 cm となるように各ブロック 5 本ずつ苗を植えた。定植後、腋芽を適宜摘み取りながら、生育させた。両地区で採取する PIXE 分析用苗の生長を合わせるため、表 1 に示したように、定植後 42 日目又は 43 日目に苗を全量採取した。以後、この苗を「定植後 40 日目の苗」と記す。PIXE 分析用試料を調製する苗は、元素濃度に個体差が生じないようにするため、各ブロックにて 5 本ずつ栽培した苗から、良好に生長した苗を無作為に 2 本又は 3 本採取して、PIXE 分析用試料に供した。

また、成分分析用果実は着花日、果房段位を揃え、完熟果実採取用苗ブロックから表 1 の収穫日に採取した。

表 1 両地区における栽培条件

項目	茨城地区	宮城地区
栽培地	茨城県八郷町	宮城県岩沼市
品種	ポンテローザ (家庭園芸用)	
栽培方法	ハウス栽培	
有機質肥料	牛糞, 藁を主原料とする完熟堆肥	
施肥量	7 kg/m <sup>2</sup>	
栽培密度	苗間隔 70 cm (二条植え)	
播種数	285 粒	100 粒
播種日	3 月 28 日	5 月 1 日
定植日	5 月 16 日	7 月 4 日
定植数	15 本	
PIXE 用苗の採取日	6 月 27 日 (定植後 42 日目)	8 月 16 日 (定植後 43 日目)
PIXE 用苗の本数	3 本	2 本
分析用果実の収穫日	8 月 1 日	9 月 2 日

## 2.2 試料の採取・調製

採取した苗は、栽培地においてステンレスハサミで根、茎、葉身、葉柄、果柄、果実の 6 種類の部位に分けた。苗の各部位で生重量を測定した後、それら全量をビニール袋で密閉、梱包し、冷蔵状態で直ちに仙台に送付した。

翌日、仙台に到着した苗の重さを測定した結果、各部位とも約 0.1%の精度で一致していることを確認した。その後、蒸留水で試料の汚れを洗浄し、果実以外の部位は長さ 1cm 位の大きさにハサミ等で裁断した。これらの試料は部位毎に 2 日間 80℃で乾燥させた後、小型超高速粉砕機 (WB-1 型) を用いて粉末化した。また、果実の乾燥方法は、果実中の液体が皿に固着することが考えられるので、真空凍結乾

燥法を採用した。すなわち、果実全量をミキサー（日立製 VA-23S 型）に 1 分間かけ、その一部 150g をシャーレに入れ、真空凍結乾燥機（日本フリーザー製 BFD-2 型）を用いて 4~5 日間 -45°C で乾燥させた。

試料乾燥後、各部位の乾物重を測定した。特に果実の全乾物重は、シャーレで乾燥させた果実（生重量 150g）の乾物重に比例すると仮定し、算出した。

粉末に調製した試料の一部を日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター（NMCC）に送付し、マイクロオープンによる硝酸加熱灰化法<sup>11)</sup>に準じて分解した。すなわち、テフロン製容器に乾物重約 30~60mg の試料を精秤して入れ、これに濃硝酸 1mL と内部標準元素としてインジウム標準溶液を試料重量に対して 1,000  $\mu$ g/g になるように添加した。そして、テフロン製容器の蓋を閉じたのち、ポリプロピレン製外装容器に封入し、マイクロオープン（200W）にて 2 分間加熱、10 分間放置、2 分間再加熱した。

PIXE 分析の照射用試料は、クリーンベンチ内であらかじめマイラーフィルム（500  $\mu$ m ポリエステル製）に貼り付けた 4  $\mu$ m のポリプロピレン製フィルム上に、硝酸分解した試料をマイクロピペットにより 5  $\mu$ L 滴下して自然乾燥させたものとした。なお、乾燥した照射用試料の大きさは直径 2mm 位である。

植物の試料を硝酸分解した場合、通常沈殿物は生じないが、今回硝酸中に沈殿物を生じることがあった。その特徴として、沈殿物が生じる部位は特定の部位ではなく、同一の部位でも試料により沈殿物が生じる場合や生じない場合があった。また沈殿物の量も一定ではなかった。このため、硝酸分解した全試料に対して、遠心分離により沈殿物を除去した。なお、遠心分離は毎分 10,000 回転で 10 分間行った。

### 2.3 元素の定量分析と元素濃度の算出

調製した PIXE 分析用の照射試料に、NMCC スモールサイズのサイクロトロンからの 2.9 MeV 陽子線（直径 6mm）を真空チェンバー内で照射した。これにより発生した特性 X 線を測定してスペクトルが得られ、解析プログラム SAPIX<sup>12)</sup>によりインジウムを内部標準<sup>11)</sup>とする検出元素の定量値を求めた。

前報の結果<sup>9)</sup>から、一つの部位から得られた 3 個の試料（乾物重として 1 試料当たり約 30~60mg）を独立に PIXE 分析を行えば、元素濃度の誤差  $\sigma_{tot}$  は全試料の平均で 20 % 程度と予想された。このため、部位毎に試料を 3 個調製し、合計 36 試料の PIXE 分析を行った。PIXE 分析では、解析プログラム SAPIX のフィッティング誤差が 50 % 以下の元素のうち、苗の全部位（延べ 12 個の部位）で、かつ全ての試料（36 個）で検出された 11 元素に着目した。これら 11 種類の元素は、マグネシウム、リン、硫黄、カリウム、カルシウム、マンガン、鉄、銅、亜鉛、ルビジウム、ストロンチウム（Mg, P, S, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Sr）である。また、全ての試料で有意に検出されなかった元素、例えばナトリウム、アルミニウム、珪素、チタン、クロム、コバルト、ニッケル、ヒ素、モリブデンなどは除外した。さらに、硝酸加熱灰化法で濃度の再現性がみられない 2 種類のハロゲン元素（塩素、臭素）も除外した。硝酸態窒素を亜硝酸に還元する硝酸レダクターゼに含まれるモリブデンの元素濃度について、今回の PIXE 分析でも前年度と同様に有意な値が得られなかったため、今後分析方法を再度検討しなければならない。

次に、採取した苗の部位  $j$  ( $=1, \dots, 6$ ) における元素  $i$  ( $=1, \dots, 11$ ) の元素濃度  $c_{ij}$  を求めた。ここで、添字  $i$  は Mg, P, S, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Sr を、また添字  $j$  は根、茎、葉柄、葉身、果柄、果実を表す。すなわち、或る部位  $j$  における 3 個の照射試料のうち、 $k$  ( $=1, 2, 3$ ) 番目の照射試料を PIXE 分析したときの元素濃度を  $a_{ijk}$ 、そのフィッティング誤差を  $b_{ijk}$  とすると、元素濃度  $c_{ij}$  は、

$$c_{ij} = \frac{\sum_k a_{ijk}}{\sum_k b_{ijk}^2} \bigg/ \frac{1}{\sum_k b_{ijk}^2}, \quad (1)$$

と定義する。この濃度  $c_{ij}$  の誤差  $\sigma_{tot,ij}$  は、試料 3 個の分析値  $a_{ijk}$  から求めた標準偏差  $\sigma_{1,ij}$  と解析プログラム SAPIX からのフィッティング誤差  $\sigma_{2,ij}$  を考慮する。すなわち、

$$\sigma_{tot,ij}^2 = \sigma_{1,ij}^2 + \sigma_{2,ij}^2, \quad (2)$$

$$\sigma_{1,ij}^2 = \frac{\sum_k (a_{ijk} - c_{ij})^2}{\sum_k \frac{1}{b_{ijk}^2}}, \quad (3)$$

$$\sigma_{2,ij}^2 = \sum_{k=1}^3 b_{ijk}^2. \quad (4)$$

### 3 結果と考察

#### 3.1 元素濃度の比較

##### 3.1.1 苗全体について

まず初めに、苗全体における元素濃度の比較についてまとめる。このため、苗全体で平均した元素濃度  $\bar{c}_i$  を次式で定義する。

$$\bar{c}_i = \frac{\sum_j w_j c_{ij}}{\sum_j w_j}, \quad (5)$$

ここで、 $w_j$  は各部位  $j (=1, \dots, 6)$  の乾物重である。図 1 は各地区における定植後 40 日目の苗全体の平均元素濃度  $\bar{c}_i$  を表している。図の横軸は分析した元素名、縦軸は乾物量に対する元素濃度を表す。この図に示された両地区の平均元素濃度は、ファクター2 以内で同じような傾向を示している。すなわち、苗全体での元素濃度が両地区で一致しており、このことは苗の栽培方法、試料の調製、分析等の実験方法が妥当であることが確かめられた。

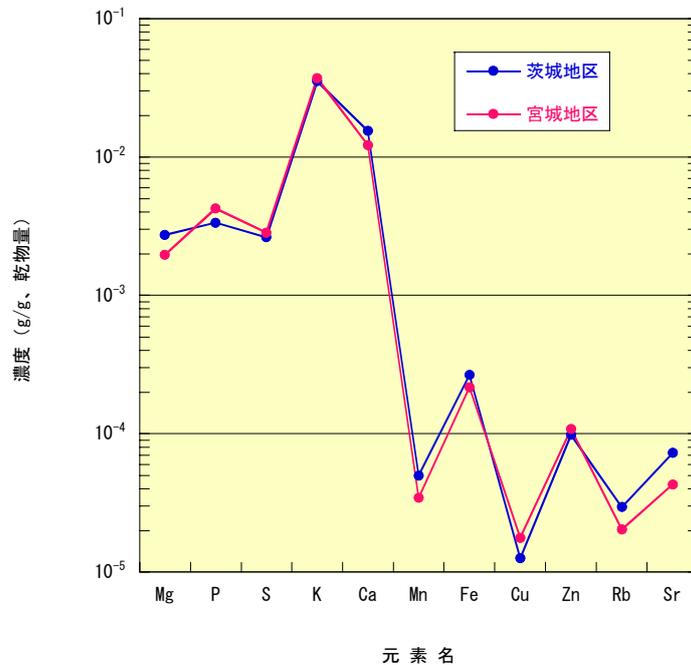


図 1 定植後 40 日目の苗全体における元素濃度

### 3.1.2 苗の各部位について

前項で得られた結果は、苗全体で元素濃度を調べた場合であるが、各部位における元素濃度も同じような傾向を示すか確認しなければならない。図2は各地区で栽培された定植後40日目の苗における同一部位での元素濃度等の比を表した。横軸は乾物量及び元素名、縦軸は茨城地区の値に対する宮城地区の値を示しており、部位毎にデータ点を折れ線で結んだ。図2より大部分の部位における元素濃度等の比は0.8~1.2位の範囲にあり、部位毎の大きな差は認められない。

しかし、苗全体の元素濃度比が1よりも大きな元素はPやCuなどであり、その部位毎の差が顕著である。部位別でみると、Pは宮城地区の根や茎などに、またCuは宮城地区の葉柄や葉身などに多く存在していることが明らかであった。

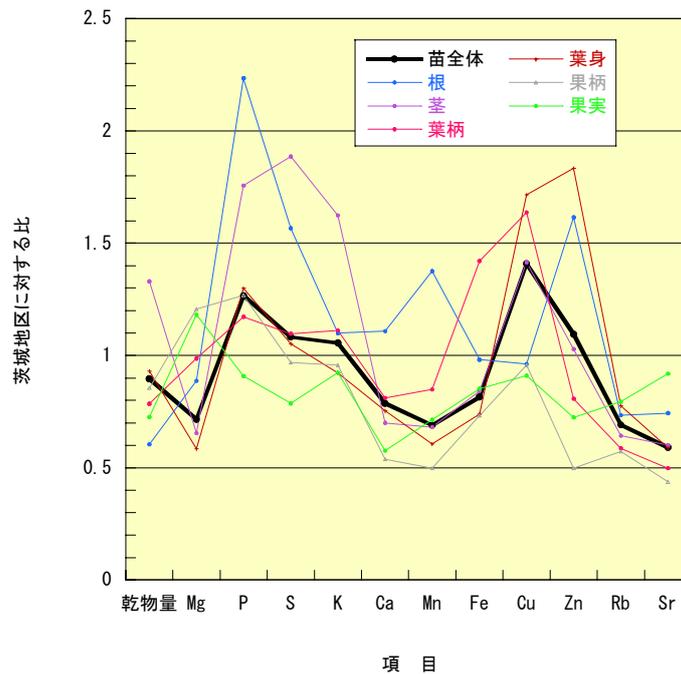


図2 定植後40日目の苗における各部位の乾物量及び元素濃度の比

### 3.2 土壌の化学成分

畝における土壌の化学成分と定植後40日目の苗における元素濃度の関係を知るため、土壌を定植直後及び果実収穫完了後の2回にわたり五点地点混合方式で採取した。これは、畝の対角線上から5ヶ所地表から深さ約20cmの土壌をスコップで採取し混合させる方式であり、1回当たりの採取量は各ブロック約5kgであった。採取した土壌は、乾燥後、直ちにエーザイ生科研<sup>13)</sup>に送付し、化学分析を実施した。この分析で必要となる土壌は約500gである。

エーザイ生科研では、表2に示した化学形態の濃度を含む18種類の事項について化学分析を実施した。また、表3に化学分析で得られた主要な分析項目における定植直後の分析値を表す。

表 2 エーザイ生科研における土壌の分析対象と化学形態

元 素	分析対象	化学形態
Mg	MgO	交換性
P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	有効態リン酸
K	K <sub>2</sub> O	交換性
Ca	CaO	交換性
Mn	MnO	可給態
Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	可給態
Cu	Cu	可給態
Zn	Zn	可給態

表 3 両地区の土壌における主要分析値 (定植直後)

(乾物量)

分析項目	茨城地区	宮城地区	単 位
硝酸態窒素	52.0	1.97	mg/100g
有効態リン酸	40.7	37.2	mg/100g
リン酸吸収係数	1460	445	—
交換性カリウム	166	38.8	mg/100g
可給態銅	0.84	0.22	ppm

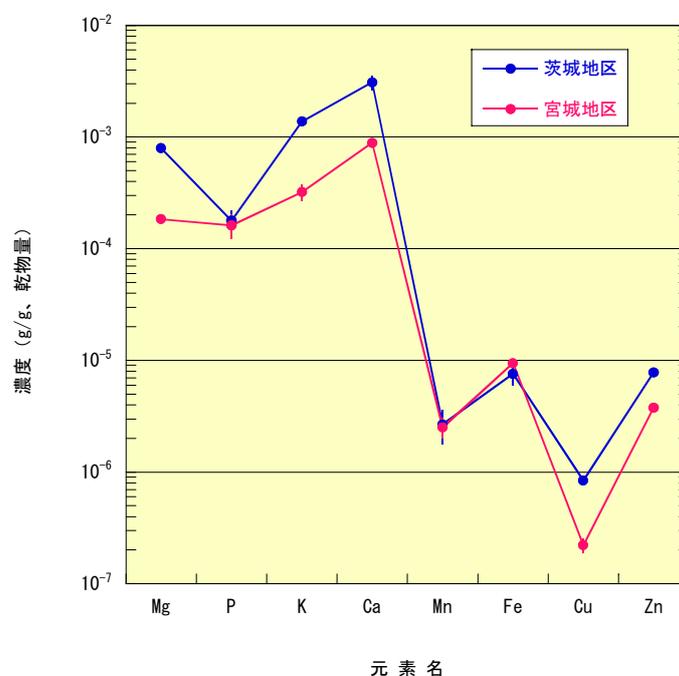


図 3 土壌における可給態等の元素濃度

ここで、PIXE 分析による苗の元素濃度と土壌における化学形態 (表 2) の濃度を比較するため、注目する元素における化学形態の濃度を乾物重 1g 当たりの含有量 (g) として求め、その元素の組成比を用いて、化学形態の元素濃度に換算した。例えば、交換性カリウム ( $K_2O$ ) の濃度が  $1.66 \times 10^{-3}$  g/g の場合、K の組成比が 83.0% であることより、交換性カリウムの元素濃度は  $1.38 \times 10^{-3}$  g/g となる。以後、この濃度を「可給態等の元素濃度」と記す。このように換算して求めた可給態等の元素濃度を図 3 に示す。

### 3.3 成分分析用果実における化学成分の比較

両地区における成分分析用果実 (第 2 果房) の総ビタミン C 量、糖度、有機酸量を測定し、表 4 に示す。総ビタミン C 量はヒドラジン法、また糖度はアタゴ屈折糖度計 (N1 型) を用いた。さらに、有機酸量はフェノールフタレインを指示薬として水酸化ナトリウム溶液を用い滴定し、トマト果実 100 g 当たりのクエン酸量として求めた。詳細については文献 6 を参照した。

その結果、高澤らのトマト果実の成分を比較した研究<sup>4,5)</sup>の結果と同様に、総ビタミン C 量は食品成分表値<sup>7)</sup>の 15 mg を顕著に上回っており、これは有機質肥料の効果と思われる。しかし、両地区の分析値を比較すると、宮城地区の値は茨城地区と比較して高い値となった。この理由については次項で考察する。

表 4 両地区における成分分析用果実の化学成分

(生重量)

項目	茨城地区	宮城地区	単位
総ビタミン C	29.5	40.0	mg/100g
糖度	4.4	8.2	g/100g
有機酸	396	724	mg/100g

## 4 考察

本項では、部位における元素濃度比の差が顕著である P 及び Cu について、土壌中における可給態等の元素濃度と生体内の元素濃度との関連について、また果実の化学成分に及ぼす影響について考察する。

### 4.1 P

表 3 及び図 3 より土壌中の有効態リン酸濃度は両地区ともほぼ等しい値であるが、苗全体のリン濃度は茨城地区より宮城地区は 1.3 倍多かった。特に、根のリン濃度は 2.7 倍であった。このように根や茎などで濃度差が顕著になる現象は、土壌中に等しく存在するリンが苗に吸収される過程で差が生じ、生体中で濃度差が起こったと考えるのが妥当である。

即ち、土壌に存在するリンが生体に移動し易いかどうか、逆に考えると、リン酸と土壌が強く結合しているほど生体へ移動は困難となり、生体中のリン濃度は低くなる。一般にリン酸と土壌が結合する強さはリン酸吸収係数として表され、この値が大きいほど両者は強く結合しており、生体へ吸収され難くなる。また、土壌が火山灰の影響を受けるほどリン酸吸収係数が大きくなることが知られている。表 3 に示した茨城地区のリン酸吸収係数は、同地区が火山灰の地層である関東ローム層の影響を受けているため非常に高い値を示し、宮城地区の 3.3 倍であった。この結果から宮城地区の苗全体のリン濃度、特に根や茎などにおけるリン濃度は茨城地区と比較して多くなった。従って、土壌におけるリン酸吸収係数の違いにより両地区の生体中のリン濃度差を理解することができる。

## 4.2 Cu

表 3 及び図 3 より土壤中の可給態銅の濃度は茨城地区より宮城地区が 0.26 倍少なかったにもかかわらず、生体中の銅濃度は 1.4 倍多くなった。特に、葉柄や葉身などに多くの銅が存在した。この現象は、リンのように土壌から生体に元素が移動し易いという視点で考えるより、生体における銅の分布が異なったためと考えるのが妥当である。この要因については、気候や生体中からの水分の蒸散量など土壌以外の要因も考えられるので、さらに他の要因の考察やデータの蓄積が必要である。

## 4.3 果実における化学成分

表 3 に示した土壤中の交換性カリウムの濃度は茨城地区が宮城地区より 4.3 倍多いため、茨城地区の果実は総ビタミン C 量が多くなると予想される。しかし、測定された総ビタミン C 量は反対の結果となり、宮城地区が茨城地区より 1.4 倍多くなった。この原因として、茨城地区における土壤中の硝酸態窒素濃度が宮城地区の 26 倍も多く、果実中の総ビタミン C 量が減少する大きな要因の一つになったためと考えられる。なお、土壤中の交換性カリウム濃度が高いにもかかわらず、土壤中の硝酸態窒素濃度の影響で果実中の総ビタミン C 量が減少する現象は、高澤らの異なる栽培地で生育したトマト果実の比較研究<sup>6)</sup>でも同様に報告されている。

両地区の糖度、有機酸量を比較すると、宮城地区が非常に高い値を示しており、果実中の代謝が活発であったと思われる。これは、土壌中の化学成分に由来するというよりはむしろ、宮城地区の栽培期間が約 1 ヶ月遅いことなどから、気温や天候などの影響が大きいと考えられ、今後検討していかなければならない。

## 5 まとめ

本研究では、有機質肥料の施用効果を把握するため、植物中の微量元素が硝酸態窒素をアミノ酸等に還元すること、及び土耕栽培におけるトマト苗の微量元素量について報告が少ないことに着目し、土壌や有機堆肥中の微量元素が植物に吸収、移動する様子を把握することを目的とした。

本年度は、施肥および栽培方法を同一とし、異なる二カ所の栽培地（茨城県新治郡八郷町及び宮城県岩沼市）で栽培したトマト苗（品種 ポンテローザ）において、元素濃度を把握し、土壌中の元素濃度や果実のビタミン C 等の含量と比較することとした。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・両地区でのトマト果実中の総ビタミン C 量を比較したところ、高澤らの結果を再現した。
- ・施肥および栽培方法を統一したため、元素濃度は両地区で同じような傾向を示した。
- ・しかし、リンのように土壌から生体への移動し易さで両地区の元素濃度比を理解できる場合がある一方、銅のように土壌以外の要因も考慮しなければならない場合があった。
- ・今後、気候や生体中からの水分の蒸散量などの要因も考慮した実験が必要であり、データの蓄積が望まれる。

参考文献

- 1) D.Tilman, “The greening of the green revolution”, *Nature*, 396, 211-212 (1998).
- 2) 相馬 暁, “なぜ硝酸が蓄積するのか”, 月刊現代農業 2002年1月, 144-147 (2002).
- 3) L.E.Drinkwater, P.Wagoner and M.Sarrantonio, “Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses”, *Nature*, 396, 262-265 (1998).
- 4) 高澤 まき子, 保井 明子, “有機栽培トマトの品質と土壌成分”, 日本食生活学会誌, 10, 32-38(1999).
- 5) 高澤 まき子, 保井 明子, “肥料の違いによる露地栽培トマト果実の成分の比較”, 仙台白百合女子大学 紀要, 7, 115-125 (2002).
- 6) 高澤 まき子, 保井 明子, “産地の違いによる有機栽培トマトの成分”, 日本食生活学会誌, 13, 163-167 (2002).
- 7) 科学技術庁資源調査会編, 五訂日本食品標準成分表 (2001).
- 8) Hans-Walter Heldt, 金井 龍二 訳, 植物生化学 (第二版), シュプリンガー・フェアラーク東京 (2000) .
- 9) 武井 早憲, 高澤 まき子, 寺田 信幸, “生産地が異なる有機栽培トマトにおける土壌からの微量元素の移動 -第1報: 従来の分析法と PIXE 法の比較-”, NMCC 共同利用研究成果報文集 第11巻, 141-150 (2003).
- 10) 武井 早憲, 高澤 まき子, 寺田 信幸, “有機栽培トマトにおける土壌からの微量元素の移動 -第2報: トマトの生長に伴う微量元素量の変動-”, NMCC 共同利用研究成果報文集 第12巻, 151-170 (2004).
- 11) S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, S. Saitou and K. Sera, “Present Status of NMCC and Sample Preparation Method for Bio-samples”, *International Journal of PIXE*, 3, 319-328(1993).
- 12) K. Sera, T. Yanagisawa, H. Tsunoda, S. Futatsugawa, Y. Saitoh, S. Suzuki and H. Orihara, “Bio-PIXE at Takizawa Facility (Bio-PIXE with a Baby Cyclotron)”, *International Journal of PIXE*, 2, 325-330 (1992).
- 13) エーザイ生科研株式会社 分析センター, 861-2401 熊本県阿蘇郡西原村鳥子 312-4.

## **Translocation of minor elements from soil in organically cultivated tomato plants -III-**

### **Comparison of the amounts of elements between two areas**

Hayanori Takei, Makiko Takazawa<sup>\*1</sup> and Nobuyuki Terada<sup>\*2</sup>

Personal Reseacher  
Motoyoshida, Mito, Ibaraki 310-0836, Japan

<sup>\*1</sup> Department of Health and Nutrition, Sendai Shirayuri Women's College  
6-1 Honda-cho, Izumi-ku, Sendai 981-3107, Japan

<sup>\*2</sup> Department of System Robotics, School of Engineering, Toyo University  
2100 Kujirai, Kawagoe, Saitama 350-8585, Japan

#### **Abstract**

This study aims to determine the quantities of minor elements in different organs of tomato plant at different growth stages by PIXE analysis for the purpose of grasping the effects of an organic fertilizer in organic cultivation. In this fiscal year, tomato seedlings were grown in two different areas with the same organic fertilizer and by the same cultivation practice. The concentrations of elements in the seedlings were determined to compare with those of the soil and to examine how they were related to vitamin C content of the fruit. The following were found from the result:

- This experiment with the two areas reproduced the result of Takazawa *et al.* for vitamin C content in the fruit.
- The use of the same organic fertilizer and cultivation practice led to similar tendencies in the amounts of elements in the seedlings of the two areas. However, mobility from soil to the plant body could explain concentration differences for some elements such as phosphorus. On the other hand, factors other than soil had to be taken into account for other elements such as copper.
- Future experiments need to include climate and moisture transpiration from the plant body. More data accumulation is desirable.