

## キュウリ、トマト幼植物の生育とタリウム吸収に及ぼす培養液中タリウム濃度の影響

<sup>1</sup>渡邊浩一郎 <sup>2</sup>小比田知範

<sup>1</sup>帝京科学大学生命環境学部自然環境学科 <sup>2</sup>帝京科学大学生命環境学部環境科学科卒業生  
(平成22年11月30日受理)

Effect of thallium concentration in nutrient solution medium on the growth and thallium absorption of cucumber and tomato seedlings

Koichiro WATANABE<sup>1</sup> Tomonori KOHITA<sup>2</sup>

Abstract : The effects of thallium (Tl) in nutrient solution medium on the growth, and Tl concentration and content of seedlings of cucumber (*Cucumis sativas* L.cv. Aonagakeichihaekiuri) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.cv.Momotaroharuka) were examined in water culture solutions containing 0 (control), 0.5, 1, 2 and 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  of Tl for 14days. The results were as follows.

In cucumber, vein chlorosis has been observed in all Tl concentration in medium, showing more significant degree to be observed as Tl concentration in the medium got higher. Number of leaves, dry matter weight of shoot as well as of root in 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  were approximately 72%, 22% and 12% of those in control respectively, with significant decrease observed as Tl concentration in culture got higher. Tl concentration of shoot as well as of root in 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  were approximately 7.2 times and 14.3 times as high as those in 0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$ , showing significant increase along with the increase of Tl concentration in the medium. Tl contents of shoot and of root in 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  were approximately 2.9 and 1.7 times as large as those in 0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  respectively.

Although vein chlorosis has been observed also in case of tomato, the degree observed was mild in up to 2  $\mu\text{mol l}^{-1}$ . In spite of significant decrease in number of leaves and dry matter weight of roots in 0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  than that in control, no significant difference in dry matter weight of shoot between 0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  and control was recognized. Tl concentrations of shoot and of roots have significantly increased as that of the medium got higher. Tl concentrations of shoot and of root in 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  were approximately 1.4 and 2.5 times as high as those in 0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  respectively. No significant difference in Tl content in shoot between 0.5 to 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  in the medium was recognized. Tl content of roots in 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  was 1.9 times greater than that in 0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  showing significant difference.

Judging from those described above, it was supposed that Tl sensitivity was lower in tomato than in cucumber.

Key words : タリウム キュウリ トマト 幼植物 生育 thallium cucumber tomato seedling growth

### 1. 緒言

タリウム (Tl) はすべての生物に対して有害であり、その毒性は非常に強いといわれている<sup>1)</sup>。Tlによる環境汚染は、カナダ<sup>2)</sup>、ドイツ<sup>3)</sup>、中国<sup>4)</sup>、ウクライナ<sup>5)</sup>で見出されており、また日本では宮城県細倉鉦山および茨城県日立鉦山が排出するTl等重金属による河川底質および土壌の汚染について報告されている<sup>6)</sup>。

Tlの毒性に対する関心が高まるにつれて世界のTl生産量は減少している<sup>7)</sup>。今日では、Tlの工業的需要は少なく、ハイテク産業に限られている<sup>7)</sup>。しかし、これまでに使用されてきたTl含有資材が廃棄されることによってTlによる汚染が広がることや、生物に影響が及ぶことも懸念される。今後、Tlが環境中に放出された場合を想定すると、植物の生育とTl吸収に関するデータを蓄積することも

必要である。

Tlの植物に対する影響については、タバコで最も影響を受けやすいこと<sup>8)</sup>、アブラナ属では影響を受けにくく<sup>9-14)</sup>、コマツナのTl耐性はダイズ、トウモロコシよりも高いこと<sup>12)</sup>、コマツナはTlを地上部に集積しやすいこと<sup>12-14)</sup>、エンドウよりもインゲンの方が感受性は低いこと<sup>15)</sup>が報告されている。また、ハツカダイコンでは葉の黄化と地上部、根部の生長阻害が認められること<sup>16)</sup>、水稻では茎葉部、地下部の生育は低下するが、籾殻、玄米の収量に影響はみられないこと<sup>17)</sup>が報告されている。また、一般に重金属元素は過剰に体内に取り込まれると茎葉部よりも根部に集積しやすいといわれているが、Tlは植物種によって茎葉部へ多く分布する例がみられることも報告されている<sup>18)</sup>。

本研究では、Tlの影響を調べた例が見あたらな

いり科植物のキュウリと、Tlの影響を最も受けやすいと報告されるタバコ<sup>8)</sup>と同じナス科のトマトを供試植物として、水耕実験により幼植物体に及ぼすTlの影響を調べたので報告する。また、供試したキュウリ、トマトの有害金属に対する耐性について、例えばカドミウムに対しては、キュウリは耐性が低く、トマトは中程度と報告されている<sup>19)</sup>。

## 2. 実験方法

供試植物としてキュウリ (*Cucumis sativas*, 品種: 青長系地這胡瓜; タキイ種苗 (株)) およびトマト (*Solanum lycopersicum* 品種: 桃太郎はるか; タキイ種苗 (株)) を用いた。

両植物種とも、種子を0.5%次亜塩素酸ナトリウム溶液で滅菌した後、市販バーミキュライトに播種し、最大容水量の約60%となるように1/5倍に希釈したHoagland-Arnon培養液 (pH5.8~6.0) を与えながら第一本葉が展開するまで人工光型植物育成装置 (小糸工業 (株) 製パーソナルグロースキャビネット; コイトトロンHNM-S11型) で育苗した。育苗条件は、装置内床面の平均光強度約220  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ 、明期14時間、暗期10時間、温度は明期25°C、暗期20°C、相対湿度は約70%であった。育苗期間はキュウリでは9日間、トマトでは16日間であった。

第一本葉が展開するまで育苗した植物体を500mL容ポリプロピレン製容器に移植し、1/2倍に希釈したHoagland-Arnon培養液 (pH5.8~6.0) を用いて、本学上野原キャンパス (山梨県上野原市) 構内に設置した自然光型ファイトトロン (小糸工業 (株) 製コイトトロンS-180) 内で水耕栽培に馴化した。温度は昼27°C、夜22°C、相対湿度は約70%に設定した。馴化期間はキュウリでは7日間、トマトでは11日間であった。

Tl処理試験として、0 (対照区), 0.5, 1, 2, 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区の5区を設けた。試薬特級TINO<sub>3</sub>を

用いてHoagland-Arnon培養液に所定のTl濃度になるようにTlを添加し、pHを5.8~6.0に調整した。試験は各区4連で14日間行った。この間、培養液の交換を1日おきに行った。

なお、播種からTl処理試験終了までの期間は、キュウリでは2009年6月26日~7月26日の30日間、トマトでは同年9月19日~10月30日の41日間であった。

Tl処理試験終了時に、植物体の茎葉部の葉数を計測した後、サンプリングし、茎葉部と根部に分け、80°Cで48時間通風乾燥後、乾物重を測定した。茎葉部および根部をそれぞれ硝酸-過塩素酸法により湿式分解し、Tl濃度を内標準元素にイットリウム (Y) を用いてICP-MS法で定量分析した。

得られた結果についてはt-testにより有意差検定を行った。

## 3. 結果

### 1) キュウリ幼植物に対するTl処理試験

培養液中Tl濃度0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$ で14日間処理したキュウリ幼植物には葉脈クロロシスが認められた (写真1)。

クロロシスは葉の萎黄症状で、葉緑素の形成が阻害されるため、葉の緑色が失われる生理障害である。この現象は培養液中Tl濃度が高くなるにつれて、より顕著になり、5  $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区では葉全体にクロロシスが広がっていた。

次に、培養液中Tl濃度生育について、1個体あたりの葉数および乾物重で表し、図1および図2に示した。

葉数は培養液中Tl濃度が高くなるにつれて、各処理区間で有意な減少がみられた。0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の植物体の葉数は対照区の約73%であり、また、5  $\mu\text{mol l}^{-1}$ 区の葉数は対照区の約33%と著しく少なくなった。

茎葉部の乾物重は、培養液中Tl濃度0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$

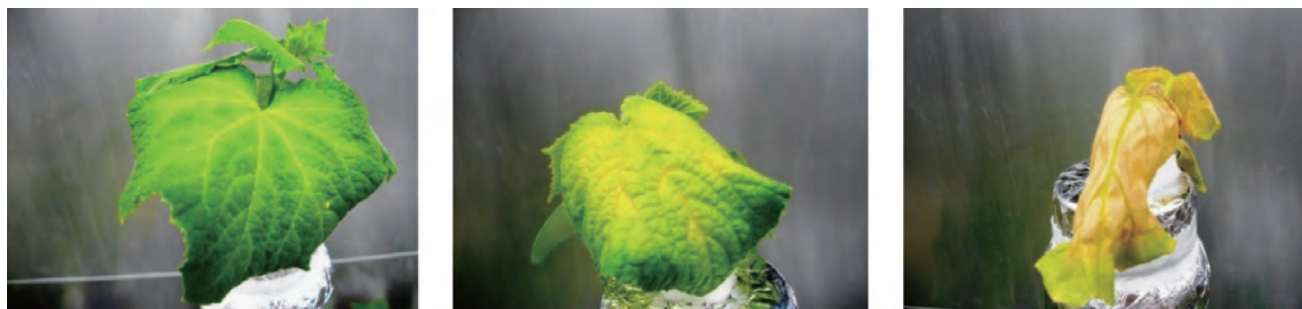


写真1 Tl処理したキュウリ葉の葉脈クロロシス  
(左: 0.5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区、中: 2  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区、右: 5  $\mu\text{mol l}^{-1}$  区)

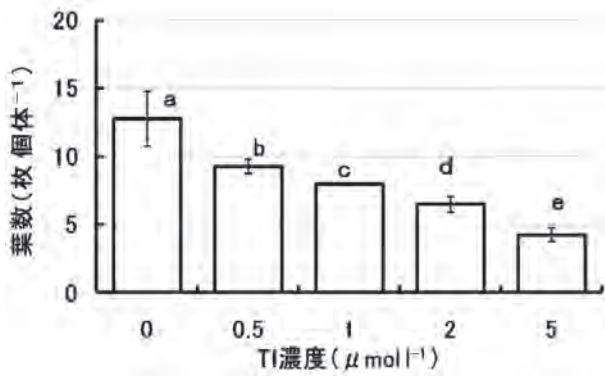


図1 キュウリ葉数に及ぼす培養液中TI濃度の影響 (n = 4、異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

区で対照区の約2.2%に低下した。培養液中のTI濃度がさらに高くなると有意な低下を示し、5 μmol l<sup>-1</sup>区では対照区の約8%であった。一方、根部の乾物重も培養液中TI濃度が高くなると有意に低下する傾向がみられ、0.5 μmol l<sup>-1</sup>区で対照区の約12%、5 μmol l<sup>-1</sup>区では対照区の約7%であった。

次に、TI処理試験におけるキュウリ幼植物体茎葉部および根部のTI濃度を図3aおよび図3bにそれぞれ示した。なお、根部分は試料量が少なかったため、処理区毎にまとめて分析した。

茎葉部TI濃度は培養液中TI濃度が高くなると有

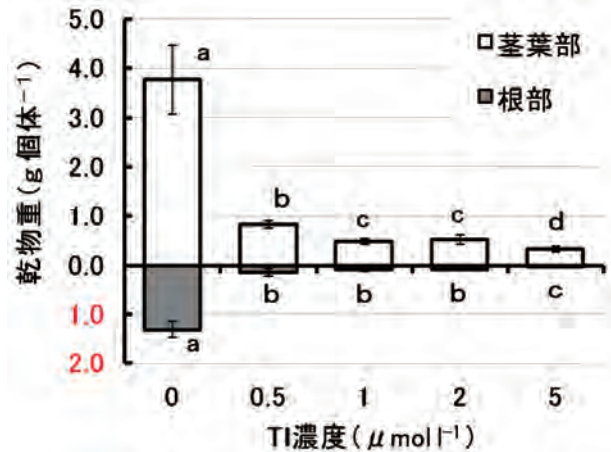


図2 キュウリ乾物重に及ぼす培養液中TI濃度の影響 (n = 4、部位毎に異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

意な増加がみられ、1 μmol l<sup>-1</sup>区で0.55mg 乾物 g<sup>-1</sup>、5 μmol l<sup>-1</sup>区では1.73mg 乾物 g<sup>-1</sup>となり、それぞれ0.5 μmol l<sup>-1</sup>区の濃度 (0.24mg 乾物 g<sup>-1</sup>) の約2.3倍および約7.2倍であった。一方、根部のTI濃度は、1 μmol l<sup>-1</sup>区で3.9mg 乾物 g<sup>-1</sup>、5 μmol l<sup>-1</sup>区では30.1mg 乾物 g<sup>-1</sup>となり、それぞれ0.5 μmol l<sup>-1</sup>区の濃度 (2.1mg 乾物 g<sup>-1</sup>) の約1.9倍および約14.3倍であった。

また、1個体あたりのTI含量を図4a (茎葉部) および図4b (根部) に示した。

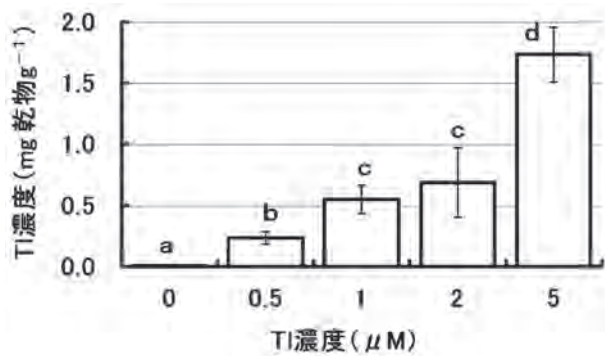


図3a キュウリ茎葉部TI濃度に及ぼす培養液中TI濃度の影響 (n = 4、異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

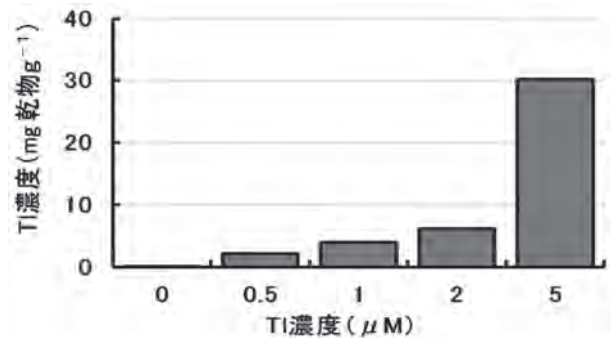


図3b キュウリ根部TI濃度に及ぼす培養液中TI濃度の影響

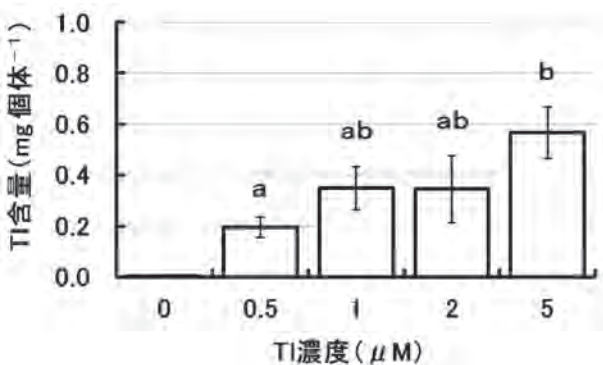


図4a キュウリ茎葉部TI含量に及ぼす培養液中TI濃度の影響 (n = 4、異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

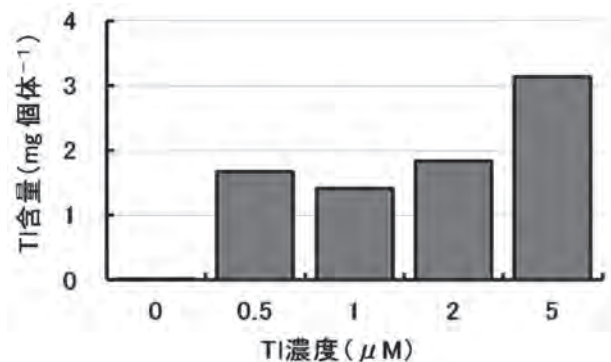


図4b キュウリ根部TI含量に及ぼす培養液中TI濃度の影響



写真2 TI処理したトマト葉の葉脈クロロシス  
(左:  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$ 区、中:  $2 \mu \text{mol l}^{-1}$ 区、右:  $5 \mu \text{mol l}^{-1}$ 区)

茎葉部 TI 含量には、 $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区から  $2 \mu \text{mol l}^{-1}$  区までの 3 区間、 $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  区から  $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区まで 3 区間では、それぞれ有意差はみられなかった。 $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区で  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区の約 2.9 倍、有意に増加した。また、根部の TI 含量には  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  から  $2 \mu \text{mol l}^{-1}$  までの 3 区間で差はほとんどみられなかったものの、 $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区の含量はこれらの 3 区の約 1.7 ~ 1.9 倍多かった。

## 2) トマト幼植物に対する TI 処理試験

培養液中 TI 濃度  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  で 14 日間処理したトマト幼植物にも葉脈クロロシスが認められた(写真2)。トマトの葉脈クロロシスは  $2 \mu \text{mol l}^{-1}$  区では  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区とほとんど差はみられず、 $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区で、より顕著に現れた。

次に、14 日間の TI 処理後のトマト幼植物体の生育を、1 個体あたりの葉数および乾物重で表し、図5および図6に示した。

葉数は、培養液中に  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  の TI が添加されると対照区の約 75% に有意に減少した。しかし、培養液中 TI 濃度が  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区から  $2 \mu \text{mol l}^{-1}$  区までの 3 区間、 $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  区から  $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区

の 3 区間には、それぞれ有意な差はみられなかった。 $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区の葉数は、対照区および  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区に比べて有意に減少し、対照区の約 42% であった。

茎葉部の乾物重には、対照区から  $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  区までの 3 区間で有意な低下はみられなかった。しかし、2 および  $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区では対照区に比べて有意な低下がみられ、それぞれ対照区の約 46%、約 22% であった。一方、根部では、 $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  以上の 4 区で対照区に比べて、 $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区で他の 4 区と比べて、それぞれ有意な低下がみられた。 $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区では対照区の約 49%、 $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区では対照区の約 7% であった。

次に、TI 処理実験におけるキュウリ幼植物体茎葉部および根部の TI 濃度を図7aおよび図7bにそれぞれ示した。

茎葉部 TI 濃度は培養液中 TI 濃度が高くなると有意に増加した。 $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  区の濃度は  $0.23 \text{mg 乾物 g}^{-1}$ 、 $5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区では  $0.40 \text{mg 乾物 g}^{-1}$  であり、それぞれ  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区の濃度 ( $0.16 \text{mg 乾物 g}^{-1}$ ) の約 1.4 倍、約 2.5 倍であった。また、根部の TI 濃度も、 $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  区と  $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  区の間、 $1 \mu$

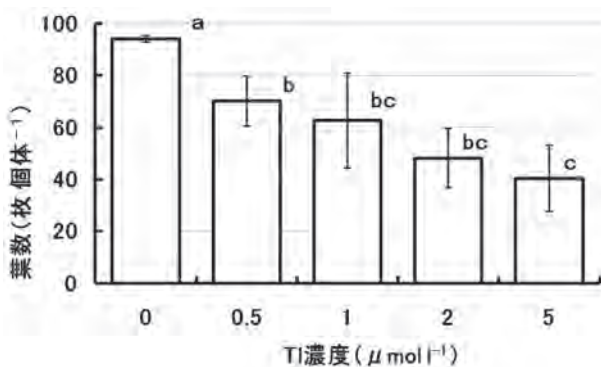


図5 トマト葉数に及ぼす培養液中 TI 濃度の影響  
(n = 4, 異なる文字間で  $p < 0.05$  で有意差あり)

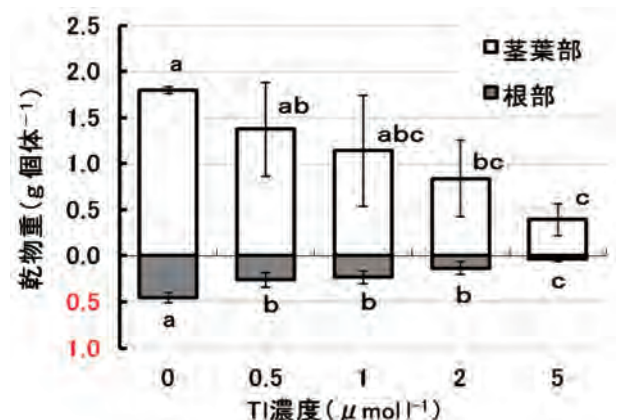


図6 トマト乾物重に及ぼす培養液中 TI 濃度の影響  
(n = 4, 部位毎に異なる文字間で  $p < 0.05$  で有意差あり)

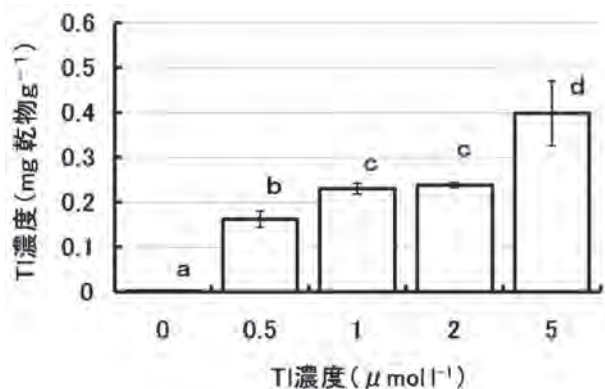


図 7a トマト茎葉部 Tl 濃度に及ぼす培養液中 Tl 濃度の影響 (n = 4, 異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

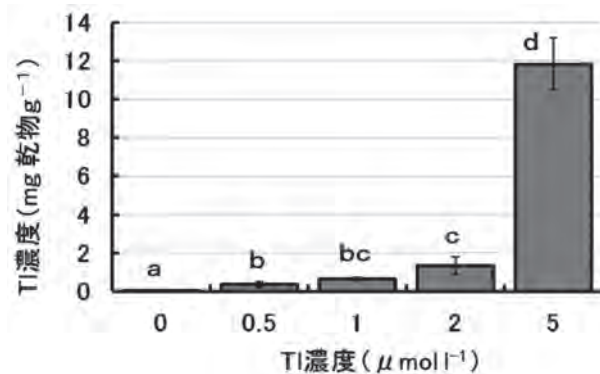


図 7b トマト根部 Tl 濃度に及ぼす培養液中 Tl 濃度の影響 (n = 4, 異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

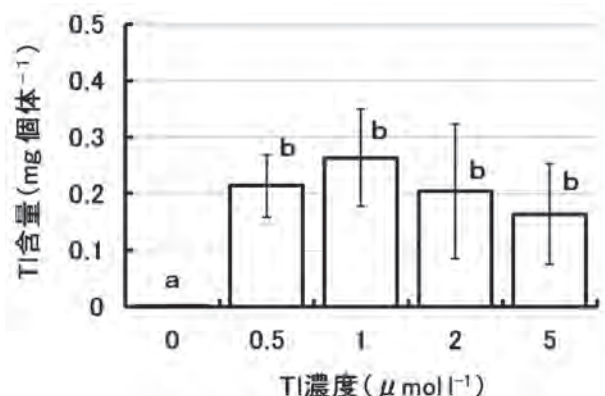


図 8a トマト茎葉部 Tl 含量に及ぼす培養液中 Tl 濃度の影響 (n = 4, 異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

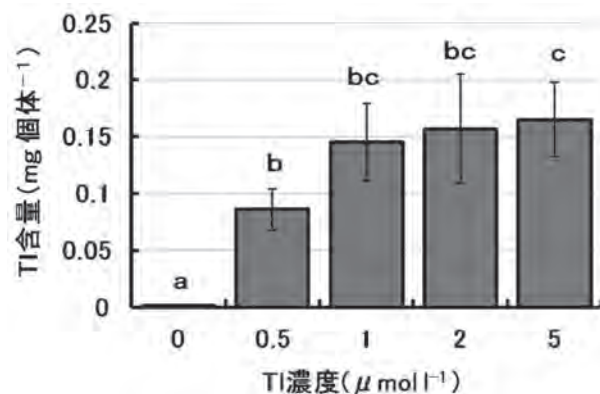


図 8b キュウリ根部 Tl 含量に及ぼす培養液中 Tl 濃度の影響 (n = 4, 異なる文字間で p<0.05 で有意差あり)

moll<sup>-1</sup>区と 2 μmol<sup>-1</sup>区の間では有意差はみられなかったものの、培養液中 Tl 濃度が高くなると増加する傾向がみられた。5 μmol<sup>-1</sup>区の濃度は 11.8mg 乾物 g<sup>-1</sup>と、0.5 μmol<sup>-1</sup>区 (0.36mg 乾物 g<sup>-1</sup>) の約 3 倍であった。

また、1 個体あたりの Tl 含量を図 8 a (茎葉部) および図 8 b (根部) に示した。

培養液中 Tl 濃度が 0.5 μmol<sup>-1</sup> から 5 μmol<sup>-1</sup> までの茎葉部の Tl 含量は 0.16 ~ 0.26 mg 個体<sup>-1</sup> で、4 区間に有意差はみられなかった。一方、根部の Tl 含量は 0.5 μmol<sup>-1</sup> 区では 0.086 mg 個体<sup>-1</sup> であり、培養液中 Tl 濃度が高くなっても 2 μmol 区までは有意な増加はみられなかった。また、1 μmol<sup>-1</sup> 区から 5 μmol<sup>-1</sup> 区までの Tl 含量は 0.15 ~ 0.17mg 個体<sup>-1</sup> であり、3 区間で有意差はみられなかった。5 μmol<sup>-1</sup> 区の Tl 含量は 0.5 μmol<sup>-1</sup> 区よりも有意に多くなり、約 1.9 倍であった。

#### 4. 考察

農用地土壌の Tl の許容濃度のガイドラインは 1 μg 乾土 g<sup>-1</sup> と極めて低いものとなっている<sup>20)</sup>。土壌中の全 Tl のうち可給性 Tl が占める割合につい

ては明らかにされていないが、本研究で設定した 0.5 μmol<sup>-1</sup> 区の Tl 濃度は 0.1 μg ml<sup>-1</sup> であり、ガイドラインの 1/10 である。

キュウリ、トマトのいずれも、培養液中 Tl 濃度が 0.5 μmol<sup>-1</sup> でも葉脈クロロシが見られた。培養液への Tl 処理による葉脈クロロシの発生は、培養液中 Tl 濃度 1 μmol<sup>-1</sup> 以上で処理したダイズおよびトウモロコシで、また、培養液中 Tl 濃度 5 μmol<sup>-1</sup> 以上で処理したコマツナで報告されている<sup>12)</sup>。また、これらの 3 種の植物では、葉脈クロロシは培養液中 Tl 濃度が高くなるにつれて著しくなり、茎葉部の Tl 濃度も高かったことが述べられている<sup>12)</sup>。本研究におけるキュウリでは、培養液中 Tl 濃度が高くなるにつれて葉脈クロロシが著しくなり、茎葉部の Tl 濃度も高くなるという現象が示されている。

一方、葉脈クロロシは、窒素、カリウム、マグネシウム、鉄、亜鉛、マンガンなどの欠乏や、日照不足、水切れ、葉の老化によっても生じることが知られている。本研究では、キュウリ、トマト幼植物に対する Tl 処理を自然光型ファイトトンで行っており、対照区に葉脈クロロシは生じていないこ

とから日照不足の影響とは考えにくい。したがって、葉脈クロロシスは、茎葉部に蓄積した Tl が葉緑素形成を阻害したか、あるいは Tl が吸収されるにともない窒素、カリウム、鉄、亜鉛、マンガンや水の吸収が阻害されて葉緑素形成が阻害を受けて生じた可能性が考えられる。しかし、葉緑素形成に対する Tl の影響や、Tl 吸収と窒素、カリウム、鉄、亜鉛、マンガンおよび水の吸収の関係を調べた報告は見あたらない。

次に、1 個体あたりの葉数、乾物重は、培養液中 Tl 濃度が  $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  までの間で、キュウリでは対照区に比べて著しく低下したのに対して、トマトでは有意な減少は認められなかった。このことから、キュウリよりもトマトの方が、Tl 感受性が低いのではないかと思われる。茎葉部および根部の Tl 濃度はトマトよりキュウリの方が高いことから、Tl 濃度が高いことがキュウリでトマトよりも生育に阻害をもたらしたものと考えられる。しかし、コマツナ、ダイズ、トウモロコシの 3 種の比較で、生育と植物体の Tl 濃度の関係は、本研究のキュウリとトマトの関係とは逆に、感受性の最も低いコマツナで Tl 濃度が高く、ダイズ、トウモロコシの順に感受性は高くなり、Tl 濃度は逆に低下することが報告されている<sup>12)</sup>。

一方、茎葉部および根部の 1 個体あたりの Tl 含量から、Tl の茎葉部と根部の分布率を算出すると、Tl 感受性の高いキュウリでは 11 ~ 20% が、感受性の低いトマトでは 50 ~ 71% が茎葉部に蓄積していた。Tl 感受性と Tl の茎葉部と根部の分布の関係については、コマツナ、ダイズ、トウモロコシの 3 種の比較では、感受性が最も低いコマツナで茎葉部の Tl 分布率が最も高く、感受性が高くなると Tl 分布率は低下する<sup>12)</sup> ことが、また、セイヨウアブラナとオオムギでは、感受性が低いセイヨウアブラナの方が茎葉部の Tl 分布率が高い<sup>9)</sup> ことが、それぞれ報告されている。本研究の結果は、これらの報告と同様の傾向を示していた。しかし、インゲンとエンドウを比較した例では、感受性の低いインゲンの方が茎葉部の Tl 分布率が低いことも報告されている<sup>15)</sup>。また、Tl の茎葉部への分布は植物種により異なることも報告されている。

したがって、Tl の感受性の高低と Tl 濃度や茎葉部への分布の難易については、今後、詳細な検討が必要であると思われる。

## 5. 引用および参考文献

1) WHO:Thallium,Environmental Health Criteria

182:WHO,Geneva,1996,pp.274.

- 2) V.Zitko,W.V.Cason and W.G.Carson:Thallium: Occurences in the Environmental and Toxicity to fish. Bull.Enviroin.Contam.Toxicol., 13, 23-30, 1975.
- 3) J.Schoer:Thallium; Anthrogenic Compounds: The Handobook of Environmental Chemistry,vol.3,Part C,Springer-Verlag, Berlin,Heidelberg,New York,Tokyo, 1984,pp.143-214.
- 4) D.X.Zhou and D.N.Li : Chromic thallium poisoning in a rural area of Guizhou Province,China. J.Enviroin.Health,48,14-18,1985.
- 5) Anon : Hair-raising. New Sci., 28 Jan.,28, 1989.
- 6) T.Asami,S.Saeki,C.Mizui,N.Nogami,M. Takahashi,H.Nshikawa and M.Kubota : Contamination of the sediments and soils with thallium and related harmful discharged from the Hosokura Mine and Smelter, Miyagi Prefecture, Japan. J.Field Sci.,2,13-22,2002.
- 7) 浅見輝男：タリウム， データで示す－日本土壌の有害金属汚染， アグネ技術センター， 東京， 2001， pp.304-305.
- 8) C.E.Bortner and P.E.Karraker : Studies of frenching of tobacco with particular reference to thallium toxicity. J.Ame.Soc.Agron., 32, 195-203, 1940.
- 9) M.A.Allus, H.M.Martin and G.Nickless: Comparative toxicity of thallium to two plant species. Chemosphere, 16, 929-932, 1987.
- 10) D.I.Kapan, D.C.Adriano and K.S.Sajwan: Thallium toxicity in bean. J. Environ. Qual., 19, 359-365,1990.
- 11) K.Gunther and F.Umland : Bonding states of thallium and cadmium in thallium-treated and native rape. J.Inorg.Biochem., 36, 63-74,1989.
- 12) 浅見輝男， 水井千鶴， 野上尚子， 久保田正亜： 3種幼植物の成長およびタリウム含量に及ぼす水耕液中タリウム濃度の影響. 土肥誌,70,521-526,1999.
- 13) 浅見輝男，美浦孝誠，中島由美子，水井千鶴，佐合隆一，久保田正亜：コマツナの成長およびタリウム含量に及ぼす土壤中タリウム濃度の影響. 土肥誌,70,527-532, 1999.
- 14) 沼生 歩，倉石 翼，久保田正亜：コマツナに吸収されたタリウムの分布と転流. 人間と環境, 34,19-22,2008.

- 15) U.Poutsch und F.A.Austenfeld : Phytotoxizität von Thallium : Hydrokultur, Teil 1 : Einfluss von Tl ( I ) auf das Wachstum und die Schwermetallgehalte von Erbsen-und Ackerbohnenpflanzen. Z.Pflanzenernähr. Bodenkd.,148,73-82,1985.
- 16) 美浦孝誠, 山本崇治, 佐合隆一, 浅見輝男, 久保田正亜 : ハツカダイコンの生長およびタリウム含量に及ぼす土壤中タリウム濃度の影響. 人間と環境, 26,118-123, 2000.
- 17) 浅見輝男, 美浦孝誠, 佐合隆一, 桜井泰弘, 久保田正亜 : 水稻の生育およびタリウム含量に及ぼす土壤中タリウム濃度と水管理の影響. 人間と環境, 28,111-118, 2002.
- 18) 松本 英之, 山本 康彦, 原田 美穂子, 後田 俊直, 岡本 拓, 伊達 悦二 : レアメタル濃縮植物の探索. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告, 18, 47-53, 2010.
- 19) 長谷川 功 : カドミウム過剰ストレス, 植物栄養・肥料の辞典編集委員会, 植物栄養・肥料の辞典, 朝倉書店, 東京, 2002, pp.357-359.
- 20) 浅見輝男 : ドイツ、スイスの土壌およびドイツの食品中金属元素等の基準値, データで示すー日本土壌の有害金属汚染, アグネ技術センター, 東京, 2001, pp.12-14.