

# 水溶性ケイ酸が作物の種子の生長と ミニトマトの糖度に及ぼす影響

原口 朋子<sup>1</sup>・内田 泰<sup>2</sup>

(三光幼稚園<sup>1</sup>、佐賀短期大学くらし環境学科<sup>2</sup>)

(平成20年2月29日受理)

## Effects of the Application of Water-soluble Silica on the Growth of Crop Seeds and the Sugar Content of Mini Tomatoes

Tomoko HARAGUCHI<sup>1</sup>, Yasushi UCHIDA<sup>2</sup>

( *Sanko Kindergarten*<sup>1</sup> and *Department of Living Environment, Saga Junior College*<sup>2</sup> )

(Accepted February 29, 2008)

### Abstract

Silicon is the second most abundant element in the earth's crust. Silica is silicon dioxide, a compound silicon which is found in sand, quartz, and flint, and used for making glass. Silicate is also a compound of silica which does not dissolved in water. The use of silica fertilizers, in the form of water-insoluble silicate is still restricted. Plant roots take up their silica as water-soluble silicic acid. An adequate supply of silica to the crops will give some benefits such as enhancing root growth and function, promoting healthier plant growth, improving disease tolerance and reducing needs for chemical fertilizers and pesticides. In order to prove this hypothesis, effects of silica on the growth of several crop seeds and the sugar content of mini tomatoes were investigated by application of water-soluble silica. The results showed that the growths of Chinese cabbage, radish, field pea and leaf mustard were increased by application of 55~220 ppm silica. The growth of field pea in the application of 220 ppm was increased by twice as much as those in the untreated-control condition. The sugar contents of mini tomatoes were increased under the application of water-soluble silica on 110~220 ppm.

Key words : water-soluble silica 水溶性ケイ酸  
growth of crop seed 作物の種子の生長  
mini tomato ミニトマト  
sugar content 糖度

## 1. 緒 言

ケイ素 (Si) は原子番号14の非金属元素で酸素と化学的親和性の非常に強い元素である。自然界では常にケイ酸 ( $\text{SiO}_2$ ) あるいはケイ酸塩として多量に存在している。ケイ酸は地殻の約60%を占め、土壌の主要な構成物である粘土鉱物もケイ酸が基本構造になっている。しかし、ケイ酸の溶解度が低いことから、土壌溶液中のケイ酸量はそれほど多くなく平均30~40ppmにすぎない<sup>1) 2) 3)</sup>。

ケイ素は植物の必須元素ではないが、植物の種類によっては生育に有利に働くため、有用元素として位置づけられている。また最近ではニワトリやネズミの骨化にケイ酸が関与していることが明らかにされ、動物の必須元素に加えられるにいたっている<sup>4) 5)</sup>。

一般の植物のケイ素含量は0.1~0.5%程度で極めて低い。ところがそれよりも一桁も二桁も高いケイ酸を含む植物がある。それはイネである。イネは代表的なケイ酸植物であり、ケイ酸含量は10~20%と著しく高く、ケイ素を多量に吸収する。こういったケイ酸植物はケイ素含量が高いほど生育がよい<sup>6)</sup>。イネが主要作物である日本ではイネに対するケイ酸の栄養生理の研究が早くから行われ、ケイ酸はイネの生育を良好にすることが確かめられた結果、多量のケイ酸肥料が施肥されるようになった<sup>3)</sup>。ケイ酸をイネに施用すると、光合成を促進し、乾物生産、根の活性・耐倒伏性などが向上すると同時に、病害や虫害に対する抵抗性も強化されることが知られている<sup>5)</sup>。

ケイ酸の施用によりいもち病が抑制されることは古くから知られており、すでに土壤肥料学雑誌の第1巻に報告されている<sup>7)</sup>。大昔の日本では、ケイ酸が多く含まれている籾を病気で米がとれない田んぼにさすようにしていた。これは、大昔の農業指導書に書かれている。土壤分析のない時代に経験からそのように判断していたようだ。海外では14~15世紀からケイ酸の施用によって、作物病害の発生が抑制されることが知られていた。伝統的な農法として、作物の立枯病やうどんこ病の防除のために、スギナの水抽出液を散布したことが記録されている。スギナは乾物で15%以上のケイ酸を含む。

前述したように、ケイ酸はイネに病虫害抵抗性、収量増加をもたらすので、殺菌剤などの使用を最小限に減らすことができる。しかも土壌の主要な構成成分であることから、環境負担が少なくすむ。また、他の作物においてもケイ酸施用による病害抑制と、植物の生理的な病害抵抗性にケイ酸が関与するという新しい知見が得られている<sup>8)</sup>。近年では環境保全型農業・持続型農業が重要視されるので、今後ますますケイ酸の果たす役割は重要になってくると考えられる<sup>5)</sup>。

しかし、ケイ酸は通常の土壌中では植物に取り込まれにくい不溶性の形で存在し、一般の植物中のケイ酸含量も大変低いものになっている。従って、水に溶けて植物に利用されやすいケイ酸質肥料が待望されている。水溶性ケイ酸はそのような背景の下に、天然物質の白雲母 (イライト) を溶融し生まれた液剤の肥料である。そこで、今回新しく商品化された水溶性ケイ酸を用いて、作物の種子の発芽と生育およびトマトの糖度に及ぼすケイ酸の効果を検討した。

## 2. 方 法

### 2-1 種子の生育に及ぼすケイ酸の影響試験

#### (1) 実験材料と試薬

発芽試験は発芽インデックスキット (株式会社ジェイベック) を用いた。ただし、さやえんどうの種子は試験管を用いて実験を行った。ケイ酸は水溶性ケイ酸 (パルアップ株式会社) を用いた。小松菜、二十日大根、アスパラ菜、さやえんどうおよび高菜の種子は株式会社トーホクの製品を購入して用いた。

#### (2) 種子の発育条件

発芽キットに付属している種子の生育ホルダーの底に脱脂綿を挿入する (この時、脱脂綿がしっかりと隙間のないように挿入しないと種子が落ちてしまうことがある)。次に生育ホルダーの上部から種子を一粒ずつホルダー (筒) 内に入れる。発芽キットは15レーンある。最後に発芽キットに付属している栽培槽に濃度を変えたケイ酸を駒込ピペットを用いて15mlずつ入れた。

試験管を用いた場合は試験管に脱脂綿を挿入し、そこに種子を一粒ずつ入れた。各試薬は0.5ml入れて発芽試験を行った。

ケイ酸は以下のように濃度を変えて用いた。

- ① 対照区：蒸留水を入れた。
- ② 55ppm区：ケイ酸濃度55ppmを入れた
- ③ 110ppm区：ケイ酸濃度110ppmを入れた
- ④ 220ppm区：ケイ酸濃度220ppmを入れた

生育条件は室温20~25℃とし、一週間生育させた。発芽した茎長はマス目がついた発芽キットを用いて測定し、15個の平均を示した。試験管を用いた実験は、市販のものさしで茎長の長さを測った。

### 2-2 ミニトマトの糖度に及ぼすケイ酸の影響試験

#### (1) 実験材料と試薬

ミニトマトの実験では苗は品種ココを用いた。トマトを植えるためのプランター (700×300×320mm)、培養土 (株式会社大石物産)、バラス、肥料 (有機質配合肥料、レバートルフ株式会社) を購入した。ケイ酸は水溶性ケ

イ酸 (Si22、バルアップ株式会社) を用いた。

## (2) ミニトマトの生育条件

5月18日にトマトの苗を購入し、これをプランターに各2本ずつ植えた。植える際には、バラスを2.6kg、土を20.6kg入れ、複合肥料は一つのプランターに160gずつ土に混ぜた。

ケイ酸は以下のように濃度を変えて各プランターに与えた。

- ① 対照区：水道水を与える
- ② 55ppm区：ケイ酸濃度55ppmを週に1回2ℓ与える
- ③ 110ppm区：ケイ酸濃度110ppmを週に1回2ℓ与える
- ④ 220ppm区：ケイ酸濃度220ppmを週に1回2ℓ与える

この他にも毎日水を与える。夏場はケイ酸区には水を約2～3ℓ与えてからケイ酸を与えるようにした。

## (3) 糖度の測定

Brix糖度計はデジタル糖度計 (アタゴ社、PAL-1) を用いた。ミニトマトの糖度は、果実を縦半分に切断し果実を手で軽く絞り搾汁し、果汁のみを取り出し測定した。

# 3. 結 果

## 3-1 小松菜の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

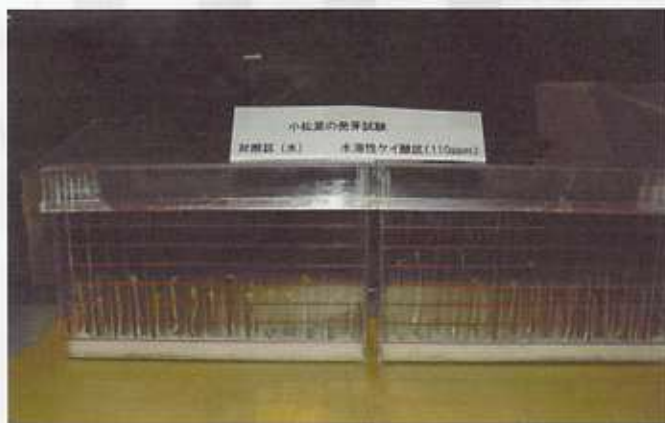


写真1 水溶性ケイ酸が小松菜の生育に及ぼす影響 (発芽キットを用いた実験の一例)

小松菜の生育に及ぼすケイ酸の影響を発芽キットにより調べ、その一例を写真1に示す。この写真は小松菜種子の対照区とケイ酸110ppm区の結果である。同様の実験をケイ酸区55ppmと220ppm区で行い、この発芽キットで茎長を測り平均をグラフにし、図1に示した。

対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較すると対照区よ

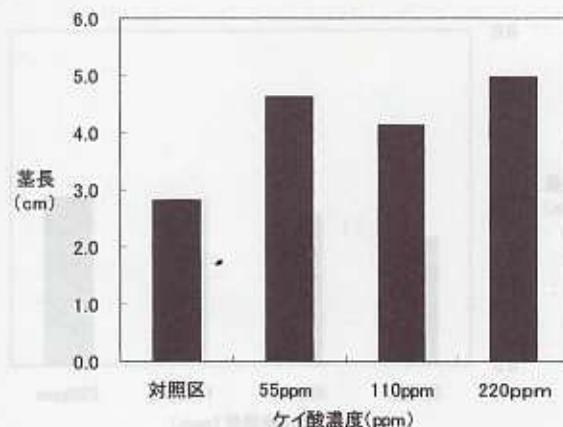


図1. 小松菜の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

り茎長は64% (1.64倍) 伸びている。ケイ酸濃度110ppm区は対照区と比べ47% (1.47倍) 伸びているものの、ケイ酸濃度55ppm区よりも茎長は伸びていない。一方、ケイ酸濃度220ppm区は対照区に比べると77% (1.77倍) 伸びており、効果が最大であった。

## 3-2 二十日大根の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

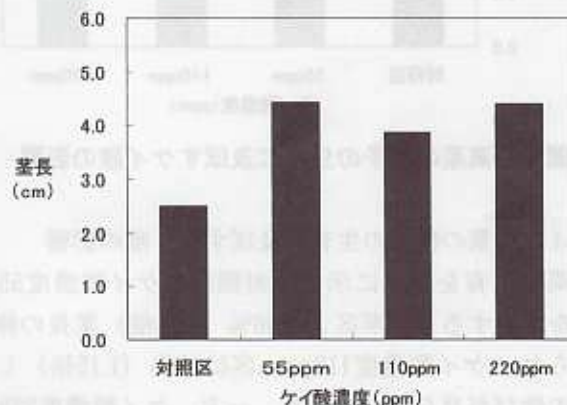


図2. 二十日大根の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

二十日大根の生育を図2に示す。まず対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較すると大きな差がみられ、対照区より茎長は77% (1.77倍) 伸びていた。ケイ酸濃度110ppm区は対照区に比べ茎長の伸びが見られたものの54% (1.54倍) しか伸びが見られず、一番茎長の伸びが悪い。ケイ酸濃度220ppm区は対照区と比較して茎長の伸びは76% (1.76倍) であった。

## 3-3 アスパラ菜の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

アスパラ菜の生育を図3に示す。対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較すると、対照区と比べて19% (1.19倍) 茎長が伸びており、ケイ酸濃度110ppm区は茎長が33% (1.33倍) 伸びていた。一方ケイ酸濃度220ppm区は対照区に比べ34% (1.34倍) 茎長は伸びており一番伸びが見られた。

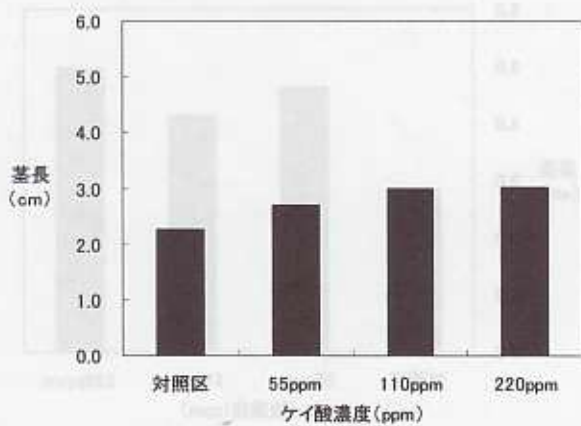


図3. アスパラ菜の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

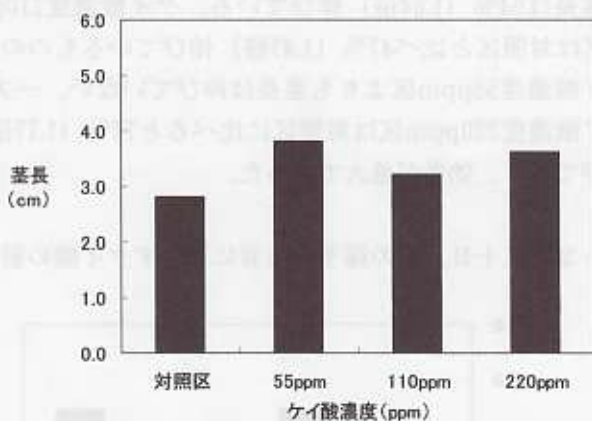


図4. 高菜の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

### 3-4 高菜の種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

高菜の生育を図4に示す。対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較すると対照区より36% (1.36倍) 茎長の伸びが見られ、ケイ酸濃度110ppm区は15% (1.15倍) しか茎長の伸びが見られなかった。一方、ケイ酸濃度220ppm区は茎長が対照区と比べ29% (1.29倍) 伸びていたが、ケイ酸濃度55ppm区より影響は少なかった。

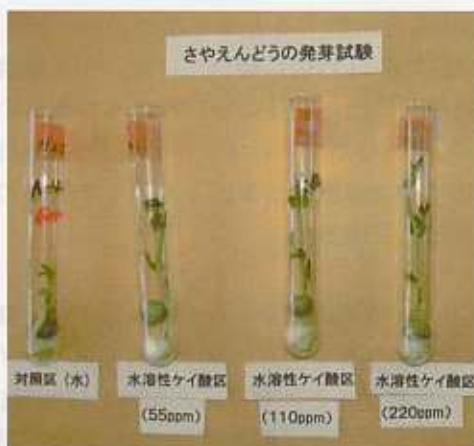


写真2 水溶性ケイ酸がさやえんどうの発芽と生育に及ぼす影響 (試験管を用いての実験の一例)

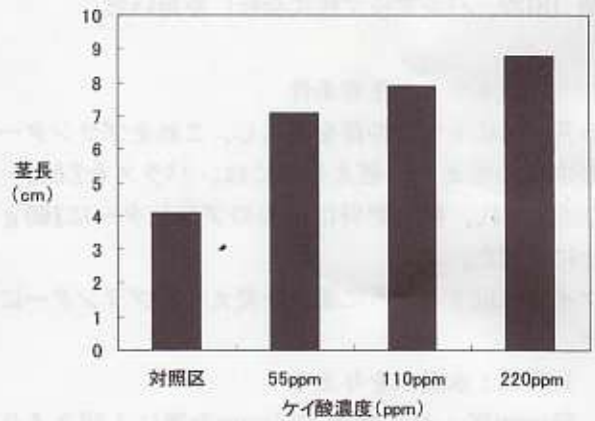


図5. さやえんどうの種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

### 3-5 さやえんどうの種子の生育に及ぼすケイ酸の影響

さやえんどうの生育を写真2と図5に示す。まず対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較してみると、試験区の茎の長さは対照区の1.73倍であり、ケイ酸濃度110ppm区は対照区の1.93倍伸びていた。さらにケイ酸濃度220ppm区は対照区と比べると2.15倍の茎長が観察され、ケイ酸の効果が最大であった。

### 3-6 ミニトマトの糖度に及ぼすケイ酸の影響

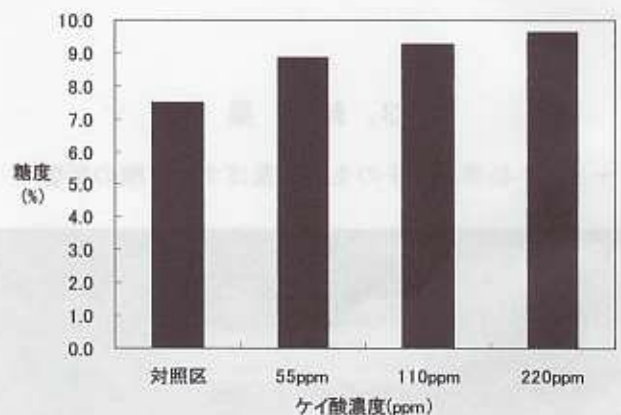


図6. ミニトマトの種子の生育に及ぼすケイ酸の影響 (定植後85日目)

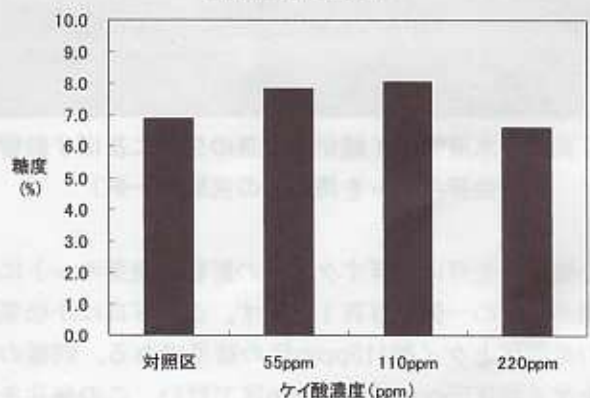


図7. ミニトマトの種子の生育に及ぼすケイ酸の影響 (定植後95日目)

トマトの糖度に及ぼすケイ酸の影響を図6および図7に示す。トマトは苗を定植後85日目の8月11日と95日目の8月21日に糖度を測定した。

8月11日の対照区とケイ酸55ppm区を比較してみると、対照区の平均糖度は7.5%で、ケイ酸濃度55ppm区の平均糖度は8.8%であった。対照区に比べケイ酸濃度55ppm区は糖度が1.17倍高いと言える。ケイ酸濃度110ppm区の糖度平均は9.3%で対照区に比べ1.24倍糖度が高かった。ケイ酸220ppm区のトマトの平均糖度は9.6%と一番甘く、対照区と比べると1.28倍糖度が高かった。

次に8月21日の対照区とケイ酸濃度55ppm区を比べると、対照区のトマトの糖度平均は6.9%で、ケイ酸濃度55ppm区の糖度平均は7.8%であった。試験区は対照区のトマトより糖度が1.14倍高い値を示した。ケイ酸濃度110ppm区の糖度平均は8.1%で、対照区に比べ1.17倍糖度が高かった。ケイ酸220ppm区の糖度平均は6.6%と低く、対照区の糖度平均より低い結果が得られた。

#### 4. 考 察

ケイ素は土壌中には平均33%含まれており、酸素(49%)に次いで二番目に多い元素である。ケイ素(Si)は酸素と化学的親和性の非常に強い元素であり、自然界では常にケイ酸( $\text{SiO}_2$ )あるいはケイ酸塩として大量に存在している<sup>3)</sup>。ケイ酸は特にイネや笹の葉などに多く含まれている。では、このケイ酸はいったいどこからもたらされているのか。その答えは山からで、山を形成する岩石の約70%はケイ酸であり、雨により長い期間の間に溶解されて、他のミネラルと共に河川の一部となってもたらされる。川の水には平均8ppmのケイ酸が含まれており、動物や植物の必須元素に相当するものとして絶えず供給されている。しかし、このようにしてケイ酸は山から川を介して運ばれていたが、ダムなどが大量に作られた現在、ケイ酸は田畑に到達しにくくなっている。そのことは、大水の後に田畑の作物や海草が良く育つということからも分かる。

ケイ酸の植物に対する役割は①成長促進、②耐病、耐害虫性向上、③耐気候性向上、④品質(形状、食味、糖度、日持ち)向上、⑤植物のストレス改善、⑥収穫量増加などが確認・推定されている<sup>8)9)</sup>。例として、ケイ酸の施用によりイチゴのうどんこ病に効果があることが報告されており<sup>8)</sup>、さらに、いもち病が抑制されることは古くから知られている<sup>9)10)</sup>。また、ケイ酸の研究が進むにつれて土壌に対する効果がより注目されはじめてきた。ケイ酸の土に対する働きとしては①不溶化した肥料を可溶化し、塩類障害の軽減、②酸性土壌の中和、③土壌中の微生物環境が改善され、有機物の分解が促進される等が考えられる。その結果、ケイ酸は地力が向上し肥料の

削減が可能になるが、ダムなどが大量に作られたため、比重の重いケイ酸やミネラルは河川からは昔のように供給されなくなっている<sup>8)</sup>。さらにハウス栽培にあたっては、自然との接点が限られているため、ケイ酸不足に陥っている。そこで人為的にケイ酸を農地に補給する試みが十数年前から始まったが、ケイ酸固形物は、土に混じり植物に作用するまでに数年かかるという欠点があった。その欠点を解決する可能性があるのが、水溶性ケイ酸であり、水に溶けやすく植物に利用されやすいケイ酸質肥料である。この水溶性ケイ酸は散布した時点から土に作用を始め、植物の根を繁栄させ吸収される。これらのことから水溶性ケイ酸は、微量の投与で効果が得られることが期待され、55ppm~220ppmの濃度で各種作物への投与が適当であろうと推定されている。このような背景のもとで、今回の研究では、水溶性ケイ酸が作物の種子の生育とトマトの糖度にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

ケイ酸を小松菜、二十日大根、アスパラ菜、高菜、さやえんどうの種子に発芽キットや試験管を用いてケイ酸濃度を変え、生育を調べた。

小松菜は対照区とケイ酸55ppm区と比較すると茎長が64%(1.64倍)伸びており、ケイ酸濃度110ppm区では47%(1.47倍)茎長の伸びが見られた(図1)。しかし、ケイ酸濃度55ppm区より伸びが少ない。一方、ケイ酸濃度220ppm区では対照区に比べ77%(1.77倍)伸びが見られた。220ppm区は一番伸びが見られ、小松菜の種子に一番適している濃度がケイ酸濃度220ppmと考えられる。

二十日大根の対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較すると茎長は対照区より77%(1.77倍)伸びていた(図2)。ケイ酸濃度110ppm区は対照区と比較すると54%(1.54倍)しか伸びておらず、ケイ酸濃度220ppm区は76%(1.76倍)伸びていた。ケイ酸濃度55ppm区とケイ酸濃度220ppm区では差がほとんど無いことがわかり、二十日大根の種子にはこの二つの濃度が適していると考えられる。

アスパラ菜の対照区とケイ酸区を比較すると、ケイ酸55ppm区の茎長は19%(1.19倍)伸びており、ケイ酸濃度110ppm区は33%(1.33倍)伸びていた(図3)。ケイ酸濃度220ppm区は対照区と比べ34%(1.34倍)と一番伸びていた。ケイ酸濃度110ppm区との差がほとんど見られなかったが、アスパラ菜にはケイ酸濃度110ppmとケイ酸濃度220ppmが一番適していると考えられる。アスパラ菜は他の種子に比べ伸びが少なくケイ酸をあまり必要としていないのではないかと考えられる。

高菜の対照区とケイ酸濃度55ppm区を比べるとケイ酸濃度55ppm区は対照区に比べ36%(1.36倍)茎長が伸びている(図4)。一方、ケイ酸濃度110ppm区は対照

区と比較すると15% (1.15倍) 茎長は伸びているが、ケイ酸濃度55ppm区に比べると伸びが小さい。ケイ酸濃度220ppm区は対照区に比べると29% (1.29倍) 茎長は伸びていたが、これもケイ酸濃度55ppm区に比べると伸びが小さい。このことから、高菜の種子にはケイ酸濃度55ppm区が最も適していると考えられる。

さやえんどうの対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較してみるとケイ酸濃度55ppm区は茎長が73% (1.73倍) 伸びていた (図5)。ケイ酸濃度110ppm区は対照区に比べ93% (1.93倍) 伸びており、ケイ酸濃度220ppm区は一番対照区との差が見られ115% (2.15倍) 伸びていた。このことからさやえんどうにはケイ酸濃度220ppm区が一番適していると考えられる。さやえんどうはケイ酸の効果が今回行った実験では最大であり、ケイ酸濃度220ppm区では、茎長が2倍を超えた。

この種子の実験では、4つの種子のうち小松菜、二十日大根、高菜の種子にはケイ酸濃度55ppmおよび220ppmが茎長の伸びが良いのに対し、ケイ酸濃度110ppmは伸びが良くなかった。ケイ酸濃度220ppmは種子の生育に適しているのに、ケイ酸濃度110ppmはあまり適さなかったことについてはさらに検討が必要である。

このように今回の、種子にケイ酸濃度を変えたものを与える実験では、ケイ酸濃度55ppmを与えたものが種子の茎長の成長が全体的に見てよかった。このことから、種子の状態ではケイ酸濃度55ppmが適しているのではないかと考えられる。

次に、トマトの糖度に及ぼすケイ酸の影響の実験を行った。苗を定植後85日目の8月11日の対照区とケイ酸濃度55ppm区を比較してみると、対照区のトマトの糖度平均は7.5%で、ケイ酸濃度55ppm区の糖度平均は8.8%であった (図6)。ケイ酸濃度55ppm区の糖度は対照区に比べ1.18倍糖度が高いことがわかる。ケイ酸110ppm区のトマトの糖度平均は9.3%であり、対照区と比較すると、1.24倍糖度の高いトマトができた。ケイ酸220ppm区のトマト糖度の平均は9.6%と一番高く、対照区と比べると1.29倍糖度が高くなっていることがわかる。

苗を定植後95日目の8月21日の対照区のトマトと各ケイ酸濃度区のトマトの濃度の比較を行った (図7)。対照区のトマトの糖度平均は6.9%、ケイ酸濃度55ppm区の糖度平均は7.8%で、対照区のトマトより1.14倍糖度が高い。ケイ酸110ppm区の糖度は8.1%と一番高く対照区との差は1.17倍であった。8月11日ではケイ酸濃度220ppm区で一番糖度が高かったが、8月21日では、ケイ酸濃度220ppm区の糖度が対照区よりも低い数値がでた。

トマトの糖度に及ぼすケイ酸の影響に関する実験で、ケイ酸濃度220ppm区が対照区より糖度が低いものが出たことから、55ppmおよび110ppmの濃度のケイ酸が適していることがわかる。ただし、今回のミニトマトの実

験は、ハウスの中でなく外で育てたこともあり、多少雨などの天候が糖度に係わっていると思われる。また、定植後85日目と95日目のトマトの糖度は、各々の対照区でもその値が若干異なり、さらにケイ酸濃度が糖度に及ぼす影響も異なるので収穫する時期を考える必要がある。しかし、ケイ酸がトマトの糖度に影響を与えたということは変わらないと思う。今回、対照区とケイ酸を与えた試験区でのミニトマトの収量は分析していないが、それぞれの区での収量の大きな差は見られなかった。

一般に水分ストレスのもとでは、トマトの糖度が上昇することはよく知られている<sup>10)</sup>。また最近では塩水かんがいの研究も進み、世戸<sup>10)</sup>、田中<sup>11)</sup>らは食塩濃度4,000~8,000ppm処理でトマトの糖度が顕著に上昇することを報告している。近年、市場においては野菜の高級化・高付加価値化が叫ばれ、店頭では有機栽培・無農薬栽培といった表示が多くなった。トマトにおいても高品質・高糖度のものは従来のトマトに比べ高値で出回っている。現在の高糖度のトマトの生産は大部分が低水分管理での水分ストレス付与による栽培である。今回の実験において水溶性ケイ酸がミニトマトの糖度を上昇する結果が得られたので、今後、高糖度のトマトの生産にケイ酸散布による栽培が実際に行われることを期待したい。

## 5. 要 約

本実験ではケイ酸が作物の生育と品質に及ぼす影響を小松菜、二十日大根、アスパラ菜、高菜、さやえんどうの種子とミニトマトを使い実験を行った。種子の実験では、発芽キットと試験管を使い、対照区、ケイ酸濃度55ppm区、ケイ酸濃度110ppm区、ケイ酸濃度220ppm区と4つの区域に分けた。その結果、小松菜ではケイ酸濃度55ppm区では64% (1.64倍) と茎長平均が対照区と比較すると伸び、ケイ酸濃度220ppm区では茎長平均が77% (1.77倍) 伸びていた。ケイ酸濃度110ppm区は対照区より茎長の伸びは見られたものの47% (1.47倍) と、他の二つに比べ伸びが少なかった。

二十日大根では、対照区と比べケイ酸濃度55ppm区の茎長平均は76% (1.76倍) 伸びが見られ、ケイ酸濃度220ppm区では77% (1.77倍) 茎長平均が伸びていた。

アスパラ菜の対照区とケイ酸濃度55ppm区では対照区と比較すると茎長平均の差が19% (1.19倍) あり、ケイ酸濃度110ppmは33% (1.33倍) 差があった。ケイ酸濃度220ppm区では34% (1.34倍) と茎長平均が対照区との差であり、アスパラ菜の場合は全体的にケイ酸の影響は少なかった。

高菜の対照区とケイ酸濃度55ppm区の差は36% (1.36倍) 差があり、ケイ酸濃度110ppm区は15% (1.15倍) しか差がなかった。ケイ酸濃度220ppm区は29% (1.29

倍) 差があった。ここではケイ酸濃度55ppm区が一番高菜の種子に適していると考えられる。

さやえんどうは対照区とケイ酸濃度55ppm区を比べると莖長は73% (1.73倍) 伸び、ケイ酸濃度110ppm区は93% (1.93倍) 伸びていた。ケイ酸濃度220ppmが最も伸びがよく、対照区と比較すると115% (2.15倍) 伸びていた。このことからケイ酸濃度220ppm区が一番適していると言える。

トマトの糖度に及ぼすケイ酸の影響実験では、苗を定植後85日目の8月11日と95日目の8月21日の結果をまとめた。8月11日のトマトはケイ酸濃度220ppm区のトマトが対照区と比べ最も糖度の上昇が見られ、1.24倍糖度が高かった。8月21日のトマトはケイ酸濃度110ppm区の糖度が一番高く対照区に比べ1.17倍の差があった。

謝辞：この研究は、平成17年度永原学園の「特色教育拠点大学支援経費」および平成18～19年度文部科学省の現代GP「幼児期からの環境教育プログラム」の研究助成金によって実施されたもので、心から謝意を表します。

## 6. 参考文献

1. 下中邦彦：珪素，世界大百科事典，9，p.128～129，(1983) 平凡社
2. 下中邦彦：ケイ酸塩，世界大百科事典，9，p.71，(1983) 平凡社
3. 三宅靖人：植物の特性とケイ酸，日本農芸化学会誌，63，1386～1390 (1989)
4. 高橋英一：植物の栄養特性，日本農芸化学雑誌，63，1379～1381 (1987)
5. 前川和正，神頭武，渡辺和彦：ケイ素による作物病害の抑制と作用機作，ケイ酸と作物生産，日本土壤肥料学会編，p.77～118 (2002) 博友社，
6. 高橋英一：ケイ酸植物と石灰植物—作物の個性をさぐる—，(2004) 農文協
7. 川島録朗：水稻稲熱病に対する珪酸の影響，日本土壤肥料学会誌，1，86 (1927)
8. 高橋英一：作物にとってケイ酸とは何か—環境適応力を高める「有用元素」—，(2007) 農文協
9. 藤井弘志：水稻の生育・収量・食味に及ぼすケイ酸の効果，ケイ酸と作物生産，日本土壤学会編，p.39～76 (2002) 博友社
10. 世戸直明，田中明：塩水かんがいがトマトの品質に及ぼす影響，海と台地，7，33～41 (1998)
11. 田中明，長友さやか，石橋哲也：塩水かんがいがトマトの品質に及ぼす影響 (II)，海と台地，12，45～49 (2000)