

農業における塩の利用—美味しい野菜づくり

北野 雅治

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門教授

1. 植物栽培への海水と塩の利用

(1) 農業への利用の歴史

「日本農業全書」によると、海に囲まれた日本では江戸時代から身近にある資源として海水や海藻が農業に使われています。例えば、以下のような事例が記録されています(参考文献 1)。

- ①寒中に海水を汲み取ってムギ畑の肥料にすると良い。満潮の時にくんで桶に入れ、これに風呂の残り湯を混ぜる。これを下肥に混ぜて使うとムギの細根が十分に広がる(16 間, 百姓伝記, 静岡・愛知)。
 - ②ナスが青枯れするようなときは、塩汁や海水などをかけるとよい(41 巻続物粉, 高知)。
 - ③ミカンの木の根元に海水をかけるとよい。ミカンの根に下肥を施し、5 月の頃には枯れたイネの苗を置き、寒中には海水をかける(16 巻百姓伝記, 静岡・愛知)。
 - ④ナシ栽培用の下肥、いわし肥、にしん肥の肥料などをつくるときは、塩を加える(46 巻, 梨栄造育秘鑑, 新潟)。
 - ⑤サツマイモを作る土地がやせていたら、海岸に打ち上げられた海藻を冬のうちに拾っておいて腐らせ、それを根元にひとつまみずつ置いて植えれば芋が良く出来る(33 巻, 砂畠菜伝記, 福岡)。
 - ⑥山間の畑に植えたサツマイモには磯の付近に生えている海藻を取ってきて、乾燥してウネ間に入れると効く(29 巻, 農業巧者江御問下ケ並に御答書, 山口)。
 - ⑦ムギの肥料には水肥の中に海水を 2 割ばかり入れると良く、すべての肥料はたべものの塩味程度に塩分を加えたほうが良い(29 巻, 農業巧者江御問下ケ並に御答書, 山口)。
 - ⑧海藻はすべての作物に効く。良く干して雨にあたらぬように貯えておき、作物に施します(23 巻, 農稼録, 愛知)。
- いずれも当時の農民の努力が偲ばれる秘伝の農法です。①の「海水に風呂の残り湯を混ぜる」などは絶妙かつ

奇抜な方法であり、何がどういう理屈で効いているのか科学的には説明できませんが、当時の農民は、「海の水に含まれる何か効いている」ことだけは確信していたに違いありません。

(2) 海水と塩の種類と利用方法

海水の成分は、水が 96.6% で塩分が 3.4% です。海水に含まれる塩分の内、77.9% が塩化ナトリウム、9.6% が塩化マグネシウム、6.1% が硫酸マグネシウム、4.0% が硫酸カルシウム、2.1% が塩化カリウムで、残りの 0.3% が約 70 種類とも 90 種類とも言われている微量元素です。海水には多くのミネラル類が含まれており、それらのミネラル類の施用効果を「海のミネラル力」と称して、海水、自然塩、ニガリなどが農業に利用されています(参考文献 1, 2, 3, 4)。

海水に最も多量に含まれるミネラルであるナトリウムは、植物の生育にとって必須元素ではありません。しかしながら、同じ仲間のアルカリ金属であるカリウム(植物にとって多量必須元素)が欠乏しているときには、欠乏障害を軽減したり生育を促進することも認められていることから、農学的有用元素とされています(参考文献 6)。また、アニオンとして最も多量に含まれる塩素は、植物にとっては必須元素ですが、ごく微量しか要求されません(微量必須元素)。したがって、海水に大量に含まれるナトリウムと塩素に対する植物側の要求性は低く、海水や塩を植物栽培に利用する場合には、ナトリウムや塩素の致命的な過剰障害を回避した利用法が求められます。

図 1 に植物栽培に利用可能な海水と塩の種類を示します。表層海水は身近にある「ただ」のミネラル資源として植物栽培に利用されています。海洋深層水は、極地で冷やされた海水が深海底を長い年月をかけて循環する過程で、海底の地形などによって湧昇流が発生する場所で、水深 200 m 以深から取水される海水です。深層水の特徴である低温性、富栄養性、清浄性は、表層海水よりも優れた資源性として知られ、高知県室戸岬をはじめ日本各地で採取され、多方面での利用が展開されており、農業への利

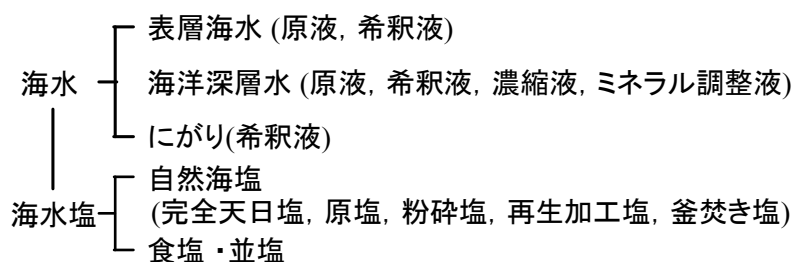


図1 植物栽培に利用可能な海水と塩の種類

用も種々取り組まれています。にがりは、海水を濃縮し、食塩を析出させた後の残液で、塩化マグネシウムを主成分とするものです。

塩としては、ナトリウム以外のミネラル成分(マグネシウム、カルシウム、カリウムなど)を多く含み、安価(25 kgで1,500円程度)で入手しやすい並塩、原塩、粉碎塩が植物栽培に多く利用されています(参考文献1)。

いずれも、生育促進、食味向上、病害抑制などの効果を狙って、植物体への散布(適当な濃度の希釈液)、土壌や有機肥料への施用(希釈液または原液または塩)などの方法で利用されています。しかしながら、希釈倍率や塩の撒き方によってはマイナスの影響が出ることもあります。渡辺(参考文献4)は経験的に、海水の希釈倍率が100倍以上は安全ではあるが何の効果もないかもしれない濃度であり、原液から40倍までは注意が必要な濃度としていますが、10倍希釈液や原液を散布して効果をあげた事例も報告されています。下記のように、作物によって塩に対する耐性が異なるので(参考文献5)、すべての作物で効果があるわけではなく、希釈倍率や施用法などもそれぞれの作物にふさわしい方法を見出す必要があります。

耐塩性が強い作物:アスパラガス、サトウダイコン、ブロッコリー、ワタ、オオムギ、トマト、キャベツ、ホウレンソウ

耐塩性が弱い作物:トウモロコシ、エンドウ、インゲン、ダイコン、キュウリ、タマネギ、ニンジン

(3)現在の利用例

海水が多く含まれる干拓地や台風による高潮の害を受けた田畑で、品質の良い作物が収穫できる例はよく知られています(例えば、高知市の徳谷トマト、八代市干拓地の塩トマトなど)。ここでは、野菜の品質向上などのために

海水や塩を積極的に施用している事例をごく一部ですが紹介します(参考文献1, 2, 3, 4)。

- ①ネギ(千葉県):成育中期(彼岸過ぎ)から後期にかけて、海水の10倍希釈液を10a当たり150リットル以上、10~15日おきに5回以上散布。「海っ子ネギ」として2006年から販売。葉折れが少なく太く重くなる。鉄分、カロテンが増加。甘くてやわらかくなる。
- ②キャベツ(茨城県):収穫まえのキャベツに海水を散布。夕方なら50倍液、日中なら100倍液を10a当たり100リットル散布。「汐菜キャベツ」として販売。糖度が最大4度上昇(通常4度が8度になる)。硝酸態窒素が減少。日持ちが向上。
- ③タマネギ(兵庫県):塩の場合は元肥と一緒に10a当たり25kgすき込み。海水の場合は50倍液を10a当たり150リットル5日おきに散布。糖度上昇。1個250円で販売。
- ④トマト(茨城県):海水原液を3段目の着果後に30坪当たり1,000リットルを土壌施用。その後、生育を見ながら同量を施用。病気に強くなる。海水トマトとして販売。
- ⑤ナス(高知県):室戸海洋深層水を利用。「竜馬なす」として販売。まるやかさ、甘味向上。
- ⑥ナス・トマト・キュウリ(秋田県):並塩を、定植1週間後から7~10日ごとに3回、株の周りを囲むように軽く一握り程度散布。散布後は必ずかん水。甘みが増す。長雨時でも病気に強くなる。
- ⑦ミニトマト(青森県):原塩を50坪当たり元肥として12.5~25kg、定植後25kgを、株の周りに散布。無農薬栽培。生育良好。日持ち向上。
- ⑧トマト・キュウリ・ナス・サツマイモなど野菜全般:天日粉碎塩(塩事業センター)を元肥および追肥として10a当たり25kg手散布。収量増。甘み、うま味向上。
- ⑨サトイモ(大阪府):天然塩を株元にパラパラとまく。連作が可能になった。

⑩九条ネギ(京都府): 粉碎塩を 10a 当たり 50 kg 手散布。
葉の青み、色つや増加。

⑪キャベツ苗(近畿中国四国農業研究センター): セルトレイでの育苗終了前の 5 日間、塩化ナトリウムを 0.3% になるよう添加した液肥を、1 日 1 回底面給水。硬く締まった苗(塩締め)。徒長が抑制され、乾燥に強い苗。

野菜の他にも、イネ、柑橘類、リンゴ、ブドウ、キウイ、イチゴ、チャなどで多くの利用例が知られています。

2. 海水と塩の施用効果

上記の利用例での海水と塩の施用効果は、図 2 に示すような、(1)ミネラル効果、(2)塩素効果、(3)塩ストレス効果によってもたらされていると考えられます。

(1)ミネラル効果

植物の生育にとって多量必須元素(炭素、水素、酸素、窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウム、硫黄)および微量必須元素(鉄、マンガン、亜鉛、銅、ホウ素、モリブデン、塩素、ニッケル)の多くが、海水および海水塩に含まれるミネラル類です。したがって、海水や海水塩を植物に施用することは、必須元素であるミネラル類を施肥することになります。ミネラル効果を考える際には、施肥における大原則である最少養分律と報酬漸減の法則を念頭に置く必要があります(参考文献 6)。最少養分律は、「生育に必要な因子の一つでも不足すると、他の因子が十分であっても、植物の生育はその不足している一つの因子に支配される」というもので、図 3 に示すドベネックの要素樽で説明されます。また、報酬漸減の法則は、「ある養分

の施用効果は、その養分が不足しているときほど大きく、その養分の施用量を増していくと、増収効果は次第に減少する」というもので、図 4 で説明されます。海水や海水塩を利用する栽培方法が、どこでも、どのような条件下でも通用する「普遍的な農法」として普及していない理由は、この二つの原則にあるように思います。

海水、海水塩およびにがりの主要成分であるマグネシウムは、光合成をおこなう葉緑素の中心的な構成元素であるとともに、葉緑体における炭酸ガスの固定(光合成)を活性化し、活性酸素の発生を抑える働きも、海水や海水塩の施用で最も期待されるミネラル効果をもたらします。

例えば、図 3 に示すように、マグネシウムが制限要素になっている場合には、海水、海水塩およびにがりの施用で、顕著なマグネシウム効果が期待できますが、マグネシウムが十分に施肥されている植物においては、図 4 に示すように、大きなマグネシウムの効果は期待できません。その他に、ミネラル効果としては、品質向上、病害抑制、土壤微生物活性化、有機肥料発酵促進などが経験的に知られていますが、必ずしも科学的に検証されているわけではないようです。

(2)塩素効果

塩素はアニオンとして最も多量に海水含まれていますが、植物の微量必須元素として最近認知され、植物側からの要求度は高くありません。光合成の一部のプロセスでの触媒機能、気孔の孔辺細胞でのカリウムイオンの随伴イオンとしての機能および生育促進効果が知られています(参考文献 5)。

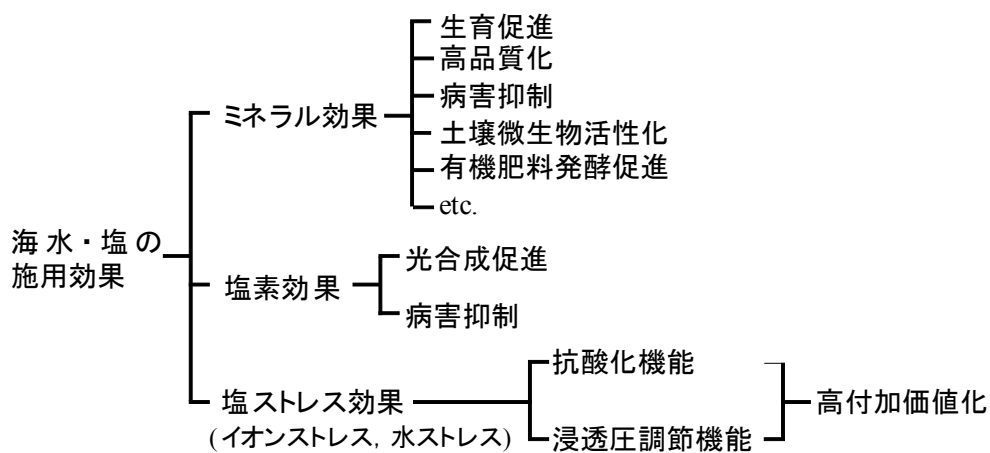


図 2 植物栽培で期待される海水・塩の施用効果

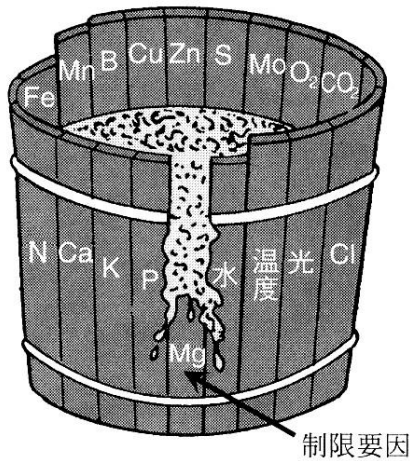


図3 最少養分律を説明するドベネックの要素樽

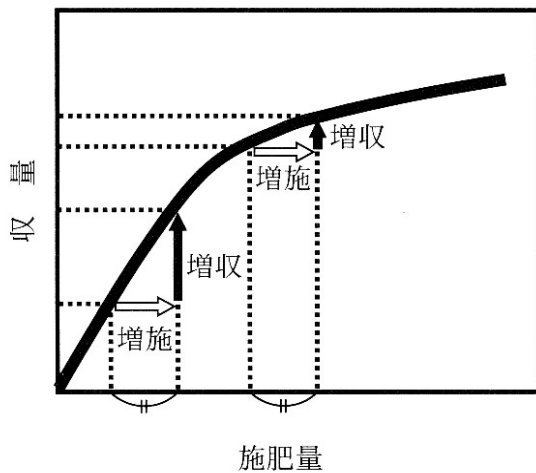


図4 施肥における報酬漸減の法則

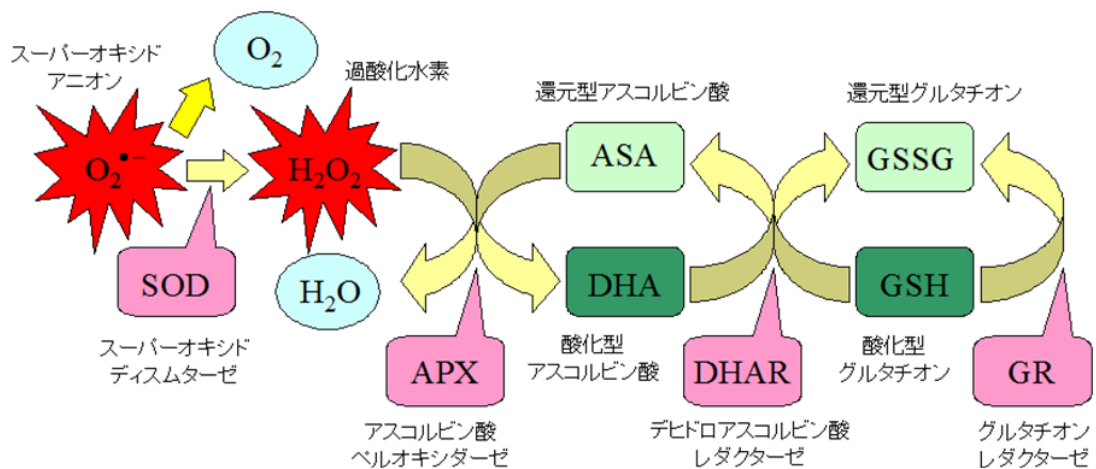


図5 植物の主な活性酸素消去系

渡辺(参考文献 4)は、標準の液体肥料に海水の 20 倍希釈液、食塩の 600 倍希釈液を加えた場合に、キュウリの生育が促進されたことから、塩分を低濃度にするナトリウム過剰の害が緩和され、代わりに塩素による生育促進効果が表れることを示しています。また、塩素の殺菌作用による病害抑制効果や農薬減量効果が知られています。いずれにしても、このような塩素の効果は、ナトリウムの過剰障害を引き起こさないような低濃度での施用(葉面散布)によってもたらされる効果です。

(3) 塩ストレス効果

海水や海水塩を高濃度で植物に施用すると、図 2 に示すように、ナトリウム、塩素、マグネシウムの過剰によるイオンストレスと、さらに、土壌などの根圏の溶質濃度の上昇による浸透圧の高まりによって、根の水吸収が阻害されて、萎れや枯死にいたる水ストレスが引き起こされます。これらの環境ストレスはさらに、種々の活性酸素による酸化ストレスを植物体に引き起こします。これらのストレスに対する生き残り戦略として、植物は抗酸化機能、浸透圧調節機能などの防御機能を発揮します。図 5 に植物の主な活性酸素消去系を示します。

SOD などの酵素(活性酸素不活化酵素)やビタミン C (アスコルビン酸)などを介して、ストレスによって生じたスーパーオキシドアニオン、過酸化水素などの活性酸素を不活化するとともに、抗酸化機能を有するアミノ酸(GABA など)などが産生されます。

浸透圧調節機能とは、水ストレスによる根の吸水阻害による萎れを回避するために、植物が細胞内の糖、アミノ酸、カリウムイオンなどの溶質(浸透圧調節物質)の濃度を高め、細胞内への水の浸透流入によって、細胞の膨圧を維持して萎れを回避する機能です。

致命的なストレス障害を生じない程度の濃度で海水や海水塩を植物に施用することで、抗酸化機能や浸透圧調節機能を植物体に発現させ、糖、アミノ酸、抗酸化物質などの有用物質を収穫対象器官に高濃度に集積させることが期待されます。水ストレスや塩ストレスに対する耐性の強いトマト植物においては、水ストレスや塩ストレスを応用することによって、高糖度のトマトを生産することが農法として認知されています。

3. 海洋深層水を利用した高糖度トマト栽培の研究例

ソルト・サイエンス研究財団のプロジェクト助成研究(平成 17~19 年度)の一環として実施されている「海洋深層水濃縮廃液を活用した高品質高糖度トマトの多段周年栽培の実用化」の成果の一部を紹介します(参考文献 7, 8)。

高知県室戸岬で採取されている海洋深層水を、養液栽培のトマト果実がピンポン玉ぐらいの大きさに肥大した頃に 2 週間だけ施用した例です。トマトは受粉後(着果後)8 週間程度で収穫されますが、果実の肥大が最も活発で、師管を通して糖などの有用物質が果実に盛んに集積する時期に、海洋深層水を 3 倍~4 倍希釈した濃度で施用しました。図 6 は果実に集積する師管液中の溶質濃度(スクロース, アミノ酸, ミネラルなど)の経時変化です。海洋深層水の施用によって浸透圧調節機能が発現した結果、師管内の溶質濃度が高まったと考えられます。

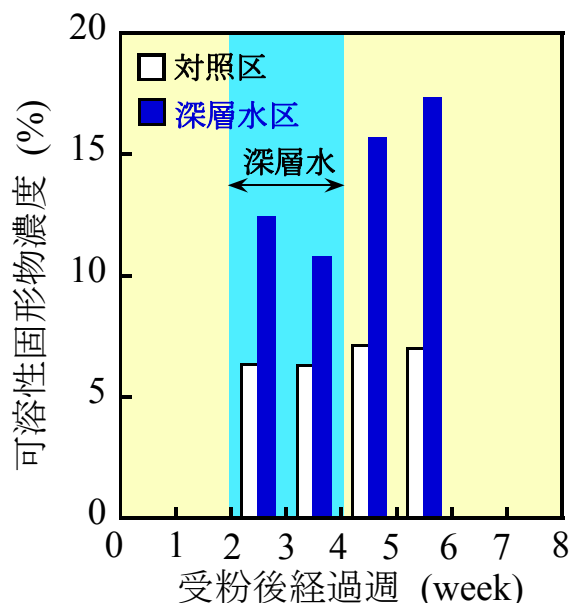


図 6 トマト果実に集積する師管液中の溶質濃度の経時変化

海洋深層水施用区で高濃度の師管液が果実に集積した結果、表 1 に示すように、果実の糖度が 9%以上に達し、果実の旨味に関与すると考えられているカリウムやマグネシウム(深層水由来のミネラル)の濃度も有意に高まり、高品質の高糖度トマトが生産されました。次に、海洋深層水、表層海水、食塩(NaCl)を同じ濃度(海水を 3 倍~4 倍希釈した濃度)で施用した場合の活性酸素不活化酵素(SOD)活性、機能性を有するアミノ酸(GABA およびプロリン)濃度および旨味の官能試験結果とグルタミン酸・アスパラギン酸比を、それぞれ図 7, 8, 9, 10 に示します。

表 1 収穫トマトの新鮮重、乾物重、乾物率、糖度、酸度およびカリウムとマグネシウム濃度に対する海洋深層水の短期施用の効果

	新鮮重 (g/fruit)	乾物重 (g/fruit)	乾物率 (%)	糖度 (%)	酸度 (%)	カリウム濃度 (mg/g f.w.)	マグネシウム濃度 (mg/g f.w.)
深層水区	119	14.2	12	9.2	0.9	3.99	0.13
対照区	179	10.9	6.1	6.2	0.5	2.93	0.09

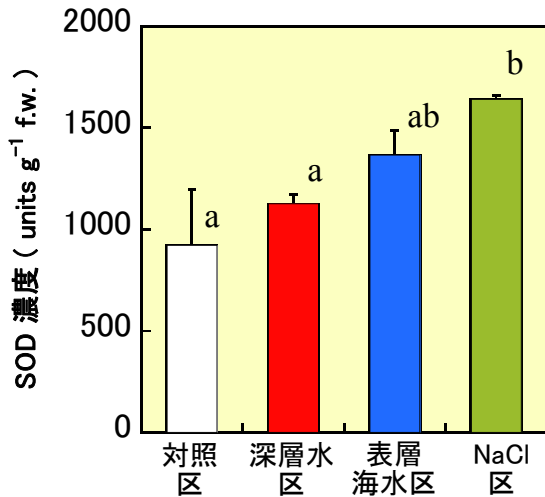


図7 トマトの活性酸素不活化酵素(SOD)活性

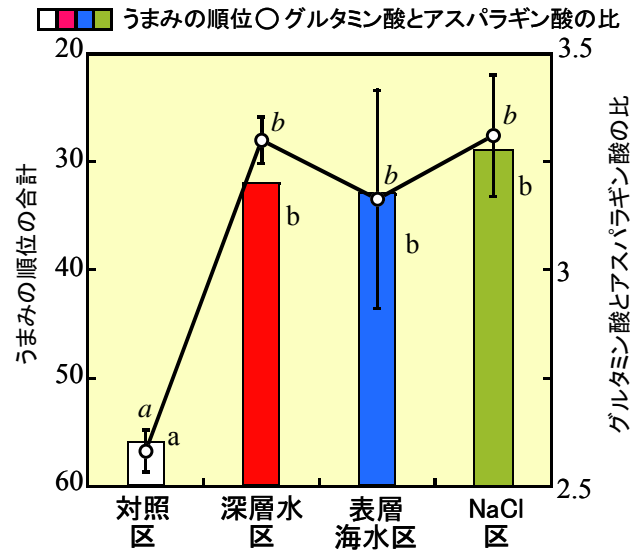


図10 トマトの旨みとグルタミン酸・アスパラギン酸比

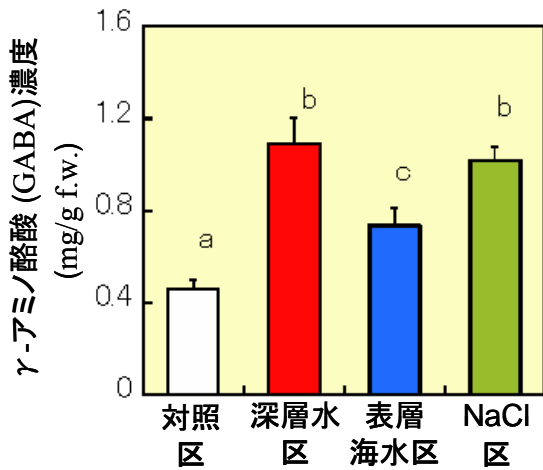


図8 トマトのγアミノ酪酸(GABA)濃度

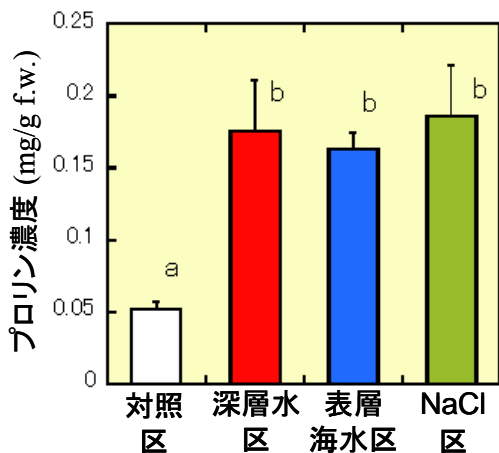


図9 トマトのプロリン濃度

SOD活性は、海水や食塩の施用による塩ストレスによって高まる傾向がありますが、深層水の施用では、塩ストレスによる酸化ストレスが緩和される傾向がみられました(図7)。機能性アミノ酸(GABA およびプロリン)の濃度も、海水や食塩の施用で有意に高まりました(図8, 9)。トマトの旨味の評価は、グルタミン酸・アスパラギン酸比と相関があり、海水や食塩の施用によって有意に高まりました。トマトにおいては、糖度 6%以上、酸度 0.5%以上で、K と Mg の濃度も高いことが「おいしいトマト」の条件とされています。さらに、糖度 8%以上の高糖度トマトでは、果実重が 100 g 以上のトマトが高い品質評価を受けています。深層水の短期間施用によって栽培されたトマトは、これらの条件をいずれも満足し、食味においても、「旨みのあるおいしいトマト」の評価を得ました。

上記のような海水や塩の施用効果のメカニズムは、十分に解明されているとは言えませんが、今後、多面的かつ科学的に検証されることによって、海水や塩を利用した栽培方法が、普遍的な農法として定着することが期待されます。

参考文献

- 1) 現代農業(2002年8月号)(農山漁村文化協会)
- 2) 現代農業(2003年8月号)(農山漁村文化協会)
- 3) 現代農業(2006年10月号)(農山漁村文化協会)
- 4) 現代農業(2007年8月号)(農山漁村文化協会)
- 5) 植物栄養・肥料の事典(朝倉書店)

- 6) 新農業気象・環境学(朝倉書店)
- 7) Eco-Engineering Vol.18, 119-124(2006)
- 8) Eco-Engineering Vol.18, 181-188(2006)

講演者略歴

- 1955 福岡県生まれ
- 1978 九州大学農学部農業工学科卒業
- 1979 九州大学大学院修士課程中退
- 1979 北海道開発局土木試験所
- 1981 北海道開発局札幌開発建設部
- 1982 九州大学生物環境調節センター 助手
- 1991 同上 助教授
- 2001 高知大学農学部 教授

2007 九州大学大学院農学研究院 教授現在に至る

専 門

農業気象学, 生物環境調節学

主な著書(共著)

- 最新バイオセンシングシステム(R&D プランニング)
- 植物生産システム実用事典(フジテクノシステム)
- 新版生物環境調節ハンドブック(養賢堂)
- 中国・四国地域の農業気象(農林統計協会)
- 新農業環境工学(養賢堂)
- 新農業気象・環境学(朝倉書店)