



連載

—やさしい養液栽培—

養液栽培における鉄の限界濃度について

丸尾 達\*

今回は鉄の最低限界濃度に関する話である。まず、あまり耳慣れない言葉である最低限界濃度の定義から始める。

限界濃度によく似た概念には、以下のものがある。まず、限界温度 (critical temperature) であるが、これは低温や高温による障害、発芽、開花、成熟、休眠などの作物の反応に関して、それらが起こる限界となる温度のことをいう。

次に、限界日長 (critical day-length) は、短日或いは長日植物において、ある日長を境にして、花芽分化が起こったり、或いは起こらなかったりする境目の日長のことをいう。

同様に限界濃度 (critical concentration) とは、植物が養分欠乏症或いは、過剰症を起こす限界の培養液や土壤溶液の養分濃度のことである。さらに、欠乏症が発生する濃度が最低限界濃度、過剰症が発生する濃度が最高限界濃度である。

実際には、養液栽培に限ったことではないが欠乏症や過剰症は発生しなくても、収量が低下したり、品質が低下したりする濃度を限界濃度とする場合が多く、そうなるとかなり連続的な値であり主観的な側面もある概念である。むろ

ん今回取り上げる鉄だけでなく、N, P, K, Ca, Mg 等の多量要素から微量元素に至るまで全ての無機成分に対して、それぞれの最低限界濃度、最高限界濃度が存在する。しかし、それぞれ元素によってその値は大きく異なるのが常である。

鉄は  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  ともよく植物に吸収されるが、硫酸第2鉄 ( $FeSO_4$ ) 等で与えた場合、pHの上昇によって不溶態になりやすく、かつては1~3日毎に鉄の追肥或いは培養液の交換が必要であった。それまで植物栄養の実験手法の一つであった養液栽培が実用化したのは、鉄源として1951年にヤコブソン (Jacobson) によって報告されたキレート鉄 (エチレンジアミン4酢酸ナトリウム鉄:  $Fe-EDTA$ ) の利用よるところが大であると言っても過言ではない。

まず、今回取り上げるキレート鉄の限界濃度について述べる。養液栽培の培養液処方には種々のものが発表されているが、培養液中の鉄濃度は表1に挙げたように、0.034~3ppm程度の範囲のものが多く、一方、エリス・スワニー (Ellis and Swaney, 1951) は、鉄の濃度に関して、以下の値を報告している。

表1 各種養液栽培培養液における Fe 濃度 (養液栽培全編 1982 より抜粋)

培養液	鉄濃度 (Fe-ppm)	発表者	発表年
サックス液	1.0	Sachs	1860
クノップ液	Trace	Knop	1865
イネ用春日井液	1.2	春日井	1929
野菜用春日井液	0.034 ~ 1.72	春日井	1934
ホーランド・アルノン液	3.0	Hoagland・Arnon	1938
園試処方液	3.0	堀・山崎	1961

\*千葉大学園芸学部

0.5(最低)－1(中程度)－5(最高)－10(過剰値)

この報告からすれば、0.5ppmが最低限界濃度、5～10ppmの間に最高限界濃度が存在するということになる。著者らも、3段階心の春作トマトで培養液中のキレート鉄濃度に関する試験を行ったところ、0.7ppm～3ppmの範囲ではトマトの収量・品質にはいずれの濃度でも有意差は認められず(表2)、0.7ppm以上の鉄濃度が維持されれば、この時期のトマト栽培は可能であるとの結論を得た。この試験は60ℓ容のコンテナで行ったものであるが、いずれの試験区でも1週間毎の培養液更新前の鉄濃度は更新直後より上昇していた。このことはトマトの見かけの吸収濃度が0.7ppm以下であることを示している。つまり、この条件のトマトの鉄の最低限界濃度は0.5ppm程度であったと言える。

ところで、キレート(chelate)とは、ギリシャ語でカニのハサミと言う意味の言葉である。キレート配位子をハサミとすれば、そのハサミで金属(Fe等の)を挟み込む形で配位している錯体を金属キレートと呼ぶが、前述のように金属の安定性が高いことが特徴である。キレートについては、本誌ハイドロポニックス6(2)(1993)ワンポイントメモに詳しく解説されているので参照されたいが、近年以下に示すような問題も挙がっている。

環境問題から養液栽培システムの閉鎖循環型への移行が急務であるが、これには培養液の殺菌処理が欠かせない。その際に紫外線や、オゾン等の処理を行うと、キレートが破壊され、リ

ン酸鉄などの形で鉄が不溶化する問題が発生する。今後使用する鉄源については、Fe-DDHA(水溶液が赤色を呈するので赤色が淡くなったら追肥する)など他のキレート剤を含めて再検討の余地があると思われる。また、培養液のpHを好適に維持すればキレートが壊れた後も培養液のFe濃度が実用上問題ない程度に維持されとの報告もあり、培養液pHの制御が比較的容易になったことから興味深い。さらに、キレート鉄による障害も報告されているので、最大限界濃度については注意が必要などである。

さて、限界濃度について概観してきたが、以下に限界濃度に関する話題提供をしたい。

表3は、手賀沼の水質を分析した値であるが、著者らはこの沼の水だけでエンツァイを水耕栽培し、極めて良好な生育を確認した(図1)。この事実は、Feは0.1ppm、N、P、Kはそれぞれ0.1me/ℓ程度の濃度でもエンツァイの栽培は可能であることを証明している。ということは、少なくともエンツァイの最低限界濃度はこれらの値以下であるということである。しかし、これは一般的な養液栽培の常識からみるとかなり低いと感じる値である。これは、エンツァイをNFTチャンネルに定植し、手賀沼の水を十分に掛け流したことに関係するものと考えている。この場合、培養液(手賀沼の水)中の各成分濃度は低いが、沼全体を考えると無限量の肥料が存在すること、チャンネル内では比較的水流が早いことから根圏には常に新しい培養液が供給されたことで最低限界濃度が低くなったと

表2 培養液中のFe濃度がトマトの収量・糖度・酸度におよぼす影響(王・丸尾ら1995)

鉄濃度 (Fe-ppm)	果数(個/株)	果重(g/株)	収量(kg/株)	糖度(%)	酸度(%)
0.7	11.9	224.8	2.66	5.9	0.37
1.5	11.4	225.0	2.54	5.9	0.38
3.0	12.1	212.9	2.44	6.0	0.39

表3 手賀沼の水質

成分濃度	EC	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg	Fe
	dS/m			me/l				ppm
平均	0.40	0.10	0.09	0.27	0.16	1.37	0.60	0.10

推察した。日本一汚濁が進んでいる手賀沼も見方を変えれば、膨大な資源を有している宝の湖とも言える。表1の値はポット試験により得られたものが多いが、最低限界濃度はポット試験、DFT, NFT, RW等の栽培システムや液量、培養液管理等の試験方法により大きく変化する。

強調すべき点は、最低限界濃度は常識以上に低い値を取りうることである。現在培養液濃度を一定に保つ濃度管理法が主流であるが、低濃度でも常に十分量の肥料成分が供給される仕組みさえ構築すれば、現在の栽培管理濃度をかなり低下させても実用上問題なく栽培ができる可能性がある。

むろん、低培養液濃度に適応する品種の育成も重要であるが、環境問題を考えれば、管理濃度を低下させることは必要ではないだろうか？

#### 参考資料

1. 星 岳彦ら, 1989: 培養液への光入射が培養液組成と野菜の生育に及ぼす影響, 農業気象, 45(2), 99-104
2. 王 秀峰・丸尾 達ら, 1995: 培養液中のキレート鉄濃度がトマトの生育, 収量に及ぼす影響, 園学雑, 64 別 1, 258-259
3. 橋 昌司, 1993: ワンポイントメモ-キレート, ハイドロポニックス, 6(2), 44-45
4. 高橋 宏・高屋 和弘・正森啓司, 1998: 養液栽培における紫外線殺菌灯の利用についての検討(第1報) - 紫外線殺菌による鉄沈殿物の利用, pHとの関係 -, 園学雑, 67 別 2, 338
5. 山崎肯哉, 1982: 養液栽培全編, 博友社
6. 矢沢 進・佐藤隆徳・並木隆和, 1992: 水耕栽培でのキレート鉄施用によるトウガラシの生理障害の発現, 園学雑, 60(4), 905-913



図1 手賀沼におけるエンツァイの湖上栽培