

養液栽培イチゴの生育・収量と果実発育に及ぼすカリウム栄養の影響

吉田 裕一・大森 敏正^{a)}・後藤丹十郎・田中 義行
村上 賢治^{b)}

(応用植物科学コース)

Effects of potassium nutrition on fruit development and yield of substrate grown strawberry

Yuichi Yoshida, Toshimasa Ohmori, Tanjuro Goto, Yoshiyuki Tanaka
and Kenji Murakami

(Course of Applied Plant Science)

Effect of K nutrition on sugar and organic acid concentration in fruit and yield of strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa* Duch.; Nyoho, Toyonoka, Sachinoka, Asukarubi, Akihime, Tochiotome, and Sagahonoka) was investigated. Nutrient solution (NO₃ 8, NH₄ 1, P 1, K 4, Ca 2, Mg 1, SO₄ 1 ; mM) was modified to contain 0 to 4mM of K by replacing K with Ca and supplied from the beginning of flowering. K in the drainage decreased to a trace level 3 weeks after the beginning of treatment except for 4mM-K solution. Absorption of NO₃ apparently decreased in plants supplied 0mM-K solution, but little difference was observed among the other 3 solutions. K concentration in petiole decreased linearly with decrease in K concentration in solutions, but there was little difference between the concentrations of leaflet of plants supplied with 4 and 2mM-K solutions. No difference was observed in concentrations of sugars and organic acids in fruit in primary inflorescence. In the second inflorescence, organic acids and K concentration in fruit linearly decreased with decrease in K in supplied solutions while sugar concentration of fruit decreased significantly only in plants supplied 0mM-K solution. When 0.5 to 4mM-K solutions were supplied from 2 weeks after planting, marketable fruit yield was smallest in plants supplied 0.5mM-K solution followed, by that supplied 1mM-K solution, and largest in that supplied with 2mM-K solution. Almost all K supplied with 2mM-K solution was absorbed by strawberry plants and no difference was observed in quality and K concentration of fruit, yield and plant growth between the plants supplied with 2 and 4mM-K solutions. It may be suitable to reduce the concentration of K in nutrient solution by half for substrate production of strawberry.

Key words : *Fragaria* × *ananassa* Duch., K/Ca ratio, organic acids, sugars

緒 言

イチゴはバブル崩壊後も市場単価が高く維持されており、収益性の高い品目の一つであるが、草丈が低いいため、収穫・管理作業に際して腰を屈めた姿勢を強いられることが多い。収益性が高いにもかかわらず、規模拡大が進まず後継者が得られない原因の一つがこの労働負荷の大きさにあるといえる。1980年代半ばには NFT とロックウール栽培がトマトとほぼ同時期に導入され、労働負荷の軽減を目的としたイチゴの高設栽培が各地で試みられた。しかし、コストと収量性に問題があり定着するには至らなかった。1990年代後半になって、ピートモス主体の培地を利用した養液栽培システムとバーク堆肥のような有機質培地と被覆緩効性肥料を利用した高設式の栽培装置が CO₂ 施用技術の定着と同時に普及し、1997年から

の10年間で約10倍にまで急激に増加した。その後新設の勢いは鈍化しているが、イチゴ全体の栽培面積が毎年2%近く減少し続けている中で、相対的なウエイトは年々大きくなっているといっている¹⁷⁾。

野菜類の養液栽培においては、Hoagland 処方や園試処方に準じた培養液が標準的に用いられている。イチゴの養液栽培においてもこれらの処方を見かけの吸収濃度に近い濃度と組成に修正して用いることが望ましいとされており¹⁵⁾、多くの産地で園試処方に準じた組成を持つ市販の配合肥料が利用され、濃度のみを調節して施用されている⁸⁾。水耕栽培の場合には、山崎¹⁵⁾が述べているよう

Received October 17, 2013

a) 現在 農林水産省中国四国農政局

b) 現在 石川県立大学生物資源環境学部

に、作物の吸収量に見合った組成の培養液を利用することによってイオンバランスの崩れを防ぎ、根圏の環境を安定させることが重要といえる。しかし、ピートモス主体の培地を用いて栽培した場合、Ca, Mg 濃度が園試処方の方の1/2以下である複合液肥(OK-F-1, 大塚アグリテクノ)であっても園試処方に準じた培養液と比較して生育、収量に差は認められなかった¹⁶⁾。また、被覆緩効性肥料を用いた高設栽培では、土耕に準じた施肥体系で通常は水のみを与え、適宜3要素だけを含む液肥を施用して栽培が行われている事例も多い¹⁷⁾。すなわち緩衝能の高い固形培地を用いた栽培においては、pHの変化など培養液組成の変動によるネガティブな影響が現れにくいいため、各種作物の水耕栽培の結果に基づいて作成された均衡培養液を施用する必要性は低いといえる。N以外の養分については、現行よりかなり低い濃度で栽培を行うことによって、肥料コストとともに環境への負荷を軽減することが可能と考えられた。また、多量要素の欠乏が果実中の糖、有機酸組成に及ぼす影響について調査した結果、Kの欠乏によって果実中の全糖濃度が低下する傾向が認められた(未発表)。そこで、K施与量の下限值ならびに植物体のK栄養診断基準を明らかにすることを目的として、培養液中K濃度が果実の糖・有機酸蓄積と収量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

実験1. 培養液中K濃度がK栄養と糖・有機酸蓄積に及ぼす影響

‘女峰’、‘とよのか’、‘さちのか’、‘アスカルビー’、‘章姫’、‘とちおとめ’、‘さがほのか’の計7品種を供試した。2001年8月4日に本葉が3枚以上展開した子株を空中採苗し、35穴すくすくトレイ(丸三産業)に挿し苗した。8月末まで大塚A処方25%培養液を週3回施用し、以後は水のみを与えた。2001年9月21日に‘女峰’は各処理区24個体ずつ、他の品種は4個体ずつピートバッグに定植した。処理開始までは大塚A処方30%培養液を日射比例給液して慣行の栽培を行った¹⁷⁾。園試処方1/2濃度を修正した培養液(NH₄, Pを0.67 mM→1 mM)を標準として用い、培養液中のKをCaで置換してK濃度の異なる4処理区(4, 2, 1, 0 mM, Table 1)を設け、頂花房開

Table 1 Nutrient composition in the modified solutions (mM)

K conc.	N		P	K	Ca	Mg	SO ₄
	NO ₃	NH ₄					
4 (Cont)	8	1	1	4.0	2.0	1	1
2	8	1	1	2.0	3.0	1	1
1	8	1	1	1.0	3.5	1	1
0.5	8	1	1	0.5	3.75	1	1
0	8	1	1	0	4.0	1	1

花始めの11月14日から処理を開始した。微量要素についてはHoagland and Arnon⁵⁾の処方に従い、1/2の濃度で加えた。

2001年11月13日に保温、電照(暗期中断2時間)およびCO₂施肥(日中800~1000 ppm)を開始した。最低気温は8℃に加温し、最高気温28℃を目標に換気扇で換気した。栽培全期を通して1芽仕立てとし、株あたりの葉数を5~7枚に管理した。着果数は、頂果房7果、第2果房(1次腋果房)5果として第3花開花期頃に摘花した。

週1回‘女峰’の排液サンプルを採取し、HPLCでNO₃, P, K, Ca, Mgを分離定量した。処理開始から約1週間後の11月20日から週1回、‘女峰’のうち果実を収穫対象としない個体から新生第3葉を3枚ずつ採取し、80℃で1週間乾燥させた。葉身と葉柄に分けて粉碎し、1%塩酸で抽出して炎光光度法でKを定量した。

‘女峰’については頂花房2, 3番花(2次果)の開花日を記録し、着色始めの開花30日後から3日ごとに各処理区5果ずつ採取した。色彩色差計(ミノルタCR-200b)を用いて赤道部4ヶ所の果皮色を測定し、色相(H°=tan⁻¹(b*/a*))を算出した。測定後、果実を半分に切断して重量を測定し、-30℃で貯蔵した。また、すべての品種について頂果房1, 5番果と第2果房1番花を成熟した段階で採取して同様に貯蔵した。貯蔵した果実は、電子レンジで解凍後約90℃の蒸留水20 mlを加え沸騰水中で2分間湯煎してインベルターゼを失活させた。冷却後10%エチレングリコールと1%酢酸を含む内部標準液1 mlを加えて、HPLCで可溶性糖類、有機酸、およびK濃度を測定した。

実験2. 培養液中K濃度が‘女峰’の収量と糖・有機酸蓄積に及ぼす影響

2002年7月24日に本葉が3枚以上展開した‘女峰’の子株を空中採苗し、35穴すくすくトレイに挿し苗した。8月20日まで大塚A処方25%培養液を週3回施用し、以後は水のみを与え、8月26日から9月11日まで夜間(17時から9時)15℃の低温短日処理を行った。花成誘導処理した苗を9月17日に容量7Lのポウル型プランターに4株ずつ定植し、2週間大塚A処方30%培養液を日射比例給液した。実験1と同様に作成したK濃度の異なる培養液を施用する4処理区(4, 2, 1, 0.5 mM, Table 1)を設け、10月1日から処理を開始した。培養液の施用濃度は慣行に従い¹⁶⁾、処理開始後4週間はいずれの処理区も第1表の60%の濃度で施用し、その後2週間は80%、CO₂施用を開始した7週目からは100%とした。その後日射量の増加にあわせて、処理開始後17週目からは80%、CO₂施用を停止して換気を開始した25週目からは60%で施用した。

各処理区8プランター32株を供試し、20個体について収量調査を行い頂果房1, 3, 5, 7番果、第2果房1,

5 番果を採取して実験 1 と同様に糖, 有機酸, K 濃度を調査した. 残り 12 個体から週 1 回新生第 3 葉を採取し, 実験 1 と同様に葉中 K 濃度を測定した. また, 定植 31 週間後 (5 月 6 日) に各処理区の新生第 3 葉と古葉をそれぞれ 6 枚ずつ採取し 2 枚ずつ, 3 つに分けて同様に分析した. その他の管理は全て実験 1 と同様であった.

結 果

実験 1. 培養液中 K 濃度がイチゴの K 栄養と糖・有機酸蓄積に及ぼす影響

標準の 4 mM 区を除いて処理開始後に排水中の K 濃度が急激に低下し, 3 週間後にはほとんど検出限界以下となった (Fig. 1). 培養液全体の施用濃度が高くなったことが影響し, 4 mM 区では処理開始後徐々に高くなる傾向にあった. 一方, 排水中の硝酸態窒素濃度はいずれの処理区でも処理開始後高くなる傾向にあったが, 培養液中 K 濃度が低いほど著しく, 0 mM 区では窒素吸収速度の低下を反映して急激に上昇した.

新生第 3 葉の葉柄中 K 濃度は, 培養液中の K 濃度が低

いほど低くなり, 0 mM 区と 1 mM 区では処理開始直後から急激な低下が認められた. 葉身中 K 濃度についてもほぼ同様であったが, 4 mM 区と 2 mM 区の間にはわずかしき差が認められず, いずれも 2~3 % DW で推移した. 0 mM 区と 1 mM 区では処理開始 6 週目以降 1 % DW 以下となり, 1 mM 区と 2 mM 区との間に顕著な差が認められた (Fig. 2). 0 mM 区では, 第 1 果房収穫開始期 (処理開始 5 週間後) 頃から下位葉の葉身の一部が暗褐色となる K 欠乏症状が確認された. 欠乏症状は徐々に上位葉にも発現するようになり, 第 2 果房着色開始期 (処理開始 10 週間後) 頃から新生第 3 葉でも欠乏症状の発生が認められた (Fig. 3).

Fig. 4 に示したように, 頂果房 2, 3 番果の着色は 4 mM 区と 2 mM 区の間には差が認められなかったが, 1, 0 mM 区では明らかに着色が遅かった. 果実の糖濃度は 0 mM 区が着色開始期から低く, 4 mM 区が他の 2 処理区よりやや低く推移したが, 最終的な糖濃度には 1~4 mM の間に大きな差は認められなかった. 果実中の K 濃度は葉身中濃度と同様に, 頂果房と腋果房のいずれにおいても 4 mM 区と

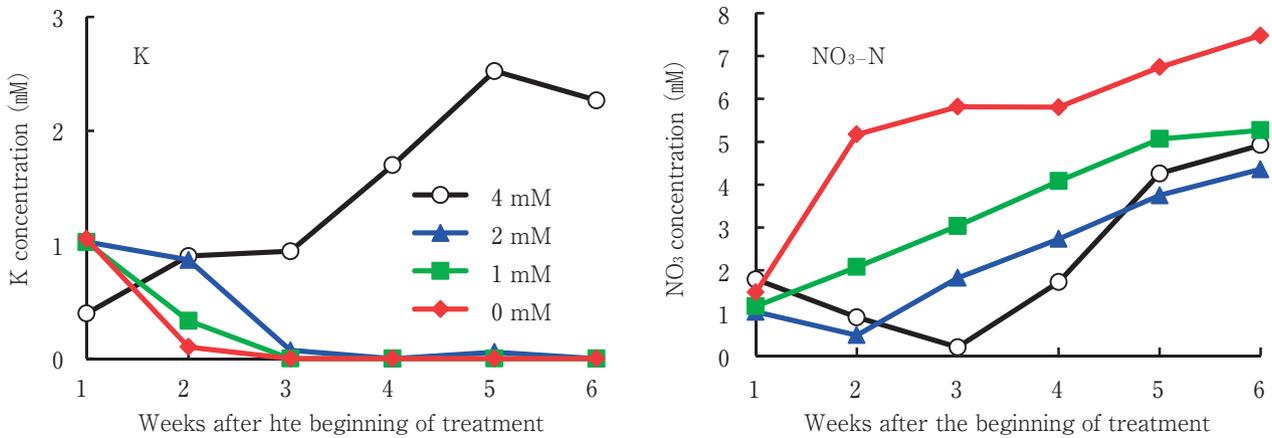


Fig. 1 Changes in K (left) and NO₃-N (right) concentration in drainage during 6 weeks after the beginning of treatment (Expt. 1).

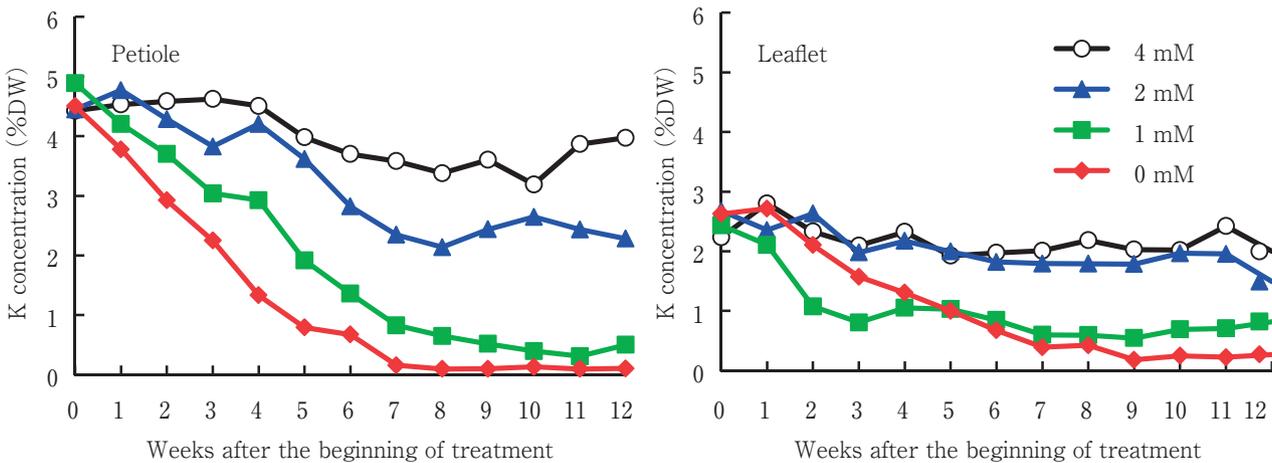


Fig. 2 Changes in K concentration in petiole (left) and leaflet (right) of the 3rd newly expanded leaf of 'Nyoho' strawberry (Expt. 1).

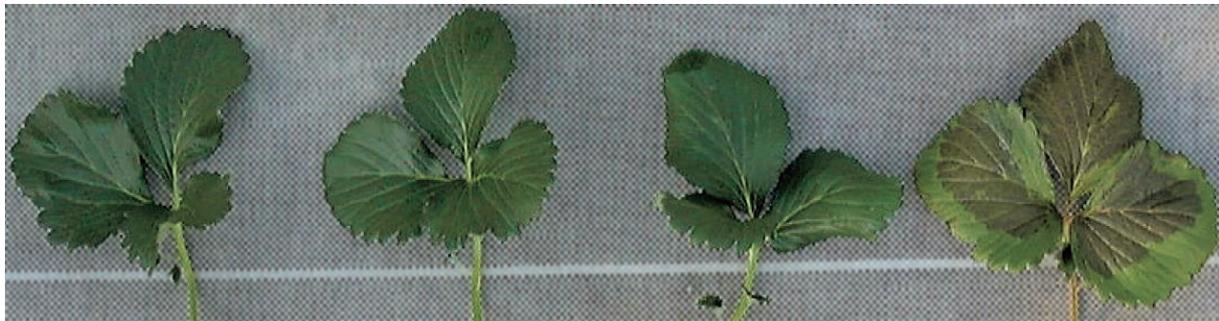


Fig. 3 Symptoms of K deficiency in the 3rd newly expanded leaf. Left to right : 4, 2, 1, 0 mM-K.

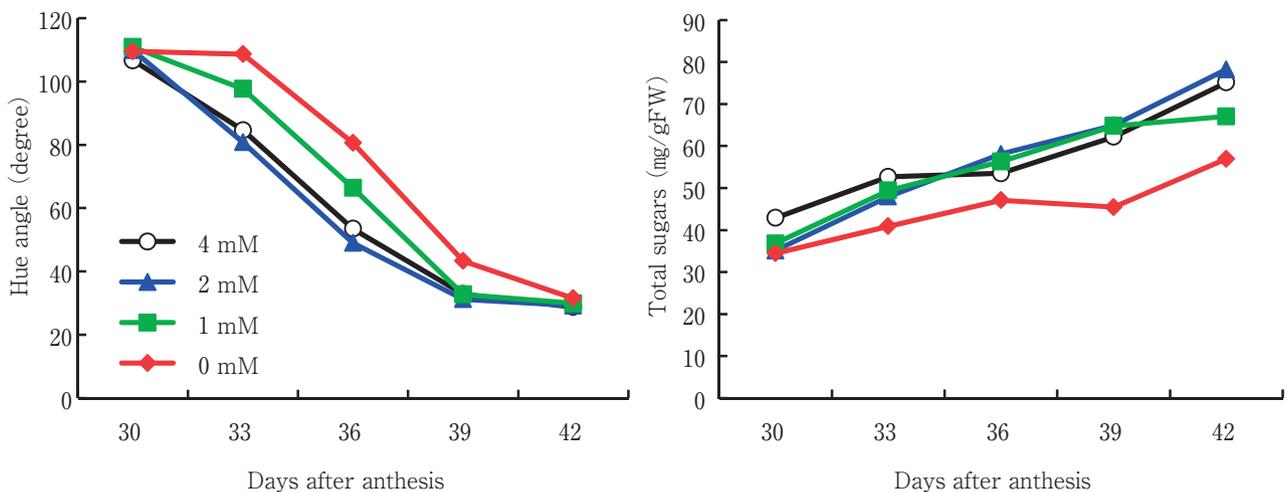


Fig. 4 Changes in hue angle (left) and concentration of total sugars (right) of the secondary (2nd and 3rd) fruits of the primary inflorescence of 'Nyoho' strawberry.

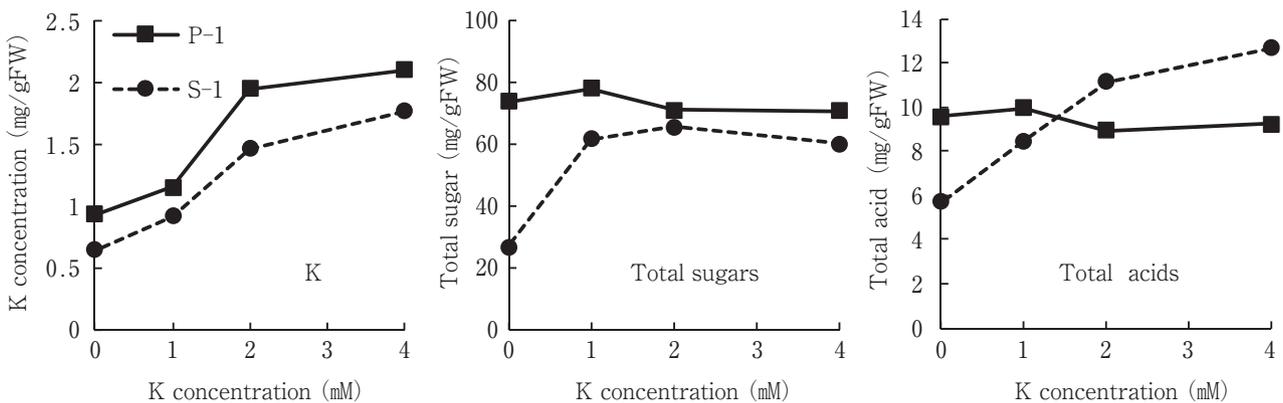


Fig. 5 Differences in concentrations of K (left), total sugars (middle) and total organic acids (right) in the primary fruit of primary (P-1) and second (S-1) inflorescences of 'Nyoho' strawberry (Expt. 1).

2 mM区の間の差は小さく、2 mM区と1 mM区の間には比較的大きな差が認められた (Fig. 5)。可溶性糖類および有機酸濃度については頂果房1, 5番果では培養液処理区間に差は認められず、第2果房1番果の0 mM区においてのみ著しい低下が認められた (Fig. 5)。「女峰」以外の6品種についても、第2果房1番果では葉に顕著なK欠

乏症状が認められた0 mM区の糖濃度が他の3処理区と比較して著しく低かった (Fig. 6)。

実験2. 培養液中K濃度が「女峰」の収量と糖・有機酸蓄積に及ぼす影響

実験1においては、頂花房開花開始期にK濃度を変更したため、開花までの7週間の間に植物体や培地中に蓄

積されたKの影響が大きく、頂果房については処理の影響がほとんど認められなかった。また、0 mM区では第2花房開花後植物体はほぼ成長を停止した。そこで実験2では活着直後から処理を開始し、0.5 mM~4 mMの4処理区とした。

処理開始直後は植物体が小さくて養分要求量が少なく、定植後2週間で培地中に蓄積したKを吸収したため、処理開始後も一時的に葉中K濃度が上昇し続けた (Fig. 7)。しかし、処理開始2週間後(定植4週間後)には旺盛に成長するようになり、いずれの処理区でも3週間後にはK濃度が低下し始めた。0.5 mM区と1 mM区ではその後も急激に低下し続けたが、4 mM区では培養液濃度を100%に高めた7週目以降は安定し、葉身中K濃度は約2.5% DWで推移した。葉柄中濃度と葉身中濃度を比較すると実験1 (Fig. 2)と同様に低K条件下(0.5, 1 mM)では葉柄の濃度が葉身より低かったが、高K条件下(4 mM)

では葉柄の濃度のほうが高かった。イチゴの窒素栄養診断によく用いられる新生第3葉⁴⁾と整枝の際摘除される直前に相当する第6葉¹⁶⁾とを比較すると、葉身では大きな差は認められなかったが、葉柄では最新の展開葉である第3葉が老化した第6葉より明らかに高かった。また、第6葉の葉柄では0.5 mM区と2 mM区の間にほとんど差が認められなかった (Fig. 8)。果実のK濃度も培養液中K濃度の低下に伴って直線的に低下し (Fig. 9)、着果位置ごとに見ると両者の間に高い相関 ($P < 0.00001$)が認められた。ただし、2 mM区と4 mM区との差は比較的小さかった。

果実中K濃度と可溶性糖濃度、有機酸濃度との間には有意な正の相関関係が認められた (Fig. 10)。有機酸についてはほぼ直線的な関係にあり、K施与量を低下させることにより、果実の酸味が低下して糖/酸比の高い果実を得られることが明らかになった。糖濃度に関しては、有意な相関 ($P < 0.0003$)が認められたものの有機酸と比較して明らかにバラツキが大きく決定係数 (R^2)が小さかった。

Table 2に示したように、収量は2 mM区が最も高く、0.5 mM区は著しく低かった。0.5 mM区では、全着果数は他の3処理区より10%余り少ないだけであったが、肥大着色不良果数が著しく多く、可販果数が20~30%少なかった。また、可販果の果実肥大も明らかに劣っていた。一方、2 mM区では4 mM区との間に有意な差は認められなかったものの、可販果の平均果実重が最も大きく、そのことが収量増に大きく貢献していた。いずれの収量構成要素についても、2次の曲線回帰の決定係数が1次の直線回帰より明らかに大きく、培養液中K濃度が2 mMより低くなると‘女峰’の収量が急激に減少することが明らかになった。

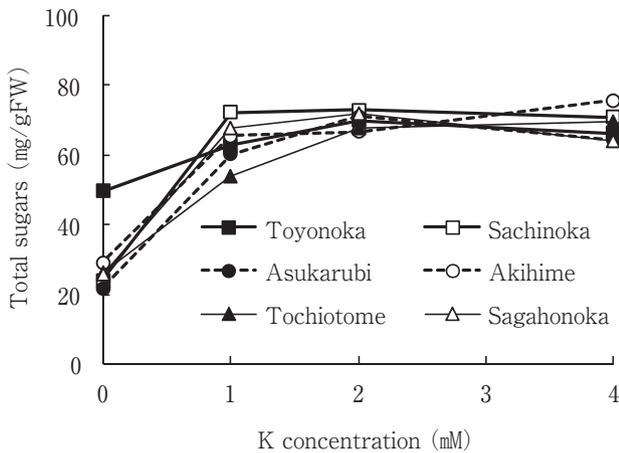


Fig. 6 Effect of K concentration in nutrient solutions on the concentration of total sugars in the 1st fruit of second inflorescence of strawberry cultivars (Expt. 1).

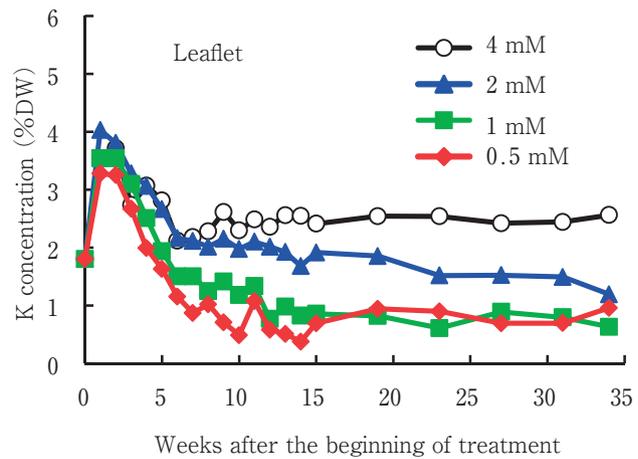
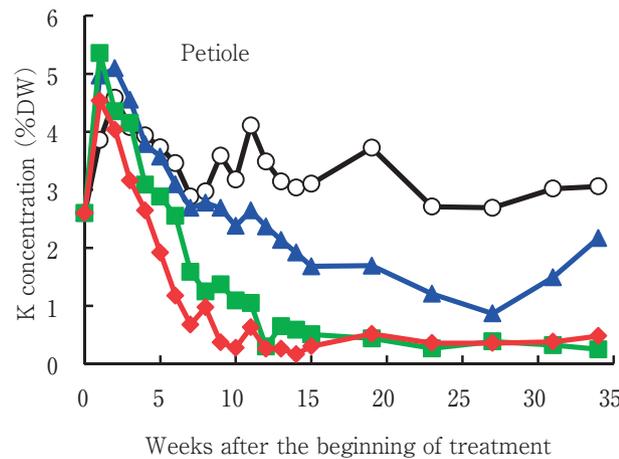


Fig. 7 Changes in K concentration of petiole (left) and leaflet of the 3rd newly expanded leaf of 'Nyoho' strawberry (Expt. 2).

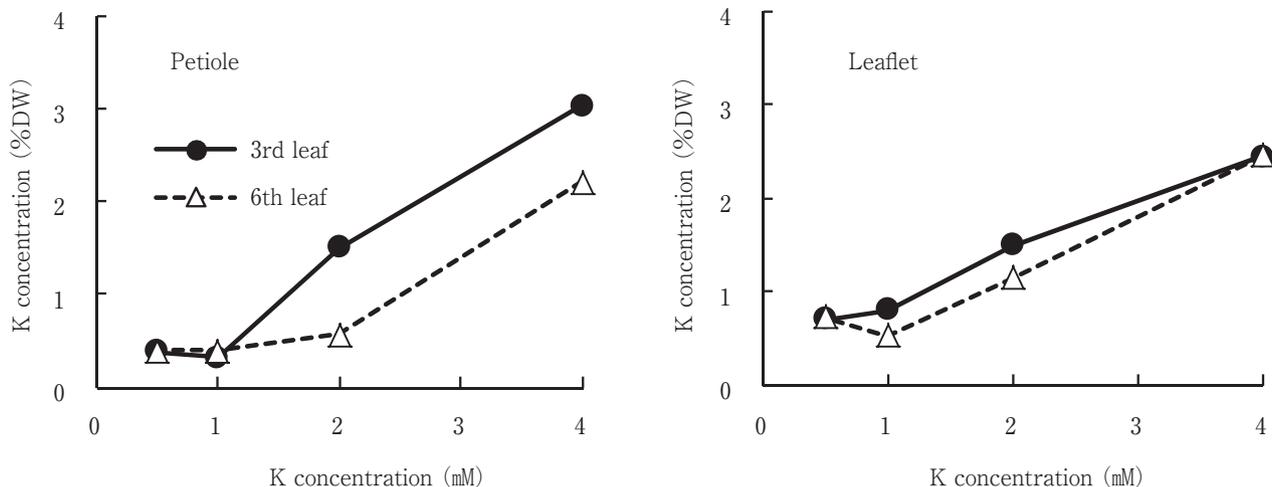


Fig. 8 Differences in K concentration in petiole (left) and leaflet (right) of the 3rd newly expanded and old 6th leaves of 'Nyoho' strawberry (Expt. 2, on 6 May, 2003, 31 weeks after the beginning of treatment).

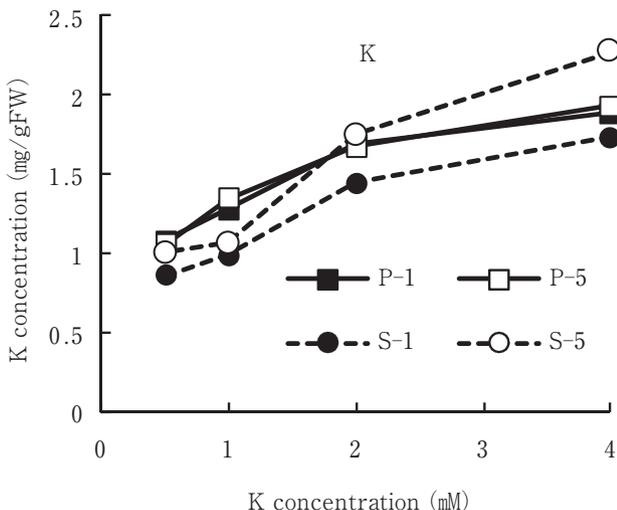


Fig. 9 Differences in K concentration in the 1st and 5th fruits of primary and second inflorescences of 'Nyoho' strawberry (Expt. 2).

考 察

ブドウ⁹⁾やトマト^{3,13)}など様々な果実でKの施肥量増加によって有機酸濃度が上昇することが報告されている。イチゴについて調査した結果、本多・天野⁶⁾の報告と同様に果実中K濃度と有機酸濃度との間に正の相関があることが明らかになった (Fig.10)。果実中の糖濃度についてもK濃度との間に有意な正の相関関係が認められたものの有機酸と比較してバラツキが大きく (Fig.10)、明らかにK欠乏症状が認められた処理区においてのみ、顕著な低下が認められた (Fig. 5, 6)。本実験では、植物体の窒素栄養状態について調査していないが、0 mM区と0.5 mM区では排液中硝酸態窒素濃度が急激に上昇し、収

Table 2 Effect of K nutrition on yield components of 'Nyoho' strawberry (Expt. 2)

K conc. (mM)	No. of fruits harvested (/plant)			Marketable fruits	
	Market-able	Not market-able	Total	Yield (g/plant)	Fruit wt. (g)
4	33.2 a ^z	0.1 a	33.3 a	607.0 ab	18.3 a
2	32.9 a	0.1 a	33.0 a	648.4 a	19.7 a
1	30.1 a	1.1 a	31.2 ab	545.6 b	18.2 a
0.5	23.9 b	5.0 b	28.9 b	390.0 c	17.1 b
Regression	L*, Q***	L*, Q***	L*, Q**	L*, Q***	Q**

^zDifferent letters indicate significant differences by LSD test, 5% level.

*, **, ***significant at 5, 1, 0.1% levels, respectively ; L, linear ; Q, quadratic.

穫開始期頃から顕著な草勢の低下が認められたことから、K欠除処理によって窒素や炭水化物など様々な代謝が抑制され、成長が抑制されたのであろう。したがって、果実中糖濃度の低下は極度のK欠乏によって光合成能力を含めた植物体全体の代謝速度が低下した結果といえる。有機酸の場合には、果実中K濃度との間に直線的な相関関係が認められたことから、細胞内 pHの安定化など果実中K濃度変化の影響を直接的に受けた変化であり、明らかに糖とは異なった反応と考えられる。

果実の食味についてみれば、K濃度の低下に伴う有機酸濃度の低下は結果的に糖/酸比を上昇させるため、食感としての甘みは強くなるといえる。有機酸濃度が低く、甘味が強い品種として評価されている品種については、その特徴を強調する意味で低K培養液施用による糖/酸比の向上は市場性を高めるための手法となり得るのかもしれない。しかし、有機酸の刺激によるさわやかさを減

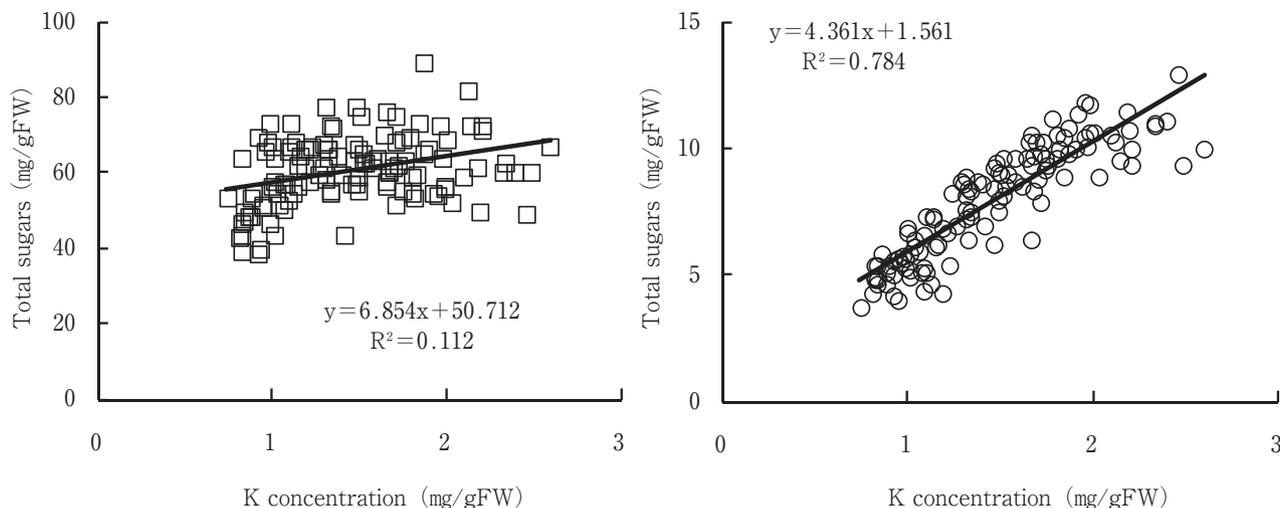


Fig. 10 Relationships between fruit K concentration and the concentrations of total soluble sugars (left) or total organic acids (right). First, 3rd, 5th, and 7th fruits of the primary inflorescence and 1st and 5th fruits of the second inflorescence were pooled, $n = 120$ (Expt. 2).

退させるため、イチゴ本来の食味が向上するとは言いがたく、‘女峰’のように酸味と甘味のバランスが重要な品種にあっては、かえって食味の評価を低下させる可能性が高いと考えられる。

Asaduzzaman²⁾は、本研究の1 mM区と同様にKをCaに置換した培養液で腎臓病患者用に向けた低Kイチゴの生産を試み、有機酸が低下すること並びに人工光下では標準組成の園試処方培養液より収量が増加することを報告している。しかし、本研究では2 mM区の収量が最も高かったのに対して、1 mM区では園試処方標準の4 mM区よりやや収量が劣り、下位葉にK欠乏症状の発生が認められた。一方、2 mM区の果実中K濃度は4 mM区とほぼ同等であり (Fig. 5), 下位葉においてもK欠乏症状などの生育異常は確認されなかった。多くの作物で果実が大量のKを蓄積することが知られており、Kの施肥量と果実中濃度の間に密接な関係が認められている。Lieten¹⁰⁾は、イチゴ‘Elsanta’が吸収したKの70%が果実に転流したことを報告しており、イチゴでは果実が最大のKのシンクであるといえる。果実のK濃度については2 mM区と4 mM区との間にわずかな差しか認められなかったことから、本研究で観察された最大値 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ でほぼ飽和状態に達していたと考えられる。2 mM区では処理開始3週目から施用したKのほぼ全量が吸収されたのに対して4 mM区では相当量のKが排液として排出されたことから (Fig. 1), K施肥量が必要かつ十分な量を上回っており、贅沢吸収されていたことは明らかであろう。

総収量については、統計的に有意な差ではなかったものの2 mM区が4 mM区を上回っており (Table 2), 両処理区ともに第3葉の葉身、葉柄中K濃度には収穫開始期以降大きな変化が認められなかった。また、実験終了直前

に摘除直前の古葉である第6葉を採取して比較したところ、欠乏症状が確認された1 mM区では葉身中濃度が0.52% DWと0.5 mM区より低い値であったが、2 mM区では1.14% DWと1 mM区の第3葉より高かった (Fig. 8)。また、第3葉は葉身、葉柄ともに第6葉より高く、葉の老化に伴って再転流していることが示された。活発に光合成を行う成熟した葉や果実では十分な濃度が維持されていたことから、標準培養液の半分の濃度で‘女峰’の果実生産に必要なかつ十分なKが供給されていたと考えてよいであろう。

葉中K濃度は同一条件で栽培しても品種や採取時期によって若干の違いが認められているが、アメリカの露地栽培で1.1~2% DW¹⁸⁾あるいは0.9~3.1% DW¹⁾、オランダ・ベルギーの養液栽培で1.5~3% DW¹⁰⁾で問題なく生育するとされている。実験2を通じて2 mM区における新生第3葉葉身中と葉柄中のK濃度はそれぞれ1.5% DW, 0.8% DW以上で推移した (Fig. 7)。贅沢吸収される養分であることからすれば、これらの値は葉分析によるK栄養レベルの目標値として妥当な値といえよう。整枝摘葉の際に摘除する古葉を試料として用いる場合には、葉身中で1% DW以上、葉柄中で0.8% DW以下が無駄のない最適範囲の基準値であると考えられる。

果実中のK濃度は培養液中のKが2 mMを下回ると急激に低下し (Fig. 5, 9), イチゴのK栄養状態を反映して変化することが示された。果汁中K濃度は小型イオンメーター等で測定可能であり、簡便なイチゴのK栄養診断法として利用することが可能と考えられる。そこで、果汁中のK濃度と糖濃度との関係について解析した結果をFig. 11に示した。図中の青のシンボルは全120サンプルをK濃度順にならべ、そのうち最低の濃度であったも

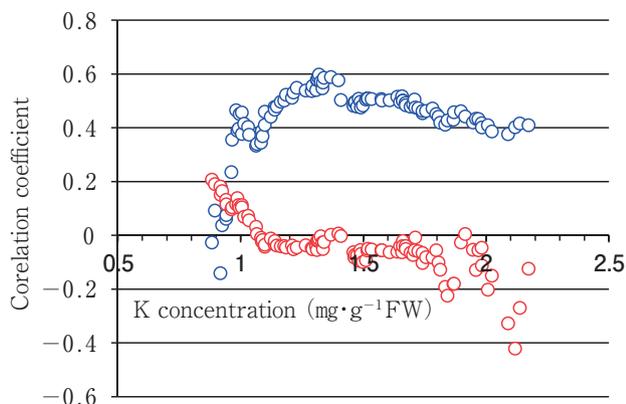


Fig. 11 Changes in correlation coefficients between the concentration of K and total soluble sugars in strawberry fruit along with the increase in the number of pooled samples in ascending (blue symbols) and descending (red symbols) sequence of K concentration in each fruit shown in Fig. 10. Each blue and red symbol indicate the correlation coefficient calculated with a data set of fruits having less than and larger than a particular value of K concentration, respectively, e.g. a blue symbol on 1.099 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ of K concentration indicate the coefficient calculated with a data set of 35 fruits having less than 1.1 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ of K concentration in Fig. 10. Values are not plotted when number of samples (n) was less than 11.

のから順にサンプル数を増加させて相関係数を算出した結果である。すなわちK濃度1.099 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ を示す青のシンボルは、1.1 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 未満であった35サンプルを用いて算出した相関係数が0.4592であり、赤のシンボルは1.099 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 以上であった86サンプルから算出した相関係数が-0.0353であったことを示している。Fig.11から明らかなように、低濃度側からサンプル数を増やした場合（青）、K濃度1.3 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ まではサンプル数を増やすことによって相関係数が大きくなったが、1.4 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 以上の果実を加えるとわずかながら相関係数が小さくなった。このことは果実のK濃度が1.3 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ を超えていれば糖濃度に対する影響は認められないことを示している。一方、高濃度側から果実数を増やした場合（赤）には、果実中K濃度が1.1 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 程度まではK濃度と糖濃度の間の相関係数はほぼ0だが、それ以下の果実を加えると相関係数が高まった。すなわち、果実中濃度が1.1 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ を下回る場合には、植物体全体のK濃度低下によって代謝が抑制され、糖濃度が急激に低下するといえる。これらのことから、採取が容易な果汁中糖濃度として110～140 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 程度がK栄養診断の下限値となるものと考えられる。

水耕栽培は植物栄養学の研究手法として発達し、実用技術として利用されるようになったが、溶媒としての水

は土壌と比較して緩衝能が著しく小さいため、培養液中のイオンバランスやpHの変動を小さくすることに重点を置いた培養液管理が行われてきた。特に長期間の栽培を通じて植物体の健全な成長を促すためには、培養液中の養分バランスを維持することが必要であり、作物の吸収に見合った比率で多量要素イオンを含む培養液を施用することが重要とされている（山崎, 1982）。ただし、培養液中の各養分の濃度を維持して十分量を供給した場合には、窒素吸収が過剰となる問題も指摘されている⁷⁾。近年、各種の養分を植物の吸収に合わせて無制限に供給するのではなく、作物の生産に必要な量だけ追加して吸収を制限する量的管理法が提唱され¹⁴⁾、トマトでは実用的な施用方法が提示されている¹¹⁾。本研究で取り上げたKは植物が贅沢吸収する養分として知られており、CaやMgなどの拮抗的吸収阻害を除けば過剰障害が植物に発生することはほとんどない。これらのカチオンの培養液中での適切なバランスについては多くの報告があり、作物種や作型に対応した様々な培養液処方が提唱されている^{12,15)}。しかし、K, Ca, Mgについては過剰害がほとんど問題とならないため、必要量以上に施用されていることが多い¹⁶⁾。養液栽培で利用される培養液処方では窒素源のほとんどが硝酸塩であり、培養液が直接根に触れる水耕だと、過剰害があらわれやすい NH_4 のほか必須元素ではないNaなどその他のカチオンを多量に投入することには問題がある。現実的には、随伴イオンとしてのKとCaの合計は園試処方やHoagland処方と似かよった値にならざるを得ない。本研究においてもKをCaに置換した培養液を用いており、余剰のCaは排出されるため、培養液の循環再利用は難しく、環境負荷がさほど小さくなるとはいえない。

しかしながら、ピートモス培地でイチゴを栽培する場合には、窒素源として尿素態窒素を半分近く含み、全窒素に対するCaやMgの比率が園試処方の半分以下の複合液肥を用いても園試処方に準じた培養液と同等の収量が得られている¹⁶⁾。すなわち、緩衝能の高い固形培地を用いる場合には、土耕で様々な液肥を施用すると同様に硝酸態以外の窒素源を多量に施用することが可能であるといえる。尿素態やアンモニア態窒素を利用すれば、K, Ca, Mgといったカチオンの施用濃度に関して自由度が大きく広がることになり、施用した肥料成分の吸収効率を大きく向上させることも可能と考えられる。本研究の結果、2 mM区では施用したKがほぼ全て吸収され、果実品質、収量および生育について4 mM区との間に差が認められなかったことから、K濃度は現行の半分程度で十分といえる。前述の筆者らの報告¹⁶⁾と合わせて考えれば、K, Ca, Mgの窒素に対する施用濃度はいずれも半分程度にまで低下させても問題はなく、環境負荷の軽減と肥料コストの低減を実現することが可能と推測されるが、その限界点については全窒素施与量の問題とともに

今後詳細に検討を進める必要がある。

要 約

‘女峰’, ‘とよのか’, ‘さちのか’, ‘アスカルビー’, ‘章姫’, ‘とちおとめ’, ‘さがほのか’の7品種を供試して培養液中K濃度が果実の糖・有機酸蓄積と収量に及ぼす影響について検討した。修正園試処方1/2濃度液(NO₃ 8, NH₄ 1, P1, K4, Ca 2, Mg 1, SO₄ 1 ; mM)のKをCaで置換した培養液(K 4 ~ 0 mM)を頂花房開花期から施用した。4 mM区以外では処理開始後3週目に、排液中K濃度がほぼ検出限界以下に低下した。また、NO₃の見かけの吸収量は0 mM区で顕著に低下したが、その他の処理区では吸収量にほとんど差が認められなかった。葉柄中K濃度は培養液中のK濃度が低いほど低くなったが、葉身中K濃度には4 mM区と2 mM区との間に差が認められなかった。全ての品種において頂果房1, 5番果の糖・有機酸濃度は処理区間にほとんど差が認められなかった。第2果房1番果では、果実のK濃度、有機酸濃度と培養液中K濃度の間に高い正の相関が認められた。糖濃度は4 ~ 1 mM区の間に差が認められなかったが、0 mM区では第2果房1番果の糖濃度が大きく低下した。定植直後からK4~0.5 mMの培養液を施用した結果、0.5, 1 mM区では収量の低下が認められたが、2 mM区は4 mM区よりやや収量が多かった。2 mM区では施用したKがほぼ全て吸収され、果実のK濃度や品質、収量および生育について4 mM区との間に差が認められなかったことから、K濃度を園試処方の半分まで低下させることが可能と考えられた。

引用文献

- Albregt, E. E., G. J. Hochmuth, C. K. Chandler, J. Cornell and J. Harrison : Potassium fertigation requirements of drip-irrigated strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **121**, 164-168 (1996)
- Asaduzzaman Md., Md. F. Mondal, Y. Kobayashi, K. Isogami, M. Tokura and T. Asao : Effects of low potassium nitrate concentrations in nutrient solution on the growth and fruit quality of strawberry under florescence light. *Hort. Res. (Japan)*, **11** (Suppl. 1), 368 (2012)
- Davies, J. N. : Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the non-volatile organic acids of tomato fruit. *J. Sci. Food Agr.*, **15**, 665-673 (1964)
- 古谷茂貴・山下正隆・山崎 篤 : 暗黒下での低温によるイチゴの花芽分化誘導に及ぼす体内窒素濃度の影響. *野菜・茶試報*, **D1**, 51-57 (1988)
- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon : The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular* **347** : 1-32 (1950)
- 本多藤雄・天野智文 : 野菜の品質向上に関する栄養生理学的研究Ⅱイチゴの収量ならびに品質に及ぼす肥料, 高濃度処理, 水分および光制限の影響. *野菜試報*, **C1**, 39-80 (1974)
- 景山詳弘 : 培養液のN濃度が水耕トマトのN吸収量と生育ならびに収量に及ぼす影響. *園学雑*, **60**, 583-592 (1991)
- 隔山普宣・町田治幸 : 促成イチゴの循環方式ロックウール栽培における育苗培地, 定植法および培養液濃度. *徳島農試研報*, **27**, 18-28 (1990)
- 小林 章・細井寅三・尹 宇英・水谷慎作 : 燐酸および加里の施用の時期と濃度がブドウ果実の収量, 品質に及ぼす影響. *園学雑*, **29**, 85-95 (1960)
- Lieten, P. : Nutrition of strawberries in hydroponics and substrate culture. *Proc. 7th Australian National Berryfruit Conference* : 1-18 (1993)
- 中野有加・渡辺慎一・川嶋浩樹・高市益行 : トマト水耕栽培の無機成分の日施用法における施用量が収量, 品質および無機成分吸収量に及ぼす影響. *園学雑*, **75**, 421-429 (2006)
- Resh, H. M. : 野菜の水耕栽培 (並木隆和訳). 養賢堂, 東京 (1981)
- 崎山亮三 : 培養液中のカリウムおよびカルシウム濃度がトマトの果実内酸含量におよぼす影響. *園学雑*, **35**, 260-268 (1966)
- Terabayashi, S., I. Muramatsu, S. Tokutani, M. Ando, E. Kitagawa, T. Shigemori, S. Date and Y. Fujime : Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stages and fruit weight of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown hydroponically. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **73**, 324-329 (2004)
- 山崎肯哉 : 養液栽培全編, 博友社, 東京 (1982)
- 吉田裕一・花岡俊弘・日高 啓 : 培養液組成がピートモス混合培地で栽培したイチゴ‘女峰’の生育, 収量と養水分吸収に及ぼす影響. *園芸学研究*, **1**, 199-204 (2002)
- 吉田裕一 : イチゴ栽培の基本技術, 高設栽培, 農業技術体系野菜編3 イチゴ (追録第37号), 農山漁村文化協会 (東京), 基143-168 (2012)
- Voth, V., K. Uriu and S. Bringhurst : Effect of high nitrogen application on yield, earliness, fruit quality, and leaf composition of California strawberries. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **91**, 249-256 (1968)