

高濃度ナトリウムおよび重炭酸のかんがい用水利用が高設栽培イチゴの葉の黄化と収量に及ぼす影響

誌名	福岡県農業総合試験場研究報告
ISSN	13414593
著者名	水上,宏二 小田原,孝治 兼子,明
発行元	福岡県農業総合試験場
巻/号	28号
巻号補足	
掲載ページ	p. 94-99
発行年月	2009年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



高濃度ナトリウムおよび重炭酸のかんがい用水利用が高設栽培イチゴの葉の黄化と収量に及ぼす影響

水上宏二・小田原孝治・兼子 明¹⁾

培養土量が株当たり1.4~1.7ℓのイチゴ高設栽培システムで、Na濃度100mg/ℓ、HCO₃濃度200mg/ℓ程度のかんがい用水を利用すると、厳寒期の1月中旬より上位葉の黄化やNa過剰による下位葉の縁枯れが発生する。上位葉の黄化は、Naの過剰吸収に拮抗して起こるMnの吸収抑制ならびにHCO₃による培養土のpH上昇に伴うMnの不溶化に起因するMn欠乏症であると考えられた。このような水質のかんがい用水を利用すると、上位葉に黄化症状が現れなくても葉中のMn含有率は著しく低下する。Mnが欠乏することにより果実肥大が抑制されて、3~5月の収量および総収量は低下した。「あまおう」では、雨水でNa濃度を50mg/ℓ以下に調整するとMn欠乏症の改善、収量の安定化が図られ、かんがい用水として使用可能である。

[キーワード: イチゴ, かんがい用水, Mn, Na, HCO₃, 収量]

Effects of Irrigation Water with High Concentrations of Na and HCO₃ on Yellowing of Leaves and on Yield of Strawberry in Bench Culture. MIZUKAMI Koji, KOJI ODAHARA and AKIRA KANEKO (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 28:94-99 (2009)

Strawberry plants were grown with irrigation water that contained 100mg/ℓ of Na and 200mg/ℓ of HCO₃ in bench culture with 1.4 to 1.7 ℓ compost per stock. Under these conditions, yellowing of young leaves and browning of old leaf margins occurred from the middle of January. The yellowing of young leaves was judged to be attributable to a situation where an Mn deficiency symptom had resulted from an absorption restraint of Mn by antagonism of excessive absorption of Na and insolubilization of Mn with a rise in pH of the compost, which in turn had been brought about by a high concentration of HCO₃. Mn content in leaves decreased remarkably when such irrigation water was used even if young leaves did not show the yellowing symptom. The decrease in yield from March to May and in total yield is considered to be a result of Mn deficiency restraining fruit enlargement. When Na concentration of irrigation water is lower than 50mg/ℓ, the water may be suitable for strawberry 'AMAOU' production with bench culture.

[Keywords: HCO₃, irrigation water, Mn, Na, strawberry, yield]

緒 言

促成イチゴにおける土耕栽培は、作業中に前屈、中腰、ねじり姿勢など体に負荷がかかる姿勢が多く、作業への大きな負担になっている。イチゴの高設栽培では、このような栽培管理や収穫などの作業姿勢を改善でき、規模拡大による生産性の向上を目的に、普及が推進されている。福岡県におけるイチゴの高設栽培は、全共販面積の12%に当たる46ha(2007年現在)で導入されており、安定生産技術の確立が重要な課題である。

イチゴは、園芸作物の中でも耐塩性が低いいため塩類濃度障害が発生しやすい(Ehligら 1958, 大沢 1960)。また、オランダのワールドワイク温室作物研究所が設けている水耕栽培における用水の水質基準では、Na濃度が30mg/ℓ未満、重炭酸(HCO₃)濃度が40mg/ℓ未満であることが望ましいとされている(池田 1996)。イチゴの高設栽培では、培養土による緩衝作用により、水耕栽培のNa濃度の基準を超えるかんがい用水でも利用可能であると推察される。しかし、培養土量が少ない高設栽培におけるかんがい用水の水質は、イチゴの収量性を左右する重要な要素の一つであ

ると考えられる。本県におけるイチゴの主要産地は、沿海地域にも数多く位置し、これら産地では、かんがい用地下水のNa濃度が100mg/ℓ前後と高く、塩類濃度障害の発生や収量への影響が懸念される。イチゴ高設栽培におけるかんがい用水のNa濃度の影響に関しては、吉田ら(2003)が、「女峰」の株当たり2.3ℓのピートバッグ栽培でNaCl濃度が8 mM(184mg/ℓ)程度までの原水であれば、ガク片先端部にチップバーンが発生するが収量は低下せず、利用できる可能性が高いと報告している。しかし、福岡県三潴郡大木町に位置する福岡県農業総合試験場筑後分場における地下水を用いた高設栽培では、Na濃度が吉田らの報告の1/2程度であったにも関わらず、これまでのイチゴの耐塩性に関する報告(Ehligら 1958, 大沢 1960, 藤田ら 1988, 吉田ら 2003)にない上位葉の黄化症状が発生した。このことから、かんがい用水のNa濃度のみならず、何らかの要因が連動して障害の発生を引き起こしていることが示唆された。

そこで本研究では、培養土量1.4~1.7ℓ/株のイチゴ高設栽培でNa濃度100mg/ℓ、HCO₃濃度200mg/ℓ程度のかんがい用水が、イチゴの葉の黄化および生育、収量に及ぼす影響について明らかにした。

*連絡責任者

(筑後分場: mizukami@farc.pref.fukuoka.jp)

1) 現 土壌・環境部

材料および方法

1 耕種概要および試験区の構成

(1) **耕種概要** 栽培試験は、筑後分場内の間口6m、長さ20mのパイプハウスに、高さ110cmで高設栽培槽を設置して行った。栽培槽および培養土は、2002年および2003年度は、プラスチック製の栽培桶（GFT-17、矢崎化工製）に培養土A（容積比：ヤシ殻ピート：ボラ土：バーク：パーミキュライト＝35：35：15：15）を、2006年度は、不織布シート（ペリーウエーブ、アグリズ製）の栽培槽に培養土B（ピートモス：ヤシ殻：軽石：パーミキュライト＝30：40：20：10）を使用した。

苗は、2002年および2003年度が小型ポット、2006年度が50穴セルトレイで育苗し、6月10日前後に鉢受け、2週間後に切り離したものをを用いた。

定植日は、2002年および2003年度が9月24日、2006年度が9月25日とした。栽植様式は、2002年および2003年度は株間20cmの2条千鳥植えで、培養土量は1.7ℓ/株とした。2006年度は、株間15cmの2条千鳥植えで、培養土量は1.4ℓ/株とした。

施肥は、2002年度が基肥にCDUS555（N-P₂O₅-K₂O＝15-15-15）とロング424の180タイプ（14-12-14）を各5g/株施用し、追肥は10月4日から1日当たり3～4回、OK-F-1（15-8-17）の2000～3000倍液を点滴チューブ（ストリームライン、NETAFIM製）で灌水同時施肥し、総窒素施用量は3.2g/株であった。2003年度は、基肥にCDUS555とスーパーロング424の180タイプ（14-12-14）を各5g/株施用し、追肥は2002年度同様に行い、総窒素施用量は2.9g/株であった。2006年度は、基肥にエコロング424の140タイプ（14-12-14）を5g/株施用し、追肥は10月24日から2002年度同様に行い、総窒素施用量は1.9g/株であった。

電照管理は、11月15日から草勢に応じて2～4時間の暗期中断で行い、暖房温度は株付近で8℃とした。

(2) **試験区の構成** 試験区の構成は、第1表に示した。供試品種は、2002年度が「とよのか」「あまおう」の2品種、2003年および2006年度が「あまおう」とした。かんがい用水は、2002年度がNa濃度0mg/ℓの雨水（0mg/ℓ区）と約100mg/ℓの筑後分場地下水（100mg/ℓ区）の2水準、2003年度が地下水を雨水で3倍（Na濃度約30mg/ℓ、30mg/ℓ区）および2倍に希釈した水（Na濃度約50mg/ℓ、50mg/ℓ区）と地下水（100mg/ℓ区）の3水準、2006年度が雨水（0mg/ℓ区）、地下水を雨水で2倍に希釈した水（50mg/ℓ区）および地下水（100mg/ℓ区）の3水準を使用した。また、2002年度には、100mg/ℓ区に硫酸マンガ五水和物（以下、硫酸マンガと記載す

る）0.4%液を100mℓ/株で葉面散布する区を設けた。硫酸マンガの葉面散布は、2月4日、2月14日、3月13日、3月17日の計4回行った。

試験規模は、1区12株で2002年度が3反復、2003年および2006年度は2反復とした。

2 かんがい用水の化学性

かんがい用水として使用した雨水、地下水の原水およびOK-F-1で2000～3000倍に調整した液肥のpH、Na、NO₃、P、K、Ca、Mgを2002年10月24日～2003年5月26日に概ね15日間隔で15回測定した。また、雨水および地下水原水のHCO₃、地下水原水のBを2003年2月8日に測定した。pHはpHメータ（MP220、メトラー・トレド社製）で測定し、Na、Kは炎光光度法、Ca、Mgは原子吸光光度法、NO₃、Pはイオンクロマトグラフィー、Bはクルクミンしゅう酸で発色後に分光光度法、HCO₃はメチルレッド-ブロムクレゾールグリーン指示薬を用いた硫酸による滴定法により定量した。

3 生育および収量

厳寒期の2月に草高、新生第4葉の葉柄長、葉身長および葉幅長を計測し、新生第4葉の葉色を葉緑素計（SPAD-502、ミノルタ製）で測定した。

収穫日は、頂果房または第一次腋果房の頂果が収穫された株が50%に達した日とした。

収穫は、週に2～3回行い、本県の出荷基準に従って6g以上で奇形果を除いたものを収量とした。

4 葉中の養分含有率

葉の採取は、2003年5月16日、2007年5月21日に行った。2003年が「とよのか」「あまおう」2品種について新生第3～5葉の3枚を6株から、2007年は「あまおう」の新生第4葉および外葉から3葉目を1枚ずつ12株から、各年2反復で採取した。

採取した葉は、水洗い後、60℃で通風乾燥して分析用試料とした。試料は、500℃で灰化後、常法により灰化液を調製した。これらの灰化液については、Pはバナドモリブデン酸黄法、Na、Kは炎光光度法、Ca、Mg、Mn、Fe、Znは原子吸光光度法により定量した。Nはケルダール分解し、水蒸気蒸留法で定量した。

5 培養土の化学性

2002年度の栽培終了後に土壌を採取し、pH、ECおよび交換性Na、K、Ca、Mg、Mnを測定した。pH、ECは、乾土に5倍の蒸留水を加え、30分振とう後にpHメータ（MP220、メトラー・トレド社製）およびECメータ（CM-40S、東亜電波工業製）で測定した。Na、Kは炎光光度法、Ca、Mg、Mnは原子吸光光度法、Nはケルダール分解し、水蒸気蒸留法により定量した。

第1表 試験区の構成

試験年度	供試品種		かんがい水中Na (mg/ℓ)				Mn散布区 (Na100mg/ℓのみ)
	とよのか	あまおう	0	30	50	100	
2002	○	○	○	—	—	○	有
2003	—	○	—	○	○	○	無
2006	—	○	○	—	○	○	無

結 果

1 かんがい用水の化学性

かんがい用水の化学性を第2表に示した。地下水のNa濃度は、原水が90mg/ℓ, OK-F-1で調整後の液肥(以下、液肥とする)が97mg/ℓで、水耕栽培における用水の水質基準30mg/ℓの3倍以上と高かった。また、地下水原水のHCO₃濃度は230mg/ℓで、水質基準40mg/ℓの5倍以上あり、地下水で作成した液肥のpHは7.3で雨水の6.5より0.8高かった。液肥のCa濃度は、地下水を用いた場合が19.3mg/ℓで、雨水を用いた場合の31.8mg/ℓより低かった。

第2表 供試した雨水と地下水の原水および液肥調整後のpHと養分含有率

用水の種類	pH ¹⁾	Na	NO ₃	P	K	Ca	Mg	HCO ₃ ²⁾	B
mg/ℓ									
雨 水									
原水	7.5	1.5	5.5	1.1	1.8	10.2	0.4	15.3	—
液肥 ³⁾	6.5	2.3	27.6	5.5	90.3	31.8	13.0	—	—
地下水									
原水	7.6	90.0	0.1	2.8	7.1	1.4	3.6	228.8	0.15
液肥	7.3	97.4	25.9	4.6	89.1	19.3	10.6	—	—

1) 2002年10月～2003年5月の平均値。

2) HCO₃, Bは2003年2月8日の測定値。

3) 液肥はOK-F-1で2000～3000倍に調整。

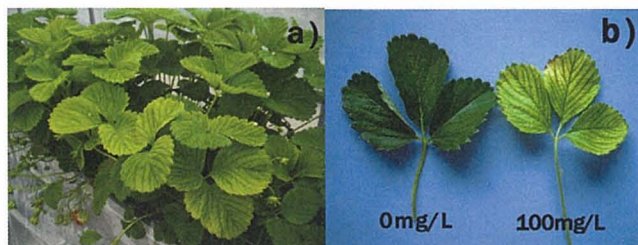


写真1 上位葉の黄化症状 (2002年度)

a) 品種は「とよのか」、100mg/ℓ区。
b) 品種は「あまおう」。



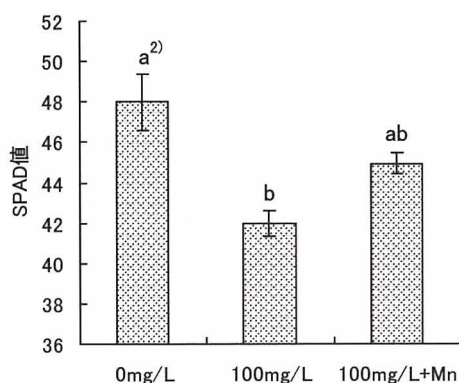
写真2 下位葉の縁枯れ症状 (2006年度)

品種は「あまおう」。

2 イチゴの生育

1月中旬以降に発生した葉の障害を、写真1および写真2に示した。2002年および2003年度試験の100mg/ℓ区では、「とよのか」「あまおう」両品種とも1月中旬より上位葉に黄化症状、下位葉に縁枯れ症状が発生した。2006年度は、上位葉の黄化は認められず、下位葉の縁枯れ症状のみが観察された。なお、いずれの年度も50mg/ℓ以下の区では、上位葉の黄化は観察されず、下位葉の縁枯れ症状もごく軽微なものであった。

2002年度の生育を第3表、2003年度の生育を第4表、2006年度の生育を第5表に示した。2002年度は、「とよのか」「あまおう」とも100mg/ℓ区が0mg/ℓ区



第1図 硫酸マンガンの葉面散布と葉色

1) 2003年2月14日に散布し、2月28日に新生第3葉を葉緑素計で測定。

2) 異なる英小文字間には5%水準で有意差あり (Fisher's PLSD)。エラーバーは標準偏差。

第3表 かんがい用水のNa濃度および品種と生育 (2002年度)

供試品種	Na濃度	草高	葉柄長	葉身長	葉幅長	葉色	上位葉黄化	下位葉縁枯れ
mg/ℓ cm cm cm cm								
とよのか	0	17.1	10.7	7.5	6.2	49.7	無	無
	100	17.5	11.2	7.6	6.2	42.8**	有	有
あまおう	0	25.8	17.4	10.7	7.8	46.0	無	無
	100	26.1	16.7	10.8	7.7	42.4**	有	有

1) 調査日は、2003年2月6日。

2) 葉色は、葉緑素計 (SPAD-502, ミノルタ製) による測定値。

3) **は、1%水準で有意差あり、無印は有意差なし (t検定)。

第4表 かんがい用水のNa濃度と生育 (2003年度)

Na濃度	草高	葉柄長	葉身長	葉幅長	葉色 ²⁾	上位葉黄化	下位葉縁枯れ
mg/ℓ cm cm cm cm							
30	25.2	13.3	8.2	6.2	45.5a ¹⁾	無	無
50	25.8	14.0	8.6	6.2	44.4a	無	無
100	25.2	13.9	8.6	6.2	41.2b	有	有
	ns ³⁾	ns	ns	ns	*		

1) 供試品種は「あまおう」。調査日は、2004年2月12日。

2) 葉色は、葉緑素計による測定値。

3) 分散分析により*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし。

4) 異なる英小文字間には5%水準で有意差あり (Fisher's PLSD)。

第5表 かんがい用水のNa濃度と生育 (2006年度)

Na濃度	草高	葉柄長	葉身長	葉幅長	上位葉黄化	下位葉縁枯れ
mg/ℓ cm cm cm cm						
0	32.5	20.1	12.1	7.5	無	無
50	31.8	20.2	11.9	7.9	無	無
100	31.5	19.2	11.7	7.7	無	有
	ns ²⁾	ns	ns	ns		

1) 供試品種は「あまおう」。調査日は2007年2月22日。

2) 分散分析によりnsは5%水準で有意差なし。

に比べて葉色が薄かったが、草高や葉の大きさに有意な差はなかった。2003年、2006年度の「あまおう」では、かんがい用水のNa濃度が0～100mg/ℓの範囲で、草高、葉柄長、葉身長、葉幅長いずれも有意な差がなかった。また、硫酸マンガンの葉面散布区では、第1図に示すように、散布後14日目に一時的な黄化葉の葉色回復が認められた。

3 葉中の養分含有率

2002年度の葉中養分含有率を第6表、2006年度の葉中養分含有率を第7表に示した。2002年度の葉中のNa含有率は、「とよのか」「あまおう」とともに、100mg/ℓ区で1.1%と0mg/ℓ区の0.1%未満に比べて極めて高かった。また、100mg/ℓ区は、0mg/ℓ区に比べてCa含有率が約0.5%低く、Mn含有率は1/6～1/13であった。2006年度の「あまおう」では、用水のNa濃度が0～100mg/ℓの範囲で高くなるに伴い、上

位葉、下位葉ともに葉中のNa含有率が上昇し、Ca、Mn、Zn含有率が低下する傾向にあった。100mg/ℓ区では、2002年度同様に0mg/ℓ区に比べてCa含有率が0.4～0.5%低く、Mn含有率は1/5～1/6であった。また、Ca、Mn含有率は、上位葉が下位葉に比べて低かった。

4 栽培跡地土壌の化学性

2002年度の土壌の化学性を第8表に示した。100mg/ℓ区のpHは7.8で、0mg/ℓ区の6.8に比べて1.0高かった。交換性Na含量は、100mg/ℓ区が3.5me/100gで0mg/ℓ区の0.9me/100gに比べて約4倍と高く、交換性Mn含量はほぼ同等であった。

5 イチゴの収量

2002年度の収量構成を第9表に示した。2月までの

第6表 かんがい用水のNa濃度および品種と葉中養分含有率（2002年度）

供試品種	Na濃度 mg/ℓ	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn
		%					mg/kg	
とよのか	0	0.06	2.12	1.65	0.40	134.3	83.2	40.1
	100	1.12	2.70	1.05	0.41	23.7	76.1	25.9
あまおう	0	0.07	1.77	2.09	0.50	166.6	86.6	39.3
	100	1.10	2.42	1.44	0.54	12.5	118.5	47.3

1) 2003年5月16日採取。採取葉位は、新生第3～5葉の3枚。

第7表 かんがい用水のNa濃度および葉位と葉中養分含有率（2006年度）

分析葉位 ²⁾	Na濃度 mg/ℓ	Na	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn
		%					mg/kg			
上位葉	0	0.07	2.36	0.47	2.28	1.06	0.38	167	69	73
	50	0.25	2.38	0.48	2.68	0.79	0.41	60	85	26
	100	0.62	2.38	0.49	2.37	0.67	0.37	33	77	18
下位葉	0	0.06	1.91	0.41	1.27	2.23	0.66	348	87	102
	50	0.44	1.91	0.66	1.10	2.19	0.67	134	124	32
	100	1.17	1.83	0.52	0.96	1.71	0.60	54	89	17

1) 供試品種は「あまおう」。2007年5月21日採取。

2) 上位葉は新生第4葉目、下位葉は外葉から3葉目を採取。

第8表 栽培跡地土壌の化学性（2002年度）

Na濃度 mg/ℓ	pH	EC dS/m	交換性陽イオン				交換性 Mn mg/kg
			Na	K	Ca	Mg	
0	6.8	1.1	0.9	1.9	40.3	4.7	32.7
100	7.8	0.9	3.5	5.6	32.7	5.0	29.0

1) 培養土Aを使用。

第9表 かんがい用水のNa濃度および品種と収量構成（2002年度）

供試品種	Na濃度 mg/ℓ	頂果房 収穫日 ²⁾	第一次腋果 房収穫日	前期収量 (12～2月)	後期収量 ³⁾ (3～5月)	総収量	平均 果重
				kg/10a	kg/10a	kg/10a	g
とよのか	0	12月27日	2月24日	1,500	2,700a ⁴⁾	4,200a	15.4a
	100	12月24日	2月24日	1,330	2,360b	3,690b	14.0b
	100+Mn ¹⁾	12月24日	2月24日	1,360	2,030c	3,400c	14.3b
	ns ⁴⁾	ns	ns	ns	**	**	*
あまおう	0	1月9日	3月10日	1,850	2,950a	4,800a	20.8a
	100	1月8日	3月10日	1,830	2,300b	4,130b	18.6b
	100+Mn	1月8日	3月10日	1,710	2,200b	3,910b	19.3b
	ns	ns	ns	ns	*	*	*

1) 100+Mnは、100mg/ℓ区での硫酸マンガンの葉面散布を示す。

2) 収穫日は、50%の株が収穫に達した日。

3) 収穫終了は、2003年5月15日。

4) 分散分析により**、*は、それぞれ1、5%水準で有意差あり、nsは有意差なし。

5) 異なる英小文字間には5%水準で有意差あり (Fisher's PLSD)。

第10表 かんがい用水の Na 濃度と収量構成 (2003年度)

Na濃度	頂果房 収穫日 ¹⁾	第一次腋果 房収穫日	前期収量 (12~2月)	後期収量 ²⁾ (3~5月)	総収量	平均 果重
mg/ℓ			kg/10a	kg/10a	kg/10a	g
30	1月 1日	2月21日	1,540	2,710a ⁴⁾	4,250a	18.8ab
50	12月31日	2月18日	1,770	2,630a	4,400a	19.2a
100	12月31日	2月21日	1,650	2,070b	3,720b	18.0b
	ns ³⁾	ns	ns	*	*	*

1) 供試品種は「あまおう」。収穫日は、50%の株が収穫に達した日。

2) 収穫終了日は、2004年5月20日。

3) 分散分析により*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし。

4) 異なる英小文字間には5%水準で有意差あり (Fisher's PLSD)。

第11表 かんがい用水の Na 濃度と収量構成 (2006年度)

Na濃度	頂果房 収穫日 ¹⁾	第一次腋果 房収穫日	前期収量 (12~2月)	後期収量 ²⁾ (3~5月)	総収量	平均 果重
mg/ℓ			kg/10a	kg/10a	kg/10a	g
0	12月18日	2月20日	1,870	3,250a ⁴⁾	5,120a	19.9a
50	12月19日	2月20日	1,780	3,290a	5,070a	19.2ab
100	12月19日	2月17日	1,790	2,920b	4,710b	18.6b
	ns ³⁾	ns	ns	†	†	*

1) 供試品種は「あまおう」。収穫日は、50%の株が収穫に達した日。

2) 収穫終了日は、2007年5月20日。

3) 分散分析により*、†は、それぞれ5、10%水準で有意差あり、nsは有意差なし。

4) 異なる英小文字間には5%水準で有意差あり (Fisher's PLSD)。

前期収量は、「とよのか」「あまおう」両品種とも0mg/ℓ区と100mg/ℓ区で有意な差がなかった。3~5月の後期収量は、両品種とも100mg/ℓ区が0mg/ℓ区に比べて低く、総収量も同様に低かった。平均果重は、100mg/ℓ区が0mg/ℓ区に比べて軽かった。一方、一時的な黄化葉の葉色回復が認められた硫酸マンガンの葉面散布区の後期収量および総収量は、散布しない場合と同等に低かった。

2003年度の収量構成を第10表に、2006年度の収量構成を第11表に示した。「あまおう」では、用水のNa濃度が0~100mg/ℓの範囲では、前期収量に有意な差が認められなかった。後期収量は、用水のNa濃度が0~50mg/ℓの範囲では有意な差がなかったが、100mg/ℓ区では50mg/ℓ以下の区より低く、総収量も同様に低かった。平均果重は、用水のNa濃度が0~50mg/ℓの範囲では有意な差がなかったが、100mg/ℓ区では小さくなる傾向にあった。頂果房および第一次腋果房の収穫日は、用水のNa濃度が0~100mg/ℓの範囲では同等であった。

考 察

培養土量が株当たり1.4~1.7ℓのイチゴ高設栽培システムでは、Na濃度が100mg/ℓ、HCO₃濃度200mg/ℓ程度のかんがい用水でかん水すると、「とよのか」「あまおう」の両品種で1月中旬以降の厳寒期に上位葉の黄化および下位葉の縁枯れ症状が発生した。葉中の養分含有率は、かんがい用水のNa濃度が高くなるに従ってNaが上昇し、Ca、Mnが低下する傾向がみられた。2006年度は、上位葉の黄化症状は観察されず、下位葉の縁枯れ症状のみがみられたが、上位葉、下位葉ともにNa含有率の上昇とCa、Mn、Zn含有率の低下が認められた。特にNa含有率の上昇に伴うMnの

低下は顕著であった。宇田川(1986, 1987)は、イチゴの養液栽培では培養液中のNa濃度が高いと拮抗的にKやCaの吸収が阻害されて、KやCa欠乏が生じやすいと報告している。本研究では、葉の黄化や縁枯れ症状が発生したNa濃度100mg/ℓ区で、葉中のCaやMnの減少がみられた。一般にCaは、植物体内での再移動性が小さい元素であり、欠乏症状は生長の旺盛な部位に現れる(河崎 1987)。イチゴでは、代表的なCa欠乏症状として葉縁の一部が壊死し、その付近がねじれるチップバーンがある(渡辺 2002)。本研究では、生育が旺盛な上位葉では黄化症状がみられ、葉縁の壊死は下位葉に発生していることから、Ca欠乏の可能性は低いと考えられた。

Mnは、生体内で再移動しにくい要素の一つであり、培地からのMn供給が断たれると上位葉に葉脈間黄化などの欠乏症状を生じる(渡辺 2002)。本研究では、上位葉に黄化症状が発生し、硫酸マンガンの葉面散布で一時的に葉色が回復したことから、外観的にはMn欠乏症であることが示唆された。また、土壌に関しては、Mnは他の陽イオンとの吸収の間に一般的な拮抗関係が認められる(堀口 1987)。さらに、相馬(1986)は、pH上昇に伴って生じるハウレンソウの黄化葉では、体内のMn含有率の低下が顕著に認められ、pH上昇によるMnの不溶化とそれに起因するMnの吸収低下によって生じた欠乏症であるとしている。本研究においても、Na濃度100mg/ℓ区では、HCO₃の影響で液肥のpHが高く、この液肥の供給により土壌のpHが上昇し、Mnが不溶化したと推測された。さらに、100mg/ℓ区では、陽イオンであるNaの過剰吸収によるMnの吸収抑制が起こったと考えられた。これら、Mnの不溶化と吸収抑制が連動して起こった結果、上位葉、下位葉ともにMn含有率が低下したと推察された。このような外観および化学的特徴から、

Na 濃度が $100\text{mg}/\ell$ 、 HCO_3 濃度 $200\text{mg}/\ell$ 程度のかんがい水によるかん水で発生した上位葉の黄化症状は、Mn 欠乏症であると考えられた。一方、下位葉の縁枯れ症状は、外観的に大沢 (1960) や藤田ら (1988) の報告における Na の濃度障害と酷似していること、および葉中の Na 含有率が高かったことから、Na 過剰症であると推察された。なお、下位葉の縁枯れ症状としては、ホウ素 (B) の過剰症も考えられるが、地下水の B 濃度は $0.15\text{mg}/\ell$ で、水耕栽培における用水の水質基準 $0.3\text{mg}/\ell$ 未満 (池田 1996) であったこと、イチゴの B 過剰症特有の下位葉が黒くくすむ症状 (渡辺 2002) は認められなかったことから、その可能性は低いと考えられた。

収量は、用水の Na 濃度が $0\sim 50\text{mg}/\ell$ の範囲では有意な差がなく、かんがい用水として使用可能であると考えられた。一方、 $100\text{mg}/\ell$ 区では、葉に障害が認められた 1 月中旬より葉中の Mn 含有率が低下したと推定され、3～5 月の収量が顕著に低下した。この収量低下は、平均果重が小さくなったことに起因しており、果実肥大が抑制されたことが示唆された。果実肥大が抑制された要因としては、Mn が葉緑体や葉緑素の形成にも関与していると考えられている (堀口 1987) ことから、葉の光合成能の低下によると推察された。Awang ら (1993) は、イチゴでは、培養液に NaCl を添加すると栄養生長と果実肥大が抑制されると報告している。本研究では、栄養生長の抑制はみられなかったが、果実肥大が抑制された点でこの報告と一致した。また、吉田ら (2003) は、「女峰」の株当たり 2.3ℓ のピートバッグ栽培で NaCl 濃度が 8mM ($184\text{mg}/\ell$) 程度までの原水であれば、ガク片先端部にチップバーンが発生するが収量は低下せず、利用できる可能性が高いと報告している。一方で本研究では、Na 濃度が $1/2$ である $100\text{mg}/\ell$ のかんがい用水を用いた場合でも、「とよのか」「あまおう」の葉に Mn 欠乏や Na 過剰症状が発生して収量が減少し、吉田ら (2003) とは異なる結果となった。この要因は、吉田らが水道水に NaCl を添加して試験を行ったのに対し、本研究では HCO_3 濃度が非常に高い地下水を利用し、 HCO_3 が培養土の pH 上昇に影響したためと考えられた。

以上のことから、培養土量が株当たり $1.4\sim 1.7\ell$ のイチゴ高設栽培システムでは、Na 濃度 $100\text{mg}/\ell$ 、 HCO_3 濃度 $200\text{mg}/\ell$ 程度のかんがい用水でかん水すると、厳寒期より Na 過剰や Mn 欠乏障害が原因で、収量が低下することが明らかとなった。この対策として「あまおう」では、雨水で Na 濃度を $50\text{mg}/\ell$ 以下に調整すると Mn 欠乏症の改善、収量の安定化が図られ、かんがい用水として使用可能であると考えられた。

このように、かんがい用水の水質は、イチゴ高設栽培の収量を左右する重要な要素であるといえる。その

ため、高設栽培の導入に当たっては、利用予定の用水が使用可能な水質であるのか、予め分析、検討しておくことが、安定生産に向けた第一歩であると考えられる。Na や HCO_3 濃度が高く、使用に不向きな用水を利用しなければならない場合は、雨水利用のための集水、貯水設備や培養土量が多いシステムの選択など、対策を講じることが安定生産を図る上で重要である。

引用文献

- Awang, Y. B., J. G. therton and A. J. Taylar. 1993. Salinity effects on strawberry plants grown in rockwool. I. Growth and leaf water relation. J. Hort. Sci. 68 : 783–790.
- 土壤養分測定法委員会編 (1973) 土壤養分分析法. 東京 : 養賢堂, 430p.
- Ehlig, C. F. and L. Bernstein. 1958. Salt tolerance of strawberries. Proc. Amer. Soc. Hort. 72 : 198–206.
- 藤田 彰・中嶋靖之・許斐健治 (1988) かんがい用水中塩類に対するイチゴ苗の抵抗性. 福岡農総試研報 B-7:79–82.
- 堀口 毅 (1987) マンガンの吸収と生理作用. 農業技術体系土壌施肥編2. 作物栄養Ⅲ, 東京 : 農山漁村文化協会, pp. 113–116
- 池田英男 (1996) 用水と培養液の調整. 最新養液栽培の手引き (日本施設園芸協会編), 東京 : 誠文堂新光社, pp. 132–156
- 河崎利夫 (1987) カルシウムの吸収と生理作用. 農業技術体系土壌施肥編2. 作物栄養Ⅲ, 東京 : 農山漁村文化協会, pp. 91–97
- 日本分析化学会北海道支部編 (1994) 水の分析第4版. 東京 : 化学同人, 493p.
- 大沢孝也 (1960) 砂耕による蔬菜の耐塩性に関する研究 (第1報) 果菜類について. 園学雑 29(4) : 294–304.
- 作物分析測定法委員会編 (1975) 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 東京 : 養賢堂, 545p.
- 相馬 暁 (1986) 北海道における野菜栽培土壌の現状と各種野菜の特性に対応した肥培管理法. 北海道立農試報告 56:21–35.
- 宇田川雄二 (1986) NFT 式水耕栽培の実際. 農業および園芸 61(1) : 135–146.
- 宇田川雄二 (1987) イチゴ栽培の実際 [1]. 農業および園芸 62(1) : 192–200.
- 渡辺和彦 (2002) 原色 野菜の要素欠乏・過剰症. 東京 : 農山漁村文化協会, 124p.
- 吉田裕一・宮田英幸・後藤丹十郎 (2003) 培養液中 NaCl 濃度がピートバッグ栽培イチゴの生育、収量と品質に及ぼす影響. 園学研 2(3) : 171–174.