

# 田浦地区における施設栽培‘不知火’の ホウ素障害の発生原因

## Occurrence of boron excess symptom on 'Shiranuhi' by vinylroofing for Tanoura aria

上村浩憲・城 秀信\*・榊 英雄・大崎伸一\*\*・田中雅晃\*\*・土田通彦

Hironori UEMURA, Hidenobu JO, Hideo SAKAKI, Shinichi OHSAKI, Masaaki TANAKA and Michihiko TSUCHIDA

### 要 約

加温施設栽培の‘不知火’において、生育期間中に葉が黄化・落葉する症状が発生し、数年後には、複数の園地で同様の症状が確認された。障害の発生状況からホウ素過剰症の可能性が示唆されたので、被害園地の被害発生程度と葉および土壌中のホウ素濃度を調査し、その発生原因を究明した。灌漑用水に用いられている河川水、地下水を調査した結果、田浦川下流域の地下水からは2 ppmを超える濃度のホウ素が検出された。このことから、高濃度にホウ素を含んだ灌漑水を使用したために、ホウ素過剰障害が発生したものと考えられた。

キーワード：不知火、施設栽培、生理障害、ホウ素、過剰症、灌漑水

### I 緒言

‘不知火’は、‘清見’と‘中野3号ポンカン’の交配により育成された品種<sup>1)</sup>で、中晩柑の中では糖度が高く、食味が優れているために、消費者から高い評価を受けている。熊本県での栽培面積は2006年現在で1281ha、生産量は11324tまで拡大し、そのうち施設栽培面積は181ha、生産量は4897tである<sup>2)</sup>。

熊本県南部に位置する芦北町田浦地区は、古くからカンキツの栽培が行われ、温暖な気候を活かした中晩生カンキツの産地で、施設の‘不知火’栽培にも力を入れている。しかし、2003年頃から加温施設栽培において、生育期間中に葉が黄化・落葉する症状が発生し、数年後には、複数の園地で同様の症状が確認された。

障害の発生状況からホウ素過剰症の可能性が示唆されたので、農政部農業技術課、芦北地域振興局農林部普及指導課ならびにあしきた農業協同組合営農販売部果樹指導課の協力を得て、被害園地の被害発生程度と葉及び土壌中のホウ素濃度を調査し、その発生原因を究明した。

### II 材料および方法

#### 1 現地実態調査

葉の黄化・落葉症状が発生している‘不知火’加温施設栽培5園地と被害の発生していない4園地において調査を行った。黄化の調査は、発生の程度を以下の3段階に分け、症状の程度を指数化した。健全(0)：被害が確認されないもの、軽(1)：葉の黄化が先端から1/3

程度でおさまっているもの、甚(2)：黄化が葉先から葉縁に広がり葉脈間がまだらになっているもの、とした。1園地から3樹を選定し、黄化葉と土壌のサンプリングを行った。採葉は、当年の最初に発生した葉(露地栽培の春葉に相当)で、枝先から新たに新梢(露地栽培では夏秋梢)が発生していないものを、1サンプル90枚ずつ行った。窒素、リンは常法<sup>3)</sup>に従い、カリ、カルシウム、マンガン、銅、亜鉛は原子吸光法で、ホウ素はMILESTONE社製マイクロウェーブ分解システムで分解後、ICP発光分析法で測定した。土壌は表層15cmを採土し、石灰、苦土、加里をショーレンベルガー法で抽出し、原子吸光法で測定した。ホウ素は熱水抽出法<sup>4)</sup>で抽出し、ICP発光分析法で測定した。ニッケル濃度はICP発光分析法で測定した。

#### 2 ほ場客土材化学性の検討

黄化症状が認められた施設はほとんどが水田転換園地で、園地開園時に1m程度客土をしてあった。客土した土壌の影響を検討するため、土壌をサンプリングし、現地実態調査と同様に化学性の分析を行った。

#### 3 黄化・落葉症の発生と灌漑用水の水質との関係

調査区域は田浦川流域と赤松川流域の2地域を対象とし、栽培に用いられている用水の水質分析を行った。対象区域内で用水として用いられている河川水と地下水についてICP発光分析法でホウ素濃度を分析した。

\*：農林水産部農業技術課 \*\*：芦北地域振興局農林部農業普及指導課

#### 4 ホウ素過剰障害の再現試験

ホウ素が含まれる灌漑水を使用したことによる、ホウ素過剰障害として葉が黄化することが推測されたため、ポット栽培においてホウ素濃度を変えた用水を使用し、葉の黄化の再現を試みた。M-16A ‘不知火’ 4年生 (60Lポット植栽) を供試し、2007年5月22日からホウ素濃度の異なる溶液 (0 : 対照区, 3, 10, 100ppm) を5~10日間隔に5 L ずつ灌水し、葉の黄化障害の再現試験を行った。なお、灌水はポット内土壌の乾燥状態に応じて行った。

#### 5 灌漑水の代替によるホウ素濃度の変化

灌漑水によるホウ素過剰が推測されたため、2008年2月から、灌漑水の代替が行われた。変更が行われた4ヶ月後の2008年6月に黄化症発生園 B、D と健全園 E、F から現地実態調査と同様に葉と土壌のサンプリングを行い、ホウ素濃度を測定した。また、6ヶ月後の8月に B、D、E、F、I 園においてハンドオーガ (直径5 cm) を用いて、樹冠下を表土から10cm ごとにサンプリングを行い、現地実態調査と同様にホウ素濃度を測定した。

### III 試験結果

#### 1 現地実態調査

##### (1) 黄化症状

2003年に田浦地区の‘不知火’の加温施設栽培園において、写真1に示すような葉の黄化症状が確認された。主として、7月頃より黄化症状は葉先から葉縁に広がり、葉脈間がまだらになった。黄化程度が激しいものは10月に枯れ込みが始まり、落葉し始めた。

黄化症状発生園地では、園地内のほぼ全樹が葉脈間がまだらとなっており、1月には全着葉数の1/3程度が落葉していた。落葉は春新梢の基部から始まり、次いで夏葉の中位葉まで落ちていた。葉の黄化は施設栽培園地に発生が限られ、同じ生産者が耕作する露地栽培の‘不知火’では葉の黄化症状および落葉被害は確認されなかった。



写真1 被害葉の形態 (最左は健全葉)



写真3 B園における被害葉の発生状況 (2004年6月)



写真2 健全葉と被害程度 甚



写真4 落葉被害樹

(2) 葉分析

第1表に黄化葉の発生程度別に葉中無機成分含有量を示した。6、10、1月の葉中無機成分の中で黄化症発生程度との相関係数を見ると、ホウ素で0.864と高い相関が認められ、黄化症状が発生する葉中ホウ素濃度には園地による差が確認されたが、200ppm以上になると発生する傾向にあり、落葉した葉のホウ素濃度は660ppmを超えていた。健全園としたF園では健全葉にもかかわらず、ホウ素濃度は160ppmを超えていた。以上のことから、葉の黄化症状の発生実態と葉分析値からみて、ホウ素の過剰症であることが推察された。その他の無機成分含有量においては症状と特異的な関係はみられなかった。

また、ホウ素濃度とカリウム、カルシウム濃度等の関係について、これら成分の拮抗作用があることや過去に報告<sup>7) 12)</sup>があることから、第1～3図に黄化程度と葉中含量のCa/B、K/B、P/Bとの関係を示した。

いずれにも高い負の相関関係が認められ、黄化葉のCa/Bは400以下、K/Bは180以下、P/Bは17以下であった。

(3) 土壌の化学性

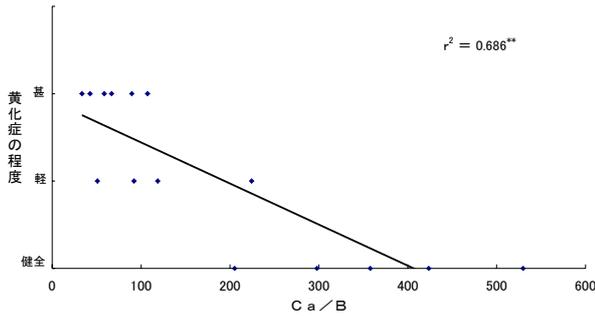
第3表は土壌の化学性を園地区分別に示した。全体的にpHは中性域であり、加里・石灰・苦土・リン酸含量はカンキツの土壌診断基準よりやや高い園地が多かった。生産者に確認したところ、苦土石灰を毎年施用していた。また、熱水可溶性ホウ素濃度も高い傾向にあった。しかし、園地Bでは4～5ppmで被害が軽～甚であるのに対し、園地Eでは土壌中熱水可溶性ホウ素濃度が0.7ppmにもかかわらず、被害程度が甚であったり、逆に園地Fでは健全と判断されながら、1.8ppm検出されたところもあった。

第1表 葉の黄化症発生程度と葉中無機成分含有量

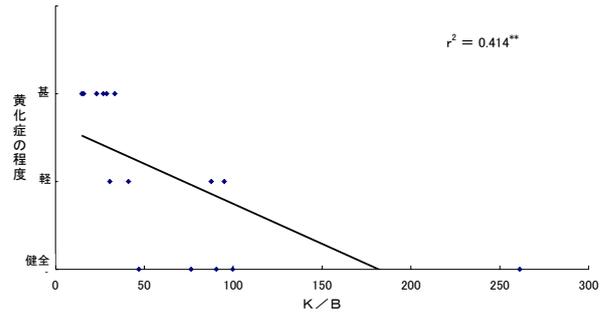
採取日	園地	黄化程度	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Mn(ppm)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	B(ppm)
2004.6.21	A	健全	2.81	0.133	1.75	1.99	0.389	75	4.78	22.8	66.9
2004.6.21	B	軽	3.38	0.145	1.63	2.01	0.630	22	7.73	13.4	396.6
2004.6.21	C	軽	3.56	0.138	1.24	2.93	0.574	52	5.49	19.5	130.4
2004.6.21	B	甚	2.47	0.092	0.83	2.38	0.790	39	13.74	15.4	559.7
2004.6.21	C	甚	2.86	0.109	0.83	2.66	0.591	84	5.44	20.3	248.5
2004.10.13	B	甚(落葉)	2.96	0.139	1.05	2.21	0.657	25	10.99	15.7	661.2
2005.10.12	D	甚(春母枝)	3.02	0.118	0.90	2.80	0.643	92	24.58	24.6	312.9
2005.10.12	D	軽(夏母枝)	3.01	0.146	1.11	1.50	0.652	76	3.13	17.7	126.3
2007.1.15	B	軽	2.92	0.148	0.98	2.96	0.393	180	4.33	50.2	321.4
2007.1.15	B	甚	2.89	0.153	1.26	2.75	0.447	99	5.86	37.5	469.9
2007.1.15	E	甚	2.50	0.134	1.03	2.97	0.554	114	14.19	19.2	446.0
2007.1.15	F	健全	2.31	0.106	0.76	3.31	0.336	40	6.82	29.6	161.3
2007.1.16	G	健全	2.59	0.108	0.89	3.53	0.489	72	4.16	16.9	98.7
2007.1.16	H	健全	2.09	0.128	0.77	4.07	0.404	29	5.36	13.0	76.9
2007.1.16	I <sup>2</sup>	健全	2.34	0.120	0.71	3.94	0.500	56	4.11	22.7	92.9
		最大値	3.56	0.153	1.75	4.07	0.790	180	24.58	50.2	661.2
		最小値	2.09	0.092	0.71	1.50	0.336	22	3.13	13.0	66.9
		平均値	2.78	0.128	1.05	2.80	0.537	70	8.05	22.6	278.0
		標準偏差	0.40	0.018	0.31	0.72	0.128	41	5.72	10.0	192.6
		黄化症発生程度との相関係数 <sup>y</sup>	0.349	0.136	-0.006	-0.444	0.647	0.114	0.561	-0.012	0.864*

<sup>2</sup>品種はM-16A(カンキツトリステザウイルス(CTV)の弱毒株を接種した苗)

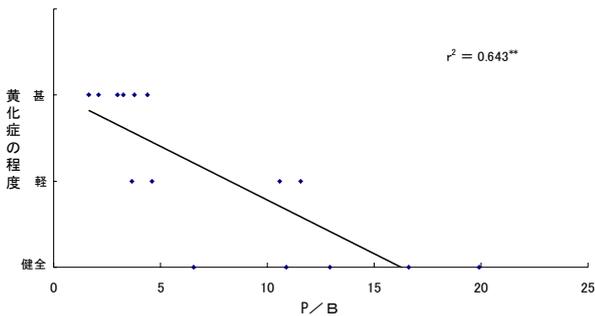
<sup>y</sup>重回帰分析による相関係数 \* は5%水準の有意性があることを示す



第1図 黄化症発生程度とカルシウム/ホウ素との関係  
注) \*\*は1%水準の有意差を示す



第2図 黄化症発生程度とカリウム/ホウ素との関係  
注) \*\*は1%水準の有意差を示す



第3図 黄化症発生程度とリン酸/ホウ素との関係  
注) \*\*は1%水準の有意差を示す

第2表 葉の黄化症発生程度と土壌の化学性

採土日	園地	黄化程度	pH	EC	CEC	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	B	Ca/Mg Mg/K	
											ms/cm	me
2007.1.15	B	軽	5.49	0.24	22.6	59.9	286.2	44.1	11.0	4.2	6.5	0.74
2007.1.15	B	甚	6.23	0.25	29.4	75.5	593.8	90.7	102.8	5.3	6.5	1.20
2007.1.15	E	甚	7.16	0.05	20.0	26.4	461.1	112.9	93.9	0.7	4.1	4.28
2007.1.15	F	健全	7.13	0.10	27.4	51.7	674.4	112.4	189.0	1.8	6.0	2.17
2007.1.16	G	健全	6.79	0.12	24.1	82.9	581.4	126.2	222.5	0.8	4.6	1.52
2007.1.16	I	健全	7.63	0.06	21.0	16.1	534.6	114.7	80.9	0.4	4.7	7.10
果樹の土壌診断基準			5.5~6.2	~0.3	15以上	30~50	200~320	30~60	20~100	—	4~8	2~6
黄化症発生程度との相関係数 <sup>Z</sup>			-0.267	0.292	0.081	0.004	-0.203	-0.210	-0.381	0.448	0.074	-0.149

<sup>Z</sup>重回帰分析による相関係数

## 2 ほ場客土材の化学性の検討

障害が認められたハウスではほとんどが園地開園時に客土を行っており、開園当時、近辺では九州新幹線開通工事が行われており、その廃土を園地のかさ上げのために利用したものだった。また、当地域は日奈久断層に近く、堆積岩や変成岩が入り交じった複雑な地形構造となっているが、特に田浦地区にはアルカリ性で苦土やニッケルが多い蛇紋岩の地層が分布している。現地調査時に採取した土壌の分析結果から、障害の発生したハウス土壌はpHが高く、苦土が多い傾向が認められた。

客土に用いられた土壌のうち、堆肥センター堆積残土

・海浦工事廃土には、周辺の地層に含まれる蛇紋岩が含まれていた。蛇紋岩の混入した土壌ではニッケルにより生理障害が発生しやすいといわれており、客土の確認・成分分析を行った。その結果、客土に蛇紋岩の混入は認められ、苦土の含量は高かったが、ニッケルの濃度は低かった（第3表）。

第3表 ほ場客土材の化学性

採土日	土壌の種類	黄化程度	pH	EC ms/cm	CEC	mg/100g			Ni ppm
						K2O	CaO	MgO	
2007.1.15	D園地	軽	8.0	0.11	9.2	25	257	47	0.000
2007.1.15	D園地	健全	4.8	0.19	11.8	20	80	56	0.002
2007.1.15	堆肥センター堆積残土	—	6.0	0.02	16.7	15	121	94	0.034
2007.1.15	海浦工事廃土	—	5.2	0.03	10.5	10	49	53	0.019
2007.1.15	客土用赤土	—	6.0	0.05	20.5	30	41	16	0.000
2007.1.15	蛇紋岩粉碎物	—	8.5	0.07	3.2	4	139	13	0.168
果樹の土壌診断基準			5.5~6.2	~0.3	15以上	30~50	200~320	30~60	—

3 黄化・落葉の発生と灌漑用水の水質との関係

黄化・落葉の障害は、田浦川下流域で地下水を灌漑水として使用している園地で発生しているが、赤松川流域では認められていない。また、黄化症発生ハウスでは田浦川下流域の地下水を水源としているが、河川の上流部の地下水を水源としているハウスではその発生はみられなかった。

障害が激しい水源の水質は EC が比較的高く、pH が 8 以上と高いうえに、ホウ素濃度がおおよそ 1~3 ppm の範囲にあった。また、障害発生がない赤松川の河川水や流域の地下水は pH が高く、マグネシウム濃度も高い特殊な水質であるが、ホウ素濃度は低かった（第4表）。

第4表 障害発生と灌漑水の水質分析結果

区分	採取場所	障害の有無	pH (H2O)	EC ms/cm	B mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Cl mg/L
田浦川流域	B園地下水	甚	8.3	0.66	2.85	—	—	1.4	56.6
	D園地下水	甚	8.6	0.35	0.95	6.2	8.3	1.3	6.7
	E園地下水	甚	9.2	0.31	2.81	0.6	—	—	4.5
	E園用水路	灌漑に使用なし	7.6	0.17	0.006	19.5	3.9	0.8	6.7
	地下水A*	なし	7.6	0.29	0.16	32.5	7.1	0.6	7.8
赤松川流域	樋口川	なし	7.8	0.16	—**	15.3	3.2	—	5.5
	赤松川A	なし	8.2	0.21	0.08	16.9	6.3	1.4	8.3
	赤松川B	なし	8.3	0.26	0.02	10.3	24.1	0.9	7.5
	地下水B	なし	8.6	0.30	0.27	8.9	30.8	1.4	10.5

\*A,Bは各河川の上流域の河川水及び地下水

\*\*—は検出限界値以下を示す

4 ホウ素過剰障害の再現試験

灌漑処理を開始してから19日後の6月10日に、100ppm 処理区で葉脈間に黄化が見られ、6月15日頃から落葉が見られた。その後、急激に落葉が進み、7月上旬には全落葉し、7月下旬には主幹部まで枯れこんだ。7月下旬になって、10ppm 処理区で、葉の葉脈間の黄化が発生し始め、10月になると 3 ppm 処理区で葉の黄化が確認された。処理開始21日後に葉中ホウ素濃度を測定したところ、葉中ホウ素濃度と処理濃度には相関がみられた（第5表）。

第5表 灌漑処理と葉の黄化・落葉の発生時期および葉中ホウ素濃度

処理区	葉の黄化 確認時期 <sup>2</sup>	葉の落葉 開始時期	葉中B <sup>3</sup> ppm
対照区	—	—	61.9
3ppm処理区	134日後	—	120.2
10ppm処理区	68日後	—	235.8
100ppm処理区	19日後	21日後	1293.3
100ppm処理区(落葉)	19日後	21日後	1631.5

<sup>2</sup>灌漑処理開始日からの経過日数を示す

<sup>3</sup>葉中B濃度は処理開始21日後に採葉したものを分析

5 灌漑水の代替によるホウ素濃度の変化

第6表に灌漑水を変更して4ヶ月後の葉中および土壌中のホウ素濃度を示した。黄化症状が見られた園地はいずれも灌漑水の変更により、黄化症状の軽減が確認(写真5)され、黄化症状「甚」の発生割合は低くなった。しかし、B、D園の黄化程度「甚」の葉中濃度は若干低くなっていたが、高濃度であった。「軽」のホウ素濃度は低くなっていた。E園においてはかなり濃度が低下しており、黄化症状も軽減していた。また、健全園であったF園においても当初から葉中ホウ素濃度はやや高かったが、灌漑水を変更することで、葉中ホウ素濃度は低くなった。

第7表に灌漑水を変更して6ヶ月後(2008年8月)に土壌の深さ別ホウ素濃度を示した。調査時の葉の黄化症状は2008年6月の調査時より更に軽減されており、黄化している面積の縮小化や葉のまだら模様が不鮮明になりつつあった(写真6)。また、黄化症の発生は旧葉のみ確認され、灌漑水変更後に発芽・展葉した新葉での黄化症はほとんど見られなかった(写真7)。土壌中のホウ素濃度は、D、F園以外は2007年1月と比べ明らかに低減しており、40cmまでの下層土の濃度は、表層10cmまでの濃度と同等もしくは低く、有効土層におけるホウ素の溶脱が確認された。

第6表 灌漑水の代替によるホウ素濃度の変化

園地	2007年1月15日			2008年6月25日		
	黄化症状	葉中B濃度 (ppm)	土壌中B濃度 (ppm)	黄化症状	葉中B濃度 (ppm)	土壌中B濃度 (ppm)
B	甚	469.9	5.3	甚	434.7	— <sup>z</sup>
B	軽	321.4	4.2	なし	161.3	2.2
D	甚	312.9 <sup>y</sup>	0.41 <sup>x</sup>	甚	345.5	— <sup>z</sup>
D	軽	126.3 <sup>y</sup>	0.18 <sup>x</sup>	なし	98.8	1.9
E	甚	446.0	0.7	軽	50.8	0.6
F	健全	161.3	1.8	健全	62.6	1.6

<sup>z</sup>黄化症状「甚」の発生頻度は2004年に比べ低かったため、採土は行わなかった

<sup>y</sup>2005年10月12日採葉の数値を示す

<sup>x</sup>客土材の濃度を示す

第7表 灌漑水代替後における土壌の深さ別ホウ素濃度(ppm)

園地	地表面からの深さ			
	0-10cm	11-20cm	21-30cm	31-40cm
B	1.6	1.4	1.2	1.2
D	1.9	0.7	0.6	0.5
E	0.7	0.7	0.7	0.8
F	1.9	1.1	1.5	1.0
I	0.4	0.2	0.2	0.3

採土日:2008年8月4日



写真5 B園の黄化症状 (2008年6月)



写真6 B園の黄化症状 (2008年8月)



写真7 旧葉にのみ発生した葉の黄化症状(2008年8月)

#### IV 考察

カンキツのホウ素過剰症については過去にいくつかの報告<sup>6, 7, 8, 9)</sup>がなされているが、いずれも葉の先端から黄化し、ついで葉脈間が黄色に退色するとされ、黄化程度が激しいものは枯れ込みが始まり、旧葉から新葉と順次落葉すると報告している。また、和田ら<sup>10)</sup>は甘夏で同様の先端からの黄変をホウ素過剰とカリ過剰に分類し、前者は黄変部と健全部の境界の輪郭がはっきりしているもの、後者は不明瞭なものとしている。高木・赤松<sup>7)</sup>はホウ素施用の方法を葉面散布と土壌施用を行った場合、前者は葉先が黄変するのに対し、土壌施用は黄変部の輪郭がはっきりせず、葉脈間が黄化する症状となることを報告している。今回、調査した田浦地域での黄化症はホウ素過剰の症状と一致しており、また、葉脈間が黄変しまだら模様となることから、今回の症状は土壌もしくは根域に由来するホウ素過剰と考えられた。

一方、樹体内のホウ素濃度は Reuter and Robinson<sup>11)</sup>はカンキツ属についてホウ素の適正値を31-100ppmとし、101-260ppmを高含量(High)、過剰値(Toxic or Excessive)を260ppm以上としている。国内の報告では佐藤ら<sup>12)</sup>がカンキツにおいて適量は30~100ppmであり、176~197ppm以上になると過剰症が発現すると報告している。田浦地域での黄化症の葉中ホウ素含有量は126~661ppmであり、既報と比較しても過剰域となる濃度であった。

ホウ素含有量とカリウムおよびカルシウム含有量との関係について、佐藤らはホウ素が欠乏するとCa/Bが1200以上となるとし<sup>12)</sup>、高木・赤松<sup>7)</sup>は300~400以下でホウ素過剰症が発生し、K/Bが100以下で発生が多くなり、ホウ素含有量に対するカリウムとカルシウムの含有量も過剰症発生に影響を及ぼすことを述べ、ホウ素過剰の被害防止のためにも、これらの成分を増加する必要があるとしている。‘不知火’において、黄化葉のCa

／Bは400以下、K／Bは180以下であり、いずれにも高い負の相関関係が認められ、既報と傾向が似ていた。P／Bにおいても黄化症と高い負の相関が認められ、17以下で黄化症が発生した。

佐藤ら<sup>12)</sup>は、土壌中のホウ素含有量について0.5~1.0ppmが適正で、1.2~1.3ppm以上になると過剰症を生じる恐れがあるといっている。‘不知火’において黄化症発生程度と土壌中の熱水可溶性ホウ素の含有量には相関関係があり、程度が激しいと土壌中のホウ素含有量も高かった。

黄化症の発生園の葉中および土壌中ホウ素含有量は健全園に比べ非常に高かった。通常、成分の樹体内における高濃度化は、土壌に過剰施用した場合や葉面散布の多用、土壌pHが適正範囲からはずれている場合などに多い。しかし、生産者への聞き取り、アンケート、生産履歴などからみてもホウ素資材を大量に投入している現状は確認されず、ホウ素過剰の発生原因の追及に時間を要した。一般にホウ素過剰は土壌pHが酸性で発生が助長されるといわれているが、灌漑水のpHや園地への苦土石灰の連年施用に起因して土壌pHは中性~アルカリ性であったことも原因追及の遅れに繋がった。

園地の客土材に蛇紋岩が含まれていたものの、ニッケル濃度は低く、障害が発生するほどの濃度ではなかった。しかし、客土材の苦土含量は高く、各園地土壌の苦土含量が高い要因であることが推察された。

田浦川下流域周辺の地下水から1~3ppmのホウ素が検出され、これらを灌漑水として使用している園地で激しい障害が発生しており、赤松川流域では認められなかった。このことから、高濃度にホウ素を含んだ地下水脈が田浦川周辺に存在し、これを灌漑水として使用したために、ホウ素過剰障害が発生したものと考えられた。既報のホウ素過剰障害の発生原因はホウ素資材の過剰散布によるものであり、今回のケースは非常に稀なものであるといえる。

栽培に使用されていた灌漑水には環境省の基準<sup>13)</sup>の2倍を超える高濃度のホウ素が含まれていた。これが土壌中ホウ素含有量が上昇した直接的な原因であり、過剰症を引き起こしたとみられる。高橋ら<sup>14)</sup>はホウ素が含まれる灌漑水の使用により、葉先の黄化が発生すると報告している。ポット栽培の‘不知火’に灌水処理を行うと、生産園地と同様の黄化症状が現れ、落葉も確認された。

以上のことから、黄化症の外観的症狀と発生の程度、葉中および土壌中ホウ素含有量などから、葉の黄化・落葉はホウ素過剰障害であることが考えられた。田浦地区では1950年代から甘夏が盛んに栽培され、近年になり、

‘不知火’の生産拡大や施設栽培面積の導入に伴う、水田転換園の増加などによって、これまでカンキツがあまり栽培されていなかった田浦川流域の平野部にまで、栽培の広がりを見せた。結果、灌漑水確保のためボーリングによる地下水の利用が増加し、ホウ素が多量に含まれる灌漑水を使用することにより、ホウ素過剰障害が発生したと考えられる。また、施設栽培であることから、例年10月～翌年7月中旬まで天井ビニルが被覆したままであり、露地栽培に比べ土壌に集積したホウ素が降雨で流されることが少なく、かつ、灌水によりホウ素が累積していた事なども、過剰症発生を助長していたと考えられる。

葉の黄化・落葉の原因が特定されたため、2008年2月よりホウ素が高濃度に含有している地下水の使用停止と代替水の利用が行われた。その結果、2008年6月では葉の黄化・落葉症状の発生軽減が確認され、8月になると黄化症状の発生は大幅に改善された。土壌中のホウ素濃度は、F園以外は明らかにホウ素濃度は低減しており、灌漑水の変更により、ホウ素の溶脱が図られたものと思われる。

F園については葉の黄化も見られず、健全園として調査してきた。2007年1月の葉中のホウ素濃度は161ppmと高く、土壌濃度も表層10cmで約2ppmであることから、障害発生のグレーゾーンにあると考えられた。2008年6月の葉中ホウ素濃度は62.6ppmと大幅に減少したが、土壌中ホウ素濃度は1.9ppmとやや高い濃度を示した。今後の栽培管理に注意する必要がある。

ホウ素過剰樹の翌年の回復は前年に比べ59～69%程度にとどまると高木・赤松の報告<sup>7)</sup>があるが、今回の事例ではそれを上回るスピードで回復している。これは高木・赤松の報告ではホウ素資材の過剰な土壌施用によるものであるのに対し、田浦地区の要因は灌漑水による過剰であるため、水の変更によりすみやかに土壌中に含まれるホウ素の溶脱が行われたものと推察される。

灌漑水の変更により、葉の黄化症状は軽減され、葉中ホウ素濃度および土壌中のホウ素濃度の低減が確認されたが、黄化の完全な回復は行われておらず、しばらく経過を観察する必要がある。

## V 謝辞

本研究の調査実施にあたり、熊本県芦北地域振興局農業普及指導課東光明氏、奥田良幸氏、あしきた農業協同組合営農販売部果樹指導課梅田真ノ介氏に多大な協力を戴いた。ICP発光分析にあたって熊本県農業研究センター生産環境研究所柿内俊輔氏、梶山幹司氏、(独)農業

・食品産業技術総合研究機構果樹研究所井上博道氏よりご指導を戴いた。本稿の取りまとめにあたり、熊本県農業研究センター畜産研究所特別研究員信國喜八郎博士、果樹研究所岡田真冶首席研究主幹、藤田賢輔常緑果樹研究室室長に多大なご指導をいただいた。厚く謝意を表します。

## VI 引用文献

- 1) 松本亮司：晩生カンキツ‘不知火’，果樹試報 35, 115-120, 2001.
- 2) 熊本県：平成18年産熊本県果樹振興実績書，7, 76, 2007.
- 3) 植物栄養実験法編集委員会編：植物栄養実験法，1997.
- 4) 秋友 勝・本名俊正・増永二之・藤山英保：土壌の熱水可溶性ホウ素分析における抽出条件および定量法の検討，土肥誌，77, 195-199, 2005.
- 5) 後藤逸男・村本穰司・蜷木 翠：ICP発光分析法による土壌の熱水可溶性ホウ素の定量，土肥誌，63, 53～57, 1992.
- 6) 岩切 徹・松瀬政司・小野 忠：カンキツ類ホウ素過剰症の一事例について，九農研，42, 198, 1980.
- 7) 高木信雄・赤松 聰：宮内イヨカンとナツカンの葉先黄化について，愛媛果樹試研報，8, 9-16, 1980.
- 8) 武井昭夫・津田佳久弥：ハウスミカンの黄化落葉症について，土肥誌，56, 2, 158-159, 1985.
- 9) 立田芳伸・佐野憲二・松下加奈恵：ハウス栽培早生温州ミカンのホウ素過剰事例，九農研，54, 246, 1992
- 10) 和田英雄・山尾正美・小倉 公：新甘夏の葉先黄化について，園芸学会発表要旨，54年秋，496, 1979.
- 11) D. Reuter, J.B. Robinson：Pant Analysis An Interpretation Manual, CSIRO Land and Water, 358.
- 12) 佐藤公一・石原正義・末広正美・栗原昭夫・田淵育男：カンキツのホウ素欠乏ならびに過剰に関する研究，園試報，A1, 37-64, 1962.
- 13) 水質汚濁に係る環境基準について：環境庁告示59号，1971.
- 14) 高橋英一・吉野 実・前田正男：新版原色作物の要素欠乏・過剰症，農村漁村文化協会，145-146, 1982.

Summary

Occurrence of boron excess symptom on 'Shiranuhi' by vinylroofing for Tanoura area

Hironori UEMURA, Hidenobu JOH, Hideo SAKAKI, Shinichi OHSAKI and Michihiko TSUCHIDA

The leaf yellowed for the growth period, and leaves were lost in 'shiranuhi' of the greenhouse cultivation. The symptom was found also in some fields several years later. There was a possibility of the excessive boric syndrome from the state of this symptom. Therefore, the boron concentration included in the situation, the leaf, and the soil of the excessive syndrome generation was examined. When the river water and the underground water used for the irrigation water were examined, boron of 2ppm or more was detected from the underground water of 'Tanoura River'. Because, water that contained a lot of boron was used from this, it seems that a boron excessive trouble occurred.