

土壌および温度がイチゴ品種「栃木i27号」の 先端まだら果発生に及ぼす影響

小林泰弘・植木正明¹⁾・大橋隆・重野貴²⁾・畠山昭嗣・上岡啓之³⁾
・出口美里⁴⁾

摘要：本研究はイチゴ品種栃木i27号（商標名「スカイベリー」）において発生する着色障害果である先端まだら果の対策技術を確立するため、土壌および温度条件が先端まだら果発生におよぼす影響を明らかにすることを試みた。第一に、土壌pHおよび窒素施肥量を変えて発生率を調査したところ、土壌pHのみ影響が見られ、イチゴ栽培に好適とされるpH6.0付近で発生が多く、pH7.0の高pH条件では発生が見られなかった。第二に、温度管理および土壌消毒、窒素施肥の有無の影響を検討したところ、温度管理および土壌消毒が強く影響することが明らかとなった。また、土壌消毒により定植後20から30日にかけて土壌中のアンモニア態窒素量が高まることが確認され、先端まだら果への影響が示唆された。さらに、先端まだら果表皮細胞の顕微鏡観察により、細胞内の液胞が千切れ、原形質流動が起こっていないことが観察され、まだら症状は表皮細胞の部分的な細胞死によって引き起こされていると考えられた。

キーワード：アンモニア態窒素，果実，障害，窒素形態，着色，土壌消毒

Effect of Soil Environment and Air Temperature on the Albinism Disorder Sentanmadaraka in Strawberry Cultivar 'Tochigi i 27 gou'

Yasuhiro KOBAYASHI, Masaaki UEKI, Takashi OHASHI, Takashi SHIGENO, Akitsugu HATAKEYAMA,
Hiroyuki KAMIOKA, and Misato DEGUCHI

Summary : This research was conducted to elucidate the effect of soil environment and air temperature on sentanmadaraka which is an albinism disorder occurring in fruits of strawberry cultivar 'Tochigi ai 27gou'(proprietary name is Skyberry) in order to control their appearance. Initially, we investigated the effect of soil pH and amount of nitrogen fertilizer on the occurrence of sentanmadaraka. It was found that the condition developed at approximately pH 6.0, which is a standard value for strawberry cultivation. The amount of nitrogen fertilizer, however, had no effect. We then investigated the effect of air temperature, soil disinfectant and amount of nitrogen fertilizer. Occurrence of sentanmadaraka increased significantly at low temperature and high potency of soil disinfectant. Furthermore soil disinfectant elevated the concentration of ammonia nitrogen in the soil for 2 or 4 weeks after planting, which was considered to be the factor promoting the development of sentanmadaraka. In addition, the collapse of vacuoles and arrest of protoplasmic streaming of epidermal cells were observed microscopically in strawberries effected by sentanmadaraka. Accordingly, the symptoms of this disorder were considered to be caused by partial cell death of the epidermis.

Key words : Ammonia Nitrogen, Coloring, Disorder, Fruit, Nitrogen Form, Soil Disinfectant

1) 元栃木県農業試験場いちご研究所, 2) 現栃木県上都賀農業振興事務所, 3) 現栃木県農政部経営技術課, 4) 現栃木県那須農業振興事務所

I 緒言

イチゴ品種栃木i27号(商標名「スカイベリー」,以下スカイベリーと表記)は,2014年に品種登録された栃木県育成の促成栽培用イチゴ品種であり,大果,多収で食味が良く,耐病性も併せ持つなど,優れた特性を有する(重野ら,2015)。スカイベリーは,現在栃木県におけるイチゴ栽培面積の大部分を占めている「とちおとめ」と比較して極めて大果で外観品質が優れるため,高級ギフト品などの需要に対する期待が高まり,2011年より現地における試験栽培が始まった。しかし,現地ほ場では,果実の着色が瘦果周辺に留まり,まだら状に着色する症状が発生した(第1図)。この症状は,果実頂部に現れることが多いが,症状が重度のものは果実全体に及んだ。特に頂花房第1果で発生しやすく,花序が進むにつれて発生率および症状が軽減される傾向が見られた。症状が重度の果実は,未熟でも発酵臭を発し,食味も極めて劣った。これらの特徴は,「宝交早生」や「ダナー」で発生が報告されている「白ろう果」と類似している(岡安ら,1982;大内・岡安1982)。しかし,白ろう果の発生要因として,低温,土壌pHおよび窒素の過剰吸収,ケイ酸過剰等が指摘されている(木村,2004)のに対し,スカイベリーのまだら症状は,普及当初は厳寒期前の11月に発生が多いことやハウス内気温を高く管理しているほ場で多発する傾向が強く,低温の影響が見られなかったため同様の生理障害とは断定できず,便宜上,このような症状を呈する果実を「先端まだら果」と称することとした。本研究は,スカイベリーの先端まだら果対策技術の確立を目的として取り組み,発生要因に関わる知見が得られたので報告する。

II 試験方法



第1図 スカイベリーの先端まだら果の症状

1. 土壌pHおよび窒素施肥量の影響

栽培は栃木県農業試験場いちご研究所内のフッ素樹脂フィルムを展張した鉄骨温室,土壌分析は栃木県農業試験場土壌環境研究室で実施した。処理は定植土壌のpHについて5.8及び7.0の2水準,窒素施肥量について株当たり成分で1,2,4 gの3水準とし,これらを組み合わせた6処理区を設けた。

供試品種はスカイベリーとし,2013年7月16日に24穴セルトレイに採苗仮植した。育苗培地は鹿沼土とくん炭の混合培地を用い,錠剤型肥料を株当たり窒素成分で60 mg施用した。栽培にはプランターを用い,土壌は表層多腐植質黒ボク土(七本桜統)とした。土壌pHの矯正は,苦土石灰を用いて7月24日に行った。土壌消毒は,8月19日にプランター当たり28 Lの土壌を充填し,クロルピクリン錠剤2錠を土壌中に埋め込み覆土した後,9月4日まで農業用ポリエチレンフィルムで被覆して行った。施肥は土壌消毒を終えた9月4日に行い,有機物資材として牛ふん堆肥をプランター当たり400 g施用し,基肥はエコロングトータル391(ジェイカムアグリ社製 窒素:13%,リン酸:9%,加里:11%)を用いて,株当たり窒素施肥量1 g区ではプランター当たり15.4 g,同様に2 g区では30.8 g,4 g区では61.5 gをそれぞれ土壌に混和した。定植は9月18日に行い,プランター当たり2株植えとし,処理区当たり4プランター8株を供試した。保温は11月4日から開始し,午前27℃,午後23℃,最低夜温8℃で管理した。収穫は12月6日から行った。

生育状況を11月12日に調査し,収穫始めから翌年1月末まで収穫果数および先端まだら果数を概ね3日間隔で調査した。また,施肥前土壌の化学性および定植時土壌の窒素含有量および硝酸化成能を調査した。

2. 温度管理, 土壌消毒および窒素施肥量の影響

栽培は栃木県農業試験場いちご研究所内の農業用POフィルムを展張した南北単棟パイプハウス(細粒灰色低地土, 金田統), 土壌分析は栃木県農業試験場土壌環境研究室で実施した. 処理は, 保温開始後の温度管理について適温区と低温区の2水準を設け, 適温区の日中のハウス内温度設定は12月16日まで午前25℃, 午後23℃, 12月17日以降は午前27℃, 午後23℃, 低温区は最高20℃とし, 最低夜温は両区とも8℃とした. 土壌消毒についてはクロロピクリン錠剤を用いa当たり1000錠使用する有区と土壌消毒を行わない無区の2水準, さらに窒素施肥について成分で1 kg・a⁻¹を施用する有区と窒素を施用しない無区の2水準を設定し, これら3要因を組み合わせた8処理区を設けた.

供試品種はスカイベリーとし, 2015年7月14日に24穴セルトレイに採苗仮植した. 育苗培地は鹿沼土とくん炭の混合培地を用い, 錠剤型肥料を株当たり窒素成分で60 mg施用した. 本ぼの施肥, 畝上げおよび土壌消毒は8月27日に行った. 窒素施肥有区では, BBとちおとめ専用肥料(株式会社J Aグリーンとちぎ社製, 窒素:8%, リン酸:10%, 加里:6%)をa当たり窒素成分で1 kg施用した. 土壌消毒有区は畝上げ後直ちにクロロピクリン錠剤を埋め込み覆土し, 各処理区とも定植日の9月18日まで農業用ポリエチレンフィルムで被覆した. 定植は畝間110 cm, 株間24 cmの2条高畝で行い, 保温は10月28日から開始した. 調査は1処理区当たり20株の2反復とし, 頂花房の第1果から第5果を調査対象として先端まだら果の発生果数及び発生株数を概ね3日間隔で調査した. また, 各処理区の無作付土壌を定植時から11月13日まで1

週間間隔で採取し, 硝酸態窒素およびアンモニア態窒素含量を調査した.

3. 先端まだら果表皮の顕微鏡観察

2015年12月4日に栃木県農業試験場いちご研究所内パイプハウスにおいて先端まだら果と正常果を採取し, 宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センターにおいて顕微鏡観察を同日に実施した. 表皮細胞の観察は正立型光学顕微鏡(OLYMPUS BX60), 外観の観察は実体蛍光顕微鏡(Leica M205 FA)で行った.

III 結果

1. 土壌pHおよび窒素施肥量の影響

供試土壌の化学性を第1表に示した. 供試土壌のpH矯正を苦土石灰を用いて行ったため, pH7.0区の交換性石灰および交換性苦土含量が高かったが, それ以外の項目はほぼ同様の値であった. 定植時土壌の窒素含有量および硝酸化率を第2表に示した. 定植時土壌の窒素含有量は, 窒素施肥量1 g区ならびに2 g区は乾土100 g当たり 20 mg程度, 4 g区ではpH7.0区で26.1, pH5.8区で29.8となり, 窒素施肥量間の差は小さかった. また, 定植時に採取した土壌について30℃で2週間培養した後の硝酸化率はpH7.0区では55%, これに対し, pH5.8区では0%で硝酸化成は生じていなかった. 生育および着色不良果の発生率を第3表に示した. 11月12日時点の生育は, 土壌pH間ではpH5.8区が7.0区より大きく, 窒素施肥量間は差が認められなかった. 先端まだら果の発生は, 土壌pHが7.0区では認められず, 5.8区でみられ(10%有意差), 窒素施肥量の影響は認められなかった.

第1表 供試土壌の化学性

土壌 pH (H ₂ O)	T-C %	T-N %	C/N	CEC cmol・kg ⁻¹	無機態N mg・100g ⁻¹	可給態N mg・100g ⁻¹	可給態P・O ₅ mg・100g ⁻¹	交換性塩基 mg・100g ⁻¹		
								CaO	MgO	K ₂ O
5.8	9.7	0.64	15.3	38.2	4.8	7.9	29.5	529	64	39
7.0	9.7	0.63	15.5	39.0	4.8	9.9	22.8	981	299	37

第2表 定植時土壌の窒素含有量および硝酸化率

土壌pH	処理		窒素含有量 mg・100g ⁻¹ 乾土			硝酸化率 %
	窒素施肥量	g/株	硝酸態窒素	アンモニア態窒素	合計	
5.8		1	10.4	9.0	19.4	0
		2	13.0	9.8	22.8	
		4	15.5	14.3	29.8	
7.0		1	12.3	7.8	20.1	55
		2	11.7	8.5	20.2	
		4	14.5	11.6	26.1	

第3表 生育および先端まだら果の発生率

土壌pH	処理		生育 ¹ cm			調査果実数 個/株	先端まだら果 発生果率 %
	窒素施肥量 g/株		葉柄長	葉身長	葉幅		
5.8	1		12.7	12.2	9.3	7.4	5.3
	2		13.1	12.1	9.3	5.9	4.3
	4		13.4	12.4	9.3	7.4	7.1
7.0	1		11.8	10.5	8.1	6.8	0.0
	2		12.1	11.0	8.3	7.0	0.0
	4		11.5	10.9	8.3	7.8	0.0
5.8			13.1	12.2	9.3	6.9	5.6
7.0			11.8	10.8	8.2	7.2	0.0
	1		12.2	11.4	8.7	7.1	2.6
	2		12.6	11.5	8.8	6.4	2.1
	4		12.5	11.7	8.8	7.6	3.6
分散分析 ²							
土壌pH			+	**	**		+
窒素施肥量			NS	NS	NS		NS

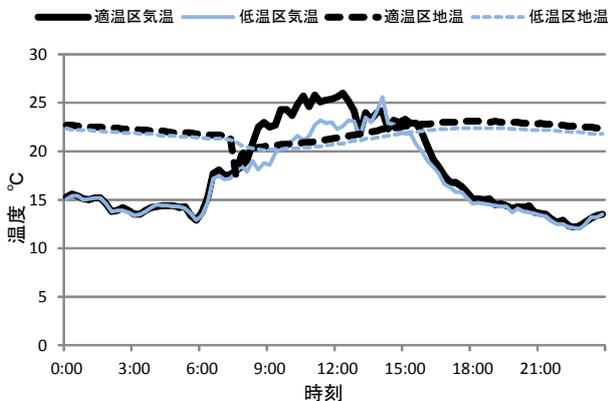
注1. 11月12日に調査.

2. 分散分析により, NSは有意性なし, また+, *, **, はそれぞれ10, 5, 1%水準で有意差あり.

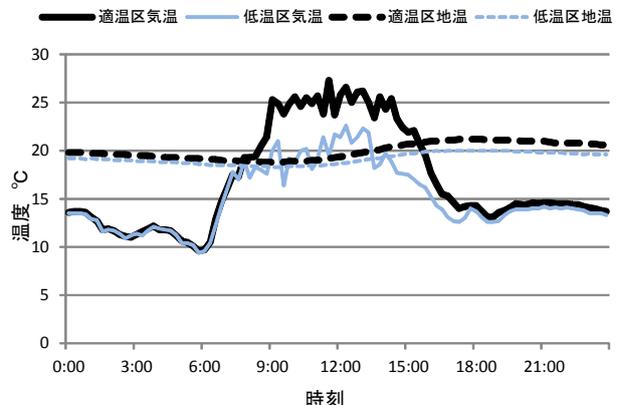
2. 温度管理, 土壌消毒および窒素施肥量の影響

処理期間中のハウス内の気温と地温の状況を第2, 3図に示した. ハウス内気温は, 10月末時点では低温管理区も20℃以上となったが, 11月中旬では概ね設定した温度差が設けられた. 地温に処理間差は見られなかった. 無作付け土壌における無機態窒素量の推移は第4図に示した. 土壌中のアンモニア態窒素量は, 定植時の9月18日は, 両温度管理区ともに土壌消毒-窒素施肥が有-有区で最も高く, 次いで有-無, 無-有, 無-無区の順であった. 適温区では10月9日時点で急激に低下し, その後の処理間差は小さかった. 同様に低温区では10月23日に低下した. 硝酸態窒素量は, 保温前の10月23日までの推移に適温区と低温区の間で一定の傾向は見られず, 処理間差は判然としなかった.

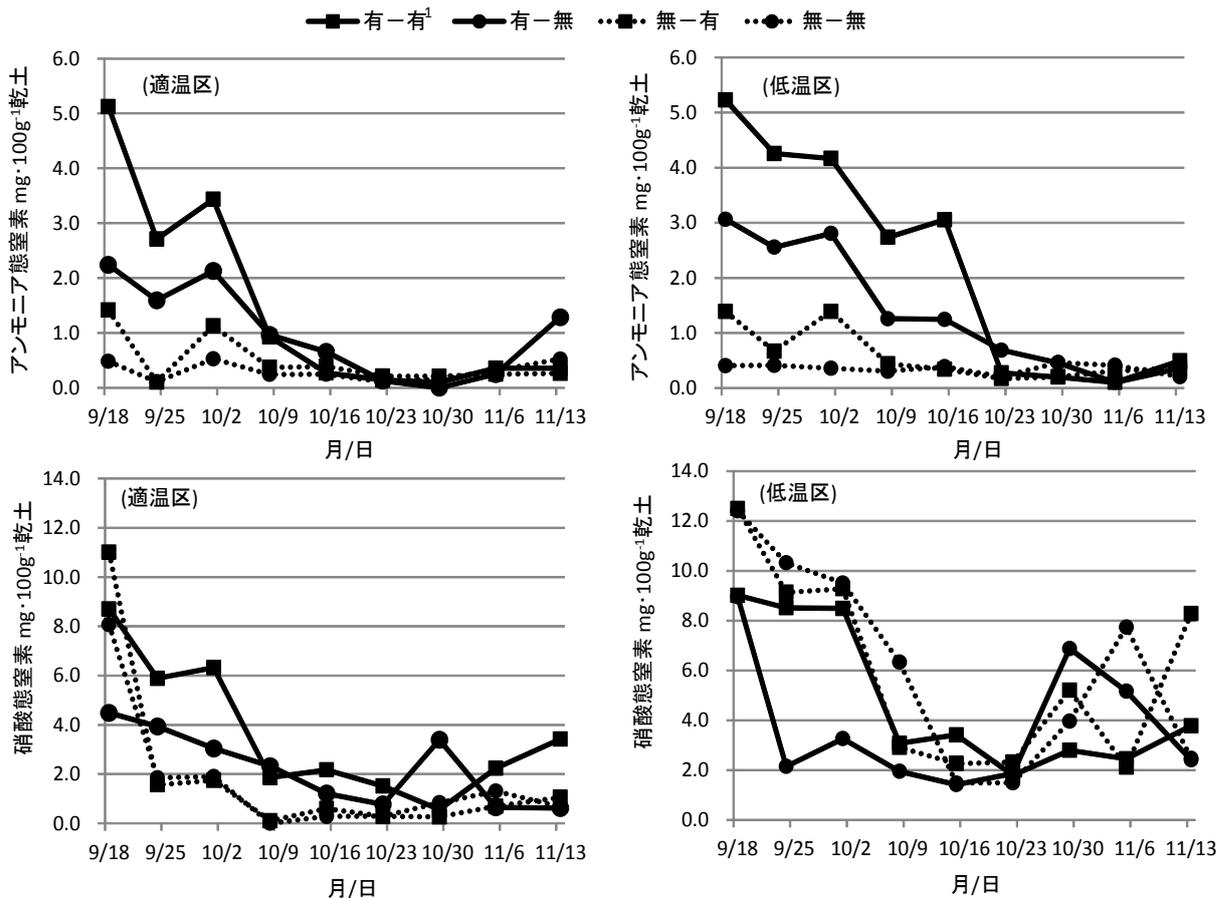
生育, 先端まだら果の発生率を第4表に示した. 収穫前の11月6日の生育は, 適温区に比べ低温区で, 土壌消毒無区より有区で, 窒素施用無区より有区でやや大きかった. 先端まだら果発生果率は温度管理が低温, 土壌消毒が有, 窒素施肥が有の区 (以下低温-有-有区と示す) > 低温-有-無区 > 低温-無-無区 の順に高く, これらの区の前端まだら果発生株率は90%を越えた. 反対に, 適温区における発生果数はいずれの処理区も低く, 適温-無-無区は最も低い2.1%で, 発生株率も10.5%と低かった. 先端まだら果の発生は, 要因別では温度管理および土壌消毒において有意性が認められ, 管理温度は低温区, 土壌消毒は有区で有意に高かった.



第2図 10月30日の気温及び地温



第3図 11月11日の気温及び地温



第4図 無作付け土壤の無機態窒素量の推移

注1. 有-有は土壤消毒有, 窒素施肥有を示す.

第4表 温度管理, 土壤消毒および窒素施肥量が生育と先端まだら果発生率におよぼす影響

温度管理 ¹	処理		生育 ⁴ cm			発生果率 %	発生株率 %
	土壤消毒 ²	窒素施用 ³	葉柄長	葉身長	葉幅		
適温	有	有	10.0	12.3	9.0	15.8	65.8
	無	無	9.3	11.1	8.4	19.0	70.0
		有	9.5	11.0	8.1	10.7	53.7
低温	有	無	9.5	10.7	8.0	2.1	10.5
		有	10.4	12.2	9.0	43.3	97.4
	無	無	9.4	11.2	8.6	36.1	91.6
適温	有	有	10.4	11.5	8.7	22.1	77.2
		無	9.9	11.2	8.3	30.0	91.6
	無	有	9.6	11.3	8.4	11.9	50.0
低温	有	有	10.0	11.5	8.6	32.9	89.4
		無	9.8	11.7	8.7	28.5	81.2
	無	有	9.8	11.1	8.3	16.2	58.3
		無	10.1	11.7	8.7	23.0	73.5
		有	9.5	11.0	8.3	21.8	65.9

分散分析⁵

温度管理 (A)	**	NS	+	**	**
土壤消毒 (B)	NS	**	**	*	**
窒素施用 (C)	**	**	*	NS	NS

注1. 適温区は12月16日まで午前25℃, 午後23℃, 12月17日以降は午前27℃, 午後23℃, 低温区は日中20℃とし, 最低夜温は両区とも8℃.

2. 有区はクロルピクリン錠剤をa当たり1000錠使用.

3. 有区はBBとちおとめ専用肥料を窒素成分でa当たり1 kg施用.

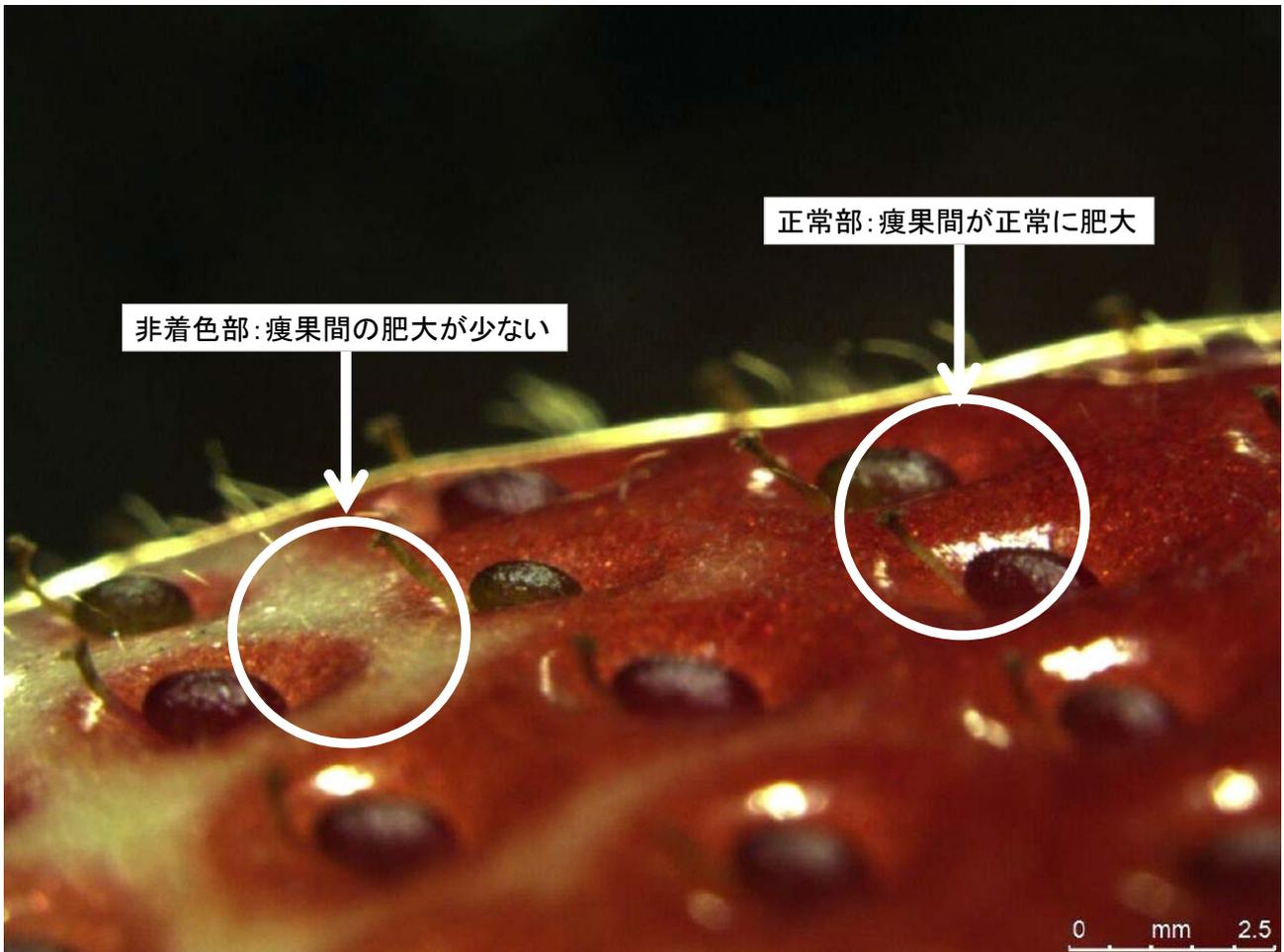
4. 11月6日に調査.

5. 分散分析により, NSは有意性なし, また+, *, **, はそれぞれ10, 5, 1%水準で有意差あり.

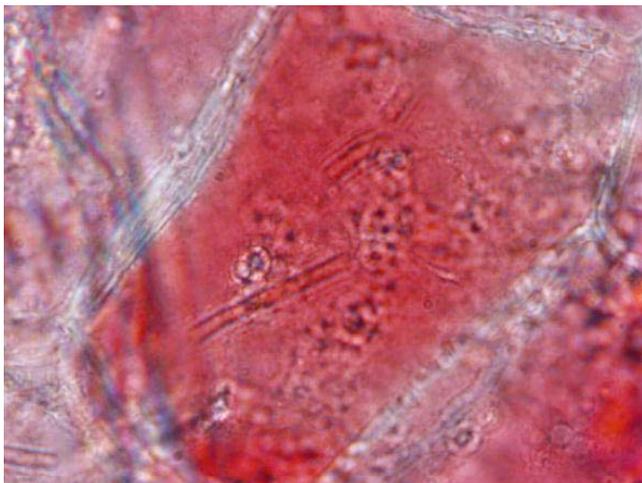
3. 先端まだら果の顕微鏡観察

先端まだら果表面の撮影画像を第5図に示した。正常部は瘦果間が肥大するのに対し、非着色部は表面の肥大がやや劣った。正常部の表皮細胞を第6図に、非着色部の表皮

細胞を第7図に示した。正常部では液胞が細胞内を満たしアントシアニンが蓄積されていたが、非着色部の細胞は液胞が千切れており、アントシアニン蓄積も少なかった。また、原形質流動も見られず細胞の活動が停止していた。

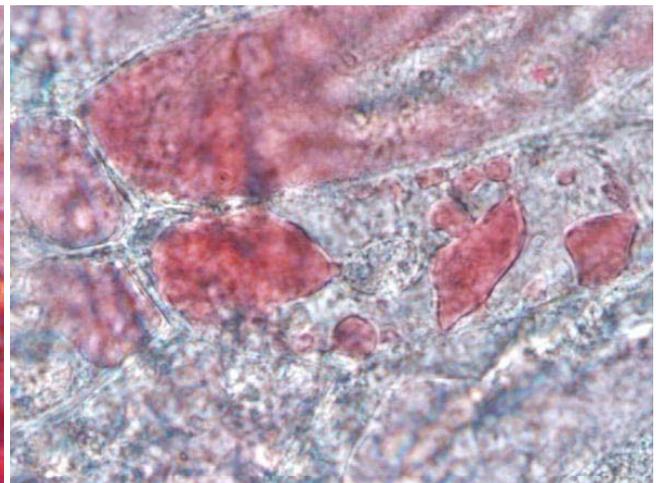


第5図 先端まだら果表面の撮影画像



第6図 正常部の表皮細胞

注. 赤色部が液胞.



第7図 非着色部の表皮細胞

注. 赤色部が液胞.

IV 考察

本研究はイチゴ「スカイベリー」の先端まだら果対策技術の確立を目指し、その発生に影響を及ぼす栽培環境を明らかにするため、現地における系統適応性検定試験で要因として考えられた土壌pH、窒素施肥量、温度管理および土壌消毒について検討を行ったものである。

試験1では、土壌pHおよび窒素施肥量の影響について検討を行った。先端まだら果はイチゴ栽培に好適とされるpH6.0付近で発生が認められ、pH7.0付近の高pH条件下では発生しなかった。窒素施肥量の影響については3水準を設けたが、定植時における土壌中窒素含有量に処理水準と同等の差は認められず、その原因として土壌消毒に伴う地力窒素の無機化が影響を及ぼしているものと考えられた。しかしながら、土壌pHの違いにより、土壌中の硝酸化成に差が見られ、硝酸化成菌の好適条件とされるpH7.0付近では硝酸化成が認められたが、pH6.0付近では硝酸化成が生じなかった。白ろう果の発生に関して、木村（2004）は、白ろう果に対する土壌酸度の影響は弱酸性そのものの影響ではなく、弱酸性条件下での硝酸化成抑制およびアンモニア態窒素集積によるものと考えしており、本試験においても土壌pHによる硝酸化成の有無が定植後の土壌中アンモニア態窒素濃度に影響を及ぼしているものと推察された。

試験2では、温度、クロルピクリン剤による土壌消毒および窒素施用が先端まだら果の発生および土壌中の窒素動態に及ぼす影響について検討を行った。土壌中のアンモニア態窒素量は、土壌消毒および窒素施肥により明らかに高まり、土壌消毒により、適温区では定植2週間後まで、低温区では定植4週間後まで高い状態が維持された。和田ら（2008）が行った研究では、クロルピクリンによる土壌消毒で硝酸化成菌が減少し、消毒後2から4週間目に無消毒土壌と同程度まで回復しており、回復源は無消毒土壌からの侵入と考察している。本研究で起こった土壌中アンモニア態窒素量の上昇は硝酸化成菌の減少によるものであり、硝酸化成菌が侵入する時期の違いにより低下する時期に違いが生じたと考えられた。さらには、この時期は頂花房発育期に当たるため、先端まだら果発生に対してアンモニア態窒素は花房発育期に影響を及ぼしている可能性が示唆され、今後は高アンモニア態窒素条件に遭遇する花芽ステージと発生の検討が必要である。一方、生産現場においては、スカイベリーの導入当初は、定植後の初期生育が旺盛なほ場で先端まだら果が発生しやすい傾向が見られたため、基肥での窒素施肥量を減肥する指導を行った結果、改善効果が認められた反面、詳細な現地調査により新たな傾向としてクロルピクリン剤による土壌消毒を行ったほ場や東西ハウスの畝北面に伸長した温

度条件が悪い花房で発生しやすいことが報告されている（栃木県経営技術課，2014）。このような事例から、先端まだら果の発生は土壌中の窒素、特にアンモニア態窒素と温度管理の双方の影響が強いことが明らかとなり、低温管理と土壌消毒の影響に有意差を認めた本試験結果により現地事例が裏付けられたと判断できる。今後、これら要因が先端まだら果発生に及ぼすメカニズムを詳細に検討することにより、スカイベリーの高品質安定生産技術の確立が図れると考える。

試験3では、果実表面および果実の表皮細胞について顕微鏡観察を行った。まだら症状を呈した部位の果実表面は、正常果に比べ瘦果間の隆起が小さく、同様に表皮細胞では、アントシアニン蓄積量が少ないことに加え、液胞が千切れ、原形質流動も見られないことから、細胞死が起こっているものと考えられた。また、果実の先端の着色が開始されるのとほぼ同時にまだら症状を呈するため、果皮細胞の細胞死はこれ以前に起こっていると推察できる。試験2の結果から要因の一つとして考えられるアンモニア態窒素は、一般的には過剰条件では植物の生育が阻害されると考えられているが（松本，1975）、イチゴはアンモニア態窒素の同化能に優れ、窒素源としてアンモニア態窒素を用いた場合でも比較的良好に生育し、葉中のアンモニア態窒素含有率も低く保たれる（池田・大沢，1979）とされている。また、アンモニア態窒素は硝酸態窒素より窒素同化におけるエネルギー収支に優れ、有害濃度の体内蓄積が起らなければ有利に働くと考えられている（王子，1989）。本試験では先端まだら果の発生が多い処理区において生育量が多い傾向となり、地上部の生育にアンモニア態窒素の過剰害と思われる影響が見られていない。これらのことから、先端まだら果表皮の細胞死に対するアンモニア態窒素の影響は、体内蓄積による害症状ではなく、イチゴ体内での窒素同化の過程において何らかの影響を及ぼしているものと推察しているが、今後詳細に検討したい。

以上のことから、本研究によりスカイベリーの先端まだら果の発生は、果皮細胞の部分的な細胞死により発症し、果皮細胞での細胞死は、温度および土壌中のアンモニア態窒素の影響により起こると推察された。生産現場における対策技術として、基肥量は残肥、堆肥、土壌改良材等を含めて窒素成分で $1 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 以内、追肥は着色期以降から行うこととし、土壌消毒は、ほ場に土壌病害の発生が見られない場合は、太陽熱消毒を推奨する。クロルピクリンによる消毒を行う場合はさらに減肥し、消毒後に完熟堆肥を投入し、硝酸化成の回復を促す。低温対策としては、ハウスの気密性の保持および温度センサーの確認が重要である。特に自動換気装置の温度センサーが強制通気式でない場合は、日射の影響により実測値より高く感知してしまう場合があり、定期的に実測値

を確認した上で誤差の修正を行わないと低温管理になるため注意が必要である。これらの対策を行うことで、先端まだら果の発生は抑制されると考える。このように、これまでの研究で先端まだら果発生にかかわる栽培要因は概ね特定できたが、発生メカニズム等は不明である。これを解明することで、より効果的な対策技術確立が可能となり、さらなる安定生産、品質向上に貢献できるものと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり宇都宮大学児玉豊准教授ならびに黒倉健講師には顕微鏡観察に協力頂いた。稲葉正雄氏、浅川利子氏、堀井数己氏、鈴木和吉氏には試験ほ場の管理ならびに調査等の補助にご協力頂いた。土壤環境研究室には土壤の分析にご協力頂いた。また、本稿を執筆するに当たり、いちご研究所の石原良行所長をはじめ、開発研究室研究員諸氏には数多くのご助言と激励の言葉をいただいた。ここに記して厚く感謝の意を表する。

引用文献

池田英男・大沢孝也 (1979) 施用窒素形態とそ菜の適応性 (第1報). 園学雑誌47 :454-462.

- 木村雅行 (2004) 野菜園芸大百科第2版イチゴ生育ステージと生理生態Ⅴ開花・結実と果実の成熟. 農文協, 東京. pp108-110.
- 松本英明 (1975) アンモニアと植物一過剰下における代謝変動一. 化学と生物13 (3) :198-204.
- 岡安正・大内良実・江村薫 (1982) イチゴの着色異常果に関する研究 (第1報). 園学要旨 (昭57秋) :300-301.
- 大内良実・岡安正 (1982) イチゴの着色異常果に関する研究 (第2報). 園学要旨 (昭57秋) :302-303.
- 王子善清 (1989) 植物の好アンモニア性と好硝酸性. 日本農芸化学会誌63 :1382-1385.
- 重野貴・直井昌彦・植木正明・家中達広・岡村昭子・須永哲央・小林泰弘・永嶋麻美・稲葉幸雄・畠山昭嗣・癸生川真也・豊田明奈・中西達郎 (2014) 極大果イチゴ品種「栃木i27号」の育成. 栃木農試研報73:85-99.
- 栃木県農政部経営技術課 (2014) いちご「スカイベリー」栽培マニュアル (改訂版).
- 和田さと子・藤野智絵・豊田剛己・岡本保 (2008) 1, 3-ジクロロプロペン, クロルピクリン及び太陽熱による土壤消毒がセルロース分解能及び硝化菌に及ぼす影響. 土と微生物62 (1) :21-31.