

日射量対応型自動灌水装置と肥効調節型肥料を組み合わせた栽培における施肥法が低段密植栽培トマトの尻腐れ果発生に及ぼす影響

矢野孝喜・木下貴文¹・杉浦誠²・川嶋浩樹

キーワード：果実収量，尻腐れ果，給液 EC，アンモニア態窒素

目 次

I 緒 言	53	V 摘 要	62
II 材料および方法	54	謝 辞	62
III 結 果	57	引用文献	62
IV 考 察	61	Summary	64

I 緒 言

近畿中国四国地域に多い中山間地の小規模施設では、収益性の高い作物の導入が重要である。特に夏秋トマトなどの果菜類は、価格が安定しているため高収益が望める作目である。しかし、小規模施設での果菜類の栽培は労働生産性が低いことから、低コストで多収となる栽培システムの開発が重要と考えられている。吉川ら¹⁷⁾は、導入コストの低い日射量対応型自動灌水装置（拍動灌水装置）を使い、肥効調節型肥料（以下 CRF, controlled-release fertilizer）を灌水装置の給水タンクに投入することで安価で簡易な肥培管理が可能であることを示した。このシステムを用いて、Kinoshita ら^{5, 6)}はトマトについて、栄養成長と生殖成長とのバランスの維持が容易な低段密植栽培¹⁶⁾を病害リスクが小さい隔離床において行い、慣行の液肥による施肥と同等の収量が得られる CRF を用いた施肥方法を明らかにした。しかし、尻腐れ果の発生しやすい春夏期には、CRF で施肥を行った場合に、収量が低下することが観察された。このため、さらなる収量性向上とともに、尻腐れ果の発生を抑制できる施肥方法を検討する必要がある。

小菅ら⁸⁾は、トマトの隔離床栽培において CRF を全量基肥として施用する省力的な肥培管理方法を開発し、慣行栽培と同等の収量が得られることを明らかにした。しかし、CRF を水中で溶出させた液肥をトマトに施用する場合の適正な施肥量については検討された事例はほとんどない。Kinoshita ら⁶⁾は、夏秋作（7～8 月定植）の適正施肥量は特定したが、春夏作（4 月定植）では施肥量を高めても収量が頭打ちとならなかったことから、施肥量を増やすことによってさらに収量を増加できる可能性を指摘した。そこで、試験 1 では、春夏作での各種 CRF による窒素施肥量が収量に及ぼす影響を検討した。

また、CRF はアンモニア態窒素を多く含むものが多いことから、尻腐れ果が多発しやすい春夏期において、尻腐れ果が多発し可販果収量が低下するリスクが高い^{4, 11)}。さらに養液中の硫酸イオン濃度が高い場合に尻腐れ果が多発する傾向があるとの報告¹²⁾がある。そこで、試験 2 では、尻腐れ果の発生を抑制するため、1 作分に必要な CRF 全量を一度に投入し水中で溶出させて施肥する場合について、アンモニア態窒素と硫酸イオンを減らす CRF の組み合わせと、溶出タンク内でのエアレーションによるアンモニア態窒素の硝化処理を検討した。

（平成 29 年 6 月 30 日受付，平成 30 年 1 月 11 日受理）
農研機構西日本農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

1 現 農研機構東北農業研究センター
2 現 農研機構西日本農業研究センター企画部

一方、定植時に1作分のCRF全量を給液タンクに投入した場合、給液の電気伝導度(以下EC)が初期に大きく上昇することが観察された。定植直後の多肥条件は、栄養成長過多となり尻腐れ果発生リスクが上昇すると考えられることから、試験3では、給液初期のECの上昇を抑制するため、CRFを分施する方法を検討した。さらに、異なる品種における尻腐れ果の発生状況を確認するため、着果および果実肥大のための植物ホルモン処理が不要で省力的な品種を加えて検討した。

なお本研究は、農研機構生研センター「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業」により実施した。

II 材料および方法

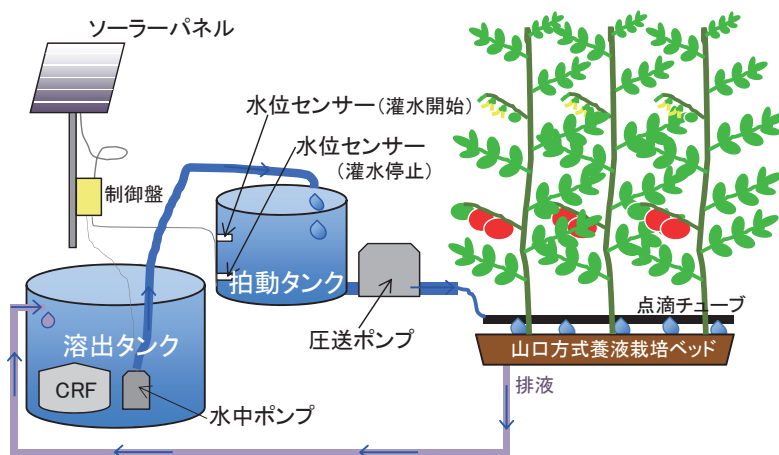
試験は、香川県善通寺市の近畿中国四国農業研究センター四国研究センター仙遊地区(現 西日本農業研究センター四国研究拠点)のプラスチックハウス内で実施した。Kinoshitaら⁶⁾の方法に従い、培地(袋栽培培地, (株)三河ミクロン)を詰めた山口方式養液栽培ベッド¹⁴⁾でトマトの低段密植栽培を行った。各果房は最大5果となるよう摘果し、すべての株で第4果房の着果が確認された時点で、第4果房の上位2葉を残し摘心した。灌水施肥にはKinoshitaら⁶⁾と同じ日射量対応型自動灌水装置を用いたシステムを利用した(第1図)。本試験で使用した灌水方法は、(1)ソーラーパネルで発電した電力を利用して水中ポンプで拍動タンクへ肥料を溶出させた給

液をくみ上げ、(2)給液が拍動タンク内に一定水位に達すると水位センサーにより圧送ポンプが動作し灌水が開始され、(3)拍動タンク内が一定水位まで下がると圧送ポンプが停止することにより灌水量の制御を行う間欠的な灌水方法である。排液は溶出タンクに戻す循環方式とし、排液率30%を目標に灌水量を調整した。CRFは、種類別に網袋に詰めて40Lの溶出タンク内に投入し溶出させた。溶出タンク内の中央部に温度センサーを設置し、水温を測定した。

統計処理には、農林水産技術計算センターのシステム(SAS Add-In for Microsoft Office)およびMicrosoft Excel(日本マイクロソフト(株))を用いた。

【試験1】CRFによる窒素施肥量が収量に及ぼす影響

トマト品種‘桃太郎ファイト’(タキイ種苗(株))を供試した。2013年3月18日に播種し、9cm径ポットで育苗したポット苗を4月16日に本圃へ定植した。株間20cm, 条間15cmの2条植え, 畝間1.5m(栽植密度は10aあたり5,555株)として、4段密植栽培を行った。CRFは、エコロングトータル313-100日溶出タイプ, スーパーエコロング413-100日溶出タイプ, ロングショウカル100日溶出タイプ, エコカリコート100日溶出タイプ, 被覆硫酸マグネシウム100日溶出タイプ(以上ジェイカムアグリ(株))を用いた。Kinoshitaら⁵⁾の実験において最も窒素量が多い株あたり7.5gを低い水準とし、CRFによる栽培期間中の窒素施与量を株あたり7.5g, 10.0g, 12.5gの3水準とした処理区(それぞれ, N7.5g区,



第1図 日射量対応型自動灌水装置とCRFを利用した灌水施肥システムの概略

N10.0g区、N12.5g区)を設けた(第1表)。CRFは定植日に溶出タンク内へ投入した。さらに、大塚A処方液の液肥をかけ流しするEC濃度管理(1.4~1.5dS・m⁻¹)区を設けた。摘心は6月4日に行った。給液のEC、給液中の各イオン濃度は、各処理区の給液を拍動タンクから1週間に1回午前9時に採取し、イオンクロマトグラフィー(日本ダイオネクス株、Peak Net DX-AQ2211)で測定した。栽培終了時(7月19日)に1処理区あたり6株3反復の葉を採取し、自動面積計(林電工株、AAM-9)で葉面積を計測し、葉面積指数(LAI)を算出した。尻腐れ果は、正常果と同様に着色した時点で収穫を行った。1果重が80g以上の正常果を可販果とし、総果実収量および総果実数は尻腐れ果などの障害果と可販果を合わせたものとした。

【試験2】CRFに含まれるアンモニア態窒素量が尻腐れ果の発生に及ぼす影響

トマト品種‘桃太郎ファイト’を供試した。2014年3月17日に播種し、試験1と同じ栽植密度で4月21日に定植し4段密植栽培を行った。CRFは試験1と同じ肥料を用い、定植日に溶出タンク内へ1作分全量(窒素量株あたり7.6g)を投入した。摘心は6月10日に行った。試験1と同じ従来のCRFの

組み合わせで施用するCRF慣行区、CRF慣行区と同じCRFの組み合わせで溶出タンク内にバーク堆肥を1Lあたり50g投入してエアレーションを行うCRF硝化処理区、よう成リン肥(リンスター30、ジェイカムアグリ株)を組み合わせアンモニア態窒素の割合が高いCRFを減らし、硝化処理を行うCRF硝化処理+リン肥区を設けた(第2表)。CRF硝化処理区は、溶出タンク内にエアーストーン(GX-74、ジェックス株)を投入し、エアポンプ(e-AIR1500SB、ジェックス株)を用いて毎分1Lのエアレーションを行った。本試験では、CRF硝化処理+リン肥区の総窒素量に対するアンモニア態窒素量の割合は15%となり、CRF慣行区(27%)の約半分となった。CRF硝化処理+リン肥区では、株あたり5.4gのリン酸肥料を定植時(4月21日)と5月30日の2回に分けて、培地表面に設置した点滴チューブの下に5cm幅で施用した。また、試験1と同様、液肥のかけ流し栽培を行うEC濃度管理(1.4~1.5dS・m⁻¹)区を設けた。7月25日の栽培終了まで、給液のEC、給液中の各イオン濃度を定期的に計測した。各処理区6株3反復とし、その他については試験1と同様の方法で行った。

第1表 CRFによる窒素量処理に使用した肥料と施肥量(試験1)

処理区	株あたり施肥量(g)					株あたり成分量(g)				
	エコロングトータル	スーパーエコロング	ロングショウカル	エコカリコート	ロング硫マグ	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	313-100	424-100	100	100	100					
N 7.5g	13.5	13.5	28.5	21.2	6.8	7.5	3.1	11.7	6.6	1.8
N10.0g	18.0	18.0	38.0	28.2	9.0	10.0	4.1	15.6	8.7	2.3
N12.5g	22.5	22.5	47.5	35.3	11.3	12.5	5.2	19.5	10.9	2.9

第2表 アンモニア態窒素削減処理に使用した肥料と施肥量(試験2)

処理区	肥料の種類	溶出タイプ ¹⁾	株あたり成分量(g)				
			N(内NH ₄ ⁺ 態)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
CRF硝化処理+リン肥	エコロングトータル313	100	1.8 (0.9)	1.5	1.8		0.3
	ロングショウカル	100	5.2 (0)			11.8	
	エコカリコート	100	0.5 (0)		9.9		
	被覆硫酸マグネシウム	100					1.0
	リンスター30	-		1.6			0.4
	合計		7.6 (0.9)	3.2	11.7	11.8	1.7
CRF硝化処理	エコロングトータル313	100	1.8 (0.9)	1.5	1.8		0.3
	スーパーエコロング413	s100	1.9 (0.9)	1.6	1.9		
および	ロングショウカル	100	3.4 (0)			6.6	
	エコカリコート	100	0.4 (0)		8.0		
CRF慣行	被覆硫酸マグネシウム	100					1.5
	合計		7.6 (1.8)	3.2	11.7	6.6	1.8

1) sはシグモイド型の溶出タイプであることを示す。

【試験3】CRFの分施が尻腐れ果の発生に及ぼす影響

試験は3月播種（春夏作）と7月播種（夏秋作）の2回行った。

春夏作ではトマト品種‘桃太郎ファイト’を供試した。2015年3月16日に播種し、4月27日に定植した。摘心は6月16日に行った。7月23日に栽培を終了した。

夏秋作ではトマト品種‘桃太郎ファイト’および‘ルネッサンス’（株サカタのタネ）を供試し、‘桃太郎ファイト’は2015年7月24日、‘ルネッサンス’は7月26日に播種した。1処理区あたりそれぞれ48株および42株のポット苗を、9月2日に定植した。摘心は‘桃太郎ファイト’では10月29日、‘ルネッサンス’では11月11日に行った。気温の低下に伴ってハウスの側窓の開閉を行い、11月24日以降はハウス内の最低気温が13℃以上となるよう加温した。2016年1月13日に栽培を終了した。

両作において、試験1と同じ栽植密度でポット苗を定植した。CRF施用区の1作分の窒素量は、春夏作では株あたり7.5g、夏秋作では株あたり5.0gとし

た（第3表）。処理区として、試験2のCRF慣行区と同じく1作分全量のCRFを定植時に投入する区をCRF慣行区とした。また、定植時に全体の1/5量を投入し、CRF施用時のEC上昇を回避するために給液のECが1.0dS・m⁻¹を下回った時点で残りを2回に分けて2/5量ずつ追加施用するCRF分施肥区、CRF中のアンモニア態窒素および硫酸イオンを減らした肥料を組み合わせ、さらに分施肥するCRF分施肥AN・S減肥区を設定した（第3表）。CRFは全量1回施肥する場合には試験1および試験2と同様に、溶出タイプが100日のものを使用した。一方、CRFを分施肥する場合には溶出タイプが短い、エコロングトータル313-40日溶出タイプ、ロングショウカル40日溶出タイプ、エコカリコート70日溶出タイプ（以上ジェイカムアグリ株）を用いた。CRF分施肥AN・S減肥区では、リン酸肥料として春夏作ではリンスター30を、夏秋作ではシグモイド型70日溶出タイプ被覆リン酸を2%含むマグホスコートS（多木肥料株）を用いた。なお、CRF分施肥区とCRF分施肥AN・S減肥区では、試験2と同様の硝化処理を行っ

第3表 分施肥処理で使用したCRFの種類および成分量（試験3）

処理区	硝化処理	肥料の種類	溶出タイプ ⁴⁾	株あたり成分量(g)											
				3月播種（春夏作）						7月播種（夏秋作）					
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
CRF分施肥AN・S減肥 ¹⁾	あり	エコロングトータル313	40	1.2	1.0	1.2		0.2	0.5	1.1	0.9	1.1		0.2	0.4
		ロングショウカル	40	5.8		11.1				3.6			6.9		
		エコカリコート	70	0.4		8.5			5.2	0.3		5.7			3.5
		リンスター30/マグホスコートS ³⁾	(s70)		2.1		2.3	0.6			1.4		1.5	0.3	
		合計		7.5	3.1	9.7	13.5	0.8	5.6	5.0	2.3	6.8	8.4	0.5	3.9
CRF分施肥 ¹⁾	あり	エコロングトータル313	40	3.7	3.1	3.7		0.6	1.4	2.5	2.1	2.5		0.4	1.0
		ロングショウカル	40	3.4		6.6				2.3			4.4		
		エコカリコート	70	0.4		8.0			4.9	0.3		5.4			3.3
		被覆硫酸マグネシウム	100					1.2	1.9					0.8	1.3
		合計		7.6	3.1	11.7	6.6	1.7	8.3	5.0	2.1	7.8	4.4	1.1	5.5
CRFかけ流し ²⁾	あり	エコロングトータル313	100	2.4	2.0	2.4		0.4	0.9						
		スーパーエコロング413	s100	2.5	1.9	2.3									
		ロングショウカル	100	4.4			8.5								
		エコカリコート	100	0.6		10.6				6.5					
		被覆硫酸マグネシウム	100					1.9	3.1						
合計		9.8	3.9	15.3	8.5	2.2	10.5								
CRF慣行	なし	エコロングトータル313	100	1.8	1.5	1.8		0.3	0.7	1.2	1.0	1.2		0.2	0.5
		スーパーエコロング413	s100	1.9	1.5	1.8				1.3	1.0	1.2			
		ロングショウカル	100	3.4			6.6			2.3			4.4		
		エコカリコート	100	0.4		8.2			5.0	0.3		5.4			3.3
		被覆硫酸マグネシウム	100					1.4	2.4					0.9	1.6
合計		7.6	3.0	11.7	6.6	1.7	8.1	5.0	2.0	7.8	4.4	1.1	5.3		

1) 定植時に全体の1/5量を、2・3回目にそれぞれ全体の2/5量を施用した。

2) CRFかけ流し区では排水率30%を想定し、施肥量を1.3倍とした。

3) 3月播種ではリンスター30を、7月播種ではマグホスコートSを使用した。

4) sはシグモイド型を示し、括弧はマグホスコートSの一部がシグモイド型であることを示す。

た。試験1・2と同様に液肥のかけ流し栽培を行うEC濃度管理 ($1.4\sim 1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) 区を設定した。さらに春夏作では、CRF1作分全量を定植時に投入し、給液中の硫酸イオンの蓄積を回避するために、給液をかけ流すCRFかけ流し区を追加した。CRFかけ流し区では、排液率30%と想定して施肥量を30%増加させ、総窒素量で株あたり9.75gを基準とした。栽培終了時まで給液のEC、給液中の各イオン濃度を定期的に計測した。各処理区6株3反復とし、その他については試験1の方法で行った。

Ⅲ 結 果

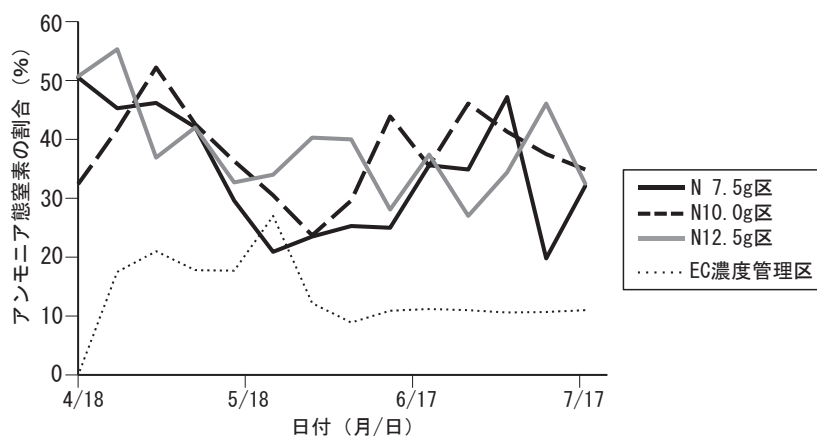
【試験1】CRFによる窒素施肥量が収量に及ぼす影響

施肥直後の給液ECは、N12.5g区では $5.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ と高く、6月中旬～7月上旬にも一時的に $2.1\sim 3.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ とN10.0g区、N7.5g区より高かったが、その時期以外は平均 $1.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ で、平均 $1.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ のEC濃度管理区と大きな違いはみられなかった。N10.0g区では、4月下旬に一時的にN7.5g区より高かった

が、その他の期間は平均 $1.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ で推移し、平均 $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ で推移したN7.5g区とともに、EC濃度管理区と大きな違いはみられなかった。

給液中の総窒素量に占めるアンモニア態窒素の割合は、EC濃度管理区は10～27%で推移したが、CRFを施用した区は常に20%以上でEC濃度管理区より高く推移した。栽培期間中の平均濃度は、EC濃度管理区、N7.5g区、N10.0g区およびN12.5g区でそれぞれ13%、34%および38%であり、投入直後や温度が上昇した6月以降に40%以上になることがあった(第2図)。

CRFを施用した区の尻腐れ果発生率は37～53%と高かった(第4表)。このため、株あたりの果実収量と可販果収量はEC濃度管理区に比べて少なかった。CRFを施用した区の間には収量差はなかったが、栽培終了時(7月19日)におけるLAIは、窒素施肥量が多いほど大きい傾向がみられ、N12.5g区およびN10.0g区ではN7.5g区より有意に大きかった(第4表)。



第2図 窒素施用処理給液中の全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合の推移
CRFは定植日(4月16日)に施用した。

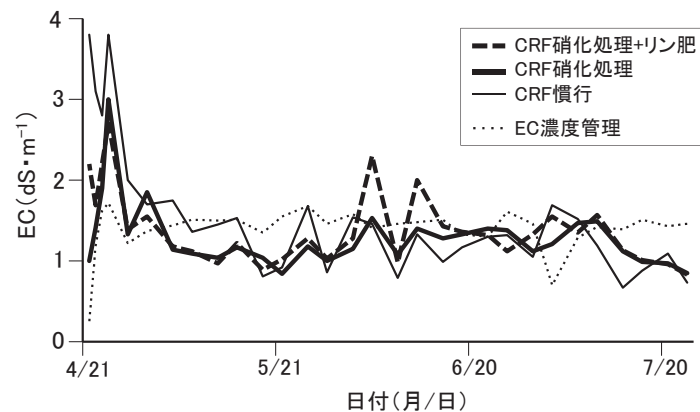
第4表 アンモニア態窒素の施肥量と収量および葉面積指数

処理区	NH_4^+ 態窒素の割合 ¹⁾	尻腐れ果発生率 ²⁾	総果実収量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	総収穫果数 (個/株)	可販果収量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	葉面積指数 ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$)
N 7.5g	32 (%)	37 (%)	10.1 b ³⁾	15.6 a	7.8 b	2.89 c
N10.0g	36	53	9.5 b	16.3 a	5.9 b	3.87 b
N12.5g	36	52	9.3 b	17.8 a	6.2 b	4.68 ab
EC濃度管理	12	1	14.3 a	17.3 a	13.2 a	4.98 a

1) 総収穫果数に対する尻腐れ果数の割合。

2) 施用した肥料に含まれる全窒素に対するアンモニア態窒素の割合。

3) Tukeyの多重検定により同一符号間には5%水準で有意差なし。



第3図 アンモニア態窒素削減処理給液のECの推移

CRFは定植日(4月21日)に施用した。

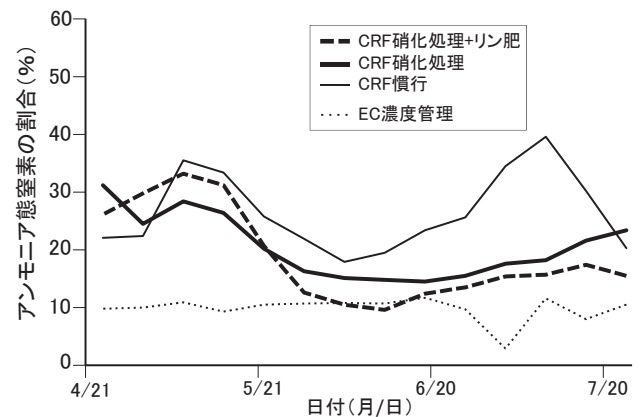
CRF硝化処理+リン肥区のリン酸肥料は5月30日に2回目を施用した。

【試験2】CRFに含まれるアンモニア態窒素量が尻腐れ果の発生に及ぼす影響

CRF施用区の給液のECは、定植後1週間以内に一時的に $2.7\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 以上に上昇し、特にCRF慣行区は $3.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ まで上昇した(第3図)。その後、CRF硝化処理+リン肥区で6月に一時的に $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ を超えたが、いずれの区においても $1.7\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 以下で推移した。

給液中の総窒素量に対するアンモニア態窒素の割合は、CRF慣行区が高く、CRF硝化処理区およびCRF硝化処理+リン肥区では施用後3週間程度はCRF慣行区と同等または高く推移したが、その後はほぼ低く推移した(第4図)。CRFを施用した場合には、CRF硝化処理+リン肥区が5月下旬から最も低く推移し、6月上旬にはEC濃度管理区と同等程度まで低下した。

CRF施用区では、いずれの処理区も尻腐れ果が40%以上の果実で発生したが、上位果房ほど発生は少なく、処理区間で有意差はなかった(第5表)。また、果房毎の尻腐れ果の発生数は第1果房および第2果房ではEC濃度管理区とCRF施用区との間に有意な差があったが、第3果房ではEC濃度管理区とCRF硝化処理区との間にのみ差がみられ、第4果房では有意差はみられなかった。株あたりの可販果収量は、CRFを施用したいずれの区においてもEC濃度管理区より有意に低かった。



第4図 CRF施用処理給液中の全窒素に占めるアンモニア態窒素割合の推移

CRFは定植日(4月21日)に施用した。

【試験3】CRFの分施が尻腐れ果の発生に及ぼす影響

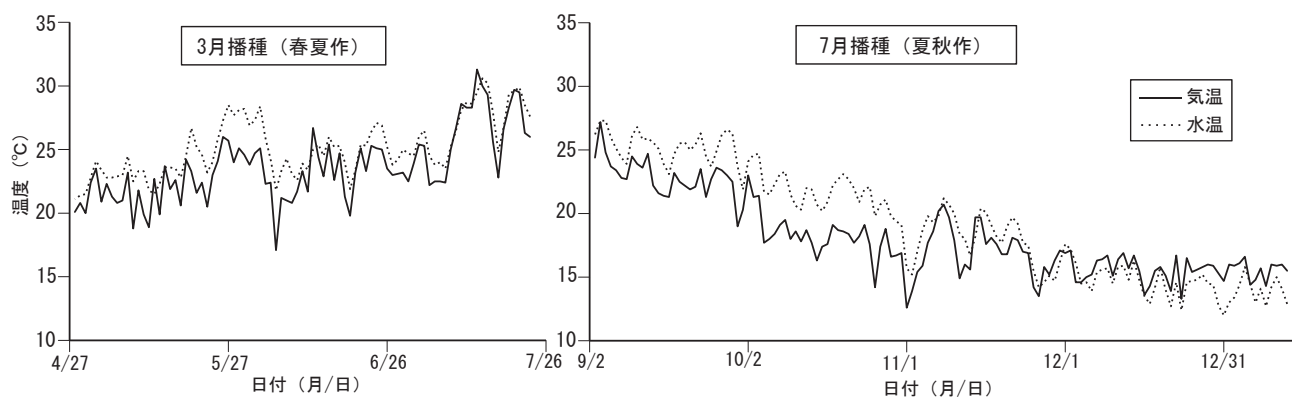
3月播種および7月播種でのハウス内の気温およびCRFを投入した溶出タンクの水温を第5図に示した。3月播種では栽培期間を通じて、水温は気温よりやや高めに推移した。一方、7月播種では栽培期間前半は水温が気温より $2\sim 4^\circ\text{C}$ 高い日が多かったが、後半はほぼ同じか水温の方が低い日が多かった。

定植2週間後までの給液のECは、3月播種ではCRFを分施した場合 $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 未満で推移したが、慣行のCRFを全量1回投入した場合には $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ を超えた(第6図)。しかし、その後は全量1回投入した場合より分施した場合の方が高く推移する傾向がみられた。7月播種における給液のECは、CRF慣行区では定植直後に大きく上昇したが、栽培

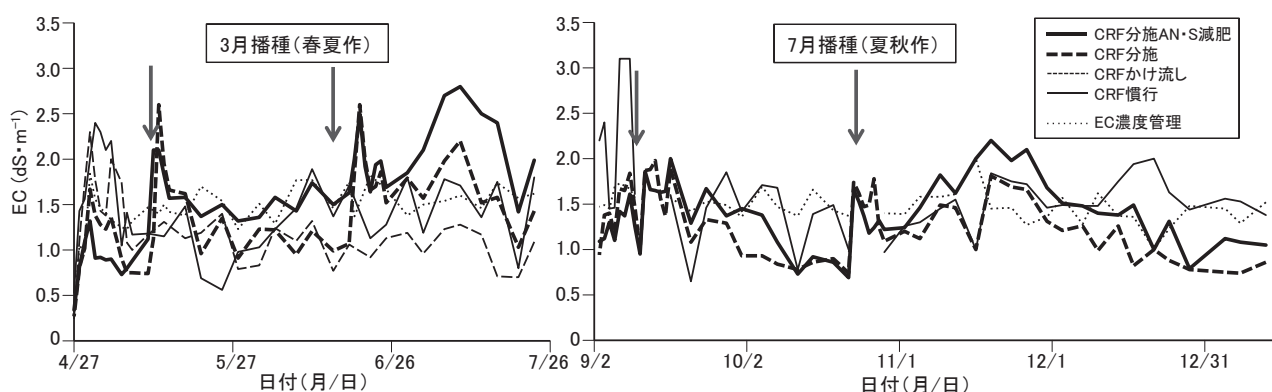
第5表 アンモニア態窒素削減処理と可販果収量および尻腐れ果の発生率

処理区	可販果収量 (kg・m ⁻²)	株あたりの尻腐れ果発生数 (個)					尻腐れ果 発生率 ¹⁾
		第1果房	第2果房	第3果房	第4果房	株合計	
CRF硝化処理+リン肥	9.3b ²⁾	3.3a	2.5a	1.2ab	0.1a	7.1a	48 (%)
CRF硝化処理	8.5b	3.5a	2.8a	1.7a	0.4a	8.5a	43
CRF慣行	7.9b	2.9a	2.2a	1.4ab	0.3a	6.8a	42
EC濃度管理	14.2a	0.0b	0.0b	0.1b	0.3a	0.5b	3

- 1) 総収穫果数に対する尻腐れ果数の割合.
- 2) Tukey の多重検定により同一符号間には5%水準で有意差なし.



第5図 CRF 施用処理ハウス内の気温および溶出タンク内の水温の推移



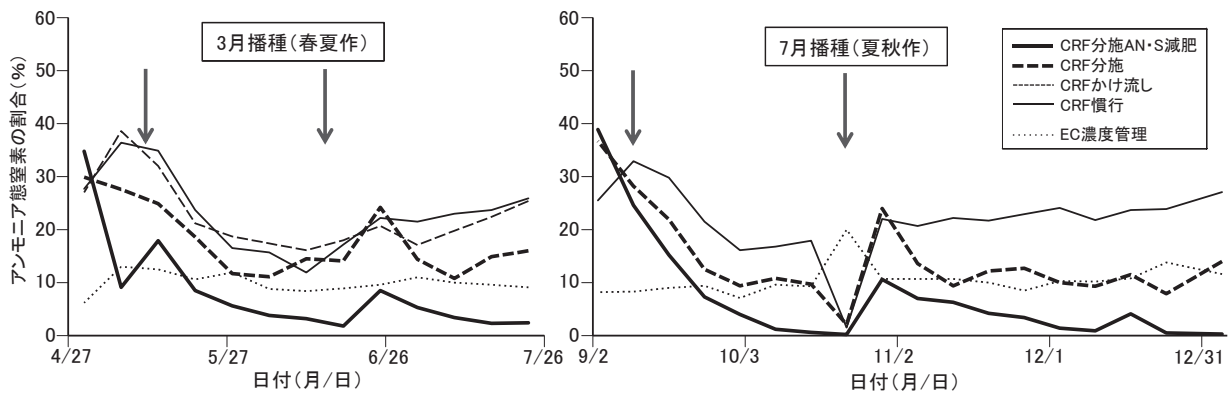
第6図 春夏作と夏秋作のCRF施用処理給液のECの推移
下向き矢印はCRFの追加投入時期を示す。

期間中 0.6~2.0dS・m⁻¹ で推移した (第6図). CRF を3回に分けて施用したCRF分施AN・S減肥区およびCRF分施肥区では、給液のECは2回目の肥料を投入した10月下旬までEC濃度管理区より低く推移し、11月下旬から12月上旬はEC濃度管理区より高かったが、12月中旬以降は低く推移した. また、栽培期間中のCRF分施AN・S減肥区の給液のECは、CRF分施肥区より概ね高く推移した.

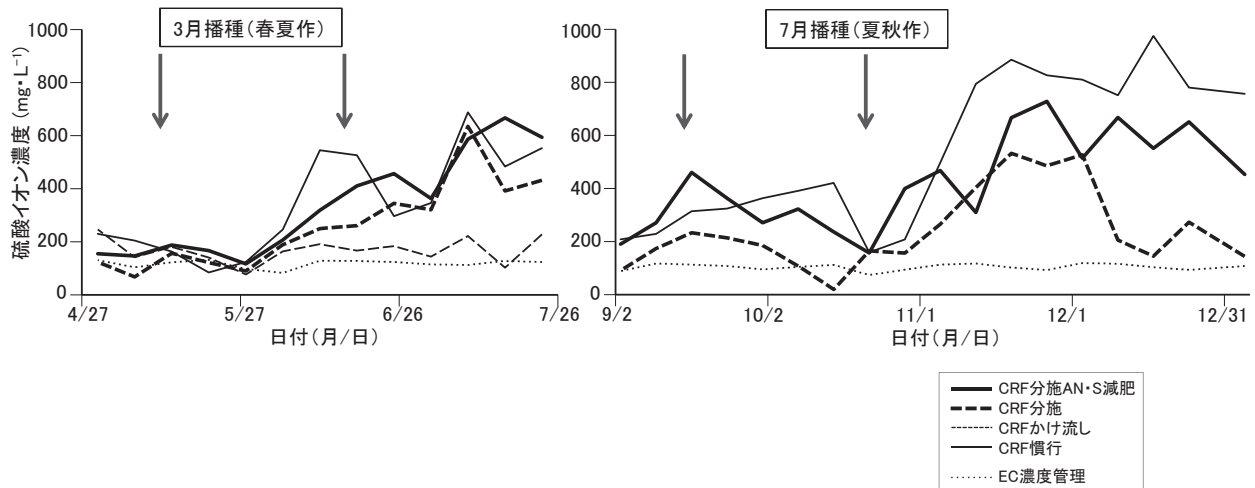
給液中の総窒素量に対するアンモニア態窒素の割合は、3月播種および7月播種ともに、CRF施用区

では定植後1週間は25%以上と高かったが、その後低下した (第7図). CRF分施AN・S減肥区は、3月播種および7月播種ともに、他の処理区よりアンモニア態窒素の割合が低く、定植20日後以降は10%未満で推移することが多かった. 一方、CRF全量1回施用区は、3月播種および7月播種ともにアンモニア態窒素の割合が20%以上と高く推移することが多かった.

給液中の硫酸イオン濃度は、3月播種ではEC濃度管理区は83~132mg・L⁻¹, CRFかけ流し区は77



第7図 春夏作と夏秋作のCRF施用処理給液中の全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合の推移
下向き矢印はCRFの追加投入時期を示す。



第8図 春夏作と夏秋作のCRF施用処理給液中の硫酸イオン濃度の推移
下向き矢印はCRFの追加投入時期を示す。

第6表 CRFの施用処理と可販果収量および尻腐れ果の発生率

播種時期	品種	処理	硝化処理	可販果収量 (kg・m ⁻²)	尻腐れ果率(%) ¹⁾				
					第1果房	第2果房	第3果房	第4果房	株全体
3月	桃太郎ファイト	CRF分施AN・S減肥	あり	10.0 ab ²⁾	1	0	0	0	0
		CRF分施	あり	11.0 a	2	9	0	8	5
		CRFかけ流し	あり	8.6 bc	48	43	26	10	34
		CRF慣行	なし	7.2 c	65	37	4	7	33
		EC濃度管理	なし	11.8 a	2	0	0	0	1
7月	桃太郎ファイト	CRF分施AN・S減肥	あり	11.4 a	3	6	0	0	2
		CRF分施	あり	10.1 a	17	36	5	1	16
		CRF慣行	なし	7.1 b	28	52	5	0	24
		EC濃度管理	なし	12.3 a	2	0	0	0	0
	ルネッサンス	CRF分施AN・S減肥	あり	10.6 ab	0	4	1	0	1
		CRF分施	あり	11.1 ab	3	10	3	0	4
		CRF慣行	なし	8.7 b	10	12	11	0	8
		EC濃度管理	なし	12.2 a	0	0	2	0	0

可販果は80g以上の果実で、正形果のほか、乱形果、チャック果、割れ果を含む。

- 1) 総収穫果数に対する尻腐れ果数の割合。
- 2) Tukeyの多重検定により同一符号間には5%水準で有意差なし。

～247mg・L⁻¹で栽培期間中安定して推移したが、CRF かけ流し区以外の CRF 施用区では、5月までは230mg・L⁻¹以下で推移し、6月上旬以降上昇する傾向がみられた（第8図）。7月播種では、CRF投入直後からEC濃度管理区より高く、特にCRF分施AN・S減肥区およびCRF分施区が高く推移した。

第6表に株あたりの可販果収量および果房あたりの尻腐れ果の発生率を示した。‘桃太郎ファイト’では、3月播種および7月播種ともにCRF分施AN・S減肥区およびEC濃度管理区で尻腐れ果の発生率は0～2%と小さかった。また、CRF分施区では、尻腐れ果の発生率が3月播種では小さかったが、7月播種では第2果房まで高く、3月播種のCRFかけ流し区、CRF慣行区および7月播種のCRF慣行区では他の区より高かった。このため、1m²あたりの可販果収量は、3月播種ではCRF分施AN・S減肥区、CRF分施区およびEC濃度管理区で、7月播種ではCRF分施AN・S減肥区およびEC濃度管理区でCRF慣行区よりも有意に高かった。7月播種のみ供試した‘ルネッサンス’は、尻腐れ果の発生がどの区においても少なかった。また、1m²あたりの可販果収量には処理区間で有意差がなかったものの、CRF慣行区でやや低かった。

IV 考 察

日射量対応型自動灌水装置とCRFとを組み合わせた養水分管理技術は安価に導入できるシステムである⁵⁾が、施肥方法については詳細には検討されていない。トマト栽培において、1作分全量をCRFで基肥として一度に施用する方法については、土耕栽培やポット育苗に利用して慣行栽培と同等の収量を得られた報告はある^{7,8)}が、CRFを水中で溶出させた液肥をトマトに施用する場合は、Kinoshitaら⁶⁾を除き検討されていない。Kinoshitaら⁶⁾は、日射量対応型自動灌水装置とCRFを用いたトマトの4段密植栽培において、春夏作で設定した株あたりの窒素施用量の最大試験区（株あたり7.5g）でLAIが最大となり収量が最も高かったことを報告しており、さらに窒素施用量を増やすことにより、収量が増加する可能性を示唆した。そこで、窒素を株あたり7.5g以上施用する処理区を設定し、可販果収量と

総収量について検討した。しかし、CRFを施用したすべての処理区で尻腐れ果が多発し、可販果収量が低下した。そのため、次にCRFの施用方法の改善を図る試験を行った。

トマトの尻腐れ果は、土壌水分の低下^{2,3)}、カルシウムの施肥不足⁹⁾、カルシウムの吸収を拮抗阻害するアンモニア態窒素などの濃度上昇^{4,11,12)}、環境の急激な変化¹⁾、果実へのカルシウムの転流の抑制^{13,15)}や、これらの要因が複合して発生が促進されると考えられている。CRF施用区の給液中アンモニア態窒素濃度はEC濃度管理区より高かったことから、カルシウムの吸収阻害が尻腐れ果の発生を助長した可能性が考えられた。そこで、CRFに含まれるアンモニア態窒素の割合を低下させる方法を検討した。施肥中の総窒素量に対するアンモニア態窒素の割合を低下させるため、溶出タンク内のアンモニア態窒素のバーク堆肥投入と曝気による硝化処理を行い、硝酸態窒素で構成されるCRFへの置き換えを検討したが、CRFを施用したいずれの区においても尻腐れ果が多発した（第5表）。本試験では、定植後1週間程度はアンモニア態窒素の割合がCRF区で30～40%と慣行のEC濃度管理区を大きく上回って推移した（第4図）。CRF硝化処理区でアンモニア態窒素濃度が減少しなかった理由として、CRFの溶出タンクへの投入と同時に硝化処理を開始したため硝化細菌の増殖が不十分で、アンモニア態窒素が硝酸態窒素に硝化されなかったことが考えられた。

一方、試験1,2のいずれにおいても、定植直後に一時的に給液ECの上昇が観察された（第2図、第3図）。これは、1作分全量のCRFを一度に溶出タンク内に投入したことと、CRFの窒素成分は温度に応じて溶出するものの、定植直後は植物体が小さく吸水量が少ないため、溶出タンク内で給液が長時間滞り、CRFからの溶出により給液のECが上昇したためと考えられる。すなわちCRFを一度に施用したことにより給液中の窒素量が一時的に上昇し、それをトマトが吸収し栄養成長が旺盛となり、蒸散量が増加した葉と急激に肥大した果実との間に養水分の競合が発生し、果実へのカルシウムの転流が阻害されたことが尻腐れ果を多発させる要因となったと考えられた。

そこで、定植直後の給液ECの上昇を抑制するた

めに、CRFを分施する方法を検討した。1作分のCRFのうち定植時に1/5量、給液ECの低下に応じで残りを2/5量ずつ2回分施することにより、給液ECの上昇を抑制できた。分施する方法は、尻腐れ果の発生し易い3月播種だけでなく、7月播種においても品種によってはKinoshitaら⁵⁾の施用方法(CRF慣行区)より尻腐れ果の発生を抑制する効果がみられた。ただし、この分施方法では、CRFの追加投入時期を見極めるために、常に給液のECを監視しておく必要があり、トマトの生育ステージなどに応じた投入指標を検討する必要がある。

アンモニア態窒素および硫酸イオンを減らしたCRFを組み合わせるとともに分施したCRF分施AN・S減肥区では、アンモニア態窒素の割合を低く抑えることができた(第6図)。しかしながら、栽培期間後半に給液のECがやや上昇することが観察された(第5図)。榊田ら¹⁰⁾は、水耕で5段階摘心栽培したトマトにおいて、摘心後の培養液の濃度上昇は、尻腐れ果の発生が少なく収量の低下を回避しつつ果実品質を高められる可能性があることを報告している。本試験においても、栽培期間後半には摘心を終えており、CRFを全量1回施用した場合でも第3果房以降の尻腐れ果発生率は低かった(第5表、第6表)。このことから、CRFを施用した場合も栽培期間後半のEC上昇は、尻腐れ果の発生につながらず収量に悪影響を及ぼす可能性は小さいものと考えられた。

V 摘 要

排液循環型の日射量対応型自動灌水装置と肥効調節型肥料(CRF)を利用する夏秋トマトの低段密植栽培において、尻腐れ果の発生要因を検討し、施肥方法を改善した。

1作分の施肥を全量CRFで施用した場合、給液中のアンモニア態窒素の割合が高くなり、施用直後の給液ECも高くなることから、尻腐れ果が多発することを明らかにした。さらに、アンモニア態窒素含量の少ないCRFを組み合わせて、3回に分けて溶出タンクに投入して施用することにより、CRF全量一括施用より尻腐れ果発生的大幅な削減が可能となり、従来の液肥による給液管理栽培と同等の可販果収量

を得られた。

謝 辞

本試験を実施するにあたり栽培管理を担当していただいた西日本農業研究センター技術支援センター業務第2科2班の各位、傾斜地野菜生産グループ契約職員の中路純子氏に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Chamberlain, E. E. 1933. Blossom-end rot of tomatoes. NZ J. Agric. 46: 293-296.
- 2) Evans, H. J., R. V. Troxler. 1953. Relation of calcium nutrition to the incidence of blossom-end rot in tomatoes. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 61: 346-352.
- 3) Franco, J. A., P. J. Perez-Saura, J. A. Fernandez, M. Parra and A. L. Garcia. 1999. Effect of two irrigation rates on yield, incidence of blossom-end rot, mineral content and free amino acid levels in tomato cultivated under drip irrigation using saline water. J. Hort. Sci. Bio-technol. 74: 430-435.
- 4) 池田英男・大沢孝也 1988. 培養液のNO₃/NH₄比と液温がトマトの生育、収量ならびに尻腐れ果発生に及ぼす影響. 園学雑. 57: 62-69.
- 5) Kinoshita, T., M. Sugiura and Y. Nagasaki 2014. Development of a simplified and highly nutrient-efficient fertilization method by using controlled-release fertilizer in tomato cultivation. Acta Horticulturae: 517-524.
- 6) Kinoshita, T., T. Yano, M. Sugiura and Y. Nagasaki 2014. Effects of controlled-release fertilizer on leaf area index and fruit yield in high-density soilless tomato culture using low node-order pinching. PLoS one 9: e113074.
- 7) 小杉徹・中村仁美・若澤秀幸 2007. 肥効調節型肥料を用いたトマト育苗鉢内全量施肥法. 土肥誌. 78: 207-211.
- 8) 小菅佐代子・桑野伸晃・三枝正彦 2001. トマト栽培における肥効調節型肥料を利用した全量基肥施肥法. 土肥誌. 72: 621-626.
- 9) Lyon, C. B., K. C. Besson and M. Barrentine. 1942.

- Macro-element nutrition of the tomato plant as correlated with fruitfulness and occurrence of blossom-end rot. *Botanical Gazette*. 103: 651-667.
- 10) 榊田正治・瀧口武・松原幸子 1989. 培養液濃度がトマトの収量と品質および養液成分の濃度変化に及ぼす影響. *園学雑*. 58: 641-648.
 - 11) 森国博全・嶋田永生 2001. トマトの隔離床栽培における尻腐れ果発生におよぼす施用窒素形態の影響. *土肥誌*. 72: 489-498.
 - 12) 中野明正・上原洋一・山内章 2001. 施設土壌における塩類集積の現状と低硫酸根緩効性肥料による化学ストレスの改善. *土肥誌*. 72: 237-244.
 - 13) 佐藤卓・森田健太郎・池田英男・古川一・飯村裕史・小湊正幸 2004. 摘葉がトマトの尻腐れ果発生に及ぼす影響. *園学研*. 3: 183-186.
 - 14) 施山紀男 2001. 作ってみたいイチゴ売れ筋品種. 再生プラスチック利用の「らくラック」. 社団法人全国農業改良普及協会, 東京. 129-133.
 - 15) Shear, C. B. 1975. Calcium-related disorders of fruit and vegetables. *Hortscience* 10: 361-365.
 - 16) 渡辺慎一 2006. 低段密植栽培による新たなトマト生産. *野菜茶研集報*. 3: 91-98.
 - 17) 吉川(山西)弘恭・中尾誠司 2010. ソーラーポンプを利用した拍動自動灌水装置の組み立て方法. *近中四農研資*. 7: 21-31.

Effects of ingredient and application method of controlled-release fertilizers on blossom-end rot and fruit yield of tomato in the high-density cultivation with low node-order pinching using solar radiation powered pulsating drip irrigation system.

Takayoshi YANO, Takafumi KINOSHITA¹, Makoto SUGIURA² and Hiroki KAWASHIMA

Key words: blossom-end rot, fruit yield, ammonium ion, electrical conductivity

Summary

We seek to improve low-cost fertigation systems using controlled-release fertilizers (CRFs) and solar radiation-powered pulsating drip irrigation in a closed system of summer-autumn tomato cultivation. We investigated the effects of different CRF application methods on fruit yield and blossom-end rot in high-density cultivation with low node-order pinching.

When a CRF was supplied once to the elution tank and eluted throughout the cultivation period, ammonium ion content of the solution and initial electrical conductivity (EC) were high, resulting in a high frequency of blossom-end rot in fruits. However, application of other low-ammonium ion CRFs supplied on three separate instances to the elution tank resulted in a low initial EC and ammonium ion content of the solution, and the frequency of blossom-end rot decreased.