

養液土耕栽培における夏秋トマトの窒素の栄養と土壌診断に基づいた養水分管理法

誌名	広島県立農業技術センター研究報告 = Bulletin of the Hiroshima Prefectural Agriculture Research Center
ISSN	09184848
著者名	國田,丙午 宮地,勝正 伊藤,純樹
発行元	広島県立農業技術センター
巻/号	76号
掲載ページ	p. 75-84
発行年月	2004年5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



養液土耕栽培における夏秋トマトの窒素の栄養と 土壌診断に基づいた養水分管理法

國田丙午*・宮地勝正**・伊藤純樹

キーワード：土壌診断，栄養診断，腋芽，夏秋トマト，硝酸，養液土耕栽培，養水分管理

養液土耕栽培は，土壌を培地とし，作物が要求する水と肥料成分を同時に与えて栽培する方法で，1回のかん液量が少なく，かん水回数が多い。そのため，液肥混入器，タイマーおよび点滴チューブ等で構成される自動かん液装置により，作物への養水分供給が自動化されている。これにより，従来の化成肥料を用いた基肥と追肥の施肥体系に比べて，生産者の施肥とかん水作業の労力が大幅に軽減され，導入面積は拡大傾向にある。

現在，養液土耕栽培は野菜や花きで導入され，面積は全国で約200haと推測される。作目別では，野菜はトマトが最も多く，次いでキュウリ，イチゴ，ナスの順で，花きはカーネーション，キク，バラで主に導入されている。広島県においても養液土耕栽培はトマト，バラ等で導入され，その面積は約14haに達している。特に，夏秋トマトでは，1997年に神石郡豊松村の新規造成畑4haで同栽培が導入された。しかし，この技術は施肥とかん水の時期と量の決定が難しいため，導入当初は，施肥量やかん水量の過不足に起因すると思われる着果不良や生理障害が多発し，収量と外観品質が安定しなかった。

そこで，夏秋トマトを対象とし，トマトの養分吸収に対応した施肥法と，栽培時期に応じたかん水法および簡易かつ迅速な植物体と土壌の窒素診断法を検討し，高収量を得るための養水分管理指標を作成したので報告する。

材料および方法

1. 栽培概要および果実品質調査

実験は，トマト「桃太郎8」を用い，農業技術センターほ場（東広島市八本松町原）のビニルハウスで実施した。供試土壌は細粒灰色低地土，灰色系で，栽培前に未

耕のマサ土とピートモスを1m²当たりそれぞれ50L混和して用いた。この土壌の化学性は，乾土1kg当たり無機態窒素が14mg，陽イオン交換容量が13.5cmol_c，塩基飽和度80%であった。かん液肥料として，養液土耕専用の複合粉末肥料の2種（成分比は窒素：リン酸：加里＝12：20：20，14：8：25）を用いた。定植から第3段花房開花期まではリン酸含量の高い肥料を，それ以降は加里含量の高い肥料を供した。また，トマトは1本仕立てずらし誘引法で栽培し，夜間温度を12℃以上で管理した。なお，着果と果実肥大を促進するため，全花房にオーキシンおよびジベレリンを常用濃度で処理した。

果実の外観品質調査は，新鮮重が100～250gで，形状がよく，裂果，空洞，病虫害等がないものを上物とし，それ以外を下物に分類した。また，果実の品質調査は，上物果実5個を用い，それぞれ果実を縦に4等分し，対角に位置する2片を搾汁，ろ過後分析に供した。糖度(Brix)はデジタル糖度計，クエン酸含量は1L当たり0.05molの水酸化ナトリウムを用いた中和滴定法（終点pH8.1）で測定した。また，土壌と植物体の無機成分分析は，水質および作物体分析法（農林水産省農蚕園芸局農産課編，1979）に準じた。ただし，別法を用いた場合はそのつど記述した。

2. 実験1：養液土耕栽培と慣行栽培との比較

実験は，養液土耕栽培と慣行栽培の栽培法の違いが，トマトの収量および品質に及ぼす影響を明らかにするために，1998年に行った。トマトは，5月7日に第1段花房の第1花が開花した苗を，条間105cm，株間49cmの1条で定植した。収穫は，6月19日から11月26日まで行った。

処理区は，基肥と追肥に化成肥料（成分比は窒素：リン酸：加里＝10：2：9）を施用する慣行区と，基肥を施用しないで追肥に溶液を施用する養液土耕区の2区を設けた。供試本数は，1区当たり10株で，1作の施肥窒

*：広島県農業改良普及センター

**：元広島県立農業技術センター

素量とかん水量は、両区とも1株当たりそれぞれ20g、386Lとした。かん水回数は、両区とも1作で150回とし、1回当たりのかん水量は、1株当たり2.0～3.2Lの範囲とした。

養液土耕区における時期別の施肥窒素量は、1株当たり5月を1.7g、6月を3.6g、7月を4.1g、8月を4.1g、9月を3.9g、10月を1.6g、11月を1.0gとした。一方、慣行区の1株当たりの施肥窒素量は、基肥が8g、追肥が12g（10回の分施）とした。追肥は、第1段果房の第1果がピンポン玉程度に肥大した時期から開始し、2週間ごとに施用した。追肥位置は、点滴チューブの吐出口直下に円筒状（直径5cm、深さ20cm）の穴を掘り、この穴の底部とした。

果実品質は、11月13日に第18段果房の上物果実3個を用いて調査した。

3. 実験2：窒素の吸収特性と診断に基づいた施肥管理

1) 実験2-1：施肥由来窒素のトマトへの吸収動態

実験は、養液土耕栽培におけるトマトの施肥由来窒素の吸収動態を明らかにするために、2000年に幅50cm、長さ300cm、深さ25cmの隔離床で実施した。供試土壌は、未耕マサ土とピートモスを容積比で等しく混合したものをを用い、土量は1株当たり50Lとした。トマトは、播種後28日間育苗したセル成型苗を5月7日に定植した。整枝と収穫は、重窒素処理が始まるまでは随時行い、処理期間中には行わず、放任して管理した。重窒素処理までの施肥窒素量は、1株当たり8gと一定にした。

処理区は、重窒素を施用して5日後、3日後および1日後にトマトが吸収した施肥由来窒素を測定する5日区、3日区および1日区の3区を設けた。重窒素の施用方法は、窒素源として硝酸カリウムを用い、1株当たり1.43g（窒素成分198mg、重窒素濃度10.4atom%）を3.4Lの水で溶かして、点滴で培地に施用した。重窒素の処理時期は、5日区、3日区および1日区でそれぞれ8月5日、8月7日および8月9日の午前8時とし、トマトは8月10日に地上部を一斉に採取して、分析に供した。試料の調整方法は、トマトの地上部を葉、茎、腋芽および

幼果を含む果実の4器官に分け、さらに、茎と葉を下部（地際～第3段果房未満）、中部（第3段果房以上～第6段果房未満）および上部（第6段果房以上～生長点以下）の3段階に細区分した。その後、試料は乾燥、微粉碎して、全自動窒素炭素同位体質量分析計（ANCA-SL型、EUROPA SCIENTIFIC社製）を用いて重窒素量を測定し、0.45atom%に精製された標準のグリシンと比較して窒素吸収量を算出した。なお、採取時のトマトの生育段階は、第8段花房直下の腋芽が10cm程度伸長し、第2段果房の収穫終了時であった。

2) 実験2-2：生育時期別の養分吸収特性

実験は、夏秋トマトの生育時期別の窒素吸収量を明らかにするために、1998年に行った。トマトは、幅120cm長さ15cmの枠に株間40cmで5月7日に定植し、1作当たりの施肥窒素量およびかん水量は、それぞれ1株当たり20g、386L施用して、時期別では、実験1の養液土耕区と同様にした。トマトは、約1か月間隔で11月までに7回、1回当たり5株を採取して、分析に供した。

3) 実験2-3：施肥法が収量ならびに腋芽と土壌の硝酸含量に及ぼす影響

実験は、施肥窒素量と施用時期の違いが収量、品質ならびに腋芽と土壌の硝酸含量に及ぼす影響を明らかにするために、1999年に実施した。トマトは、第1段花房の第1花が開花した苗を、幅120cm、長さ15mの枠に株間40cmで5月7日に定植し、収穫を6月19日から10月31日まで行った。

処理区は、栽培期間を定植から第8段花房開花期までの生育前期と、それ以降から収穫終了期までの生育後期の2時期に分け、それぞれ異なる施肥窒素量を分施する①16+24区、②12+8区、③8+12（標準）区、④2+18区および⑤4+6区の合計5区とした。処理区具体的な生育ステージと施肥窒素量の内訳は、表1に示した。つまり、8+12区は生育前期では、定植から第3段花房開花期に当たる5月31日までを1株当たり窒素で2g、それ以降、第8段花房開花期に当たる6月30日までを6gの計8g、生育後期では、第12段花房開花期に当たる7月31日までを4g、第16段花房開花期に当たる8月31日

表1 各処理区の月別施肥窒素量（実験2-3、1999）

(g/株)

処理区名	5月	6月	7月	8月	9月	10月	合計
16+24	4.0	12.0	8.0	6.0	6.0	4.0	40.0
12+8	3.0	9.0	2.7	2.0	2.0	1.3	20.0
8+12（標準）	2.0	6.0	4.0	3.0	3.0	2.0	20.0
2+18	0.5	1.5	6.0	4.5	4.5	3.0	20.0
4+6	1.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	10.0

注) 栽培期間：5月7日～10月31日

までを3g, 第12段果房収穫期に当たる9月30日までを3g, 第15段果房収穫期に当たる10月31日までを2gの計12g, 合計20gを窒素吸収量に対応するように施用した。また, その他の4区の施肥窒素量は, 8+12区の増減に比例させて施用した。供試本数は, 1区当たり7株を用い, 1作のかん水量は, 1株当たり191Lとした。かん水回数は75回とし, この内, 溶液を施用するかん液回数は50回で, 1回のかん水量は1株当たり2.5Lとした。

腋芽の硝酸含量の測定は, 5月18日の第1段花房から9月7日の第15段花房まで各花房直下の腋芽を用いて, 7~10日間隔で15回行った。なお, 腋芽は, 開花した花房の直下から10cm程度に伸長したものを午前中に採取し, 7~10個体を測定に用いた。試料の調整方法は, 除葉した茎部を1cm程度に裁断し, 重量比で腋芽1に対して蒸留水を10の割合で加え, ミキサーで30秒間摩砕した後にろ過して, ろ液を蒸留水で2倍に希釈したものを試料とした。硝酸含量の測定は, 小型反射式光度計(建部・米山, 1995)で行った。

土壌の硝酸含量は, 点滴チューブの吐出口の中間に位置する畝表面から深さ5~15cmの土層で土壌を採取して, 2mm目のふるいを用いて粗大物を取り除いた後, 容積比で生土1に対して蒸留水を2加えて, 1分間手で振とうしてろ過した後, 腋芽と同様の器具で測定した。なお, 測定は, 定植から栽培終了時までほぼ10日間隔で採取し, 18回行った。

4. 実験3: 栽培時期に応じたかん水管理

実験は, 夏秋トマトの生育時期に応じたかん水量を明らかにするために, 1998年に実施した。トマトは, 第1段花房の第1花が開花した苗を5月7日に条間105cm, 株間49cmの1条で定植し, 収穫を6月19日から11月26日まで行った。

処理区は, 1作のかん水量を1株当たり257Lとする①標準量区, 標準257Lに対して②半量区, ③1.5倍量区, ④2倍量区の4区を設けた。処理区の具体的なかん水量の内訳は, 表2に示した。つまり, 標準量区における1日

の時期別のかん水量は, 1株当たり5月7日(定植)から5月31日までを1.0L, 6月1日から同月30日までを1.3L, 7月1日(梅雨最盛期)から同月19日までを1.6L, 7月20日(梅雨明け)から8月15日までを2.3L, 8月16日から同月31日までを1.5L, 9月1日から同月30日までを1.3L, 10月1日から同月31日までを0.8L, 11月1日から同月15日までを0.6Lとした。なお, 全区とも1作のかん液回数は150回で, 施肥窒素量は1株当たり20gとした。

果実品質は, 11月20日に第18段果房の上物果を調査した。

結 果

1. 実験1: 養液土耕栽培と慣行栽培との比較

総収量は, 養液土耕区が1株当たり8.7kgであり, 慣行区に比べて約11%多く, その内, 上物収量は養液土耕区で約14%増加した(表3)。第18段果房の果実糖度は, 養液土耕区が5.4%, 慣行区が5.2%であり, クエン酸含量は養液土耕区が0.33%, 慣行区が0.27%で, 処理区間に大差はなかった。

栽培期間中の土壌の無機態窒素含量は, 慣行区で乾土1kg当たり14~120mgまでの範囲を推移したが, 養液土耕区では3~18mgまでと, 慣行区に比べて著しく低く推移し, 変動が小さかった(図1)。

2. 実験2: 窒素の吸収特性と診断に基づいた施肥管理

1) 実験2-1: 施肥由来窒素のトマトの吸収動態

処理終了時の8月10日におけるトマトの全部位の乾物

表3 栽培法の違いがトマトの収量および品質に及ぼす影響(実験1, 1998)

処理区名	総収量 (kg/株)	上物収量 (kg/株)	糖度 (%)	クエン酸 (%)
養液土耕	8.7	6.4	5.4	0.33
慣行	7.8	5.6	5.2	0.27

表2 各処理区の時期別かん水量(実験3, 1998)

(L/株・日)

処理区名	月/日								1作合計
	~5/31	~6/30	~7/19	~8/15	~8/31	~9/30	~10/31	~11/15	
標準量	1.0	1.3	1.6	2.3	1.5	1.3	0.8	0.6	257.0
半量	0.5	0.7	0.8	1.2	0.8	0.7	0.4	0.3	129.0
1.5倍量	1.5	2.0	2.4	3.4	2.2	2.0	1.2	0.9	386.0
2倍量	2.0	2.6	3.2	4.6	3.0	2.6	1.6	1.2	514.0

注) 栽培期間: 5月7日~11月26日, 11月16日以降はかん水を実施しなかった。

重は、1株当たり約140gで、部位別では葉が最も大きく、処理区間に差は認められなかった(データ省略)。また、全窒素吸収量は乾物重と同様の傾向を示した。重窒素濃度は、腋芽が0.77~1.12atom% excess と最も高く、次いで葉、茎、果実の順に高かった。なお、茎と葉では上部が最も高く、次いで中部、下部の順に高かった(表4)。

1株当たりの施肥由来窒素の吸収量は、5日区、3日

区および1日区でそれぞれ103.4mg, 105.1mg, 109.3mgでほぼ同等であり、施肥由来窒素の吸収率は52.2~55.1%の範囲で、区間差は小さかった(表4)。また、施肥由来窒素の器官別の分配率は、葉が60~68%で最も高く、特にその中部で高かった。一方、茎では下部への分配率が10~11%で最も高かった(表4)。

2) 実験2-2: 生育時期別の養分吸収特性

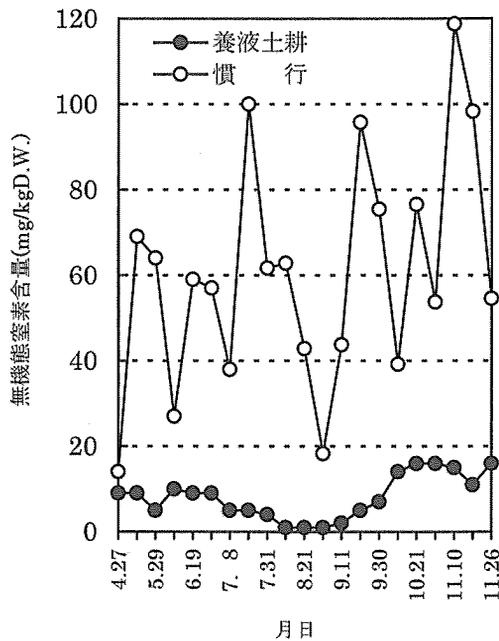


図1 養液土耕栽培が土壌の無機態窒素含量の経時変化に及ぼす影響(実験1, 1998)

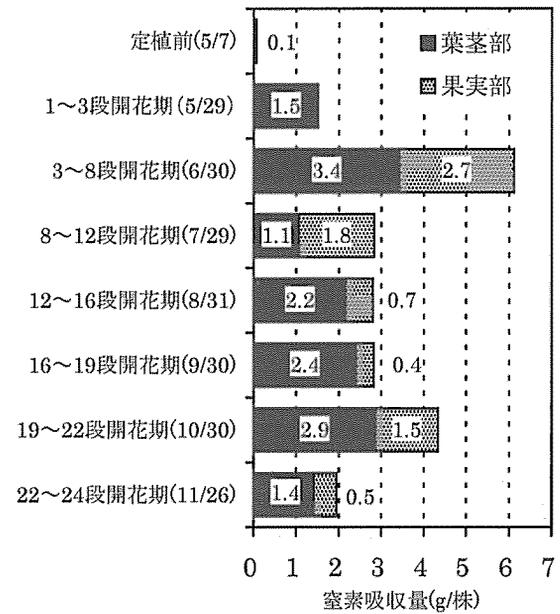


図2 養液土耕栽培における生育時期別の窒素吸収量(実験2-2, 1998)

注) 縦軸の()は調査日を示す。

表4 養液土耕栽培における各処理区の部位別全窒素吸収量ならびに重窒素の濃度、吸収量および分配率(実験2-1)

(株当たり)

処理区	5日区				3日区				1日区					
	器官	部位	全窒素吸収量(g)	重窒素濃度 ^{a)}	重窒素吸収量 ^{b)} (mg)	重窒素分配率 ^{c)} (%)	全窒素吸収量(g)	重窒素濃度 ^{a)}	重窒素吸収量 ^{b)} (mg)	重窒素分配率 ^{c)} (%)	全窒素吸収量(g)	重窒素濃度 ^{a)}	重窒素吸収量 ^{b)} (mg)	重窒素分配率 ^{c)} (%)
茎	上		0.08	0.57	4.3	4	0.05	0.69	3.6	3	0.06	0.45	2.9	3
	中		0.18	0.37	6.8	7	0.20	0.53	10.9	10	0.25	0.36	8.9	8
	下		0.40	0.27	10.7	10	0.34	0.35	11.9	11	0.47	0.23	10.8	10
葉	上		0.21	0.62	12.7	12	0.13	0.64	8.0	8	0.17	0.63	10.8	10
	中		0.75	0.36	26.7	26	0.80	0.40	32.1	31	0.87	0.44	38.6	35
	下		0.89	0.26	23.2	22	0.80	0.29	22.9	22	0.86	0.29	25.0	23
腋芽		0.01	0.77	1.0	1	0.01	1.12	1.4	1	0.01	0.90	1.1	1	
果実		0.75	0.24	17.9	17	0.61	0.23	14.3	14	0.46	0.25	11.3	10	
合計		3.27		103.4	100	2.96		105.1	100	3.17		109.3	100	
吸収率 ^{d)}				52.2				53.0				55.1		

a) ¹⁵Natom% excess を示し、試料¹⁵Natom% から天然¹⁵Natom% (0.363%) を差し引いた値を示す。

b) {(全窒素吸収量 * 1000) * (重窒素濃度 / 100) * 100} / (供試 atom% - 天然 atom%) で算出した。

c) 合計重窒素吸収量 / 器官別重窒素吸収量 * 100 で算出した。

d) 施肥窒素量 / 合計重窒素吸収量 * 100 で算出した。

トマトは、11月の収穫終了時には第22段花房の開花期であった。収穫は第18段果房まで行い、総収量は株当たり7.8kgであった。養液土耕栽培における1株当たりの無機成分吸収量は、窒素22.5g、リン酸9.1g、加里38.8g、石灰27.6gおよび苦土5.0gであった。1株当たりの窒素吸収量は、第3段花房から第8段花房の開花期にあたる定植22日後からの1か月間が、茎葉部で3.4g、果実部で2.7gの合計6.1gであり、それ以外の各1か月間が約3gであったのに対して約2倍であった(図2)。

3) 実験2-3: 施肥法が収量ならびに腋芽と土壌の硝酸含量に及ぼす影響

1株当たりの総収量は、トマトの窒素吸収量に対応するように施肥を行った8+12区が8.7kgで最も多く、次いで12+8区、4+6区、2+18区、16+24区の順に多かった(図3)。つまり、8+12区の総収量を100とする指数で表すと、それぞれ94, 91, 89, 85であった。また、1株当たりの上物収量は、8+12区>12+8区>16+24区≧4+6区>2+18区の順であった。この内、6月下旬の収穫開始期から7月末の第6段果房収穫期までの期間は、16+24区が1株当たり2.8kgで、他の処理区に比べて0.2kg以上多かった。しかし、8月以降は8+12区と4+6区が3.0kgで、他の処理区に比べて多く、逆に16+24区が2.1kgと最も少なかった。

一方、果実の外観品質は、収穫期間を通して、16+24区で尻腐れ果と乱形果が多く、4+6区で果重100g未満の小玉果が多かった。また、第1段果房から第3段果房

までの収穫期間中は、12+8区および8+12区で果重250g以上の大玉果が多く、2+18区で小玉果が多かった。梅雨明け後の7月末から8月中旬には、ハウス内の最高温度が35℃以上となったため、すべての区で落花や着色不良果が発生し、8月中旬以降の約1か月間は、裂果が多発した。

生育は、栽培期間を通して茎径が8+12区に比べて16+24区で大きく、逆に4+6区では著しく小さいことが観察された。

花房直下の腋芽の硝酸含量は、すべての区で第1段目が最も高く、それ以降、第3段目までは著しく低下した(図4)。第4段目から第6段目までは16+24区、12+8区および8+12区で緩やかに低下し、2+18区および4+6区では第3段目とほぼ同等であった。第6段目までの腋芽の硝酸含量は、処理区間で比べると16+24区>12+8区>8+12区>4+6区>2+18区の順であった。第7段目以降の腋芽の硝酸含量は、新鮮重1kg当たり16+24区で約2,200mg、8+12区で約1,500mg、4+6区では約1,200mgであり、ほぼ一定の値で推移した。一方、2+18区では第8段目で約1,200mgであったが、その上段からは約1,700mgまで上昇し、逆に12+8区では約1,500mgであったが約1,200mgに低下した。なお、最も収量が多かった8+12区の腋芽の硝酸含量は、第1段花房直下で新鮮重1kg当たり3,800mgであったが、第3段目で1,800mgまで著しく低下した。第3段目から第6段目までは緩やかに低下し、第7段目から第15段目では約1,500

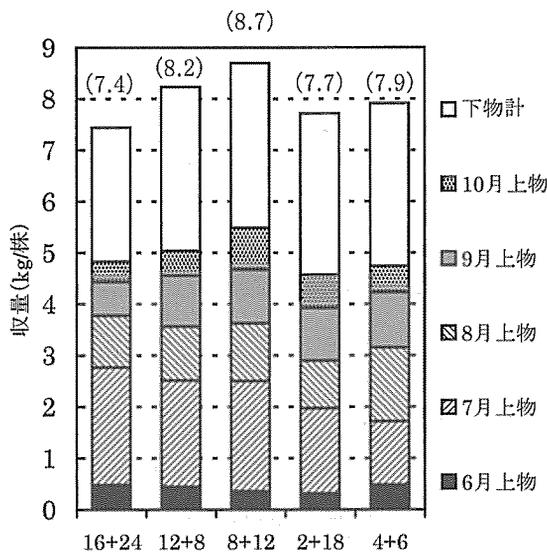


図3 養液土耕栽培における施肥窒素量と施肥時期がトマトの総収量に及ぼす影響(実験2-3, 1999)

注) ()内の数値は、1株当たりの総収量を示す。
6月上物は、6月の1か月間の上物収量を示す。
下物計は、収穫期間中の総下物収量を示す。

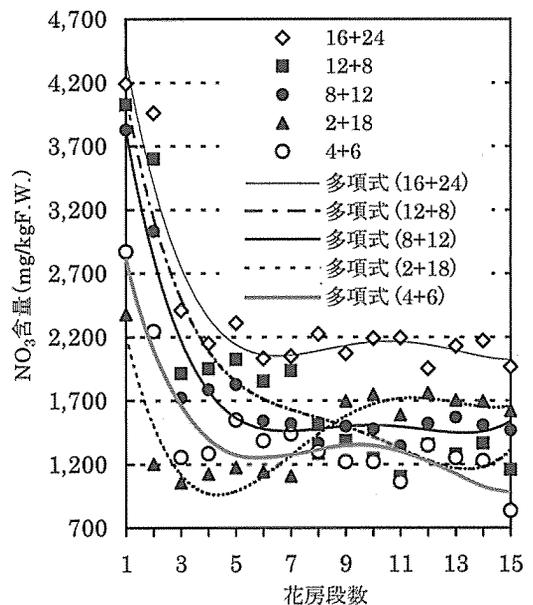


図4 養液土耕栽培におけるトマト開花房直下の腋芽硝酸含量の推移(実験2-3, 1999)

mgと一定の値で推移した。

生土容積法（生土1：蒸留水2）による土壌抽出液の硝酸含量は、栽培期間を通して1L当たり16+24区が100～300mgの範囲で最も高く推移し、8+12区では45～100mgの範囲で、4+6区では25～50mgの範囲で推移した（図5）。一方、12+8区では30～200mgの範囲で、2+18区では10～220mgの範囲で変動幅が大きく推移した。また、12+8区の硝酸含量は、8+12区に比べて栽培前半が高く、後半が低く推移したが、2+18区では12+8区とは逆に推移した。

3. 実験3：栽培時期に応じたかん水管理

1株当たりの総収量は、かん水量1.5倍量区が8.7kgで最も多く、次いで2倍量区が8.4kg、標準量区と半量区が7.4kgの順であった（図6）。なお、標準量区の総収量を100とすると、1.5倍量区が118で、2倍量区が114であった。また、1株当たりの上物収量は、1.5倍量区>2倍量区>半量区>標準量区の順であった。この内、1.5倍量区の上物収量は、7月末の第6段果房収穫期までは1株当たり2.4kgで、標準量区とほぼ同等であったが、8月以降は4.0kgで、標準量区よりも1.2kg多かった。なお、第8段から第11段花房開花期にあたる7月初旬から約1か月間は、ハウス内最高温度が35℃以上となり落花が多発したため、9月の収量は他の時期に比べてすべての区で著しく減少した。1株当たりの収穫果数は、1.5倍量区が64.3個で最も多く、次いで標準量区と2倍量区が55.0個

であり、半量区が51.7個と最も少なかった。第18段果房の果実糖度は、半量区と標準量区が5.8%で他の2処理区に比べて0.6%高かったが、クエン酸含量はどの区も0.3%で、区間差はなかった（データ省略）。

考 察

1. 養液土耕栽培の有効性

本実験により、養液土耕栽培と慣行栽培での生産性を比較すると、養液土耕栽培では慣行栽培よりも総収量が11%、上物収量が14%増加し、果実糖度とクエン酸含量は同等であることが明らかとなった。また、夏秋トマト栽培に関する労働実態調査（六本木・加藤，2000）によると、選別、出荷作業を委託した場合、慣行栽培での総労働時間は10a当たり657時間を要し、この内、施肥とかん水作業は130時間で、総労働時間の20%を占める。一方、養液土耕栽培では、これらの作業が6時間で、慣行栽培よりも著しく少なく、その結果、総労働時間も124時間短縮し、慣行栽培の19%減となる。このため、生産者はこの余剰時間を他の栽培管理作業にあてることができ、2人役の労力で、施設面積30a規模にまで拡大できる。このように、養液土耕栽培は、トマトの高位安定生産と施肥およびかん水管理の省力化の上で、有効な栽培法であると報告している。さらに、本実験では、養液土耕栽培は低濃度の溶液を少量ずつ施用したために、栽培期間中における土壌の無機態窒素含量を、慣行栽培よりも低くか

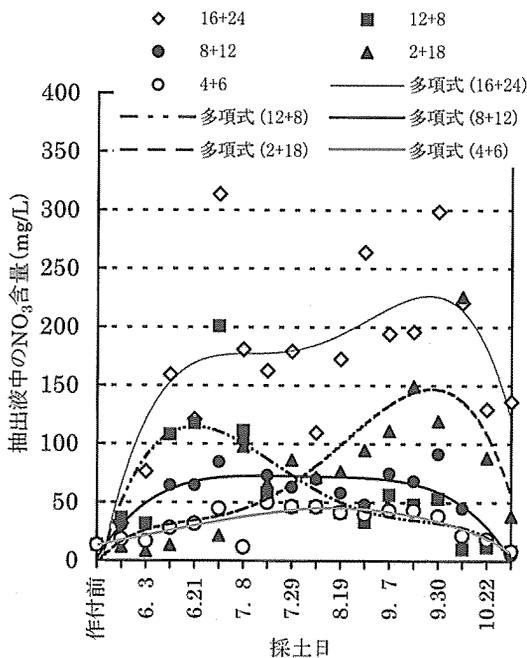


図5 養液土耕栽培における土壌抽出液中の硝酸含量の推移（実験2—3，1999）

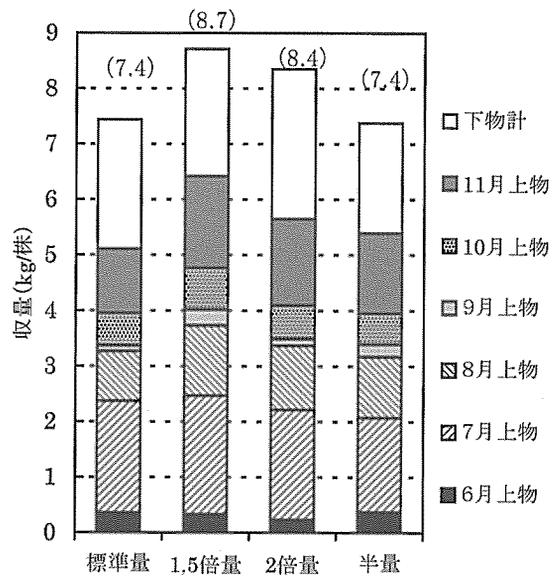


図6 養液土耕栽培におけるかん水量がトマトの総収量に及ぼす影響（実験3，1998）

注）（ ）内の数値は、1株当たりの総収量を示す。
6月上物は、6月の1か月間の上物収量を示す。
下物計は、収穫期間中の総下物収量を示す。

つ変動を小さく推移させることができた。つまり、養液土耕栽培は施肥窒素量をトマトの窒素吸収量に適合させることができるため、施肥窒素の溶脱を削減することが可能で、環境負荷低減型施肥法と考えられる。

養液土耕栽培のかん液装置は、施設面積30aで約100万円を要する。この面積で養液土耕栽培を導入すると、実験1の結果からトマトの総収量は、慣行栽培よりも5,200kg増加すると推定される。果実出荷価格を1kg当たり250円とすれば、年間の売上金額は慣行栽培に比べて130万円増加し、所得も26万円増加すると試算され、かん液装置の投資金は4年から5年間で償却できると推察される。

2. 栄養（腋芽）および土壌の窒素の診断指標値

山田ら(1995)は、トマトの栄養診断には、3cmから4cm程度に肥大した果実直下の葉柄が、土壌診断には、生土容積法での抽出液が適用でき、これらの手法を用いて、慣行栽培での促成および半促成トマトにおける硝酸含量の基準値を報告している。しかし、夏秋トマトの養液土耕栽培では、栄養および土壌診断指標値が見当たらない。そこで、トマトの栽培管理上不要な開花花房直下の腋芽を、栄養診断部位として適用できるかどうかを明らかにするために、養液土耕栽培における施肥由来窒素の腋芽での吸収動態を検討した。その結果、施肥由来窒素は、施肥した翌日までにトマトにほとんど吸収され、腋芽に分配されることが明らかとなった。さらに、開花花房直下の10cm程度に伸長した腋芽は、重窒素濃度が他の部位よりも著しく高いことから、吸収した窒素の移行が早いと考えられる。

次に、施肥窒素量および施用時期の違いが、腋芽および土壌の硝酸含量に及ぼす影響を検討した。その結果、腋芽の硝酸含量は、トマトの施肥窒素量の増減にほぼ比例して推移することが明らかとなった。つまり、開花花房直下の腋芽は施肥の影響を強く受け、その硝酸含量は、施肥窒素量の増減と相関が高かった。前述した重窒素を用いた実験と合わせて考察すると、腋芽は硝酸含量を診断する部位として適切であると考えられる。

また、最大収量が得られた施肥窒素量は、1株当たり20gで、分施方法は生育前期(定植から第8段花房開花期

まで)に8g、生育後期(それ以降から収穫終了まで)に12g施用した区であった。この区の腋芽の硝酸含量は、第1段花房直下の腋芽で新鮮重1kg当たり3,800mgであったが、第3段目で1,800mgまで著しく低下した。第3段から第6段目までは緩やかに低下し、第7段から第15段目では約1,500mgと一定で推移した。一方、土壌抽出液の硝酸含量は、栽培期間を通して1L当たり45~100mgの範囲で推移した。したがって、これらの硝酸含量は、養液土耕栽培において栄養および土壌診断を行う場合の指標値と推定される。

以上の結果に基づいて、表5に示すように、トマトの栄養診断として、花房直下の腋芽の硝酸含量を、また、土壌診断として、生土容積法による抽出液の硝酸含量を用いた指標を作成した。なお、腋芽硝酸含量の上限値と下限値は、4次の近似曲線($Y=0.5X^4-18X^3+273X^2-1690X+5255$, Y;硝酸含量, X;花房段数, $r=0.97^{**}$)から信頼区間85%範囲の値を算出し、これに実測値を考慮して、全花房段数を5段階に分けて設定した。

さらに、腋芽および土壌の硝酸含量の診断指標に基づいて、施肥管理の概念を図7に示した。これは、腋芽と土壌中の硝酸含量の両方が指標の範囲内の場合、通常どおりに管理することを示している。また、腋芽と土壌中の硝酸含量の両方が指標の上限値を上回る場合は、通

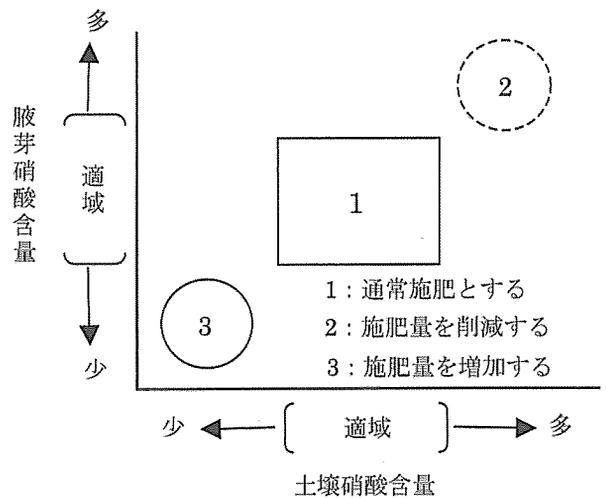


図7 養液土耕栽培における腋芽および土壌診断に基づいた施肥管理の概念図

表5 養液土耕栽培における腋芽および土壌の硝酸含量による診断指標

診断項目	各花房直下の腋芽硝酸含量(mg/kgF.W.)					土壌抽出液の硝酸含量(mg/L)
	1段	2段	3段	4~6段	7~15段	
上限	3,800	3,000	2,200	1,900	1,700	100
下限	3,500	2,600	1,800	1,400	1,300	45

常よりも減肥する。一方、腋芽と土壌中の硝酸含量の両方が指標の下限値を下回る場合は、通常よりも増肥する。これらの測定間隔は、花房直下の腋芽の発生間隔である7～10日間隔とし、測定値を基に、トマトの生育を観察しながら施肥を調整する必要がある。

3. 高収量を得るための施肥およびかん水管理

養液土耕栽培における施肥由来窒素の吸収率に関しては、促成ピーマンでの報告（長友ら、2001）のみで、夏秋トマトでの報告は見当たらない。また、榊田ら（1984）は慣行栽培での促成トマトにおいて、施肥由来窒素の吸収率は基肥窒素が41.8%、追肥窒素が23.5%であり、全施肥窒素の33.2%であると報告している。重窒素を用いた本実験の養液土耕栽培では、施肥由来窒素の吸収率は53%であり、榊田らの慣行栽培における全施肥窒素の吸収率と比べ、著しく高かった。この相違は、養液土耕栽培の少量多回数施肥で、施肥窒素の利用率が向上したためと考えられる。また、本実験におけるトマトの窒素吸収量は1株当たり22.5gであり、この時、果実収量は7.8kgであった。すなわち、果実1kgを生産するためには、窒素2.88gが必要である。この内、53%の1.53gが施肥窒素に由来すると考えられる。したがって、養液土耕栽培では、慣行栽培よりも施肥窒素の吸収率が高いため、トマトの吸収量に見合うだけの窒素量を施肥すればよいと考えられる。

夏秋トマトは、6月の1か月間で第3段から第8段花房開花期まで生育し、この期間に窒素を最も多く吸収した。トマトの第8段花房開花期は、第2段果房収穫開始期に当たる。トマトは、栄養生長と生殖生長が並行して行われ、この時期は着果負担が栽培期間を通して最も大きいため、窒素要求量が多いと考えられる。そこで、全栽培期間を第8段花房開花期で区切り、前期と後期の施肥窒素量をそれぞれ変えて、トマトの収量、品質に及ぼす影響を検討した。その結果、窒素吸収量に対応するように、施肥窒素量を生育前期に1株当たり8g、生育後期に12g、1作で合計20g施用すると、総収量は最大となり、しかも、上物収量は収穫期間を通じて高位に安定して得られた。したがって、施肥窒素量をトマトの生育ステージごとの窒素吸収量に対応させるこの施肥法が適切と考えられる。

かん水実験では、1作当たりのかん水量は、1997年の現地実態に合わせて1株当たり257Lを標準量とした。この値を基に標準量、標準の半量、1.5倍量および2倍量の4処理を設け、かん水量がトマトの収量、品質に及ぼす影響を検討した。その結果、かん水量を標準の1.5倍にす

ると、果実糖度は劣ったが、総収量および上物収量はともに最大で、特に、上物収量は8月以降で高まった。これは、かん水量を増すと、土壌の浸潤域が拡大し、これに伴いトマトの根群域も拡大し、8月の高温下でも土壌の乾燥あるいは高温ストレスへの耐性が高まったためと考えられる。したがって、収量を第一に考えれば、1作のかん水量は、標準の1.5倍の1株当たり386Lが優る。

本実験の結果から、施肥窒素量をトマトの生育ステージごとの窒素吸収量に対応させ、かん水量を標準の1.5倍量として、高収量が得られる生育時期別の養水分管理指標を作成した（表6）。この指標は、トマトの生育ステージを9段階に分けて、1株当たりの施肥窒素量とかん水量を1日当たりとして表記した。また、トマトは第1段花房開花苗を5月上旬に定植し、6月下旬から10月末までの期間に、株当たり全15段果房で7.5kgを収穫することを前提としている。なお、曇天または雨天が続く場合には、かん水量は指標に対して30～50%減を目安とする。ただし、この場合でも施肥窒素量は変更しないで、窒素濃度を高めることで調節する必要がある。

養液土耕栽培での養水分管理における留意点と応用技術を以下に示した。①地下水位の高いほ場または下層土に水が停滞するほ場では、養液土耕栽培の特徴が生かしくいので、ハウス内の暗渠をはじめ、高畝、客土あるいは、ほ場周辺の額縁明渠の設置による排水対策を行う必要がある。また、②点滴チューブを用いる場合、かん水による土壌の浸潤域が土質により異なると考えられる。粘質土では溶液の下層土への浸透能が、砂質土では横への浸透能が低く、土壌の浸潤域の違いは作物の生育に大きく影響する。したがって、有機質資材を施用する等、保水および排水性の高い土壌に改善する必要がある。③作付け前に有機質資材と土壌の窒素含量を把握し、これを考慮した施肥設計を行う。なお、新規造成畑では、

表6 養液土耕栽培における夏秋トマトの生育時期別の養水分管理指標 (株当たり)

段階	生育ステージ	定植後日数	施肥窒素量 (mg/日)	かん水量 (L/日)
1	定植～4日間	0～4	93	5.1
2	～3段開花	5～25	53	1.5
3	～8段開花	26～55	204	2.0
4		56～74	150	2.4
5	～12段開花	75～86	119	3.4
6		87～101	95	3.4
7	～16段開花	102～117	112	2.2
8	～12段収穫	118～147	106	2.0
9	～15段収穫	148～178	56	1.2
	合計	178	20,000	383.0

土壌の無機化窒素の発現が少ないことが予測されるため、施肥窒素量は、指標よりも20%増を目安とする。④家畜ふん堆肥が、これまで十分に施用されているほ場では、作付け前の土壌の交換性加里含量が乾土1kg当たり300mg以上であれば、養液土耕専用肥料よりも加里含量が低い液状肥料（成分比は窒素：リン酸：加里＝10：4：8）が使用できる。この場合、10a当たりの肥料費が約5万円となり、専用肥料の約半分に削減できる。⑤6月の梅雨期において、作物へのかん液が難しい場合は、基肥として化成肥料を1株当たり窒素で8gを施用し、第8段花房開花期以降、追肥として溶液を施用する方法も可能である。

かん水に関する本実験では、土壌水分率およびトマトの蒸発散量を計測していない。細野ら（2002）は、養液栽培での長段どりトマトにおいて、日吸水量は日射、気温および飽差の気象要因を用いると、精度よく推定できると報告している。したがって、かん水量は土壌水分吸引圧、施設内の蒸発量、トマトの蒸散量ならびに茎葉や果実の水分状態を加味した指標化が望まれる。つまり、日吸水量に日蒸発量を加えれば日消費水量が決定するため、夏秋トマト栽培における日消費水量を生育時期別に推測することができれば、より適切なかん水管理指標の作成が可能と考えられる。

本実験では夏秋トマトを対象とし、腋芽および土壌の硝酸含量による栄養および土壌診断指標と高収量を得るための養水分管理指標を作成した。本実験により開発した技術は、養水分管理指標に基づいた栽培管理により、トマト生産量を高位に安定させるためのものであり、高糖度や、リコピン等の有用成分を多く含む高機能の果実生産を目指した栽培管理法ではない。したがって、今後は、これらの品質成分を向上させる管理法の開発が望まれる。

摘 要

夏秋トマトを対象とし、植物体の養分吸収に対応した施肥法と、栽培時期に応じたかん水法および簡易かつ迅速な植物体と土壌の窒素診断法を検討し、高収量を得るための養水分管理指標を作成した。

1. 養液土耕栽培によるトマトの総収量および上物収量は、慣行栽培よりもそれぞれ11%、14%増加した。
2. 硝酸含量による栄養診断指標は、花房直下の腋芽で、第1段花房直下が新鮮重1kg当たり3,800～3,500mg、2段目で3,000～2,600mg、3段目で2,200～1,800mg、4段～6段では1,900～1,400mg、7段～

15段では1,700～1,300mgを指標値とした。

3. 硝酸含量による土壌診断指標は、生土容積法（土1：水2）での抽出液で、栽培期間を通して45～100mgを指標値とした。
4. 1作当たりの施肥窒素量は、トマトの窒素吸収量に対応するように、1株当たり定植から第8段花房開花期までに8g、それ以降、収穫終了期までに12g、計20gとすることで、総収量と上物収量が最も高かった。
5. 1作当たりのかん水量は、標準の1.5倍量の1株当たり386Lとすることで、総収量と上物収量が最も高かった。
6. 以上の結果に基づいて、腋芽および土壌の硝酸含量による栄養および土壌診断指標と、高収量を得るための養水分管理指標を作成した。

謝 辞

本実験の実施に当たり、福山地域事務所農林局地域営農課、神石郡豊松村のトマト生産者には現地の実態調査に、株式会社大塚化学の奥野佳男氏および当センター技術員諸氏には、装置の設置や栽培管理に多大な協力を頂いた。ここに、記して感謝の意を申し上げる。

引用文献

- 細野達夫・細井徳夫. 2002. 施設養液栽培長段トマトの日吸水量. 農業気象. 58:207-216.
- 榊田正治・荒木良一・五味 清. 1984. ハウス栽培のトマトにおける施肥窒素 (¹⁵N) の利用率について. 宮崎大農報. 31:173-178.
- 農林水産省農蚕園芸局農産課編. 1979. 土壌, 水質及び作物体分析法. pp.44-86.
- 長友 誠・上之蘭茂・上蘭一郎. 2001. 促成ピーマンのかん水施肥による減肥栽培. 鹿児島農試研報. 29:39-45.
- 六本木和夫・加藤敏博. 2000. 野菜・花卉の養液土耕. 農山漁村文化協会. pp.33-34.
- 建部雅子・米山忠克. 1995. 作物栄養診断のための小型反射計システムによる硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法. 日土肥誌. 66:155-158.
- 山田良三・加藤俊博・井戸 豊・関 稔・早川岩夫. 1995. リアルタイム土壌・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理(第1報). 愛知農総試研報. 27:205-211.

Fertigation Management of Summer Cropping Tomato based on Nitrogen Status of Plant and Soil Diagnosis

Heigo KUNITA, Katsumasa MIYAJI and Junki ITO

Summary

We investigated light and rapid nitrogen diagnosis system in plant and soil, and application system of fertilizer corresponds to plant nutrient uptake also watering method adjusted to growth stage in summer cropping tomato.

1. The yield of tomato was increased at fertigation method up to 10% than at control.
2. The appropriate index values of nitrate concentration were at first, second, third, fourth to sixth and seventh to fifteenth, 3800 to 3500, 3000 to 2600, 2200 to 1800, 1900 to 1400 and 1700 to 1300 mg kg⁻¹ fresh weight in axillary bud, respectively.
3. The appropriate index value of nitrate concentration extracted in field-moist soil volume method (soil to water is 2 to 1) was 45 to 100 mg kg⁻¹.
4. The yield of tomato was highest at 8 g and 12 g nitrogen application per plant from planting to blooming of eighth flower truss and then to finish of harvest in all treatments.
5. Gross watering amount in order to take the highest yield of tomato was at 386 L per plant during all growth stages.
6. Based on these results, we make out indexes of light and rapid nitrogen diagnosis system in plant and soil, and of fertigation management system in order to get high yield of tomato.

Key words : axillary bud, fertigation, fertilizer, irrigation management, nitrate, nitrogen diagnosis, plant and soil, summer cropping tomato