

点滴灌水施肥栽培における土壌の養分含量を考慮したリン酸の適正施肥

誌名	日本土壌肥料學雜誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	林,康人 加藤,雅彦 小林,新 久保,省三
発行元	日本土壌肥料學會
巻/号	77巻5号
巻号補足	
掲載ページ	p. 555-561
発行年月	2006年10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



点滴灌水施肥栽培における土壌の養分含量を考慮したリン酸の適正施肥^{*1}

林 康人^{*2}・加藤雅彦^{*2}・小林 新^{*3}・久保省三^{*4}

キーワード 養分富化土壌, 点滴灌水施肥, 液肥の組成, リン酸, 果菜

1. はじめに

リン酸質肥料のほとんどはリン鉱石から生成され, そのリン鉱石の枯渇が以前から懸念されている^{1,2)}. 1995年以前は日本の最大のリン鉱石輸入国であったアメリカは, 1997年に実質的にリン鉱石の輸出を止め, リン酸アンモニウムなどの製品の輸出に切り替えている²⁾. 現在, 日本に対する最大のリン鉱石輸出国は中国であり³⁾, リン資源はこの2カ国に大きく依存している状況にある. その一方で, 日本の農耕地では, 施設土壌を中心にリン酸の集積が顕著であり, 小原・中井⁴⁾は1994~1997年の全国的な定点調査の結果, トルオーグリン酸含量は全地目の平均で 610 mg kg^{-1} , 樹園地土壌で $1,277 \text{ mg kg}^{-1}$, 施設土壌で $2,252 \text{ mg kg}^{-1}$ に達していることを報告している. たとえば神奈川県⁵⁾の土壌診断基準は, 樹園地土壌で $200 \sim 500 \text{ mg kg}^{-1}$, 野菜畑土壌で $200 \sim 800 \text{ mg kg}^{-1}$ であり, この基準値と比較しても, いかにリン酸の集積が進んでいるかがうかがわれる. また, これまでリン酸の過剰害については, 亜鉛の不可給化による亜鉛欠乏を引き起こす事例^{6,7)}が報告されているが, 基本的にはリンは過剰害が出にくい元素とされてきた. しかし, 最近ではアブラナ科野菜の根こぶ病の助長⁸⁾やタマネギの乾腐病の助長⁹⁾など, 新たな過剰害が報告されている. したがって, リン酸の適正施肥は, 今後の日本農業にとって重要な課題である.

本論文で検討する点滴灌水施肥栽培は, 土壌に培養液を少量ずつ灌水して作物を栽培する方法であり, 近年施設栽培への導入が進んでいる. この栽培の大きな特徴は, 土壌の養分供給能を十分活かしながら作物生産を行うことであり, リン酸の集積が進んでいる施設栽培においては, いかに土壌のリン酸をうまく利用していくかが重要な課題であるといえる.

著者らは前報¹⁰⁾において, 土壌のトルオーグリン酸が 300 mg kg^{-1} 程度の集積が過度に進んでいない土壌においては, リン酸を土壌に均一に施すよりも, 液肥から供給したほうが作物の吸収に有利であることを報告したが, 本報告では施設土壌の実態に合わせ, リン酸がさらに集積した土壌を対象とし, リン酸の供給法を検討した. この研究の目的は, 点滴灌水施肥栽培において土壌の有効態リン酸のレベルと液肥からのリン酸の供給の有無がメロンおよびトマトの生育に及ぼす影響について検討し, リン酸の適正な施肥方法を提案することである.

2. 材料と方法

1) 栽培試験の概要

神奈川県平塚市にある全農営農・技術センター内のガラス温室で, 点滴灌水施肥栽培の導入が多く見られるメロン (*Cucumis melo*) およびトマト (*Lycopersicon esculentum*) の連作栽培試験を行った. 栽培は幅 0.85 m , 土層深 0.15 m の隔離床 (くみあいスーパードレンベッド 85) を用い, 長さ 3.85 m を1区とし, 1処理について2区の反復を設けた. 点滴灌水チューブ (ラム 17, 吐出孔間隔 20 cm) を1ベッドにつき4本設置した.

床土として, 平塚市上吉沢で採取したリン酸含量が低い未耕地の淡色黒ボク土を用い, 硫酸カリウム, 炭酸カルシウム, 熔成微量要素複合肥料 (FTE) で塩基および微量要素の補給を行い, 理化学性は表1のようになった. この床土に, リン酸含量がトルオーグリン酸でおよそ $50, 200, 500, 1,000 \text{ mg kg}^{-1}$ の4段階となるように重焼リンを施用した. 施用後のトルオーグリン酸測定値は図1の通りであり, 目標に対して $79 \sim 121\%$ と概ね目標通りの値となった.

液肥組成として, 窒素と加里のみを与えるNK区, 窒素とリン酸と加里を与えるNPK区, 市販の複合肥料を与える複合区の3区を設定した. NK区には硝酸カリウムと硝酸アンモニウムを, NPK区には硝酸カリウム, 硝酸アンモニウムとリン酸カリウムを, 複合区には養液土耕用複合肥料を用いた. NK区とNPK区ではトルオーグリン酸4段階の区すべて (NK-50, NK-200, NK-500, NK-1000, NPK-50, NPK-200, NPK-500, NPK-1000区) において, 複合区ではトルオーグリン酸含量が高い2区 (複合-500, 複合-1000区) において栽培試験を行い, 全部で10の処理区を設けた.

^{*1} 点滴灌水施肥 (養液土耕) 栽培における適正施肥 第1報. 本報告の一部は2004年度日本土壌肥料学会福岡大会において発表した.

^{*2} JA 全農営農・技術センター肥料研究室 (254-0016 平塚市東八幡 5-5-1)

^{*3} 同上 (現在, JA 全農大阪肥料農薬事業所 530-0047 大阪市北区西天満 1-2-5)

^{*4} 同上 (現在, JA 全農本所 100-0004 東京都千代田区大手町 1-8-3)

2006年4月17日 受付・受理

日本土壌肥料学雑誌 第77巻 第5号 p. 555~561 (2006)

表 1 供試土壌の理化学性

pH	TC	TN	トルオーグリン酸	CEC	交換性塩基 (cmolc kg ⁻¹)			塩基飽和度	リン酸吸収係数	乾燥密度	砂	シルト	粘土	土性
(H ₂ O)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(cmolc kg ⁻¹)	K	Mg	Ca	(%)	(g kg ⁻¹)	(kg m ⁻³)	(%)	(%)	(%)	
7.5	3.69	0.36	40	50.8	2.6	10.7	40.9	107	17.0	590	73.6	13.7	12.7	砂壤土

表 2 各作における灌水施肥方法の概要と栽植密度

	液肥の 窒素濃度 (mg N L ⁻¹)	1 回当たりの 液肥灌水量 (mL 株 ⁻¹)	1 日当たりの 灌水回数 (回 日 ⁻¹)	1 日当たりの 液肥灌水量 (mL 株 ⁻¹)	1 日当たりの 窒素施肥量 (mg N 株 ⁻¹)	灌水施肥由来 窒素施肥量 (g N 株 ⁻¹)	栽植密度 (株 10 a ⁻¹)	
							隔離床 面積換算	ハウス 面積換算
メロン栽培	50~200	197	2~10	394~1,970	26~316	10.0	5,846	2,243
トマト栽培	50~200	197	1~4	197~788	30~176	11.3	5,846	2,243

灌水は液肥のみで行い、水のみ給液は行わなかった (ただし、生育終了間際には、数日間水のみ給液を行った)。

2) メロン栽培

品種はアールスナイトを用い、1区当たり19株を2条植え、株間40cmで定植した。これは、ハウスの面積換算で10a当たり2,243株に相当した (表2)。1株当たりの土壌容量は約26Lであった。

2004年3月9日に播種し、市販の育苗培土でポット育苗を行った後、4月22日に定植を行い、1株1果取りとして7月7日に収穫した。

液肥として複合区は養液土耕用複合肥料 (TN:15.0, AN (アンモニア態窒素):1.5, NN (硝酸態窒素):7.5, P₂O₅:15.0, K₂O:15.0, MgO:1.5, CaO:5.0%, 養液土耕3号)を用いた。NK区とNPK区の養液組成は複合区にあわせ、TN:K₂O=1:1およびTN:P₂O₅:K₂O=1:1:1とした。

表2に示したように、50~200 mg N L⁻¹の液肥を株当たり197 mLずつ、1日に2~10回灌水し、全生育期間に株当たり10.0 g N相当量を点滴灌水施肥した。この施肥量は既報の栽培事例¹¹⁾と比較すると1.7倍程度多かった。また、未耕地の土壌を用い初期生育の不良が危惧された¹²⁾ため、すべての区に株当たり2 g Nの硝酸アンモニウムをスターターとして定植前に全層施肥した。

3) トマト栽培

品種は桃太郎ヨークを用い、1区当たり19株と、メロンと同様の栽植密度で栽培した。2004年8月18日に播種し、市販の育苗培土でポット育苗を行った後、9月22日に定植を行い、2005年1月24日に栽培を終了した。5段果房の上葉2枚を残して摘心し、1段当たり4果を目標に摘果した。

液肥として複合区は養液土耕用複合肥料 (TN:12.0, AN:1.0, NN:6.5, P₂O₅:20.0, K₂O:20.0, MgO:1.0, CaO:3.0%, 養液土耕5号)を用いた。NK区とNPK区の養液組成は複合区にあわせ、N:K₂O=1:1.7およびN:P₂O₅:K₂O=1:1.7:1.7とした。

表2に示したように、50~200 mg N L⁻¹の液肥を株当たり197 mLずつ、1日に1~4回灌水し、全生育期間に株当たり11.3 g N相当量を点滴灌水施肥した。この施肥量は既報の6段栽培の事例¹³⁾と同程度であった。また、栽培前の土壌分析の結果、無機態窒素含量が低く初期生育

の不良が危惧された¹²⁾ため、すべての区に株当たり2 g Nの硝酸アンモニウムをスターターとして定植前に全層施肥した。

4) 調査方法

メロンは定植29日後の摘果時に、1処理区につき6株の摘果葉柄の汁液をニンニク搾汁器で採取し分析に供した。収穫調査では、1処理区当たり38果の1果重と10果の果実糖度を測定した。また、1処理区当たり6株の果実と茎葉を養分含有率の測定に供した。

トマトは1段および5段果房の肥大期に、果実直下葉の葉柄汁液をニンニク搾汁器で採取し分析に供した。果実収量については、1処理区当たり12株分の成熟した果実を、1株ずつ可販果と非可販果に分けて重量を測定した。2段および5段果房については、1処理区当たり12果の果実糖度と4果の養分含有率を調査した。また、収穫終了後に1処理区当たり4株の茎葉について養分含有率を調査した。なお、収穫茎葉重量について、栽培期間中に取り除いたわき芽等は考慮に入れなかった。

土壌は、栽培開始前および栽培終了ごとに、各処理2連からそれぞれ2点ずつ採取し分析に供した。1点の試料は、およそ作物5株分に相当する隔離床の長さ1 m分の土壌から、三角鍬でよく混和した後に採取した。

5) 分析方法

葉柄汁液はイオンクロマトグラフ (DX-120, Dionex 製) 法でリン酸イオン濃度を測定した。

メロンおよびトマトの茎葉は、いったん80°Cで粗乾燥し粉碎後100°Cで通風乾燥して乾物生産量を求めた。また、NCアナライザー (Sumigraph NC-900, 住化分析センター製) により窒素含有率を、乾式灰化-ICP (SPS-3000, セイコーインスツルメンツ製) 法によりリンおよび塩基 (カリウム, マグネシウム, カルシウム) 含有率を求めた。

メロンおよびトマトの果実は、70°Cで通風乾燥したのち乾物生産量を求め、湿式分解-ケルダール (2300 Kjeltec, Tecator 製) 法により窒素含有率を、乾式灰化-ICP法によりリンおよび塩基含有率を求めた。

土壌はトルオーグリン酸含量をオートアナライザー (Traacs-800, ブラウンルーベ製) で測定した。

6) 統計解析

統計解析は、処理区間で分散分析を行い、 $p < 0.05$ のものについて Tukey-Kramer の HSD 検定を行った。5%水準で有意差が認められた場合には、図表中に異なるアルファベットを付し、 $p > 0.05$ の場合にはすべての処理に同じアルファベットを付した。

3. 結 果

1) 土壌のリン酸含量の推移

図1に土壌のトルオーグリン酸含量の推移を示した。1作目メロンおよび2作目トマト栽培後においては、液肥からリン酸を施用しなかったNK区ではトルオーグリン酸含量は減少傾向にあり、液肥からリン酸を施用したNPK区および複合区ではトルオーグリン酸含量が増加傾向にあった。2作目トマト栽培後におけるトルオーグリン酸含量は、試験開始前に比べてNK区で17～53%減少したのに対し、NPK区および複合区では2～518%増加した。

2) 葉柄汁液のリン酸濃度

図2にメロンおよびトマトの汁液中リン酸濃度の推移を示した。1作目のメロン摘果時の汁液中リン酸濃度は、 $54 \sim 206 \text{ mg PO}_4\text{-P L}^{-1}$ の範囲にあった。NK-50区では他の区に比べてリン酸濃度は有意に低く、その他の処理間に有意な差は認められなかった。

2作目トマトの1段果房直近の葉柄汁液濃度は $17 \sim 293 \text{ mg PO}_4\text{-P L}^{-1}$ の範囲にあった。NK-50区とNK-200区では $17 \sim 40 \text{ mg PO}_4\text{-P L}^{-1}$ と特に低く、NK-500区でも $142 \text{ mg PO}_4\text{-P L}^{-1}$ と低い傾向にあった。NK-1000区とNPK区および複合区との間に有意な差は認められなかった。

さらに生育が進んだ5段果房直近の葉柄汁液濃度は $8 \sim 246 \text{ mg PO}_4\text{-P L}^{-1}$ の範囲にあった。NPK区と複合区との間には、1段果房と同様に土壌のトルオーグリン酸含量にかかわらず有意な差は認められなかったが、NK区ではたとえNK-1000区においても、NPK区や複合区より

もリン酸濃度は有意に低かった。

3) 作物の収量と養分吸収量

表3にメロンおよびトマトの収量と果実糖度を示した。1作目メロンの1果重はNK-50区で他の区に比べて有意に低く、その他の区では有意な差は認められなかった。果実糖度はリン酸施用量の少ないNK-50区、NK-200区でやや高い傾向にあった。

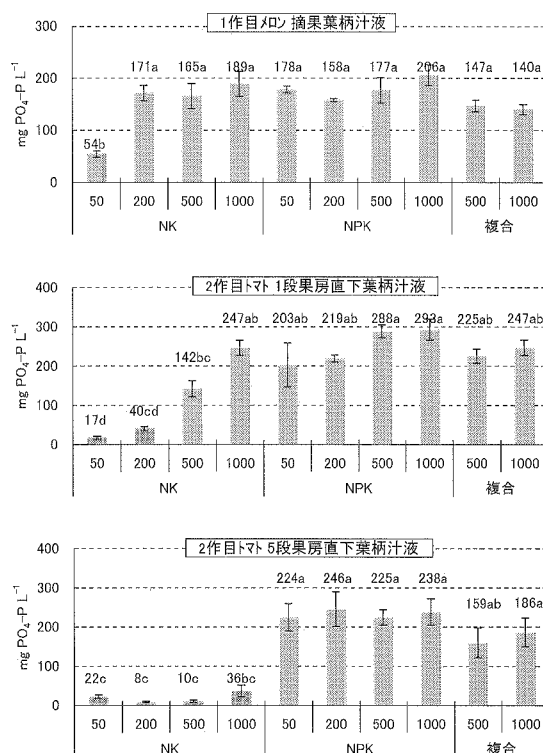


図2 メロンおよびトマトの汁液中リン酸濃度
エラーバーは標準誤差を示す。分散分析を行い、 $p < 0.05$ のものについて Tukey-Kramer の HSD 検定を行った。異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す（以下同様）。

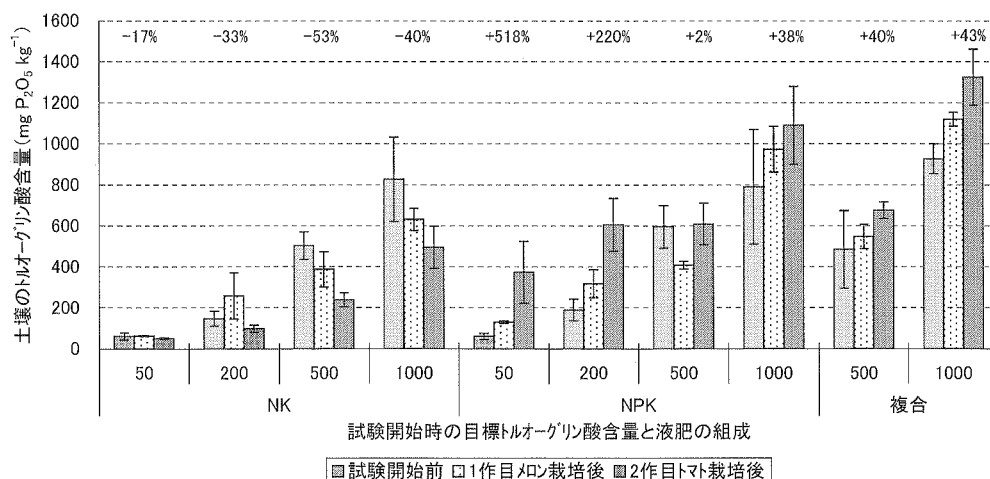


図1 土壌のトルオーグリン酸含量の推移

エラーバーは標準誤差を示す。グラフ内の数字は、試験開始前に対する2作目トマト栽培後のトルオーグリン酸含量の増減割合を示す。

表 3 メロンおよびトマトの収量と果実糖度

		1 作目メロン		2 作目トマト				
		1 果重 (g)	糖度 (Brix)	可販果収量 (g 株 ⁻¹)	可販果 1 果重 (g)	果実個数 (個 段 ⁻¹)	糖度(2 段) (Brix)	糖度(5 段) (Brix)
NK	50	1,312 b	15.9 ab	2,020 b	133 c	3.2 b	6.1 a	6.2 a
	200	1,502 a	16.3 a	2,594 a	149 bc	3.6 a	5.6 ab	5.8 abc
	500	1,509 a	15.4 abc	2,752 a	162 ab	3.6 a	5.2 bc	5.6 bc
	1000	1,565 a	15.6 abc	2,973 a	175 a	3.7 a	5.3 bc	5.5 bc
NPK	50	1,540 a	15.1 abc	2,784 a	158 ab	3.7 a	5.0 c	5.6 bc
	200	1,571 a	15.2 abc	2,768 a	160 ab	3.7 a	5.1 bc	5.5 bc
	500	1,573 a	14.5 c	2,813 a	163 ab	3.6 a	5.1 bc	5.3 c
	1000	1,496 a	15.0 abc	2,822 a	165 ab	3.7 a	5.3 bc	5.7 abc
複合	500	1,480 a	15.5 abc	2,750 a	166 ab	3.5 ab	5.1 bc	5.9 ab
	1000	1,557 a	14.7 bc	2,807 a	161 ab	3.8 a	5.3 bc	5.8 abc

表 4 メロンおよびトマトの地上部養分吸収量

(g 株⁻¹)

		1 作目メロン					2 作目トマト				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
NK	50	4.29 b	0.62 c	8.69 a	2.14 a	8.42 c	4.73 c	0.61 b	8.45 c	2.80 ab	6.48 ab
	200	5.04 ab	1.09 c	9.08 a	2.46 a	10.50 ab	6.85 b	1.24 b	12.65 b	3.39 a	8.52 a
	500	5.20 ab	1.92 b	10.34 a	2.47 a	10.87 ab	7.39 ab	1.87 b	14.17 ab	2.31 bc	6.71 bc
	1000	5.67 ab	2.66 a	10.13 a	2.58 a	11.66 a	9.03 a	4.43 a	17.68 a	2.12 bcd	7.29 bcd
NPK	50	4.75 ab	2.04 ab	9.42 a	1.99 a	9.28 bc	8.83 ab	5.37 a	17.56 a	1.64 cd	5.90 cd
	200	4.98 ab	2.30 ab	9.22 a	2.20 a	10.16 abc	7.90 ab	5.13 a	17.25 a	1.52 cd	5.85 cd
	500	5.23 ab	2.57 ab	9.86 a	2.34 a	10.88 ab	7.56 ab	4.59 a	15.26 ab	1.49 d	5.39 d
	1000	4.79 ab	2.38 ab	9.56 a	2.15 a	10.08 abc	8.08 ab	5.14 a	16.55 ab	1.64 cd	6.35 cd
複合	500	5.31 ab	2.45 ab	10.21 a	2.14 a	9.61 bc	8.22 ab	4.69 a	15.72 ab	1.67 cd	6.22 cd
	1000	5.73 a	2.64 a	9.63 a	2.24 a	10.46 ab	7.99 ab	4.93 a	15.79 ab	1.55 cd	6.10 cd

2 作目トマトの可販果収量 (1~5 段) は 1 作目メロンと同様に NK-50 区で他の区に比べて有意に低く, その他の区では有意な差は認められなかった. 可販果 1 果重は 133~175 g の範囲にあり, NK-50 区と NK-200 区で 133~149 g と小さい傾向にあった. 果実個数は 1 段当たり 4 果を目標に摘果したが, 1 段当たり 3.2~3.8 個の範囲にあり, NK-50 区で少なかった. 糖度は 5.0~6.2 度の範囲にあり, 1 作目メロンと同様に NK-50 区, NK-200 区でやや高い傾向にあった.

表 4 にメロンおよびトマトの養分吸収量を示した. 1 作目メロンにおいて, リン酸の吸収量は NK-50 区と NK-200 区で 0.62~1.09 g P₂O₅ 株⁻¹ と特に少なく, 他の区に比べて有意な差が認められた. また, NK-500 区でも 1.92 g P₂O₅ 株⁻¹ と少ない傾向にあった. NK-1000 区と NPK 区, 複合区との間に有意な差は認められなかった. これは主に乾物生産量よりもリン酸含有率が低いことに起因しており, 乾物生産量は NK-50 区では 187 g 株⁻¹ と低かったが, その他の区では 201~227 g 株⁻¹ であったのに対し, リン酸 (P₂O₅) 含有率は, NK-50, 200, 500 区でそれぞれ 0.33, 0.51, 0.85% と低く, NPK および複合区では 1.02~1.27% の範囲にあった. 窒素およびカルシウムの吸収量は NK-50 区で有意に少なく, カリウムおよびマグネシウム吸収量に差は認められなかった.

2 作目トマトにおいて, リン酸吸収量は NK-50 区,

NK-200 区, NK-500 区では 0.61~1.87 g P₂O₅ 株⁻¹ の範囲にあり, 他の区に比べて有意に少なかった. また, 1 作目メロンと同様に, NK-1000 区と NPK 区, 複合区との間に有意な差は認められなかった. これは主に乾物生産量よりもリン酸含有率が低いことに起因しており, 乾物生産量は NK-50 区では 195 g 株⁻¹ と低かったが, その他の区では 243~287 g 株⁻¹ の範囲にあるのに対し, リン酸 (P₂O₅) 含有率は, NK-50, 200, 500 区でそれぞれ 0.31, 0.47, 0.77% と低く, NPK および複合区では 1.74~1.99% の範囲にあった. 窒素およびカリウム吸収量は, NK-50 区で有意に少なく, マグネシウムおよびカルシウム吸収量は全体的に NK 区で多い傾向が認められた.

4. 考 察

1) トルオーグリン酸含量と作物の収量, 養分吸収量

本試験における作物の生育について, メロンは 1 果重が約 1,500 g, 糖度は約 15.3 度であり, 収量的にも品質的にも十分なものが得られた. トマトについても, 約 160 g の果実が各段当たり 3.6 果得られ, 糖度は 5.0~6.2 度と収量的にも品質的にも十分なものが得られた. ハウス 10 a 当たり 2,243 株定植したので, 10 a 当たりの収量はメロンで約 3,365 kg, トマトで約 6,280 kg と計算され, 神奈川県と同様の作型における目標収量⁹⁾である, メロンの 2,500 kg, トマトの 6,000 kg も満たしていた. したがっ

て、本試験では概ね平均以上の収量が得られたと考えられる。

作物の収量は、NK-50 区で低く、その他の区では有意な差は認められなかったことから、定植時にトルオーグリン酸で $200 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 程度のリン酸があれば、液肥からリン酸を施用しなくても一定の収量が確保できると考えられた。

一方リン酸吸収量は、収量に差が認められなかった NK-200 区、NK-500 区においても、NPK 区や複合区に対して有意に少なく、収量に反映しないまでも潜在的なリン酸欠乏状態にあったと考えられた。また、同じトルオーグリン酸含量レベルにおける NK 区と NPK 区とのリン酸吸収量の差から、施肥リン酸の利用効率を算出すると、メロンとトマトの平均で、トルオーグリン酸含量が 50, 200, 500, 1,000 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ のとき、それぞれ 19.5, 16.2, 10.4, 0.5% であり、トルオーグリン酸含量が 1,000 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ のときには施肥リン酸の利用率は非常に低かった。したがって、定植前の土壌診断によって、トルオーグリン酸含量が、500 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 以下であれば、液肥からのリン酸供給の効果があり、1,000 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 以上であれば、液肥からのリン酸の供給は不要であると考えられた。

トルオーグリン酸含量と作物の収量については、数多くの試験が行われており、リン酸肥料の施肥の必要性について、山本・後¹⁴⁾は 1,000 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 以上、小川¹⁵⁾や北村¹⁶⁾は 500 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 以上では肥料効果が低いと整理している。特に北村らは、³²P ラベルしたリン酸一カルシウムを用いて、500 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 以上に富化した土壌における施肥リン酸の効果は非常に低いことを詳細に報告しているが、本試験においては NK-500 区においてもメロンおよびトマトのリン酸吸収量は有意に低かった。この原因として、点滴灌水施肥栽培では前報¹⁰⁾の通り、根が吐出孔付近に偏っているために、土壌全体のリン酸を利用できないことが考えられた。したがって、点滴灌水施肥栽培においては、土壌の養分含量を慣行施肥栽培よりも高めに設定する必要があると考えられる。

2) 液肥の組成と土壌のトルオーグリン酸含量の推移

液肥からリン酸を施用しなかった NK 区では、作を重ねるごとに土壌のトルオーグリン酸含量は減少した。神奈川県土壌診断基準（施設：200～800 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ）に比べて試験前は 826 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ と過剰であった NK-1000 区において、トマト跡地では 495 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ と適正域に達していた。この減少分は、1 株当たりの土壌容量が 26 L で土壌の乾燥密度を 590 kg m^{-3} とすると 5.1 $\text{g P}_2\text{O}_5 \text{ 株}^{-1}$ に相当し、実際のメロンおよびトマトの合計吸収量である 7.1 $\text{g P}_2\text{O}_5 \text{ 株}^{-1}$ と同レベルにあった。NK-500 区においても、土壌リン酸の減少量は 4.1 $\text{g P}_2\text{O}_5 \text{ 株}^{-1}$ に相当し、実際のメロンおよびトマトの合計吸収量 3.8 $\text{g P}_2\text{O}_5 \text{ 株}^{-1}$ と同レベルにあった。したがって、1 株当たりの土壌量と作物のリン酸吸収量からトルオーグリン酸含量

の推移を推定でき、リン酸の施肥設計を長期的に計画できると考えられた。

液肥からリン酸を施用した NPK 区および複合区では、作を重ねるごとに土壌のトルオーグリン酸含量は増加し、その増加量は平均で 272 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ であった。2 作合計の作物吸収量は 7.4 $\text{g P}_2\text{O}_5 \text{ 株}^{-1}$ であったのに対し、施肥量はその約 4 倍の 28.8 $\text{g P}_2\text{O}_5 \text{ 株}^{-1}$ と多く、その差分がすべてトルオーグリン酸に反映したとすれば、1,395 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ 増加する計算となる。しかし、実際の増加量はそのおよそ 2 割に過ぎず、大部分の施肥リン酸は土壌に固定化されたと考えられた。このように施肥リン酸は単純にトルオーグリン酸含量に反映しないが、施肥リン酸の有効化率を考慮することでその推移が推測可能であることが報告されている¹⁷⁾。また、本試験ではリン酸吸収係数が大きいアロフェン質黒ボク土を用いたが、他の土壌であれば、施肥リン酸の土壌への固定量はもっと少なく、トルオーグリン酸の集積量はさらに顕著に表れたものと推測される。

液肥からリン酸を施用しないことは、肥料コストの低減やトラブルの回避にもつながる。コストの低減は、もちろんリン酸を加えないことによる単純なリン酸のコスト分も反映されるが、リン酸を加えない場合には単肥配合が基本となるため、複合肥料との価格差によるコストの低減も期待できる。複合肥料はあらかじめバランスよく肥料が配合されており、手間やリスクが少ない一方で配合コストがかかっており、単肥配合に切り替えることによりコストが約 60% 低下する事例が報告されている¹⁸⁾。

点滴灌水施肥栽培のように、水に溶かして用いる肥料は、純度を高めて不純物を少なくする必要があるため、精製工程にコストがかかり、それが肥料価格に反映される。したがって、肥料コストの観点からは、点滴灌水施肥栽培において、土壌のリン酸を一般的な土耕栽培用の肥料を施して一定のレベルに保ち、土壌からの供給を主体に考えて、液肥からのリン酸の施用を控えるほうが有利であろう。養液栽培においてはしばしばリン酸カルシウムの沈殿が生じ¹⁹⁾、これが点滴灌水の吐出孔の目詰まりを引き起こすことが多いので、リン酸の液肥からの供給を控えることによって日常の灌水作業のトラブルを回避することにもつながると考えられる。ただし、生育初期の根系が未発達な時期には、水溶性リン酸が作物の生育に必要なことが知られており²⁰⁾、定植苗の大きさや苗のリン酸栄養状態によっては、配慮する必要がある。

3) 葉柄汁液のリン酸濃度によるリアルタイム診断

リアルタイム診断は栽培現場で迅速に施肥の加減を判断できる手法として用いられている。方法は土壌あるいは土壌溶液を分析するものと、作物の葉色や葉柄汁液濃度を測定するものとに大別されるが、灌水同時施肥栽培のように肥料を局所的に与える栽培については、土壌の養分含量が不均一であり、作物自体を分析するほうがより信頼できる結果が得られると考えられる。葉柄汁液のリアルタイム診断は、硝酸濃度による報告が多いが^{21～23)}、リン酸に関す

るものも報告されており、診断基準値もいくつか提案されている^{24,25)}。

本試験において、1 作目メロンの摘果葉柄汁液のリン酸濃度と果実の収量およびリン吸収量とはよく対応しており、摘果葉柄汁液のリン酸濃度による診断の有用性が示された。140~206 mg P L⁻¹ では収量に問題はなく、54 mg P L⁻¹ では収量性が劣ったことから、春夏作のアールスメロンの診断基準として、摘果汁液中リン酸濃度 150 mg P L⁻¹ が適当であると考えられた。

2 作目トマトにおいて、1 段果房直下の葉柄汁液中リン酸濃度は NK 区で土壤のリン酸含量に応じて差が認められ、さらに生育が進んだ 5 段果房直下の葉柄汁液において NK 区全体のリン酸濃度が低かったことは、メロンと同様にリン酸の栄養状態をよく反映していると考えられた。収量は NK-50 区で有意に低く、NK-200 区でもやや低めであった。この 2 区の 1 段果房直下の葉柄汁液中リン酸濃度は、40 mg P L⁻¹ 以下であり、その他の区では 142~293 mg P L⁻¹ の範囲にあったことから、秋冬作トマトの 5 段栽培における 1 段果房直下の葉柄汁液中リン酸濃度の診断基準として、200 mg P L⁻¹ が適当であると考えられた。

リンの吸収量は NK-50, NK-200, NK-500 区で有意に少なく、5 段以上の長段栽培を行った場合には、これらの区でもリン酸不足によって収量が低下することが推測された。また、NK-1000 区においてはリン酸吸収量にも差は認められなかったが、5 段果房直下の葉柄汁液中リン酸濃度は低く、同様に長段栽培ではいずれリン酸が不足すると考えられた。このとき NK 区の 5 段果房直下の葉柄汁液中リン酸濃度は 36 mg P L⁻¹ 以下であり、この濃度レベルではリン酸が不足すると判断される一方で、NPK および複合区では 159~246 mg P L⁻¹ の範囲にあり、長段栽培における 5 段果房直下の葉柄汁液中リン酸濃度の診断基準として、150~200 mg P L⁻¹ が目安になると考えられた。

2 作目トマト栽培後の土壤のトルオーグリン酸含量は、NK-1000 区と NPK-50 区とも 373~495 mg P₂O₅ kg⁻¹ と同程度であるが、5 段果房直下の葉柄汁液中リン酸濃度は、NK-1000 区で 36 mg P L⁻¹、NPK-50 区で 224 mg P L⁻¹ と大きく異なった。このことは、吐出孔付近に根が集中している¹⁰⁾ ことを反映しており、点滴灌水施肥栽培において栽培期間中のリアルタイム診断は、土壤を対象とすると養分分布や根の分布が不均一であるため診断の信頼性が低く、それらを総合的に判断できる作物を対象とするべきであると考えられた。

灌水同時施肥栽培の大きなメリットは、栽培期間中に簡単に施肥量を加減できることである。作前の土壤分析による診断だけでなく、栽培期間中の葉柄汁液分析による診断を併用させることによって、作物のリン酸栄養を保ちながら、リン酸の集積や肥料コストを低減でき、リン酸の適正施肥が確立できると考えられる。

5. 要 約

点滴灌水施肥栽培において、土壤のリン酸含量と液肥からのリン酸施用の有無が、メロンおよびトマトの生育に及ぼす影響について検討した。土壤はリン酸吸収係数の高いアロフェン質黒ボク土を用いた。

1) メロン (1 果取り) およびトマト (5 段栽培) の収量は、土壤のトルオーグリン酸含量がおおよそ 200 mg P₂O₅ kg⁻¹ 以上であれば、液肥からのリン酸施用の有無によらず同等であった。

2) メロンおよびトマトのリン吸収量は、土壤のトルオーグリン酸がおおよそ 1,000 mg P₂O₅ kg⁻¹ であれば、液肥からのリン酸施用の有無によらず同等であった。

3) 施設土壤によく見られるリン酸富化土壤では、液肥からのリン酸の利用率は非常に低く、液肥からリン酸を供給する必要がないと考えられた。液肥からリン酸を供給しないことによって、土壤のリン酸含量が減少し、肥料コストも抑えられた。

4) リン酸の栄養診断基準値として、春夏メロン摘果葉柄汁液で 150 mg P L⁻¹ が適当であった。秋冬作の 5 段栽培トマトでは、果房肥大時における果房直下葉柄汁液を対象とした場合、1 段果房で 200 mg P L⁻¹ が適当であった。

5) 葉柄汁液のリン酸濃度はリン酸栄養をよく反映しており、作前の土壤診断と栽培期間中の葉柄汁液診断から液肥組成を調整することによって、灌水同時施肥栽培による適正施肥が可能になる。

謝 辞：本調査にあたり、栽培および分析にご協力いただいた、(株)全農ビジネスサポート平塚支店肥料チームの伊藤拓郎リーダーをはじめとする皆様に深く感謝する。また、本論文の高閱を賜った越野正義氏に深く感謝する。

文 献

- 1) 小田部廣男：世界のリン資源とわが国の農業、農及園，**57**，126~132 (1982)
- 2) 越野正義：リンの循環利用とその展望，再生と利用，**26**，6~12 (2003)
- 3) IFA: PHOSPHATE ROCK STATISTICS 2004, International Fertilizer Industry Association, Paris (2005)
- 4) 小原 洋・中井 信：農耕地土壤の可給態リン酸の全国的変動，土肥誌，**75**，59~67 (2004)
- 5) 神奈川県作物別肥料施用基準 (15 訂版)，<http://www.pref.kanagawa.jp/osirase/nogyosinko/sehi16/h16mokuji.htm> (2004)
- 6) 二見敬三・藤井 浩：土壤蓄積リン酸が大豆の生産性と養分吸収に及ぼす影響，兵庫農総セ研報，**33**，21~26 (1985)
- 7) 加藤俊博・武井昭夫：園芸作物に対する土壌りん酸の適正範囲 (第 1 報) 土壌りん酸濃度が温室メロンの生育，収量，品質に及ぼす影響，愛知農総試研報，**20**，252~259 (1988)
- 8) 村上圭一・中村文子・後藤逸男：土壌のリン酸過剰とアブラナ科野菜根こぶ病発病の因果関係，土肥誌，**75**，453~457 (2004)
- 9) 渡辺和彦：原色野菜の要素欠乏・過剰症，p. 59~60，農文

- 協, 東京 (2002)
- 10) 林 康人・新妻成一・久保省三：点滴灌水施肥（養液土耕）栽培における液肥の種類と土壌のリン酸・塩基改良が作物の生育に及ぼす影響, 土肥誌, **76**, 145~152 (2005)
 - 11) 青木宏史・梅津憲治・小野信一：養液土耕栽培の理論と実際, p. 100~101, 誠文堂新光社, 東京 (2001)
 - 12) 林 康人・新妻成一・久保省三：点滴灌水施肥（養液土耕）栽培における基肥の必要性, 基肥窒素がトマトの初期生育に及ぼす影響, 土肥誌, **74**, 813~816 (2003)
 - 13) 六本木和夫・加藤俊博：野菜・花卉の養液土耕, p. 153, 農文協, 東京 (2000)
 - 14) 山本哲靖・後 俊孝：マサ土における蓄積リン酸が野菜の生育・収量に及ぼす影響, 広島農技セ研報, **66**, 1~6 (1998)
 - 15) 小川昭夫：畑土壌におけるりん酸肥沃度の諸問題 [3] 2. 可給態りん酸の適正水準と上限値, 農及園, **63**, 1025~1031 (1988)
 - 16) 北村秀教・今泉諒俊・沖村逸夫：りん酸富化土壌における施肥りん酸の肥効 (第1報) 初期生育における施肥りん酸の肥効, 愛知農総試研報, **14**, 271~277 (1982)
 - 17) 北村秀教・今泉諒俊：同上 (第3報) りん酸施用量と有効態りん酸の集積, 同上, **17**, 288~295 (1985)
 - 18) 青森県指導参考資料：バラ養液栽培の単肥配合によるコスト低減, 平成14年度 (2002)
 - 19) 金子文宜・大橋 武：養液栽培培地におけるリン酸一水素カルシウムなどの沈でん生成機構とその防止対策, 土肥誌, **64**, 303~311 (1993)
 - 20) 藤原彰夫・岸本菊夫：燐と植物, 燐の農学と農業技術 (I), p. 55~102, 博友社, 東京 (1988)
 - 21) 山田良三・加藤俊博・井戸 豊・関 稔・早川岩夫：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) 葉柄汁液の NO_3^- 濃度に基づく診断基準の作成, 愛知農総試研報, **27**, 205~211 (1995)
 - 22) Coltman, R. R.: Yields of greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. *HortScience*, **23**, 148~151 (1988)
 - 23) Taber, H. G.: Petiole sap nitrate sufficiency values for fresh market tomato production. *J. Plant Nutr.*, **24**, 945~959 (2001)
 - 24) 建部雅子・細田洋一・笠原賢明・唐澤敏彦：馬鈴薯の葉柄汁液を用いた栄養診断, 土肥誌, **72**, 33~40 (2001)
 - 25) 六本木和夫：リアルタイム土壌・作物診断技術と現場での適用, 圃場と土壌, **36**, 10~18 (2003)

Optimization of Nutrient Supply in Drip-Application (Fertigation) Culture

1. Phosphorus Application Adjusted with the Soil Phosphorus Status

Yasuhito Hayashi, Masahiko Katoh, Arata Kobayashi and Shozo Kubo
(JA ZEN-NOH R&D Cent.)

In the drip-application (fertigation) culture, plant nutrients are supplied both from nutrient solution and from soil media. In this study, the effect of phosphorus contents in the soil or in the nutrient solution on the growth of melon (*Cucumis melo*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) was examined. The soil used in this study was allophanic andosol which had high phosphorus fixation capacity. 1) When the Truog-P content was approximately 200 mg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ or more in the soil, the yield of melon (one fruit per plant) and tomato (in the fifth cluster stage culture) was almost the same regardless of the phosphorus contents in the nutrient solution. 2) When the Truog-P content was approximately 1000 mg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ or more in the soil, the absorption of phosphorus in melon and tomato was almost the same regardless of the phosphorus contents in the nutrient solution. 3) In the soil highly enriched with the phosphorus as frequently observed in farmers' greenhouse soils, there is no need to supply any further phosphorus in the nutrient solution because its recovery is very low. Curtailment of phosphorus is certainly helps to make the soil phosphorus status more appropriate and to reduce the fertilizer cost for the farmers. 4) As to the nutritional diagnostic criteria for the phosphorus concentration, we propose 150 mg P L^{-1} in the sap of melon petioles collected at the thinning in the spring-summer season, and 200 mg P L^{-1} in the sap of tomato petioles just under the first cluster fruits of 2-3 cm diameter in the fifth cluster stage culture in autumn-winter season. 5) Phosphorus concentration of the petiole sap reflected the phosphorus nutritional status very well. Therefore, by adjusting the nutrient composition of the solution with the soil testing before planting and with petiole sap diagnosis during the plant growth periods, we can achieve the optimized fertilization in the drip-application culture.

Key words drip-application, fertigation, melon, phosphorus, tomato

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., **77**, 555-561, 2006)