

夏秋どりトマトの点滴灌水施肥(養液土耕)における果実生産と施肥窒素利用率からみた生育時期別の適正窒素施肥量

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	坂口,雅己 日笠,裕治 中住,晴彦
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	84巻1号
掲載ページ	p. 11-20
発行年月	2013年2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



夏秋どりトマトの点滴灌水施肥（養液土耕）における果実生産と施肥窒素利用率からみた生育時期別の適正窒素施肥量*

坂口雅己^{1,2}・日笠裕治^{1,3}・中住晴彦^{1,3}

キーワード 点滴灌水施肥（養液土耕）、トマト、窒素、施肥窒素利用率

1. はじめに

点滴灌水施肥（以下、養液土耕）は点滴チューブを用いて作物の株元に肥料と水を同時に与える栽培法であり、作物の生育に合わせて過不足なく施肥することにより、施設栽培における土壌の塩類集積を防ぐ有効手段となる。施設野菜の養液土耕については主に果菜類を対象として施肥法や灌水法の研究が行われてきた。そのうち施肥法の研究では慣行施肥に対する減肥の可能性（玉井・大西, 2002; 山崎・六本木, 2002; 荒木, 2007）や土壌からの窒素供給量に基づく施肥法（荒木ら, 2005; 満田ら, 2005）が報告されている。また、国内の公的機関により各作物における養水分管理指針が設定されており、トマトに限定しても報告数は少なくない（上山ら, 2004; 國田ら, 2004; 山田ら, 2005; 玉井, 2005）。

養液土耕においても養分供給の過不足は塩類集積あるいは不十分な生育を招くため（Bar-Yosef 1999）、作物の生育時期ごとの養分要求量に合わせた施肥量を設定する必要がある。施肥量の設定に当たっては、環境負荷低減の観点から施肥量が収量のほかに養分の吸収量および利用率に与える影響を把握することが重要である。施設野菜の養液土耕における既往の報告では適正施肥量や土壌および葉柄汁液の適正範囲などが提案されているが、窒素施肥量が果実生産や施肥窒素利用率に与える影響については十分解明されていない。これは、既往の報告において無窒素区を設定していないなど施肥利用率を解析できない事例や、無窒素区を設定していても土壌からの窒素供給が潤沢であるため窒素施肥量の増減が収量や窒素吸収量を反映しにくい事例が多かったためである。

一方、除塩を行った隔離床（林ら, 2003）や土壌の残存

無機態窒素が少ない露地栽培（安・池田, 2009; 植田ら, 2009）では、トマト、ナスおよび葉菜類を対象に養液土耕における窒素施肥量の増減が窒素吸収量や施肥窒素利用率に与える影響を表現できている。施設栽培土壌において施肥と養分吸収との関係を正確に把握するためには、土壌からの窒素供給を低く抑えた条件で施肥試験を行う必要がある。

本報では、硝酸態窒素残存量を少なく抑えたハウスにおいて、夏秋どりトマトにおける養液土耕が果実生産に与える影響を慣行施肥と比較するとともに、養液土耕における施肥窒素利用率を算出し、各生育時期における適正窒素施肥量を設定することを目的とした。

2. 材料および方法

1) 耕種概要

試験は2002年と2003年に北海道北斗市道南農業試験場のビニールハウス圃場において実施した。供試圃場は中粒質普通褐色低地土であり、土壌化学性は表1に示した。

品種は「ハウス桃太郎」を供試した。播種日は2002年は3月19日、2003年は3月18日とし、定植日は2002年は5月15日、2003年は5月14日とし、第1花房が1ないし2花開花した苗を定植した。整枝は主枝1本仕立てとし、第7花房の開花期にその上位の葉2枚を残して摘心した。収穫始めは7月中旬であり、9月中・下旬に収穫を終了した。栽植様式はベッド幅120 cmの2条植え、通路80 cm、株間30 cmで、栽植密度は33,300株 ha⁻¹とした。灌水チューブは養液土耕区は点滴チューブ（ラム17吐出口間隔30 cm）、慣行施肥区は散水チューブ（スミチューブ）を用いた。トマトの株と灌水チューブの位置は図1に示した。試験規模は1区6~9 m²（20~30株）、2反復で行った。

2) 試験処理

点滴チューブで液肥を灌水する養液土耕区、点滴チューブで水のみを灌水する点滴無肥料区および基肥を全面全層に施し散水チューブで灌水や追肥を行う慣行施肥区を設けた。各処理区における時期別窒素施肥量および窒素、リン、カリウムの総施肥量を表2に、養液土耕区および慣行施肥区における積算窒素施肥量の推移（2003年の例）を図2に示した。

トマトの生育時期を、定植から第1果房の果実がピンボ

* 本報の一部は、日本土壌肥料学会2004年度福岡大会において発表した。

¹ 北海道立道南農業試験場（041-1201 北斗市本町680番地）

² 現在、北海道原子力環境センター（045-0123 岩内郡共和町宮丘261番地1）

³ 現在、地域独立行政法人北海道総合研究機構農業研究本部中央農業試験場（069-1395 夕張郡長沼町東6線北15号）
Corresponding Author: 坂口雅己

2012年4月24日受付・2012年10月16日受理

日本土壌肥料学雑誌 第84巻 第1号 p.11~20 (2013)

表1 供試圃場の土壌化学性 (栽培前, 0~20 cm 深)

年次	pH (H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	硝酸態窒素 (mg kg ⁻¹)	熱水抽出性窒素 ¹⁾ (mg kg ⁻¹)	可給態 P ²⁾ (mg kg ⁻¹)	交換性塩基 (mg kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
2002年	6.7	0.14	2	49	119	240	3102	331
2003年	6.4	0.15	0	48	119	169	3325	345

¹⁾ 熱水抽出性窒素はオートクレーブで 105 °C, 1 時間加熱抽出 (道立中央農試, 1992).

²⁾ 可給態 P はトルオーグ法による.

ン球大になった日 (以下, 第1果房肥大期) までを「I 期」, 第1果房肥大期から摘心までを「II 期」, 摘心後1ヶ月間を「III 期」と分け, 養液土耕区では各期について施肥量を変更する処理を行った.

予備試験において, 第1果房肥大期 (定植後約20日) および第5果房肥大期 (定植後約70日) の窒素吸収量は, およそ30および180 kg-N ha⁻¹であったことから, 養液土耕区の標準区を, I 期は1.5 kg-N ha⁻¹ d⁻¹ (期間中約30 kg-N ha⁻¹), II 期は3.0 kg-N ha⁻¹ d⁻¹ (期間中約150 kg-N ha⁻¹), III 期は1.5 kg-N ha⁻¹ d⁻¹ (期間中約45 kg-N ha⁻¹) と設定した. また, 比較のために, I 期について0.75, 3.0 kg-N ha⁻¹ d⁻¹とした区 (それぞれ養液土耕0.75-3.0-1.5区, 養液土耕3.0-3.0-1.5区), II 期について1.5, 6.0 kg-N ha⁻¹ d⁻¹とした区 (それぞれ養液土耕1.5-1.5-1.5区, 養液土耕1.5-6.0-1.5区), III 期について0, 3.0 kg-N ha⁻¹ d⁻¹とした区 (それぞれ養液土耕1.5-3.0-0区, 養液土耕1.5-3.0-3.0区) を設け, 合計7処理とした (表2). 養液土耕区の肥料は期間を通じて OKF-3 (大塚化学,

N-P-K: 140-35-208 g kg⁻¹) を用いた.

慣行施肥区の総窒素施肥量は北海道の施肥標準 (北海道農政部, 2010) に従い 300 kg-N ha⁻¹とした. 基肥について, 窒素は硫酸を用いて 100 kg-N ha⁻¹, リンは重過石を用いて 87 kg-P ha⁻¹ (200 kg-P₂O₅ ha⁻¹), カリウムは硫酸を用いて 166 kg-K ha⁻¹ (200 kg-K₂O ha⁻¹) を施用した. 追肥の肥料はハイエクス (日産化学工業, N-P-K: 200-0-166 g kg⁻¹) を用いて1回当たりの窒素およびカリウム追肥量を 40 kg-N ha⁻¹ および 33.2 kg-K ha⁻¹ (40 kg-K₂O ha⁻¹) とした. 追肥時期は第1~5果房の肥大期毎に合計5回行なった.

2002年の栽培終了後, 残存窒素の影響を極力排除するため2002年10月にライ麦を播種し, 翌年の4月に刈り取り, 圃場外へ持ち出した.

3) 灌水量および土壌水分ポテンシャルの測定

養液土耕区および点滴無肥料区における灌水 (養液土耕区では同時施肥) は1日1回, 午前9時から11時の間に行った. 日灌水量について2002年は定植から第1果房肥大期まで6 kL ha⁻¹ d⁻¹とし, 以降は6~20 kL ha⁻¹ d⁻¹とした. 2003年の日灌水量は, 定植から第1果房肥大期まで6 kL ha⁻¹ d⁻¹とし, 以降は15 kL ha⁻¹ d⁻¹とした. 栽培期間中の総灌水量は2002年は1,743 kL ha⁻¹, 2003年は1,683 kL ha⁻¹となった (図3). 慣行施肥区の灌水量は週1回程度, およそ67 kL ha⁻¹ (ベッド面積換算で11 mm相当) の灌水を行い, 栽培期間中の総灌水量は2002年は1,000 kL ha⁻¹, 2003年は1,323 kL ha⁻¹となった. トマト株間中間点にテンシオメータ (Daiki 製) を設置し (図1), 深さ20cmの土壌水分ポテンシャル指示値を週1~

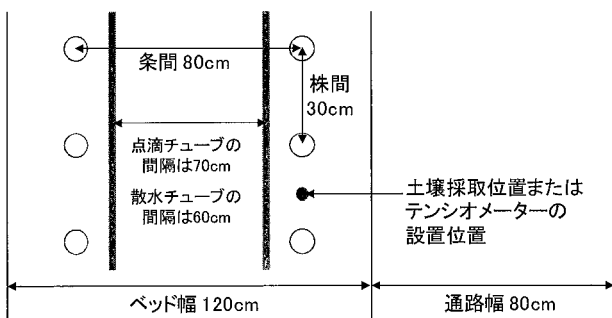


図1 トマト株と灌水チューブおよび土壌採取位置

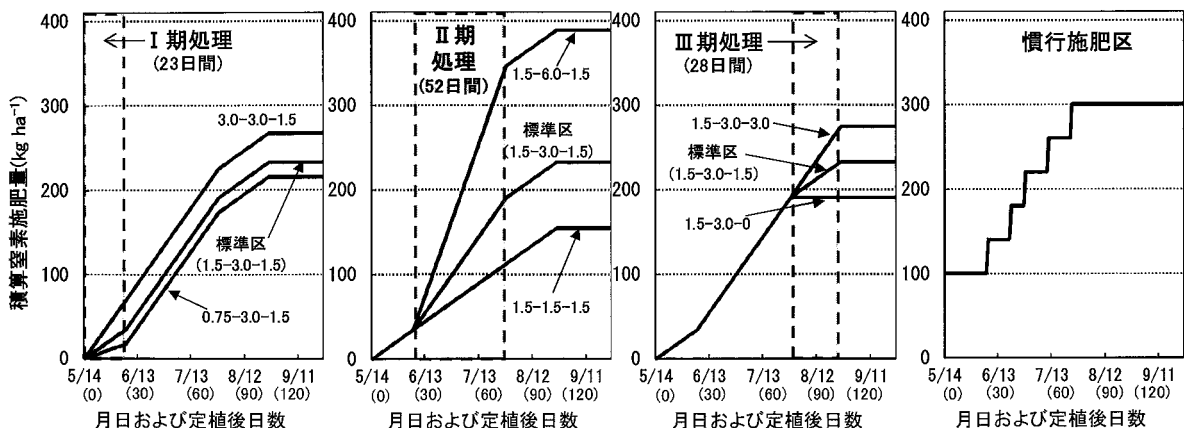


図2 養液土耕区および慣行施肥区における積算窒素施肥量の推移 (2003年)

※2002年はI期が25日間, II期が48日間, III期が32日間である

表2 各処理区の時期別窒素施肥量および総施肥量

処理区名	日窒素施肥量 (kg-N ha ⁻¹ d ⁻¹)			総施肥量 (kg ha ⁻¹)					
				2002年			2003年		
	I期 ¹⁾	II期 ²⁾	III期 ³⁾	N	P	K	N	P	K
養液土耕標準	1.5	3.0	1.5	230	57	341	233	58	345
養液土耕 0.75-3.0-1.5	0.75	3.0	1.5	211	53	313	215	54	319
養液土耕 3.0-3.0-1.5	3.0	3.0	1.5	267	67	396	267	67	396
養液土耕 1.5-1.5-1.5		1.5		158	39	234	155	39	229
養液土耕 1.5-6.0-1.5	1.5	6.0	1.5	374	93	554	389	97	576
養液土耕 1.5-3.0-0			0	182	45	270	191	48	282
養液土耕 1.5-3.0-3.0	1.5	3.0	3.0	278	69	412	275	68	407
点滴無肥料	0	0	0	0	0	0	0	0	0
慣行施肥	-	-	-	300	87	332	300	87	332

- 1) I期は定植～第1果房肥大期（2002年は5/16～6/9の25日間，2003年は5/15～6/6の23日間）
 2) II期は第1果房肥大期から摘心（2002年は6/10～7/27の48日間，2003年は6/7～7/28の52日間）
 3) III期は摘心後約1ヶ月間（2002年は7/28～8/28の32日間，2003年は7/29～8/25の28日間）
 摘心1ヶ月後から収穫終了までは灌水のみ

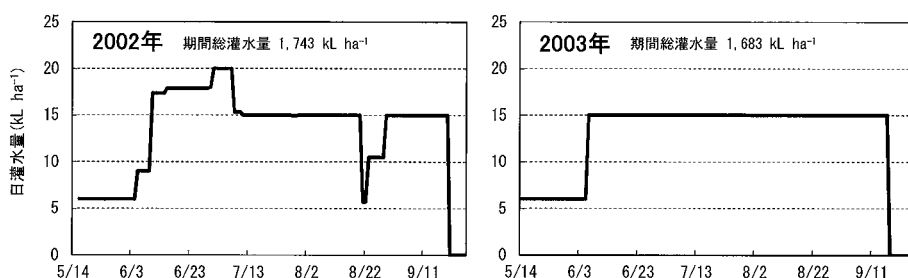


図3 養液土耕区における日灌水量の推移

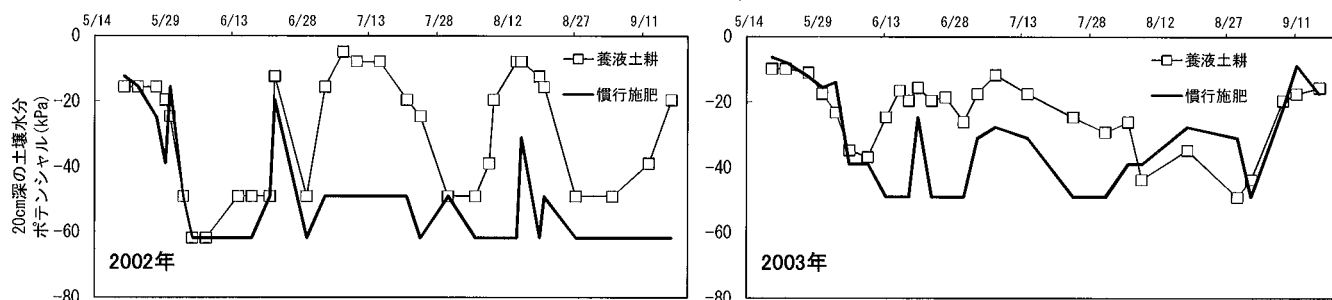


図4 養液土耕区と慣行施肥区における土壌水分ポテンシャルの推移

3回記録した。灌水の指標として土壌水分ポテンシャル-9.8～-49.1 kPaを目安に土壌水分管理を行った。

4) 調査および分析方法

各処理区中央の8株を収量調査株とした。収穫期間は11週間とし、週1回または2回、着色した果実を収穫した。収穫の前期（収穫1～3週目）、中期（収穫4～7週目）、後期（収穫8～11週目）において各1回または2回、果実糖度（Brix）を測定するとともに、果実を60～70℃で通風乾燥し、乾物生産量を求めた。

茎葉および樹上果実の養分吸収量は、第1、第3、第5果房肥大期に一部の区で2株を採取、収穫終了時に全処理区で4株を採取し、調査した。採取した株を葉、茎および果実に分け、それぞれを60～70℃で通風乾燥し、乾物生産量を求めた。乾物試料について硫酸一過酸化水素分解（水野ら，1980）を行い、分解液中のアンモニア態窒素をオートアナライザー（BRAN+LUEBE AACS-II）で測定し、

各部位の窒素含有率から窒素吸収量を算出した。

各生育時期に、トマト株間中間点の土壌を採取し、土壌硝酸態窒素を調査した（図1）。風乾土中の無機態窒素を100 g L⁻¹塩化カリウム溶液で抽出し、抽出液中の硝酸態窒素はオートアナライザー（BRAN + LUEBE AACS-II）で測定した。

3. 結 果

土壌水分ポテンシャルの推移について2002年の養液土耕区では-4.9～-61.8 kPa、同年の慣行施肥区では-12.3～-61.8 kPaの範囲で推移し、2003年の養液土耕区では-9.8～-49.1 kPa、同年の慣行施肥区では-6.2～-49.1 kPaの範囲で推移した。いずれの年も慣行栽培の土壌水分ポテンシャルは養液土耕区と比べ下降する傾向にあった（図4）。

養液土耕における時期別施肥処理が果実収量に与える

影響を表3に示した。養液土耕区における合計果実収量は、2002年は124~165 kg ha⁻¹、2003年は97~139 kg ha⁻¹の範囲にあり、2002年は2003年と比べ収量水準が高かった。総窒素施肥量が標準区を下回る区では、合計果実収量も標準区を下回った。一方、総窒素施肥量が標準区を上回る区で合計果実収量が標準区を上回ったのは、2002年の1.5-6.0-1.5区と1.5-3.0-3.0区のみであり、そのほかの処理区では標準区を下回った。慣行施肥区における2002年および2003年の合計果実収量は養液土耕標準区比で、それぞれ94%と78%であった。

養液土耕における時期別施肥処理が乾物生産量および窒素吸収量に与える影響を表4に示した。養液土耕区の乾物生産量および窒素吸収量は総窒素施肥量が多くなるにともない、増加する傾向にあった。養液土耕区における吸収窒素の果実乾物生産効率も総窒素施肥量が多くなるにともない低下する傾向にあった。2003年は2002年と比べ点滴無肥料区の窒素吸収量が少なく、土壌からの窒素供給が少なかったとみられる。養液土耕区の施肥窒素利用率は2002年の0.75-3.0-1.5区を除くと、2カ年とも標準区で最も高く、2002年は69%、2003年は63%であった。慣行施肥区における吸収窒素の果実乾物生産効率は2カ年とも養液土耕標準区と比べ低い傾向にあった。

総窒素施肥量、合計窒素吸収量および合計果実収量の三者の関係を図5(A, B, C)に示した。合計窒素吸収量と合計果実収量との間には密接な関係が認められた(図5(B))。養液土耕では慣行施肥と比べ窒素吸収量に対する果実収量が若干高い傾向にあった。合計果実収量は総窒素

施肥量が養液土耕標準区の窒素施肥量である230 kg ha⁻¹を超えると頭打ちとなる傾向にあった(図5(C))。養液土耕では慣行施肥と比べ窒素施肥量に対する果実収量が高い傾向にあった。

各生育時期における葉の窒素含有率および土壌硝酸態窒素含量を表5に示した。第1果房肥大期における葉の窒素含有率は慣行施肥区が最も高かった。慣行施肥区では第5果房肥大期にかけて葉の窒素含有率が低下した。一方、養液土耕標準区では第5果房肥大期葉にかけて葉の窒素含有率は低下せず、第5果房肥大期における葉の窒素含有率は慣行施肥区と比べ高かった(2003年は有意差あり)。また、収穫終了時の養液土耕標準区における葉の窒素含有率は慣行施肥区と比べ低い傾向にあった。

第1果房肥大期における土壌硝酸態窒素含量は各処理区とも10 mg kg⁻¹未満であったが、その後第5果房肥大期にかけて高まった。第5果房肥大期における土壌硝酸態窒素含量は、養液土耕1.5-6.0-1.5区>慣行施肥区>Ⅱ期の日窒素施肥量3.0 kg ha⁻¹ d⁻¹の群>養液土耕1.5-1.5-1.5区>無窒素区の順に高い傾向にあった。栽培終了時の土壌硝酸態窒素含量は各処理区とも20 mg kg⁻¹未満であり、高濃度の残存は認められなかった。

収穫前期と中期の間に相当する第5果房肥大期について、葉の窒素含有率と収穫後期の果実収量との関係を図6に示した。葉の窒素含有率が高まるにつれ収穫後期の果実収量は増加する傾向にあった。また、2003年は両者の間に有意な正の相関が認められた。

定植から第1果房肥大期までの窒素施肥量が同時期の窒

表3 養液土耕における時期別施肥処理が果実収量に与える影響

処理区名および総窒素施肥量 (括弧の数値 kg-N ha ⁻¹)	果実収量 (Mg ha ⁻¹) ^{1),2)}				合計 ³⁾
	前期	中期	後期		
2002年					
養液土耕標準 ⁴⁾	(230)	42 ± 3	64 ± 1	50 ± 5	157 ± 3 (100)
養液土耕 0.75-3.0-1.5	(211)	46 ± 8	53 ± 6	52 ± 2	152 ± 16 (97)
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	(267)	53 ± 0	59 ± 1	39 ± 2	151 ± 0 (96)
養液土耕 1.5 -1.5-1.5	(158)	41 ± 2	46 ± 5	37 ± 2	124 ± 9 (79)
養液土耕 1.5 -6.0-1.5	(374)	43 ± 1	67 ± 1	55 ± 6	165 ± 3 (105)
養液土耕 1.5 -3.0-0	(182)	44 ± 4	59 ± 5	41 ± 7	144 ± 6 (92)
養液土耕 1.5 -3.0-3.0	(278)	45 ± 3	62 ± 4	51 ± 0	158 ± 0 (101)
点滴無肥料	(0)	31 ± 2	25 ± 5	30 ± 1	86 ± 8 (55)
慣行施肥	(300)	41 ± 4	61 ± 6	46 ± 3	147 ± 13 (94)
2003年					
養液土耕標準 ⁴⁾	(233)	47 ± 2	52 ± 10	40 ± 3	139 ± 9 (100)
養液土耕 0.75-3.0-1.5	(215)	39 ± 1	41 ± 2	41 ± 2	121 ± 3 (87)
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	(267)	46 ± 4	52 ± 7	35 ± 0	133 ± 2 (95)
養液土耕 1.5 -1.5-1.5	(155)	49 ± 0	25 ± 2	23 ± 8	97 ± 7 (69)
養液土耕 1.5 -6.0-1.5	(389)	40 ± 1	56 ± 10	43 ± 3	138 ± 12 (99)
養液土耕 1.5 -3.0-0	(191)	42 ± 0	62 ± 11	20 ± 4	124 ± 16 (89)
養液土耕 1.5 -3.0-3.0	(275)	41 ± 8	61 ± 14	37 ± 0	139 ± 6 (99)
点滴無肥料	(0)	14 ± 3	14 ± 0	16 ± 0	44 ± 3 (31)
慣行施肥	(300)	35 ± 8	45 ± 2	29 ± 3	109 ± 4 (78)

¹⁾ 収穫期間11週間(2002年は7月11日~9月19日、2003年は7月16日~9月22日)

のうち1~3週間目を前期、4~7週間目を中期、8~11週間目を後期とした。

²⁾ 収量の数値は、平均±標準誤差。

³⁾ 合計収量における括弧内の数値は養液土耕標準区の収量を100とした指数。

⁴⁾ 養液土耕標準区におけるⅠ期-Ⅱ期-Ⅲ期の窒素施肥量は1.5-3.0-1.5kg-N ha⁻¹ d⁻¹。

表4 養液土耕における時期別施肥処理が乾物生産量および窒素吸収量に与える影響

処理区名および総窒素施肥量 (括弧の数値 kg-N ha ⁻¹)	乾物生産量 (Mg ha ⁻¹)		窒素吸収量 (kg ha ⁻¹)			吸収窒素の果実 乾物生産効率 ²⁾	施肥窒素 利用率 (%) ³⁾	
	茎葉	果実	茎葉	果実	合計			
2002年								
養液土耕標準 ⁴⁾	(230)	4.5 ± 0.1	9.7 ± 0.1	85 ± 2	183 ± 8	268 ± 11	36 ± 1	69 ± 12
養液土耕 0.75-3.0-1.5	(211)	4.3 ± 0.3	9.6 ± 0.8	83 ± 14	193 ± 31	276 ± 45	35 ± 3	79 ± 13
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	(267)	4.6 ± 0.1	9.8 ± 0.0	79 ± 13	187 ± 7	266 ± 5	37 ± 1	59 ± 9
養液土耕 1.5 -1.5-1.5	(158)	3.7 ± 0.4	8.0 ± 0.6	66 ± 8	139 ± 11	206 ± 20	39 ± 1	62 ± 1
養液土耕 1.5 -6.0-1.5	(374)	4.8 ± 0.1	10.6 ± 0.1	95 ± 4	212 ± 3	307 ± 2	34 ± 1	53 ± 4
養液土耕 1.5 -3.0-0	(182)	3.7 ± 0.1	9.4 ± 0.4	50 ± 0	158 ± 2	207 ± 3	45 ± 1	54 ± 9
養液土耕 1.5 -3.0-3.0	(278)	4.2 ± 0.1	10.0 ± 0.0	73 ± 0	206 ± 7	279 ± 7	36 ± 1	62 ± 9
点滴無肥料	(0)	2.1 ± 0.6	5.5 ± 0.5	29 ± 9	79 ± 9	109 ± 18	51 ± 4	-
慣行施肥	(300)	4.8 ± 0.6	9.5 ± 0.8	102 ± 14	191 ± 11	293 ± 25	32 ± 0	-
2003年								
養液土耕標準 ⁴⁾	(233)	2.7 ± 0.8	9.3 ± 0.3	56 ± 20	170 ± 12	226 ± 32	42 ± 5	63 ± 16
養液土耕 0.75-3.0-1.5	(215)	2.1 ± 0.0	8.4 ± 0.1	38 ± 1	157 ± 7	195 ± 8	43 ± 2	54 ± 1
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	(267)	2.6 ± 0.0	8.9 ± 0.1	50 ± 4	162 ± 11	212 ± 15	42 ± 4	50 ± 4
養液土耕 1.5 -1.5-1.5	(155)	2.4 ± 0.1	7.0 ± 0.4	42 ± 0	119 ± 8	161 ± 9	44 ± 0	53 ± 2
養液土耕 1.5 -6.0-1.5	(389)	2.9 ± 0.3	9.6 ± 1.0	73 ± 8	190 ± 17	263 ± 25	36 ± 0	48 ± 8
養液土耕 1.5 -3.0-0	(191)	2.7 ± 0.7	8.2 ± 0.8	52 ± 19	141 ± 15	193 ± 34	43 ± 4	60 ± 20
養液土耕 1.5 -3.0-3.0	(275)	2.9 ± 0.5	9.1 ± 0.2	61 ± 17	176 ± 3	236 ± 19	39 ± 2	58 ± 9
点滴無肥料	(0)	1.2 ± 0.0	3.8 ± 0.0	24 ± 1	55 ± 4	78 ± 5	48 ± 4	-
慣行施肥	(300)	2.5 ± 0.3	7.6 ± 0.3	54 ± 7	150 ± 1	204 ± 7	37 ± 2	-

¹⁾ 各項目の数値は、平均±標準誤差。

²⁾ 吸収窒素の果実乾物生産効率は、果実乾物生産量/合計窒素吸収量 (kg kg⁻¹)

³⁾ 施肥窒素利用率は、(合計窒素吸収量-点滴無肥料区の合計窒素吸収量)/総窒素施肥量×100 (%)

ただし、慣行施肥区は灌水方法が異なるため施肥窒素利用率を算出しない。

⁴⁾ 養液土耕標準区におけるⅠ期-Ⅱ期-Ⅲ期の窒素施肥量は1.5-3.0-1.5kg-N ha⁻¹ d⁻¹。

表5 各生育時期における葉の窒素含有率および土壌硝酸態窒素含量

処理区名および総窒素施肥量 (括弧の数値 kg-N ha ⁻¹)	葉の窒素含有率 (g 乾物 kg ⁻¹)				土壌硝酸態窒素含量 (0~20cm 深, mg kg ⁻¹)				
	第1果房 肥大期	第3果房肥 肥大期	第5果房 肥大期	収穫 終了時	第1果房 肥大期	第3果房 肥大期	第5果房 肥大期	収穫 終了時	
2002年									
養液土耕標準 ³⁾	(230)	26.8 a	32.5 a	29.3 a	21.8 ab	4 a	3 a	48 abc	2 a
養液土耕 0.75-3.0-1.5	(211)	24.5 a	31.8 a	27.9 a	22.0 ab	2 a	9 a	46 abc	2 a
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	(267)	31.7 a	32.1 a	24.5 a	19.9 ab	8 a	22 a	29 bc	10 a
養液土耕 1.5 -1.5-1.5	(158)	-	-	23.8 a	21.3 ab	2 a	1 a	15 bc	1 a
養液土耕 1.5 -6.0-1.5	(374)	-	-	26.6 a	22.6 ab	3 a	49 a	133 a	19 a
養液土耕 1.5 -3.0-0	(182)	-	-	-	15.5 b	2 a	4 a	26 bc	2 a
養液土耕 1.5 -3.0-3.0	(278)	-	-	-	20.6 ab	1 a	4 a	36 bc	3 a
点滴無肥料	(0)	-	-	-	16.4 ab	1 a	0 a	3 c	1 a
慣行施肥	(300)	33.1 a	32.5 a	25.9 a	23.6 a	1 a	33 a	92 ab	18 a
試料採取日		6/10	7/2	7/23	9/25	6/10	7/1	7/22	9/24
2003年									
養液土耕標準 ³⁾	(233)	27.9 a	25.5 bcd	27.9 a	25.3 a	4 a	19 b	52 a	3 a
養液土耕 0.75-3.0-1.5	(215)	20.5 b	28.1 abc	28.3 a	25.0 a	0 a	21 b	49 a	5 a
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	(267)	32.1 a	28.0 abc	27.4 ab	25.5 a	6 a	39 b	58 a	3 a
養液土耕 1.5 -1.5-1.5	(155)	-	24.8 cd	21.3 c	22.7 a	4 a	4 b	12 a	2 a
養液土耕 1.5 -6.0-1.5	(389)	-	30.0 a	26.5 ab	30.5 a	1 a	144 a	129 a	12 a
養液土耕 1.5 -3.0-0	(191)	-	-	-	23.5 a	3 a	16 b	21 a	3 a
養液土耕 1.5 -3.0-3.0	(275)	-	-	-	26.9 a	2 a	10 b	32 a	5 a
点滴無肥料	(0)	12.2 c	22.8 d	21.2 c	25.1 a	1 a	3 b	4 a	2 a
慣行施肥	(300)	32.5 a	28.9 ab	23.2 bc	28.0 a	4 a	49 b	81 a	9 a
試料採取日		6/6	6/27	7/25	9/25	6/6	6/27	7/25	9/26

¹⁾ 同じ英文字間では Tukey-Kramer の検定において有意差がないことを示す (5%水準)。

²⁾ 図中の-は試料未採取。

³⁾ 養液土耕標準区におけるⅠ期-Ⅱ期-Ⅲ期の窒素施肥量は1.5-3.0-1.5 kg-N ha⁻¹ d⁻¹。

素吸収量に与える影響を表6に示した。定植から第1果房肥大期における窒素施肥量の増加に伴い、同時期の窒素吸収量は多くなり、「窒素吸収量/窒素施肥量」比(表中の

(B)/(A)比)は低くなる傾向にあった。

第1果房肥大期から第5果房肥大期までの窒素施肥量が同時期の窒素吸収量に与える影響を表7に示した。第1果

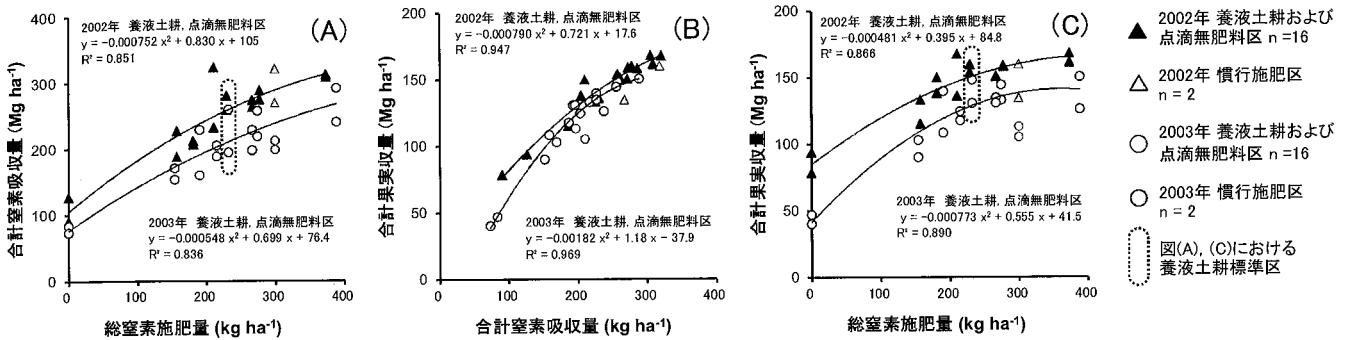


図5 各処理区における総窒素施肥量と合計窒素吸収量 (A), 合計窒素吸収量と合計果実収量 (B) および総窒素施肥量と合計果実収量 (C) との関係

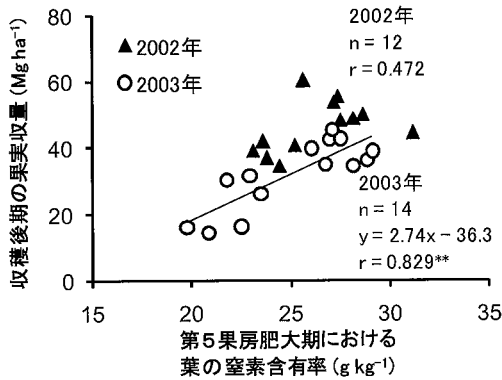


図6 第5果房肥大期における葉の窒素含有率と収穫後期の果実収量との関係
 **は1%水準で相関が有意であることを示す。

房肥大期から第5果房肥大期における窒素施肥量の増加に伴い同時期の「窒素吸収量/窒素施肥量」比は低くなる傾向にあった。養液土耕標準区は養液土耕1.5-1.5-1.5区と比べ窒素吸収量は多い傾向にあった。一方、養液土耕標準区と養液土耕1.5-6.0-1.5区との間では窒素吸収量について大きな差はなかった。

4. 考 察

1) 養液土耕が果実生産に与える影響

池田 (2005) によると、根の周辺の養分補給や水分移動が少ないと根の表面に無機要素濃度の低い層が形成されるため、その改善として、根の表面に頻繁に養液を与え

表6 定植から第1果房肥大期までの窒素施肥量が同時期の窒素吸収量に与える影響

処理区名	定植から第1果房肥大期までの窒素施肥量 (A)		定植から第1果房肥大期までの窒素吸収量 (B)		(B)/(A) 比 (%)
	期間中 (kg ha ⁻¹)	1日当たり (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	期間中 (kg ha ⁻¹)	1日当たり (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	
2002年					
養液土耕 0.75-3.0-1.5	21.8	0.84	19.5	0.75	90
養液土耕標準	40.5	1.56	27.3	1.05	67
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	78.0	3.00	32.7	1.26	42
2003年					
養液土耕 0.75-3.0-1.5	17.3	0.75	9.7	0.42	56
養液土耕標準	34.5	1.50	24.8	1.08	72
養液土耕 3.0 -3.0-1.5	69.0	3.00	29.4	1.28	43

¹⁾ 定植から第1果房肥大期までの日数について、2002年は26日、2003年は23日である。

²⁾ 2002年は期間最終日のみII期の窒素施肥処理 (3.0 kg ha⁻¹ d⁻¹) が行われている。

³⁾ 定植時の窒素吸収量について、2002年は6.6 kg ha⁻¹、2003年は4.1 kg ha⁻¹である。

表7 第1果房肥大期から第5果房肥大期までの窒素施肥量が同時期の窒素吸収量に与える影響

処理区名	第1果房肥大期から第5果房肥大期までの窒素施肥量 (A)		第1果房肥大期から第5果房肥大期までの窒素吸収量 (B)		(B)/(A) 比 (%)
	期間中 (kg ha ⁻¹)	1日当たり (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	期間中 (kg ha ⁻¹)	1日当たり (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	
2002年					
養液土耕 1.5-1.5-1.5	65	1.50	109	2.53	169
養液土耕標準	129	3.00	175	4.06	135
養液土耕 1.5-6.0-1.5	258	6.00	152	3.52	59
2003年					
養液土耕 1.5-1.5-1.5	74	1.50	87	1.78	119
養液土耕標準	147	3.00	124	2.53	84
養液土耕 1.5-6.0-1.5	294	6.00	129	2.64	44

¹⁾ 第1果房肥大期から第5果房肥大期までの日数について、2002年は43日、2003年は49日である。

²⁾ 第1果房肥大期の窒素吸収量について、2002年は34 kg ha⁻¹、2003年は29 kg ha⁻¹である。

ることが作物の十分な養水分吸収や効率的な肥培管理を実現できるとしている。多頻度の分施肥が作物の収量に与える影響について、トマトの点滴灌水栽培では、窒素分施肥の頻度を増やすことで大果および全体収量が高まったこと（Cookら、1991）や、露地栽培の葉菜類においても養液土耕で養水分を安定的に供給することで収量および施肥窒素利用率が高まったこと（安・池田、2009；植田ら、2009）が報告されている。本報告においても養液土耕区の果実収量は慣行施肥区と比べ多い傾向にあった（表3、図5（C））。

果菜類における葉の窒素含有率はシンクとなる果実の肥大期以降低下する傾向にあり（李ら、1991）、本報告の慣行施肥区においても同様に認められる（表5）。これは、生殖生長が盛んになってからは、吸収された窒素は葉身で同化されて果実に転流されるほか、作物体内の窒素も果実に優先的に転流される（種村、2010）ためと考えられる。また、シンクの発達時期に根からの窒素供給が不十分であれば葉の窒素含有率は急速に低下する（Onoら、1996）ことから、果実収量を高めるには、栄養生長と生殖生長が並行する時期に安定した養分供給が不可欠となる。

養液土耕が葉の窒素含有率に与える影響について、養液土耕標準区では第1果房肥大期から収穫前期と中期の間にある第5果房肥大期にかけて葉の窒素含有率は低下せず、第5果房肥大期における葉の窒素含有率は慣行施肥区と比べ高かった（表5）。点滴施肥により増収したLocascioら（1989）の報告においても、点滴施肥区は全量基肥区と比べ定植60日および90日後の葉の窒素含有率は有意に高まっている。葉の窒素含有率が光合成や果実収量に与える影響について、春季栽培のトマトにおける葉の窒素含有率は $12\sim 38\text{ g kg}^{-1}$ の範囲で光合成速度と正の相関を示す（Scholbergら、2000）ほか、定植6~12週間後の葉の窒素含有率は果実総収量と正の相関を示す（Locascioら、1997）。本報告においても第5果房肥大期（定植後約70日）における葉の窒素含有率は収穫後期の果実収量と正の相関が認められた（図6）。これらのことから、養液土耕では多頻度の分施肥により、根の表面に十分な窒素が安定供給されたことで葉の窒素含有率を維持し、光合成を衰えさせずに果実生産を高めたと考えられた。

養液土耕標準区は慣行施肥区と比べ積算窒素施肥量は少なく推移しており（図2）、土壤硝酸態窒素含量もまた低く推移している（表5）。しかしながら、養液土耕標準区の第5果房肥大期における葉の窒素含有率が高い（表5）理由は、先述の通り多頻度分施肥の効果と考えられる。一方、収穫終了時において葉の窒素含有率が慣行施肥区よりも低くなる理由は、収穫後期の果実収量が慣行施肥区よりも多く（表3）、吸収窒素の果実への分配が多くなる（収穫終了時における「果実窒素吸収量/合計窒素吸収量」比について養液土耕標準区の2002年は0.68、2003年は0.76、慣行施肥区の2002年は0.65、2003年は0.74）ことや、養液土耕標準区では慣行施肥区と比べ土壤硝酸態窒素が低

く推移しており（表5）摘心以降の窒素供給を必要最小限に制御できたためと考えられる。また、これらのことは養液土耕標準区における吸収窒素の果実乾物生産効率を高める（表4）要因と考えられた。吸収窒素の果実乾物生産効率を第5果房肥大期以前と以降に分けて算出すると、養液土耕標準区の第5果房肥大期における吸収窒素の果実乾物生産効率（2002年 31 kg kg^{-1} 、2003年 34 kg kg^{-1} ）は、慣行施肥区（2002年 33 kg kg^{-1} 、2003年 36 kg kg^{-1} ）とほぼ同等であるが、第5果房肥大期から収穫終了時における吸収窒素の果実乾物生産効率（2002年 56 kg kg^{-1} 、2003年 56 kg kg^{-1} ）は、慣行施肥区（2002年 31 kg kg^{-1} 、2003年 40 kg kg^{-1} ）と比べ高まる傾向にあった。

慣行施肥区では養液土耕区と比べ栽培期間の総灌水量が少なく、土壤水分ポテンシャルが -49.1 kPa 以下（ $\text{pF}2.7$ 以上）に遭遇する期間も長かった（図4）。土壤水分ストレスがトマトの生育に与える影響について、土壤水分吸引圧が $\text{pF}2.8$ 以上（ -61.8 kPa 以下）では茎葉の水分ポテンシャルが極端に低下し果実の収縮が始まること（荒木、1993）や灌水量の削減により果実収量や窒素吸収量が低下し果実糖度が上昇すること（荒木ら、2005）が報告されている。慣行施肥区における果実糖度（Brix）の年平均について2002年は5.45、2003年は6.00であり、養液土耕標準区（2002年は5.37、2003年は5.78）と比べ若干高めであるが有意差は認められないことや、灌水量や土壤水分ポテンシャルの差が小さい2003年の方が果実収量の差が大きいことから、土壤水分ストレスが慣行施肥区の果実収量の低下要因ではないと考えられた。

2) 養液土耕における施肥窒素利用率

本報告における養液土耕標準区の2カ年の施肥窒素利用率は63~69%であった（表4）。林ら（2003）はトマトの標準的な窒素施肥量における養液土耕区の施肥窒素利用率は62%であり、慣行施肥区の44%よりも高かったと報告しており、國田ら（2004）はトマト養液土耕の収穫中期における重窒素利用率は52~55%と報告している。本報告の施肥窒素利用率は既往の報告と比べやや高めであるが、無施肥区の窒素吸収量が 109 kg-N ha^{-1} （ 3.27 g-N 株^{-1} ）~ 78 kg-N ha^{-1} （ 2.34 g-N 株^{-1} ）と、林ら（2003）の 4.08 g-N 株^{-1} と比べ土壌由来の窒素供給量が少ない条件下での試験であることから、既往の報告と矛盾するものではないと考えられた。本報告では点滴無肥料区との差し引きにより養液土耕区の施肥窒素利用率を算出しているが、供試圃場の土壤可給態リンおよび交換性カリウムは北海道における診断基準値内（ $87\sim 131\text{ mg-P kg}^{-1}$ および $125\sim 249\text{ mg-K kg}^{-1}$ ）（北海道農政部、2010）にあり、点滴無肥料区における地上部全体のリンおよびカリウム含有率（2002年 4.90 g-P kg^{-1} および 31.8 g-K kg^{-1} 、2003年 4.78 g-P kg^{-1} および 34.4 g-K kg^{-1} ）は養液土耕標準区（2002年 4.70 g-P kg^{-1} および 31.7 g-K kg^{-1} 、2003年 4.23 g-P kg^{-1} および 32.0 g-K kg^{-1} ）と同等であるためリンおよびカリウムの施肥量が生育の制限因子とな

らないと考えられた。また、本報告では慣行の無窒素区が無い場合慣行施肥区の施肥窒素利用率は算出できないが、養液土耕標準区では慣行施肥区に対して77~78%の窒素施肥量で、91~111%の窒素吸収量を得ていることから(表4)、養液土耕の施肥窒素利用率が慣行施肥を上回ることは明らかである。

3) 養液土耕における各生育時期の適正窒素施肥量

養液土耕における適正施肥量について、Bar-Yosef (1999) は各生育時期の吸収量に沿った施肥を行うべきと述べている。本報告では栄養生長と生殖生長が並行し始める第1果房肥大期と生長点を取り除かれる摘心時を生育の転換点として施肥処理時期の区切りとし(表2, 図2)、予備試験における窒素吸収経過に合わせて標準区を、I期は $1.5 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (期間中約 30 kg-N ha^{-1})、II期は $3.0 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (期間中約 150 kg-N ha^{-1})と設定した。

本報告においてI期またはII期の窒素施肥量を少なくした区は養液土耕標準区と比べ果実収量が少ない傾向にあった(表3)。たとえば、2003年は土壌からの窒素供給が少なく、I期の窒素施肥量を少なくした養液土耕0.75-3.0-1.5区では生育初期における養液の窒素供給不足を補えなかったと考えられた(表4, 表6)。II期の窒素施肥量を少なくした養液土耕1.5-1.5-1.5区は養液土耕標準区と比べ第1果房肥大期から第5果房肥大期までの窒素吸収量が少なく(表7)、同時期の窒素供給が不十分であると考えられた。一方、I期またはII期の窒素施肥量を多くした区では養液土耕標準区と比べ果実収量は大きく変わらなかった(表3)。I期の窒素施肥量を多くした養液土耕3.0-3.0-1.5区は養液土耕標準区と比べ定植から第1果房肥大期における「窒素吸収量/窒素施肥量」比が低く(表6)、施肥窒素利用率が低い傾向にあった(表4)。また、II期の窒素施肥量を多くした養液土耕1.5-6.0-1.5区における第1果房肥大期から第5果房肥大期の窒素施肥量は同時期の窒素吸収量よりも 100 kg-N ha^{-1} 以上多く(表7)、養液土耕標準区と比べ吸収窒素の果実乾物生産効率や施肥窒素利用率が低い傾向にあった(表4)。これらのことから、I期およびII期における適正窒素施肥量は1.5および $3.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 程度と考えられた。

7段取りトマトの慣行施肥では摘心直前となる第5果房肥大期を最後の追肥時期としていること(北海道農政部, 2010)や、ミニトマトにおいて摘心後は茎葉への窒素配分が低下し果実に吸収窒素が配分されること(林・元木, 1999)から、摘心から1ヶ月間を養液の供給期間(III期)とし残りの期間を灌水のみとすることで極力跡地に硝酸態窒素を残さない施肥法を試みた。しかしながら、養液土耕1.5-3.0-0区では収穫後期の収量が養液土耕標準区と比べ少なくなるほか(表3)、施肥窒素利用率も低くなる傾向にあった(表4)。一方、養液土耕1.5-3.0-3.0区は養液土耕標準区と比べ窒素吸収量は 10 kg-N ha^{-1} 程度多いが(表4)、果実収量はほとんど増加せず(表3)、吸収窒素の果実乾物生産効率や施肥窒素利用率が低下する傾向に

あるため(表4)、III期における適正窒素施肥量は $1.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ と考えられた。適正窒素施肥量と確認された養液土耕標準区の総窒素施肥量は230および 233 kg-N ha^{-1} であったが、これは7段取りトマトの慣行施肥標準(北海道農政部, 2010)である 300 kg-N ha^{-1} と比べ22~23%の減肥となっており、収量を向上させつつ窒素の減肥が可能であった。

府県においても夏秋トマトの養液土耕について養水分管理指針が設定されており、本報告のI~III期に相当する時期の窒素施肥量は宮城県ではI期: $30 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、II期: $70 \sim 150 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、III期: $0 \sim 100 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (上山ら, 2004)、広島県ではI期: $53 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、II期: $95 \sim 204 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、III期: $56 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (國田ら, 2004)、大分県ではI期: $50 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、II期: $80 \sim 120 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、III期: $50 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (玉井, 2005)となっている。本報告の施肥量を株当たり換算すると、I期: $45 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、II期: $90 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、III期: $45 \text{ mg 株}^{-1} \text{ d}^{-1}$ となり、既往の報告と比べI期とIII期の施肥量は同程度であるがII期の施肥量は少なめである。これは本報告の栽植密度($33,000 \text{ 株 ha}^{-1}$)が既往の報告($20,000 \sim 27,800 \text{ 株 ha}^{-1}$)と比べ密であることや、本報告の施肥量は果実の乾物生産効率や施肥窒素利用率を考慮して設定されており、果実収量を確保するための下限に近いとめと考えられた。

5. 要 約

養液土耕では作物の生育時期に合わせた施肥量を設定するため、施肥量が収量や養分吸収量および利用率に与える影響を把握することが重要である。しかし、施設栽培でしばしば見受けられる土壌からの窒素供給が多い条件では土壌由来の窒素吸収量が多くなり、これらを把握することは難しい。

本報告では土壌の硝酸態窒素残存量を少なく抑えたハウスにおいて、夏秋どりトマトにおける養液土耕が果実生産に与える影響を慣行施肥と比較するとともに、養液土耕における施肥窒素利用率と各生育時期における適正窒素施肥量を検討した。

養液土耕区では慣行施肥区と比べ果実収量や吸収窒素の果実乾物生産効率が高い傾向にあった。慣行施肥区では第1果房肥大期から第5果房肥大期にかけて葉の窒素含有率が低下したが、養液土耕区では葉の窒素含有率が維持されていたことから、養液土耕区では多頻度の分施により安定的に窒素が供給されたことが葉の窒素含有率を維持し、光合成を衰えさせず果実生産を高めたと考えられた。

果実収量は総窒素施肥量が 230 kg ha^{-1} を超えると頭打ちになり、施肥窒素利用率は総窒素施肥量 $210 \sim 230 \text{ kg ha}^{-1}$ で最高となることなどを考慮し、トマトの養液土耕における各生育時期の適正窒素施肥量は定植から第1果房肥大期までが $1.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、第1果房肥大期から摘心までが $3.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 、摘心後1ヶ月間が $1.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ と考えられた。この施肥条件における施肥窒素利用率は63

～69%であった。

謝辞：本稿の作成に当たり、ご校閲を賜った北海道総合研究機構中央農業試験場農業環境部長（現：北見農業試験場長）志賀弘行博士に深く感謝の意を表す。

文 献

- 安 東 赫・池田英男 2009. 根域への積極的な水分管理は露地土耕においても作物の生育、収量と肥料利用効率の向上に役立つ. 園学研, 8, 439-443.
- 荒木雅登・林田達也・井手 治・満田幸恵・山本富三・柴田靖志 2005. 促成トマトの養液土耕栽培における窒素施用量とかん水量の違いが収量、品質に及ぼす影響. 福岡県農総試研報, 24, 16-22.
- 荒木陽一 1993. トマトの体内水分と器官間水分競合との関係. 園学雑, 62, 121-128.
- 荒木陽一 2007. 多頻度給液方式による養液土耕栽培の減肥効果の向上. 農及園, 82, 476-481.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. IV. Managing crop fertigation. *Adv. Agron.*, 65, 40-59.
- Cook, W. P., and Sanders, D. C. 1991. Nitrogen application frequency for drip-irrigated tomatoes. *HortScience*, 26, 250-252.
- 林 哲央・元木征治 1999. 施設栽培におけるミニトマトの窒素施肥法. 道立農試集報, 76, 1-8.
- 林 康人・新妻成一・久保省三 2003. 灌水施肥（養液土耕）栽培の肥効は高いのか—施肥量を段階的に変えた場合のトマトの施肥窒素利用率. 土肥誌, 74, 175-182.
- 北海道農政部 2010. 北海道施肥ガイド2010, p. 1-235.
- 北海道立中央農業試験場 1992. 土壌および作物栄養の診断基準—分析法—, p. 80-81.
- 池田英男 2005. 植物の根と周辺の無機要素の分布と流れからみた根域の養水分管理. 養液土耕と液肥・培地管理, p. 7-27. 博友社, 東京.
- 上山啓一・小野寺康子・大沼 康 2004. 夏秋トマトの養液土耕栽培における栄養診断に基づいた養水分管理方法. 宮城農園総研報, 73, 41-47.
- 國田丙午・宮地勝正・伊藤純樹 2004. 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. 広島農技セ研報, 76, 75-84.
- 李 光植・喻 景権・太田勝巳・若月利之・松井佳久 1991. 水耕栽培トマト中の無機元素濃度の経時変化. 土肥誌, 62, 606-613.
- Locascio, S. J., Olson, S. M., and Rhoads, F. M. 1989. Water quantity and time of N and K application for trickle-irrigated tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 114, 265-268.
- Locascio, S. J., Hochmuth, G. J., Rhoads, F. M., Olson, S. M., Smajstrla, A. G., and Hanlon, E. A. 1997. Nitrogen and potassium application scheduling effects on drip-irrigated tomato yield and leaf tissue analysis. *HortScience*, 32, 230-235.
- 満田幸恵・山本富三・荒木雅登 2005. 促成ナスの点滴かん水施肥（養液土耕）栽培における生育および収量と窒素の動態. 土肥誌, 76, 9-14.
- 水野直治・南 松雄 1980. 硫酸一過酸化水素による農作物中の N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法. 土肥誌, 51, 418-420.
- Ono, K., Terashima, I., and Watanabe, A. 1996. Interaction between nitrogen deficit of plant and nitrogen content in the old leaves. *Plant Cell Physiol.*, 37, 1083-1089.
- Scholberg, J. S., McNeal, B. L., Boote, K. J., Jones, J. W., Locascio, S. J., and Olson, S. M. 2000. Nitrogen stress effects on growth and nitrogen accumulation by field-grown tomato. *Agron. J.*, 92, 159-167.
- 玉井光秀・大西健二 2002. キュウリ・トマトのかん水施肥栽培技術. 土肥誌, 73, 311-314.
- 玉井光秀 2005. トマトのかん水施肥栽培および杉パーク培地による隔離床栽培. 養液土耕と液肥・培地管理, p. 65-94. 博友社, 東京.
- 種村竜太 2010. キュウリにおける窒素の吸収と移行. 農及園, 85, 609-616.
- 植田稔宏・池羽智子・安東 赫・加藤一幾・河野 隆・松本英一 2009. 葉菜類の露地栽培における点滴灌水施肥（養液土耕）栽培が収量・品質と施肥効率に及ぼす影響. 土肥誌, 80, 477-486.
- 山田良三・川嶋和子・今川正弘 2005. 即時制御灌水システムを導入した隔離床栽培トマトの養液土耕栽培マニュアル. 愛知県農総試研報, 37, 61-66.
- 山崎晴民・六本木和夫 2002. 養液土耕（灌水同時施肥）による半促成ナス栽培における効率的施肥技術. 埼玉農総研報, 2, 36-42.

Optimal nitrogen fertilizer application at different growth stages in greenhouse-grown tomato with respect to fruit production and nitrogen utilization

Masami SAKAGUCHI, Yuji HIKASA and Haruhiko NAKAZUMI
Hokkaido Dohnan Agric. Exp. Stn.

Under drip fertigation, the relationships between nitrogen (N) application rate and fruit yield, N uptake, and N utilization need to be understood to determine the optimum rate of N application. However, these relationships can be difficult to determine because N uptake from the soil increases at the high levels of available N that are common in greenhouse culture. In this study, tomato was grown on a summer to autumn harvest schedule in greenhouse fields with lowered soil nitrate-N to evaluate fruit yield, N utilization, and the optimum rate of N-fertilizer application at three stages of growth under drip fertigation. Compared with conventional application (periodic application of inorganic N fertilizer), drip fertigation tends to improve fruit yields and fruit production efficiency. Leaf N concentration was maintained during fruit development in the 1st to 5th truss stages with drip fertigation, whereas it decreased with conventional application. A stable N supply with frequent application under drip fertigation maintained the leaf N concentration and photosynthetic rate and thereby increased the fruit yield. The fruit yield reached a maximum when total N application exceeded 230 kg ha⁻¹, and apparent N recovery peaked at total N application rates in the range 210-230 kg ha⁻¹. In view of fruit yield and N utilization, the optimal rate of nitrogen fertilizer application was 1.5 kg-N ha⁻¹ d⁻¹ in Stage I (from planting to fruit development stage of the 1st truss), 3.0 kg-N ha⁻¹ d⁻¹ in Stage II (from fruit developmental stage of the 1st truss to

topping), and $1.5 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in Stage III (until 1 month after topping). The apparent N recovery in drip fertilized tomato was 63% to 69%.

Key words: drip fertigation, nitrogen, nitrogen utilization, tomato.

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 84, 11-20, 2013)