

# 露地ナス栽培における点滴灌水施肥技術の効果と実証

植田稔宏・瀧澤利恵\*・萩原 愛\*\*・松本英一\*\*\*

Effect and Verification of Drip Fertigation in Outdoor Eggplant (*Solanum melongena* L.) Cultivation

Toshihiro UETA, Toshie TAKIZAWA, Ai HAGIWARA and Eiichi MATSUMOTO

## Summary

To attempt ecofriendly, high quality, and stable cultivation of outdoor eggplant (*Solanum melongena* L.), we executed a laboratory test to verify cultivation in an actual field by using drip fertigation, wherein water and fertilizers are locally supplied simultaneously.

Although the soil moisture content changed stably throughout drip fertigation, the yields did not decrease despite halving the amount of applied nitrogen fertilizer. This improved the rate of nitrogen utilization by the plants. A similar effect was observed when only water was provided. At the time of watering or drip fertigation, the amount of nitrogen remaining in the soil at the cultivation site decreased because the nitrogen utilization rate of the plants improved.

During the verification of cultivation at the actual field, we found that drip fertigation requires higher execution and material costs than conventional cultivation. However, since the crop yield and fruit quality improved despite an approximate 30% decrease in the amount of nitrogen fertilizer, the profit increased by 12% compared to that in conventional cultivation.

キーワード：点滴灌水施肥，養液土耕，ナス，露地栽培，霞ヶ浦用水

## I. 緒言

露地野菜の生産は天候の影響を受けやすく、収量や品質が不安定である。特に水分供給は降雨への依存度が極めて高にも関わらず、水管理に関しては不十分か、全く行われていないのが現状である。このようなことから、本県では露地野菜の安定生産を図るために霞ヶ浦用水事業が進められているが、用水の利用法としてはスプリンクラーによる全面散水や灌水チューブを用いた畝間灌水などが行われているにすぎない。さらに積極的な用水利用を促し、環境にやさしい持続的な露地野菜の高品質安定生産を図るために、局所的に水と肥料を同時に供給でき、自動給液も可能な点滴灌水施肥技術（以下養液土耕栽培）（青木ら，2001；荒木ら，2007；林ら，2003）の露地野菜における適用性を検討した。

露地栽培における養液土耕栽培の適用例としては茶（中野ら，2006）、ミカン（森永ら，2004）、春ハクサイ、レタス（安ら，2006；植田ら，2009）がある。いずれの品目においても安定した収量が確保され、施肥効率の向上が認められている。しかし、露地野菜の果菜類については十分な知見がないので、養液土耕栽培の適用品目の拡大と用水の利用可能地域における本栽培法の導入促進を図るために、ナスを対象に試験を行った。ナスは栽培期間が長期に渡り、施肥量が多く、露地ナス栽培でも収穫期間中の養分供給条件を一定に保つことが重要とされている。肥料不足は収量や品質の低下を招きやすく、逆に肥料過多も植物体の過繁茂を招き収量、品質へ悪影響を及ぼす。養分供給を一定に保つためには頻りに追肥を行う必要があり、追肥作業は生産者の大きな負担になっている（北村，2000）。また、露地ナスの栽培は4月～11月まで行われ、梅

\* 茨城県西農林事務所結城地域農業改良普及センター

\*\* 現：茨城県農業総合センター農業大学校

\*\*\* 現：茨城県農業総合センター山間地帯特指導所

雨の湿潤期から梅雨明けの乾燥期を経過する。特に、  
 土壌水分の不足は変形果やつやなし果などの発生を助  
 長し、品質低下の原因となっている（斉藤，2010）。

そこで、本研究では肥培管理の改善および収量や品  
 質の向上が期待される養液土耕栽培について、露地ナ  
 スへの適用性を検討し、いくつかの知見を得たので報  
 告する。

## II. 材料および方法

### 実験 1 露地ナス栽培における収量および施肥効率の 検討（2008）（研究所内試験）

試験区構成は表1のとおり、対照区、対照+灌水區、  
 養液土耕區の3區を設けた。施肥窒素量は各區とも20、  
 30、40kg10a<sup>-1</sup>の3水準とした。品種は‘くろべえ’  
 （台木「トルパムビガー」）を用いた。基肥は4月14  
 日に施用し、定植は4月21日に行った。トンネルの  
 被覆期間は定植日から5月7日までとした。栽植間隔  
 は畝幅240cm×株間60cm（695株10a<sup>-1</sup>）とした。養  
 液土耕區は株の両側に軟質点滴チューブ（圧力調節機  
 能付、吐出口間隔20cm）を設置した。対照區の追肥  
 は6月24日、7月8日、7月22日、8月5日、8月  
 27日に行った。養液土耕區および対照+灌水區の給  
 水量は同量とし、計画日消費水量（農水省，1998）

表1 試験區の構成

試験場所	試験區(施肥方法)	施肥窒素量 kg10 <sup>-1</sup>		
	対照(基+追) <sup>1)</sup>			
研究所	対照(基+追)+灌水	20(50%) <sup>3)</sup>	30(75%)	40(100%)
	養液土耕			
現地	慣行(基+追) <sup>2)</sup>	—	—	47.5(100%)
	養液土耕	—	31.5(66%)	—

<sup>1)</sup>対照區施肥量はN：40、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：28、K<sub>2</sub>O：30kg10a<sup>-1</sup>

<sup>2)</sup>慣行區施肥量はN：47.5、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：32、K<sub>2</sub>O：33kg10a<sup>-1</sup>、灌水なし

\*所内の養液土耕區のP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>Oの施肥量は対照區と同一に調整

現地における養液土耕のP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>施肥量は慣行區施肥量と合わせていない

現地養液土耕の施肥量はN：31.5、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：17、K<sub>2</sub>O：33kg10a<sup>-1</sup>

<sup>3)</sup>括弧内は研究所の対照區または現地慣行區の施肥窒素量を100とした施用割合

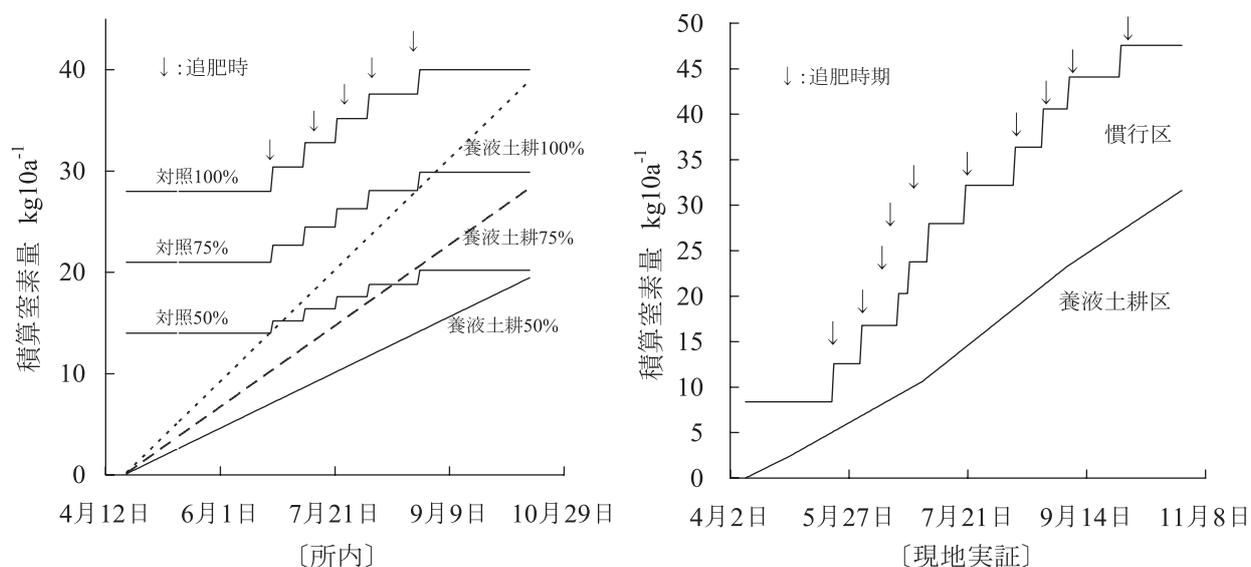


図1 露地ナスの養液土耕栽培における窒素施用量の推移

表2 施肥前土壌の化学性（層位 0-20cm）<sup>1)</sup>

場所	pH (KCL)	EC (ds/m)	mg100g <sup>-1</sup>						全窒素 %	全炭素 %
			NO <sub>3</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Av-N <sup>2)</sup>		
研究所	5.7	0.14	1.3	14	47	337	54	6.0	0.5	4.4
現地	5.8	0.20	1.7	41	41	544	120	4.2	0.5	5.9

1) 土壌の種類は研究所内および現地は場いづれも表層腐植質黒ボク土

2) 可給態窒素(静置培養法)

を参考に月別に設定した。養液土耕区の給液期間は4月21日～10月14日(171日間)、期間内の総点滴灌水量は291mm、1日当たりの窒素施用量は養液土耕50%区、75%区、100%区それぞれ、0.11、0.16、0.22kg10a<sup>-1</sup>とした。O社製養液土耕専用肥料(N15%-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>8%-K<sub>2</sub>O16%)を用いた。施肥窒素量は図1のとおり推移した。養液土耕区のリン酸およびカリ施用量は対照区標準施肥量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:28kg10a<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O:30kg10a<sup>-1</sup>)に合わせるため、不足する量をリン酸は重焼燐を、カリは硫酸加里を用いて基肥として施用した。

試験規模は1区16株とした。土壌の種類は表層腐植質黒ボク土で施肥前土壌の化学性は表2のとおりである。栽培前後の土壌化学性は、施肥前に作土層0-20cmおよび収穫後に表層から10cm毎に50cmまでの化学性を1区2カ所から採取し分析した。収量は各区5株の全果数について、果実重量、個数および等級を収穫時に調査した。窒素吸収量は各区5株について、生育期間中に整枝により摘除される茎葉、果実、収穫終了時の植物体の地上部の全乾物重を求め、それぞれの窒素濃度から窒素吸収量を算出した。土壌水分吸引圧は、対照区のベッド中央部の深さ15cm、養液土耕

区の点滴チューブ吐出口の直下15cmに誘電率水分計(DecagonDeviceEC-20)を設置し、得られた水分率を別途求めたpF水分特性曲線から換算した。

## 実験2 現地実証試験(2008)

装置は全農いばらきおよび(株)養液土耕栽培研究所の協力により試作したもので、給液ポンプ駆動用電源を必要とせず、用水の圧力を利用できる無電源装置とした。給液管理は電磁弁一体型の電池式タイマを用いた。また、ナスは連作をせず、毎年栽培するほ場を替えることが多いため、装置本体は接続部のジョイントを外して分解し、簡単に移動できる仕様とした(図2)。試験は用水の施設整備が完了した結城市江川新宿地区内で実施した。

実証規模は表1のとおり慣行区400m<sup>2</sup>および養液土耕区400m<sup>2</sup>の2区を設定した。養液土耕区は慣行区施肥窒素量に対して約3割減肥し、慣行区は基肥と追肥を行い、灌水は実施しなかった。品種は‘くろべえ’(台木「トルバムビガー」)、定植は4月6日、トンネル被覆期間は定植日から5月20日までとした。栽植間隔は畝幅240cm×株間60cm(695株10a<sup>-1</sup>)とした。養液土耕区は試験1と同様に株の両側に点滴チューブ

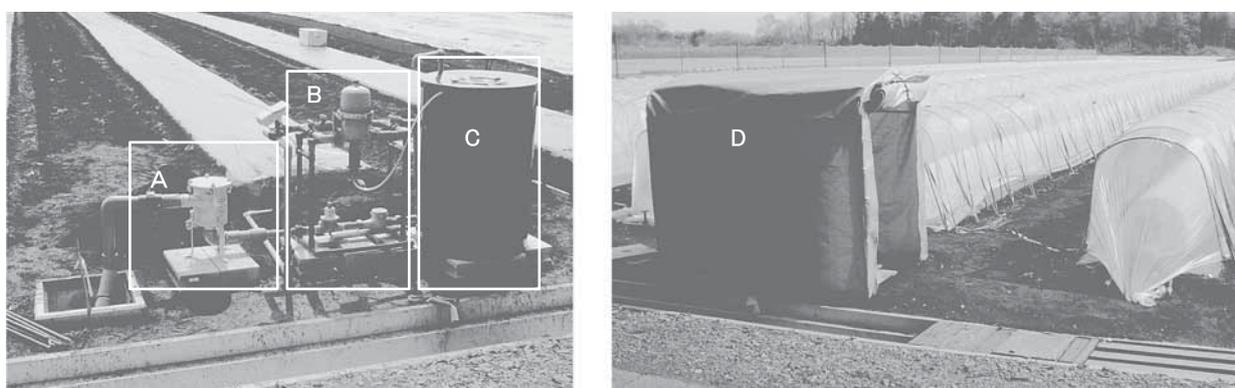


図2 無電源型の簡易養液土耕装置(左)と装置格納小型ハウス(右:D)  
(左図枠:3ブロックに解体し移動可能 A:原水濾過装置, B:液肥混合装置, C:液肥原液タンク)

を設置した。慣行区の基肥窒素量は  $8\text{kg}10\text{a}^{-1}$ 、追肥は5月20日から9月30日の間に1回につき約  $4\text{kg}10\text{a}^{-1}$  を10回実施した。養液土耕区の給液期間は4月9日～10月28日(202日間)、期間内点滴灌水量は288mm、肥料はO社製養液土耕専用肥料(N15%- $\text{P}_2\text{O}_5$ 8%- $\text{K}_2\text{O}$ 16%)を使用した。施肥窒素量は図1のとおり推移した。

土壌の種類は表層腐植質黒ボク土で、施肥前土壌の化学性は表2のとおりである。栽培前後の土壌化学性は施肥前に作土層(0-20cm)および収穫後に表層から10cm毎に40cmまでの化学性を調査した。収量、品質は試験区および慣行区的全収穫日について、コンテナ数を記録し収穫量を推定した。品質としては、毎月1回収穫した全量について等階級を調査した。土壌水分吸引圧は慣行区のベッド中央部の深さ15cm、養液土耕区の点滴チューブ吐出口の直下15cmにTDR土壌水分計(Nakamura TDR251A)を設置し、別途求めたpF水分特性曲線から換算した。

収穫日ごとの収量調査結果と月1回の品質調査結果から、出荷先農協の時期別販売単価を参考に販売額を推定し、経済性を評価した。なお、物財費については農家への聞き取り調査を行った。また、養液土耕装置は償却期間を7年とし、実用規模と考えられる50a程度を想定して資材費を算出し、10aあたりに換算して

求めた。

### III. 結果

#### 実験1 露地ナス栽培における収量および施肥効率の検討(所内試験)

対照区では施肥窒素の削減により減収したが、養液土耕区では対照区より収量が多く、施肥窒素量を50%削減しても対照100%と同程度の収量が得られた。また、対照+灌水区においても、施肥窒素を削減しても収量の減少は著しく少なく、50%でも対照100%区と同程度の収量が得られた(表3)。

各区の窒素吸収量は施肥窒素量が減少するに従い低下する傾向を示した。しかし、対照区比で見ると、対照+灌水区、養液土耕区とも施肥窒素を削減しても大きく減少しなかった。また、施肥窒素利用率は対照区と比較して対照+灌水区、養液土耕区とも施肥窒素の削減に伴い大幅に増加した(表4)。

A品率は施肥方法および施肥窒素量による区間差はなく、いずれの区でも60%前後であった(データ省略)。

養液土耕区の土壌水分は、7月は-7~-9kPa程度で安定的に推移していたが、対照区は8月上旬に一時的に-25kPaまで低下し、その後は-10~-20kPaで推移し、変動が大きくなった(図3)。

表3 露地ナスの施肥量および施肥方法別収量<sup>1)</sup>

対照区比窒素量( $\text{kg}10\text{a}^{-1}$ )	施肥方法			$\text{t}10\text{a}^{-1}$ (対照区比)		
	対照区	対照+灌水区	養液土耕区	対照区	対照+灌水区	養液土耕区
100%(N40)	11.0 (100)	11.6 (105)	12.0 (109)	11.0 (100)	11.0 (100)	11.9 (108)
75%(N30)	10.4 (95)	11.0 (100)	11.1 (101)	9.7 (88)	11.2 (102)	11.1 (101)
50%(N20)	9.7 (88)	11.2 (102)	11.1 (101)			

1)対照100%に対する比

表4 露地ナスにおける施肥量および施肥方法別の窒素吸収量と利用率

施肥方法 対照区比窒素量 ( $\text{Nkg}10\text{a}^{-1}$ )	窒素吸収量 $\text{kg}10\text{a}^{-1}$ (対照区比%) <sup>1)</sup>									窒素利用率% (対照区比) <sup>2)</sup>		
	地上部			果実			合計					
	対照	対照+灌水区	養液土耕	対照	対照+灌水区	養液土耕	対照	対照+灌水区	養液土耕	対照	対照+灌水区	養液土耕
100%(N40)	23.5 (100)	23.9 (101)	26.5 (113)	17.2 (100)	18.2 (106)	19.0 (110)	40.7 (100)	42.1 (103)	45.5 (112)	30.2 (100)	33.7 (112)	43.4 (144)
75%(N30)	21.4 (91)	22.0 (94)	25.2 (107)	16.2 (94)	17.5 (102)	18.8 (109)	37.6 (92)	39.5 (97)	44.0 (108)	29.8 (99)	36.3 (120)	55.2 (183)
50%(N20)	19.0 (80)	22.2 (94)	22.4 (95)	15.3 (89)	17.6 (102)	17.3 (101)	34.3 (84)	39.8 (98)	39.7 (98)	28.3 (94)	55.9 (185)	58.5 (194)

1)対照区100%に対する比

2)(各区窒素吸収量-無窒素区窒素吸収量)/施肥窒素量×100

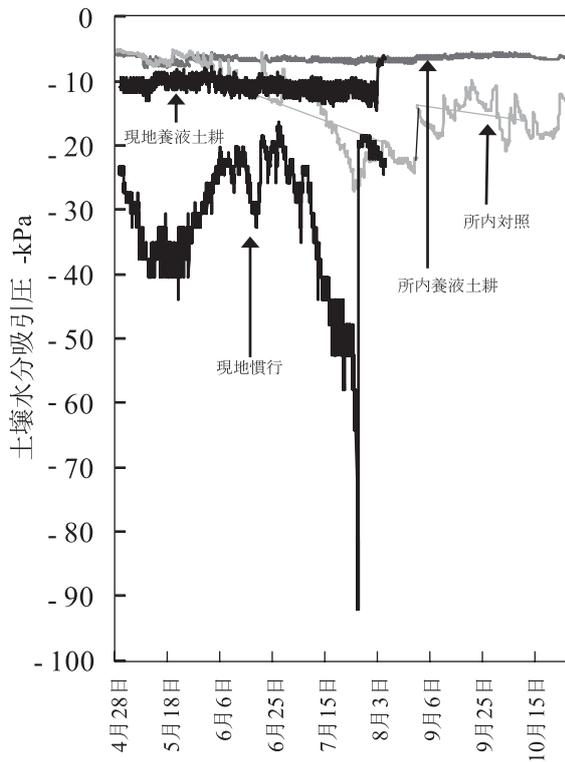


図3 露地ナス養液土耕栽培における土壌水分吸引圧の推移  
\* 現地の水分データは8.11以降欠測

灌水処理や養液土耕栽培によって窒素利用率が高まり、栽培跡地の残存窒素量は施肥窒素利用率が高いほ

ど低下する傾向を示した(図4)。

### 実験2 現地実証試験および経済性評価

養液土耕区の5, 6, 7の収量は、慣行区と同等であり、収穫最盛期となる8月から収穫終期にかけては慣行区を上回った。合計収量は養液土耕区  $12.4t10a^{-1}$ 、慣行区  $11.2t10a^{-1}$  であり、養液土耕区の収量は約10%多かった。また、養液土耕区のA品率は収穫最盛期以降に高まる傾向を示した(図5)。

養液土耕区の土壌水分は-10kPa前後で推移し、安定していた。一方、慣行区では5月から6月にかけて-40kPa前後で推移し、7月下旬には-90kPaまで低下した(図3)。

養液土耕区の収穫跡地の硝酸態窒素含量は、深さ20cm, 30cmおよび40cm地点では慣行区と大差なかったが、表層から10cmの深さでは著しく低かった(図6)。

Y農協ナス部会の平成20年度等級別月平均単価と毎月の収穫調査結果から、試験区ごとの販売額を試算し、養液土耕栽培装置導入により増加する生産費を差し引き、経済性の評価を行った。養液土耕区では装置の減価償却費・点滴チューブ代・水利費がかかり、3割程度施肥量を削減しても価格の高い養液土耕専用肥料を用いることから、慣行区よりも肥料費が多くなった。しかし、収量が増加し、果実品質が慣行区よりも

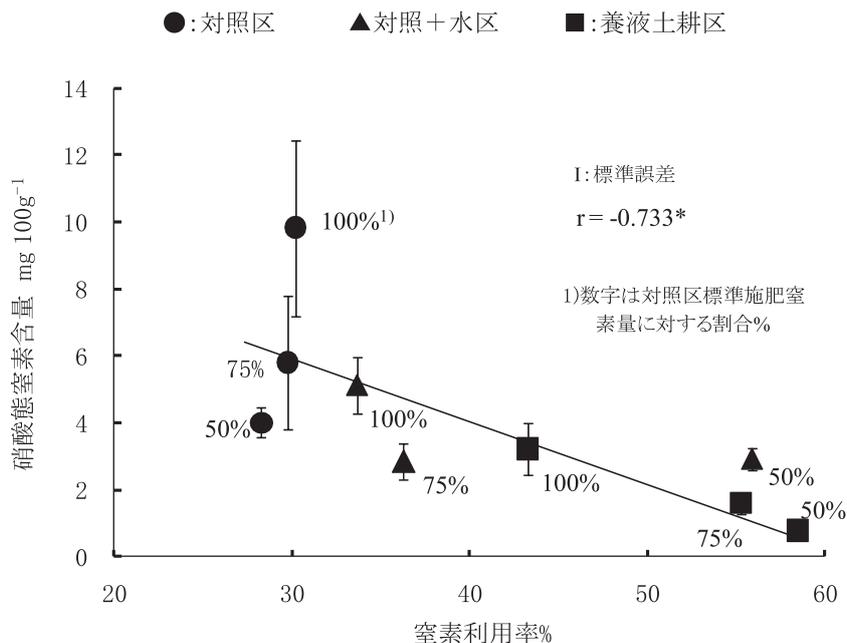


図4 栽培跡地の土壌硝酸態窒素と窒素利用率との関係

・ 对照区は株間中央部、对照+灌水區、養液土耕區は点滴口直下の表層から10cm毎に深さ50cmまでを測定した値の平均値

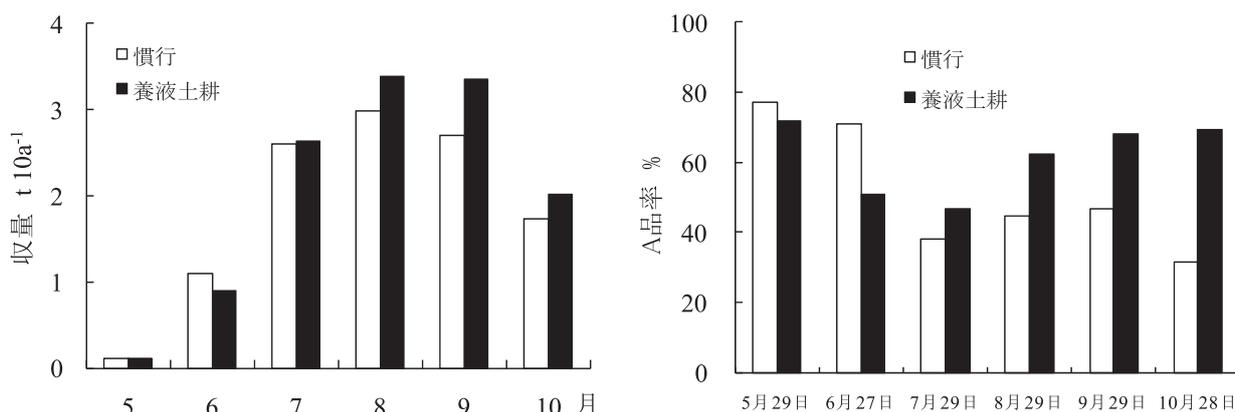


図5 養液土耕栽培における露地ナスの月別収穫量およびA品の発生割合の推移（品種：くろべえ／台木：トルパム）

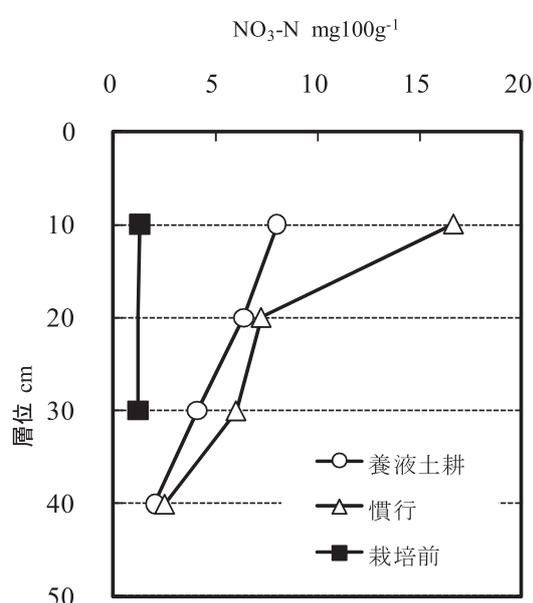


図6 養液土耕栽培における露地ナス栽培跡地土壤の層別硝酸態窒素含量

\* 土壤採取位置：養液土耕区はベッド内点滴チューブ直下から、慣行区は追肥を行った畝間から採取

優れ、養液土耕区は慣行区よりも販売額が314千円10a<sup>-1</sup>多くなった。さらに、追肥労賃がかからないことから、170千円10a<sup>-1</sup>多く利益が得られる試算となった（表5）。

#### IV. 考 察

窒素吸収量は無窒素区の吸収量も多く、各区とも施肥窒素を超過した吸収量（表4）となり、土壤由来の窒素供給量が多い条件での比較となった。試験前の土壤残存窒素および可給態窒素量は高い水準ではなかった（表2）ことから、土壤深層部の窒素蓄積が多く、

また養分吸収能力の高い台木（加屋，2000）を利用したことが影響していると考えられた。しかし、このような条件下でも養液土耕区の窒素利用率は大幅に向上した。さらに対照区施肥体系（基肥+追肥）に養液土耕栽培と同量の灌水処理を行った場合でも、対照区よりも窒素利用率が高まり、灌水処理のみでも施肥効率が向上することが確認された。これは、渡辺ら（2005）や中野（2005）が指摘しているように、養分の動きは土壤内の水分移動が主要因で、根近傍の養分の移動が容易であったことが養分の吸収量を向上させ、施肥量を削減しても減収に至らなかったものと考えられた。

対照区では、施肥窒素量が低下するに従い、減収する傾向を示すものの、果実形状など品質には影響せず、施肥窒素量の削減が品質に及ぼす影響は少ないと考えられた。また、対照区の土壤水分吸引圧は養液土耕栽培と比較して高く推移したものの、最大で-25kPa程度であり、植物体に水分ストレスがかかる状態ではなく、果実形状など品質に影響を及ぼすような水分条件ではなかったと推定された。つまり、養液土耕栽培による水を介した養分供給方法は収量や窒素利用率を向上させるが、栽培期間中に適度な降雨や圃場の地下水位が高いなど、圃場条件によって、水分ストレスが起こらないか、又は軽微な場合には、養液土耕栽培を利用しても果実品質に及ぼす影響は現れにくいと推察される。

現地試験ではナスの生育初期に降雨が続いたため、生育・収穫前半は特に養液土耕栽培において土壤水分過多の状態であったと推察された。そのため、栄養生長がやや過剰となり、生殖生長との競合バランスが不安定になったことから、収穫前半の収量や品質（果形の乱れ）が慣行栽培よりも低下したと考えられた。7

表5 養液土耕栽培を用いた露地ナス栽培の経営試算

項目	養液土耕区	慣行区	備考
種 苗 費	109	109	@155円×700株
肥 料 費	144	122	慣行比30%減肥条件で養液土耕専用肥料を使用
農 薬 費	79	79	
諸 材 料 費	105	65	点滴チューブ・マルチ・V字パイプ・ネットなど
光熱動力費	8	8	
水 利 費	5	0	・幹線パイプから圃場取水栓までの自己負担費用は含まれていない
減価償却費	53	37	・装置560千円 50a <sup>-1</sup> ・償却期間7年
合 計	503	420	
出荷諸材料費 <sup>b</sup>	501	426	段ボール・出荷経費
経 営 費(a+b) <sup>c</sup>	1,004	846	
労 賃 <sup>d</sup>	897	904	1,000円 h <sup>-1</sup>
総 費 用(c+d) <sup>e</sup>	1,901	1,750	
販 売 額 <sup>f</sup>	2,462	2,141	5～10月の合計販売試算額
所 得 (f-c) <sup>g</sup>	1,458	1,295	
農家企業利益(f-e) <sup>h</sup>	561	391	
利益差 <sup>h</sup> (養液土耕－慣行区)	170		

(単位：千円10a<sup>-1</sup>)

月以降は平年並みの高温・乾燥が続き、長期間の収穫により、慣行栽培では果実品質が低下したが、養液土耕栽培では養水分が安定して供給されたため、曲がり果の発生が少なく、収量および果実品質が高く維持されたと考えられた。

ナスの曲り果の発生には高夜温、日照不足、摘葉の強弱、草勢や栄養状態、水分条件など複数の要因が影響していると考えられる。現地ほ場では土壤水分吸引圧が低く推移する傾向にあり、所内よりも水分ストレスの影響を受けやすい条件であったと考えられた。所内試験と現地実証で大きく異なったのは水分条件であったことから、現地実証では、養液土耕栽培による養水分供給条件の改善が品質向上の一因と推察できる。しかし、整枝法や草勢などの影響も無視できないことから、品質向上効果についてはさらに検討する必要がある。

現地ほ場では栽培前の土壤中の硝酸態窒素含量と比較し、慣行施肥栽培跡地では表層の残存量が極端に増加した。しかし、養液土耕ではその半分程度であった。残存窒素はその後、降雨による溶脱を受ける（小川，2000）ことから、残存窒素の減少は環境負荷の低減に結びつくとともに、低コスト化の面からも有効であると考えられた。

養液土耕区では販売額が増加し、所得も増えるが、経営試算では、養液土耕装置の償却期間を7年とした場合の償却費は年間16千円、肥料費22千円、点滴チューブなど資材費が40千円、水利費が5千円で10a当たり合計83千円の経費が増加する。今後、肥料や資材の効率的な利用方法について検討し、低コスト化を進める必要がある。

以上のことから、露地ナス栽培に養液土耕栽培を導入することにより、装置導入費用、肥料費や資材費等が慣行栽培よりも高まるものの、追肥労力、施肥窒素量の大幅な削減と安定生産が可能であり、環境にやさしい省力的な栽培法として期待できることが明らかとなった。

## V. 摘 要

露地ナス栽培において、環境にやさしい高品質安定生産を図るために、局所的に水と肥料を同時に供給できる点滴灌水施肥（以下養液土耕栽培）について現地実証を含めて検討した。

所内試験では、養液土耕栽培により土壤水分は慣行栽培と比較して安定して推移した。施肥窒素量を半減しても収量は減少せず、窒素利用率は向上した。灌水

のみでも同様の効果が認められた。灌水処理や養液土耕栽培は窒素利用率が高まることで、栽培跡地の土壌中残存窒素量は減少した。

現地実証において、養液土耕栽培は収量・品質向上に効果が大きいことを実証した。また、経営試算から導入コストおよび資材費が慣行栽培よりも増加するものの、施肥窒素を30%程度削減しても収量および果実品質が向上したことで所得は慣行栽培よりも12%向上することが明らかとなった。

**謝 辞** 研究を行うにあたり、全農いばらきアグリ開発課および(株)養液土耕栽培研究所の方々に多大なご協力をいただいた。また、現地実証圃を担当していただいた稲葉政則氏に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 青木弘史・梅津憲治・小野信一. 2001. 養液土耕の理論と実際. 157-225. 誠文堂新光社. 東京.
- 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. 農業および園芸. 82. 475-481.
- 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. 土肥誌. 74. 175-182.
- 中野明正・中村茂和・上原洋一. 2006. 茶の養液土耕による生産・品質を維持した施肥量削減効果. 農業および園芸. 81. 457-462.
- 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・松村 昇・長谷川美典. 2004. 露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の効果. 園学研. 3. 33-37.
- 安 東赫・池田英男. 2006. 給液の濃度と制御方法が露地ハクサイとナスの生育に及ぼす影響. 園学雑 75 別 1 : 129.
- 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 (5) 477-486.
- 北村明久. 2000. 農業技術体系野菜編 5. 243-247. 農文協. 東京.
- 齊藤 隆. 2010. 農業技術体系野菜編 5. 99-114. 農文協. 東京.
- 農林水産省構造改善局. 1998. 土地改良事業計画設計基準. 計画「農業用水(畑地)」。基準書. 技術書. 179-188.
- 加屋隆士. 2000. 農業技術体系野菜編 5. 基 215-216. 農文協. 東京.
- 渡辺和彦・郡司掛則昭・上原洋一・木村 武・池田英男・岩崎泰永・玉井光秀・草刈眞一・宮田尚稔. 2005. 養液土耕・養液栽培における液肥管理の新しい展開. 土肥誌. 76. 657-663.
- 中野明正. 2005. 植物の根に関する諸問題 [138]. 根は施肥窒素と地力窒素をどのように吸収するのか? : 養液土耕(灌水同時施肥)から見えてきたもの. 農業および園芸. 80. 39-46.
- 小川吉雄. 2000. 地下水の硝酸汚染と農法転換. 66-100. 農文協. 東京