

トマトの養液かけ流し方式における養分施用量が 生育・収量及び硝酸態窒素利用率に及ぼす影響

伊藤 緑¹⁾・小川理恵¹⁾・大川浩司¹⁾

摘要: トマトの養液かけ流し方式において、窒素利用率が高い窒素施用量を明らかにするため、給液ECを対照区0.7~2.5 dS/mに対して、低濃度区0.7~1.4 dS/mとして設定した場合の生育・収量及び硝酸態窒素利用率を調査した。生育は対照区で旺盛となったが、可販果収量は、低濃度区11.7 kg/株、対照区10.5 kg/株で、低濃度区が有意に多かった。栽培期間を通じた硝酸態窒素施用量、硝酸態窒素利用率は、低濃度区27.7 g/株、84.5%に対し、対照区43.1 g/株、59.4%であった。調査結果から、トマトの養液かけ流し方式において、収量を低下させず、窒素利用率が高い1日1株当たりの窒素施用量を次のように設定した。定植~第1花房開花期25 mg、第1~2花房開花期50 mg、第3~4花房開花期75 mg、第5~6花房開花期100 mg。収穫開始以降は、晴天日を基準に1月まで100 mg、2月以降150 mgとし、曇雨天日は、給液量を晴天日の3~5割程度削減する。

キーワード: トマト、養液かけ流し方式、収量、養分施用量、窒素利用率

緒言

固形培地を用いた養液かけ流し方式における施肥灌水管理は、電気伝導率(EC)を指標とした給液濃度の管理(以降、濃度管理)と排液率を指標とした給液量の管理として行われることが多い。トマトにおいて、給液ECは1.5~3.5 dS/m程度が管理しやすい¹⁾とされ、排液率は20~30%程度とする管理が一般的に行われている。養液かけ流し方式では、培地内養水分の均一性を保つために、一定量の排液を出す必要があることから、利用されない肥料成分は栽培施設外に排出される。また、濃度管理では植物に不足なく養分を施用するという観点から、施肥量が多くなる傾向がある。環境負荷を低減するためには、施肥量はトマト生産に必要な最小限とし、利用効率の向上を図る必要がある。一方、水耕栽培のトマトでは、1日や1週間といった一定の期間に必要な窒素施肥量を定めて施用する量的管理によって施肥量を削減しつつ収量を維持もしくは増加できることが知られている²⁾。養液かけ流し方式においても同様に、窒素施用量を制御することで収量の確保と施肥量の削減の両立が可能であると考えられる。

本試験では、トマトの養液かけ流し方式において、生育・収量及び硝酸態窒素(NO₃-N)吸収量を調査した。さらに調査結果から、収量を低下させず、窒素利用率が高い生育ステージ毎の1日1株当たり窒素施用量を明らかにした。

材料及び方法

1 耕種概要

愛知県農業総合試験場の屋根型ハウス(間口8.4 m、奥行18 m、軒高2.8 m)を用いて試験を行った。供試品種として、穂木「りんか409」(株式会社サカタのタネ、神奈川)を「アーノルド」(シンジェンタジャパン株式会社、東京)に接ぎ木して用いた。播種は、穂木を2020年7月27日、台木を7月28日に行い、8月14日に斜め切断接ぎ木をした。9 cmポリポットに1ポット当たり2株を鉢上げし育苗した。9月3日に本葉5~6葉期の苗をヤシガラ培地(ココバッグ、トヨタネ株式会社、愛知)に1バック当たり3ポット(6株)を定植した。条間1.8 m、株間18 cm相当(栽植密度3.0株/m²)で振り分け誘引した。誘引の高さ上限は2.8 mとした。収穫は11月11日から翌年の6月28日まで行った。なお、摘心は2021年5月19日に開花花房の上2葉を残して行った。各花房当たり3~5花開花時に4-CPA液剤(トマトーン、石原産業株式会社、大阪)を100倍に希釈して噴霧した。各花房の着果数は最大4果となるよう摘果した。

試験区は、給液ECを0.7~2.5 dS/mとした生産現場でのEC管理に近い対照区と、0.7~1.4 dS/mとした低濃度区を設定した(表1)。給液量は、両試験区とも同等とした。

栽培は養液かけ流し方式で行い、各試験区で一系統60株とした。排液は試験区毎に1つのタンクに収集した。1回当たりの給液量は150~200 mL/株とした。各試験区の給液量は同等とし、収穫開始までは生育に応じて増加させ、天候に

本研究は共同研究「環境制御による施設野菜の高収益生産技術の開発」により実施した。

¹⁾園芸研究部

かわらず0.5~1.2 L/株とした。収穫開始以降は、天候にかかわらず、7時と12時にそれぞれ150 mL/株を給液するとともに、排水率25~35%を目標に、施設内日射量1 MJ当たり1回の日射比例制御による給液を行った。培養液は環境制御下で収量増加が見込まれる組成³⁾(表2)の多量要素に、微量要素肥料(OATハウス5号、OATアグリオ株式会社、東京)を1000 L当たり50 g添加して用いた。

換気、加温、二酸化炭素(CO₂)施用及びミスト噴霧の制御は、統合環境制御機器(Profarm-Controller、株式会社デンソー、トヨタネ株式会社、愛知)を用いて行った。温度管理は、天窓及び側窓を用いた自然換気と、温風加温機(HK-2027TEV、ネボン株式会社、東京)を用いた加温により行った。換気設定温度は27°C、加温設定温度は0~5時11°C、5~8時11~15°C(傾斜制御)、8~18時15°C、18~20時15~11°C(傾斜制御)、20~24時11°Cとした。ミスト噴霧には微粒ミスト(グローミスト、トヨタネ株式会社、愛知)を用い、気温25°C以上かつ飽差が7.0 g・m⁻³以上の場合に、10秒噴霧、10秒休止のサイクルで噴霧(6.5 mL・m⁻²・min⁻¹)した。ミスト噴霧は定植時から栽培終了まで行ったが、ミスト設備が遮光カーテンより上部にあるため、強日射時には、遮光カーテン(SLSハーモニー30、株式会社誠和、栃木)により遮光し、ミスト噴霧を休止した。CO₂施用は、液化CO₂を用いて11月11日~4月8日まで行った。CO₂施用設定濃度は、施設外日射が100~200 w・m⁻²の場合400 ppm、200 w・m⁻²以上の場合500 ppmとした。また、換気によるCO₂の流出を抑制するため、天窓開度が30%以上の場合にはCO₂施用設定濃度を400 ppmとした。

2 調査項目及び調査方法

排水EC及び排水中のNO₃-N濃度を1~9日間隔で計測した。ECはECメーター(EC Tester11+、株式会社竹村電機製作所、東京)を、NO₃-N濃度は、硝酸イオンメーター(LAQUAtwin NO₃-11、株式会社堀場アドバンスドテクノ、東京)を用いて計測した。

見かけのNO₃-N吸収量は、1株当たりの給液中のNO₃-N量と排水中のNO₃-N量の差とした。NO₃-N利用率は、見かけのNO₃-N吸収量をNO₃-N施用量で除して求めた。

生育及び収量調査は、施設のサイド及び栽培ベッドの両端の株を除いて、1区6株連続して選び、4反復で行った。生育は、葉幅及び成長点から15 cm下の茎径(短径)を概ね2週間毎に調査した。また、樋江井ら⁴⁾の方法により、葉幅から個葉の面積を推定し、1株に着生する個葉の面積の和を葉面積とした。収量は収穫果実を可販果と規格外果に分けて果数及び果重を測定した。糖度はデジタル糖度計(PAL-1、アタゴ株式会社、東京)を用いて、概ね3週間に1回、各区5果ずつ計測した。

乾物重は、低濃度区7株、対照区6株を調査した。葉及び茎の乾物重は栽培終了時に計測した。なお、葉は栽培期間中に摘葉したものを含めた。果実は、1月、3月、5月に計測した各試験区の乾物率に、それぞれ12~1月、2~4月、5~6月の果実収量を乗じて求めた時期別の果実乾物重の和とした。窒素吸収量は、部位別乾物重に部位別窒素濃度を乗じて求めた。窒素濃度は、全窒素炭素測定装置(JM1000、株式会社ジェイ・サイエンス・ラボ、東京)で測定した。

結果及び考察

給排水ECの推移を図1に示した。排水ECは、低濃度区では概ね栽培期間を通して給液ECを下回った。一方、対照区では11月中旬~5月下旬まで排水ECが給液ECを上回った。

生育ステージ毎のNO₃-N施用量、見かけのNO₃-N吸収量及びNO₃-N利用率について、それぞれの最大値、最小値及び平均値を表3に示した。見かけのNO₃-N吸収量の平均値は、第1~4花房開花期の間、対照区で多かった。第5~6花房開花期には、両試験区の見かけのNO₃-N吸収量の平均値の差は少なくなった。第7~11花房開花期(11月中旬~1月下旬)には、両試験区とも、見かけのNO₃-N吸収量はいったん低下した。第12花房開花期以降の見かけのNO₃-N吸収量は、両試験区とも40~150 mg・株⁻¹・日⁻¹程度で調査日ごとの差が大きかったが、平均値をみると、両試験区ともに100 mg・株⁻¹・日⁻¹程度で安定した。NO₃-N利用率の平均値は、栽培期間を通して概ね低濃度区で対照区より高かった。特に、第1~14花房開花期(9月下旬~2月下旬)にかけて、低濃度区のNO₃-N利用率は89~96%と高く推移した。

栽培期間全体のNO₃-N施用量、見かけのNO₃-N吸収量、NO₃-N利用率は、低濃度区27.7 g/株、23.4 g/株、84.5%、対照区43.1 g/株、25.6 g/株、59.4%であった(表4)。

生育について、茎径は10月上旬~11月上旬にかけて、対照区で低濃度区よりも有意に太く推移した(図2)。11月下旬~1月下旬に差は見られなかったが、2月上旬~5月中旬に摘心するまで低濃度区で有意に太く推移した。株当たり葉面積は、10月上旬~12月下旬まで対照区で有意に大きく、それ以降は両試験区同等で推移した(図3)。

表1 給液 EC の設定値

生育ステージ	期間 (月/日)	給液 EC(dS/m)	
		低濃度区	対照区
I 定植~生育期	9/3~9/25	0.7	0.7
II 第1~2花房開花	9/26~10/9	0.8	1.2
III 第3~4花房開花	10/10~11/2	0.9	1.7
IV 第5~6花房開花・収穫開始	11/3~11/18	1.2	2.1
V 第7~11花房開花	11/19~1/29	1.4	2.5
VI 第12~14花房開花	1/30~2/26	1.4	2.5
VII 第15~17花房開花	2/27~3/31	1.4	2.1
VIII 第18~20花房開花	4/1~4/21	1.2	1.7
IX 第21~23花房開花・摘心	4/22~5/21	1.0	1.4
X	5/22~6/14	1.0	1.0
XI	6/15~6/25	0	0

表2 試験に用いた培養液組成(me/L)

NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	S
16.8	0.5	5.0	10.5	8.0	4.0	4.5

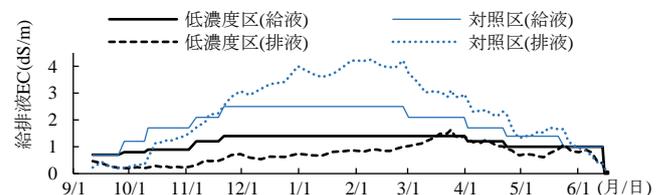


図1 給排水 EC の推移

表3 生育ステージ毎のNO₃-N施用量、見かけのNO₃-N吸収量及びNO₃-N利用率

項目	区分	試験区	期間(生育ステージ) ¹⁾										
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
NO ₃ -N 施用量 (mg・株 ⁻¹ ・日 ⁻¹)	最大値	低濃度区	27	52	82	101	92	145	191	181	154	167	0
		対照区	27	78	158	175	169	241	312	257	223	174	0
	最小値	低濃度区	27	51	72	99	66	88	96	88	71	86	0
		対照区	27	77	129	174	116	153	167	124	102	76	0
平均值 ⁴⁾	低濃度区	27	52	75	100	78	113	146	144	113	124	0	
	対照区	27	78	138	175	138	194	228	206	163	129	0	
見かけの NO ₃ -N 吸収量 ²⁾ (mg・株 ⁻¹ ・日 ⁻¹)	最大値	低濃度区	27	51	74	97	85	128	135	149	122	151	-1
		対照区	26	77	127	124	93	138	150	158	144	165	-1
	最小値	低濃度区	13	49	69	88	63	84	76	59	44	60	-5
		対照区	11	72	67	94	54	78	67	50	53	44	-5
平均值	低濃度区	21	50	72	93	73	101	108	111	91	99	-3	
	対照区	20	75	102	102	81	102	102	106	106	105	-3	
NO ₃ -N 利用率 ³⁾ (%)	最大値	低濃度区	98	98	98	97	98	95	82	85	88	90	-
		対照区	97	99	88	71	69	72	54	61	74	95	-
	最小値	低濃度区	51	94	89	87	88	83	66	67	61	69	-
		対照区	42	94	52	53	34	44	32	39	50	57	-
平均值	低濃度区	77	96	96	93	94	89	74	78	80	80	-	
	対照区	73	97	74	59	59	53	45	51	65	81	-	

1~9 日間隔で計測した平均給排水量及び NO₃-N 濃度から算出

1) 期間(生育ステージ)は表 1 参照、2) 見かけの NO₃-N 吸収量=給液中の NO₃-N 量-排水中の NO₃-N 量

3) NO₃-N 利用率=見かけの NO₃-N 吸収量/NO₃-N 施用量×100、4) 各期間中の平均值

表4 給液濃度がNO₃-N利用率に及ぼす影響

試験区	NO ₃ -N 施用量	見かけの NO ₃ -N 吸収量 ¹⁾	NO ₃ -N 利用率 ²⁾
低濃度区	27.7 g/株	23.4 g/株	84.5%
対照区	43.1 g/株	25.6 g/株	59.4%

1) 見かけの NO₃-N 吸収量=NO₃-N 施用量-排水中の NO₃-N 量

2) NO₃-N 利用率=見かけの NO₃-N 吸収量/NO₃-N 施用量×100

表5 給液濃度が収量に及ぼす影響

試験区 (n=4)	可販果収量(kg/株)				可販果 一果重 (g)	規格外果 収量 (kg/株)
	11~1 月	2~4 月	5~6 月	合計		
低濃度区	2.9	4.3	4.5	11.7	169	0.4
対照区	2.3	3.9	4.3	10.5	151	0.9
有意性 ¹⁾	*	n.s.	n.s.	**	**	n.s.

1) * 5%水準、** 1%水準で有意差あり、n.s.:有意差なし(t 検定)

可販果収量は、低濃度区が11.7 kg/株、対照区が10.5 kg/株で、低濃度区が対照区より有意に多かった(表5)。時期ごとの可販果収量は、収穫初期である11~1月に、低濃度区で対照区より有意に多かった。農作物の施肥基準⁵⁾では、土耕栽培の指標ではあるものの、促成長期作型における目標収量は20 kg/m²(本試験の栽植密度で6.7 kg/株に相当)とされており、本試験では実用的な収量が確保できたと考えられた。可販果一果重についても、低濃度区が対照区より有意に重かった。糖度は、1月下旬~3月上旬にかけて、対照区が低濃度区より有意に高かった(図4)。

1株当たりの合計乾物重及び窒素吸収量に差は見られなかった(図5)。しかし、部位別では、乾物重は、葉では差がなく、茎は対照区で有意に重く、果実は低濃度区が有意に重かった。窒素吸収量は、葉では対照区で有意に多く、茎は差がなく、果実は低濃度区が有意に多かった。

今回の試験では、アンモニア態窒素(NH₄-N)も給液中の窒素源として存在するが、NH₄-Nは、使用した養液組成中の窒素の3%と少量であるため、結果の解釈に大きな影響を及

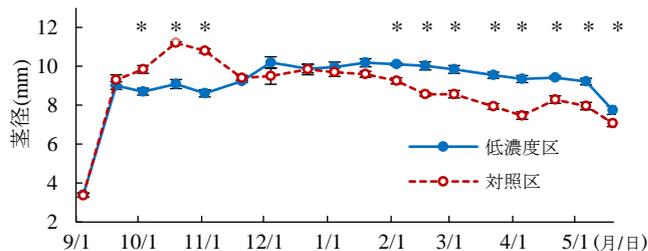


図2 給液濃度が茎径に及ぼす影響

茎径は生長点から15 cm下の短径を計測

n=4、*:5%水準で有意差あり(t 検定)、垂線は標準誤差を表す

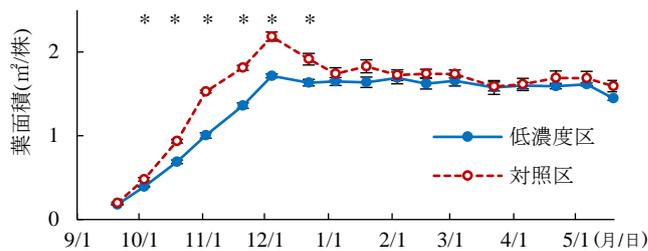


図3 給液濃度が株当たり葉面積に及ぼす影響

個葉面積を推定式 $\ln(y) = 2.09 \ln(W) - 1.42$

\ln :自然対数、y:葉面積(cm²)、W:葉幅(cm)

により算出し、着生する個葉の面積の和を葉面積とした

n=4、*:5%水準で有意差あり(t 検定)、垂線は標準誤差を表す

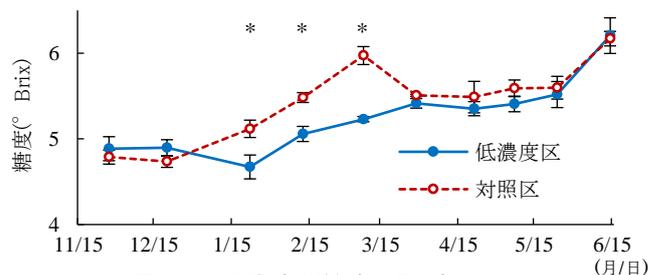


図4 給液濃度が糖度に及ぼす影響

n=4、*:5%水準で有意差あり(t 検定)、垂線は標準誤差を表す

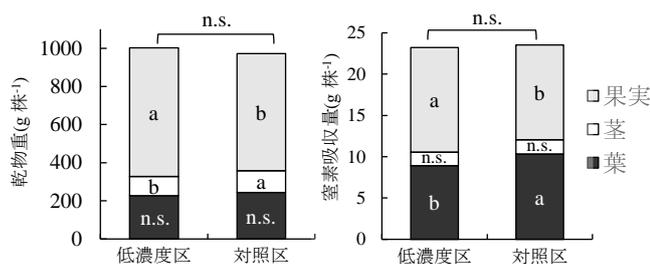


図5 給液濃度が乾物重(左)及び窒素吸収量(右)に及ぼす影響
低濃度区 n=7、対照区 n=6
異なる英文字間に 5%水準で有意差あり、n.s.:有意差なし(t検定)

ぼさないと考えた。このため、本報ではNO₃-Nを窒素施肥量の指標とした。

第1~4花房開花期(9月下旬~10月上旬)までの見かけのNO₃-N吸収量は、低濃度区で対照区よりも少なく、この期間の低濃度区のNO₃-N施肥量は、トマトが吸収可能な窒素量(窒素要求量)を下回っていたと推察できる。第1~4花房開花期は、対照区で茎径が太く、株当たり葉面積が大きかった。一方、第1~4花房の果実を含む11~1月の可販果収量は、低濃度区で対照区より多かった。これらのことから、第1~4花房開花期の養分施肥量が多いと茎葉の成長が促進され、いわゆる栄養成長に傾いた草姿となり、収量が低下すると考えられた。このため、第1~4花房開花期の窒素施肥量は、窒素要求量を下回る低濃度区の設定が適すと考えられた。第5花房開花期以降の見かけのNO₃-N吸収量は、試験区間に大きな差がみられなかったことから、両試験区ともにトマトの窒素要求量を満たす窒素施用が行われていたと推察できる。このため第5花房開花期以降についても、施肥量が少ない低濃度区の窒素施肥量が適すと考えられた。収穫開始以降は日射比例給液により給液回数変動したため、曇雨天日の給液量は晴天日の3~5割程度となった(データ略)。安定して継続した収穫が行われる第7花房開花期以降の見かけのNO₃-N吸収量は、調査日ごとの差が大きかった。これは、葉面積が大きく、天候によって吸水量の変動が大きいと考えられた。このことを考慮すると、窒素施肥量は、晴天日を基準に1月まで100 mg・株⁻¹・日⁻¹、2月以降150 mg・株⁻¹・日⁻¹とし、曇雨天日は、給液量を晴天日の3~5割程度に削減することで、収量が多く窒素利用率が高い栽培が可能であると考えられた。

中野ら²⁾は、湛液型水耕(DFT)において、トマトの吸水量に応じた適正な日窒素施肥量は、吸水量が0.5 L・株⁻¹・日⁻¹程度の生育初期は50 mg・株⁻¹・日⁻¹で、その後は吸水量の増加に応じて増量し、最大130 mg・株⁻¹・日⁻¹としている。さらに、Nakanoら⁶⁾は、DFTで作成した吸水量に応じた窒素施肥量の基準値は、CO₂施用を実施しない条件下での循環方式の長期間のロックウール栽培に適用することができるが、栽培後期にはDFT基準と同等かやや多い1.0倍(130 mg・株⁻¹・日⁻¹)~1.25倍(163 mg・株⁻¹・日⁻¹)の窒素施肥量とする必要があるとした。また、MATSUDAら⁷⁾は、Nakanoら⁶⁾が設定した窒素施用基準値での栽培は、CO₂施用条件下においても収量・品質を低下させないことを明らかにした。本試験の低濃度区の吸水量が0.5 L・株⁻¹・日⁻¹となる時期は、概ね第1~2花房開花期(9月下旬~10月上旬)に該当し(データ略)、窒素施用

量は52 mg・株⁻¹・日⁻¹で、中野らが作成した基準値と概ね一致した。栽培後期については、本試験の結果から設定した晴天日の窒素施肥量は150 mg・株⁻¹・日⁻¹で、MATSUDAら⁷⁾が設定したロックウール栽培での窒素施肥量(130~163 mg・株⁻¹・日⁻¹)の範囲内であった。

糖度は1月下旬~3月上旬にかけて対照区で低濃度区より高くなった。これは、対照区で排液ECが高かったことから、塩ストレスによるものと考えられた。しかし、低濃度区と比較した糖度の上昇はわずかで、低濃度区の糖度についても概ね5度以上であったことから、販売価格に影響がない程度の糖度差であると考えられた。

以上の結果から、トマトの養液かけ流し方式において収量が多く窒素利用率が高い、生育ステージ毎の窒素施肥量を設定した。1日1株当たりの窒素施肥量は、定植~第1花房開花期25 mg、第1~2花房開花期50 mg、第3~4花房開花期75 mg、第5~6花房開花期100 mgである。収穫開始以降は、晴天日を基準に1月まで100 mg、2月以降150 mgとし、曇雨天日は給液量を晴天日の3~5割程度削減する。

生産現場での利用に際しては、①栽培に用いる培養液の組成と給液量を考慮して、今回設定した生育ステージ毎の窒素施肥量となる給液濃度を設定すること、②品種によって窒素施肥量に対する反応が異なると考えられるので、今回の試験と異なる品種を用いる際は、生育状況に応じて窒素施肥量を微調整することが必要である。

引用文献

1. 農山漁村文化協会編. トマト大辞典. 農山漁村文化協会. 東京. p.755(2015)
2. 中野有加, 渡辺慎一, 川嶋浩樹, 高市益行. トマト水耕栽培の無機成分の日施用法における施肥量が収量, 品質および無機成分吸収量に及ぼす影響. 園学雑. 75 (5), 421-429. (2006).
3. 伊藤緑, 番喜宏, 恒川靖弘. CO₂施用下の培養液組成、着果数および葉面積がトマト促成長期栽培における生育・収量に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 50, 27-33(2018)
4. 樋江井清隆, 伊藤緑, 番喜宏, 恒川靖弘. 非破壊によりトマトの個葉面積を推定する回帰モデルの構築. 愛知農総試研報. 50, 19-26(2018)
5. 愛知県農業水産局農政部農業経営課. 農作物の施肥基準. IV【野菜】-30 (2021)
6. Yuka Nakano, Hidekazu Sasaki, Akimasa Nakano, Katsumi Suzuki and Masuyuki Takaichi. Growth and Yield of Tomato Plants as Influenced by Nutrient Application Rates with Quantitative Control in Closed Rockwool Cultivation. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 79(1), 47-55(2010)
7. Ryo MATSUDA, Katsumi SUZUKI, Yuka NAKANO, Hidekazu SASAKI and Masuyuki TAKAICHI. Daily based quantitative nutrient management in rockwool hydroponics: Growth and yield of tomato and nutrient use at elevated CO₂. J. Agric. Meteorol. 66(4), 217-226(2010)