

堆肥の施用量と有機液肥による追肥が トマトの収量と品質に与える影響

中野 明正・上原 洋一

(平成 18 年 11 月 1 日受理)

Effect of Compost and Topdressing of Organic Liquid Fertilizer on Yield and Quality of Tomato

Akimasa Nakano and Yoichi Uehara

I 緒 言

環境保全型農業を推進するためには、堆肥等の再利用可能な有機質資源の循環利用が求められるが、有機物のみの施用では植物の生長に見合った養分の供給がなされないため、慣行施肥に比べ十分な収量や品質が得られない場合が多い。また、土壌に蓄積されている養分は土壌の種類や、前作までの土壌管理法により異なるが、一般的に、栽培が行われてこなかった初作においては土壌中に蓄積された肥料成分が少ないため、相当量の堆肥を施用した場合でも、生育後期において葉色の低下など、肥料不足に伴うと考えられる外観上の特徴が認められる。さらに、ドレンベッドを用いるような隔離床栽培においては、養分を供給する土壌範囲が狭く、土壌からの養分供給量が露地に比べて低くなり葉色の低下も著しい。

通常、肥料不足を起こした場合追肥をするが、一般に有機質肥料は肥料濃度が低く速効性に乏しいため適さない。そのため、本研究ではまず、トマト栽培において通常の数倍から数十倍の過剰施肥の効果を明らかにする区を設定した。さらに、肥効が高く効果的な肥料は化学肥料であるが、有機農産物の認定を受けるには化学肥料を2年以上使用しないことが求められているため、有機農産物の生産を目指す農家は化学肥料の追肥を行えない。そこで、有機農産物の認定を受けた事例もあり、肥効の早い有機液肥（コーンステーパーリカー：CSL）を活用

した追肥法についてあわせて検討した。

CSLはトウモロコシを原料とする製糖工場から排出される副産物であるが、現在までCSLを用いたトマトの有機養液土耕については、実験レベルから（中野ら、2001；中野ら、2005）、現場農家への導入に至るまで（川嶋ら、2006）、幅広く検討され、養液土耕用の肥料としてのその有効性が明らかになっている。本研究では、堆肥をベースとして施用した場合に生じる、初期の肥料不足、特に窒素をはじめとする多量要素の不足を補助する手法としてCSLの追肥について検討し、それがトマトの収量、品質に及ぼす影響を調べた。

II 材料および方法

1 施肥および栽培条件

約30日間育苗したトマト苗（‘ルネッサンス’）を2003年9月29日にスーパードレンベッドに定植した。処理区は無肥料区（0t/10a）、表-1に示す牛糞および鶏糞堆肥を2：1で混合し、定植約10日前に4.2、8.4、16.8

表-1 使用した肥料の成分量

堆肥および液肥	N	P ₂ O ₅	K ₂ O (%)	CaO	MgO
CSL	3	3	2	0.04 **	1.1 **
牛糞堆肥	2.5 *	2.5 **	3 **	2.4 **	1.3 **
鶏糞堆肥	2.2 *	5.6 **	2.5 **	18.2 **	1.7 **

無印は保証成分、*：ケルダール法により分析、**：ICPにより分析
堆肥は乾物当り、CSLは液肥そのものの成分

t /10a の割合で施用した区（堆肥区）の4区、それぞれの区に対して2003年10月30日からCSLで追肥した区（+CSL区）の4区で、総計9区を設けた。灌水量は、2003年11月20日までは1.0L/日/株で行い、その後収穫までは0.67L/日/株とした。2004年2月19日の栽培終了時（定植後136日）までのCSLによる平均追肥量は87mgN/株/日であった。1区当たり8本植え（6.3本/m²）として反復は設けなかった。

2 収量調査および成分分析

a 収量調査

果実については2004年2月19日の栽培終了時の5段階までの収量とした。第1～5段階果房をそれぞれ2003年12月16日、2004年1月6日、1月20日、2月3日、2月19日に収穫し、それぞれ新鮮重を測定するとともに、測定株を無作為に3株選択し、その果房中から無作為に1果を選択し、それぞれの糖度をデジタル糖度計（PR-1, ATAGO社）で測定した。

b 成分分析

窒素濃度および窒素安定同位体比測定には、糖度測定用に選択した果実から一部を縮分し、凍結乾燥を行った後、粉碎した試料を用いた。窒素と $\delta^{15}\text{N}$ 値の分析は、果実および肥料などの分析試料をスズカプセル

（厚さ0.02mm）に100 μg 程度の窒素となるように正確に秤量して封入し、安定同位体比分析装置（EA1110-DELTAplus Advantage ConFlo III System, ThermoFinnigan社）により行った。

アミノ態窒素濃度は、上記の凍結乾燥試料100mgを80%のエタノール5mLで30分間振とうして抽出し、グルタミン酸により検量線を作製し、ニンヒドリン反応により測定した（大山, 1990）。

無機元素濃度は、カリウム、リン、カルシウム、マグネシウムを測定した。分析には上記の乾燥粉碎試料100mgに濃硝酸3mLを添加し120℃で加熱して分解後、蒸留水で希釈調製した硝酸分解液を使用した。分析に際しては原液を適宜希釈しICP発光分析装置（SPS7700, セイコー電子工業）により測定した（小山, 1990）。

III 結果

堆肥区では施用量増加に伴って、葉色が濃くなり、葉の硝酸濃度の上昇が認められたが（データ略）総収量は同程度であった（図-1）。しかし、施用量の増加に伴い1段階目の収量は減少し、逆に5段階目では増加する傾向が認められた。+CSL区は堆肥施用量の増加につれて、堆肥区に比べ葉の緑色が濃くなる外観の改善が認められた。0 t区においては3段階～5段階果房で有意な収量増加

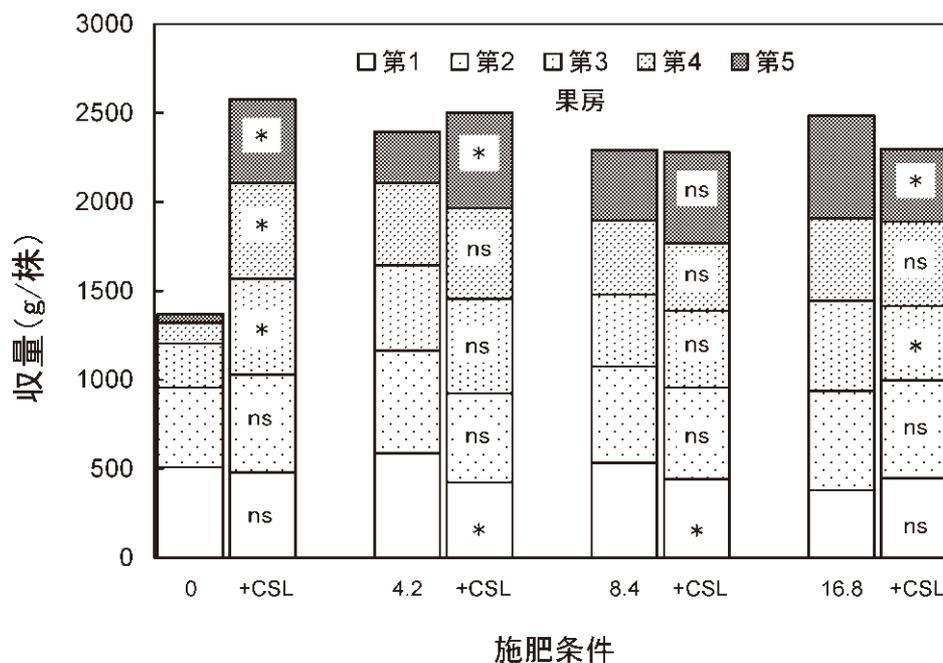


図-1 堆肥の施用量およびCSLによる追肥がトマト収量に与える影響
横軸中の数字は10a当りの堆肥施用量を示し、+CSLはそれぞれの左の堆肥施用量に対しCSLを施用した区を示す。
有意差検定はFisherのLSD検定を用い、±CSL区間で行った。*は5%の危険率で有意差あり。

が認められ、総収量はほぼ倍増したが、堆肥区と比べた場合には、総収量の増加効果は認められなかった。1段目の収量は4.2 tと8.4 t施用では、+CSL区の方が堆肥区に比べ低く、5段目では4.2 t区においてCSLの追肥効果が認められた。

糖度は無肥料区で5.2Brix%、堆肥区で平均5.9 Brix%、+CSL区で平均5.4 Brix%であった。堆肥区が+CSL区に比べ高く、4.2 tおよび8.4 t施用では有意な差が認められ、平均0.4Brix%の上昇が認められた(図-2)。

果実の窒素濃度は+CSL区、堆肥区とも、堆肥の施用量の増加にともない上昇する傾向が認められ、無肥料区で10.1mg/g、堆肥区の4.2 t、8.4 t、16.8 t区でそれぞれ11.1、13.7、16.4mg/gであり、+CSL区の0 t、4.2 t、

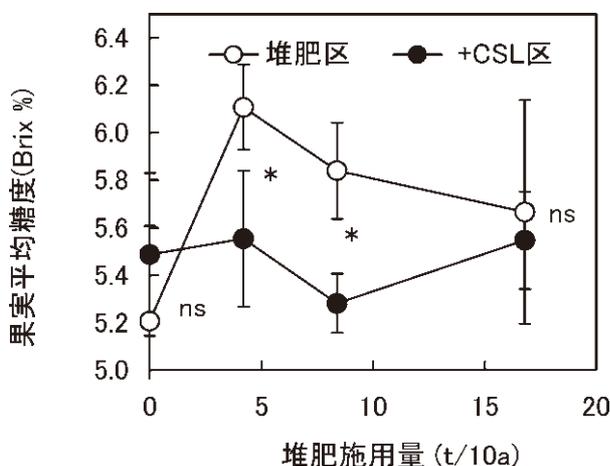


図-2 堆肥の施用量およびCSLによる追肥がトマト糖度に与える影響
値は、第1～5果房の平均値を示し、縦棒は標準偏差を示す。有意差検定はFisherのLSD検定を用い、±CSL区間で行った。nsは有意差なし。*は5%の危険率で有意差あり。

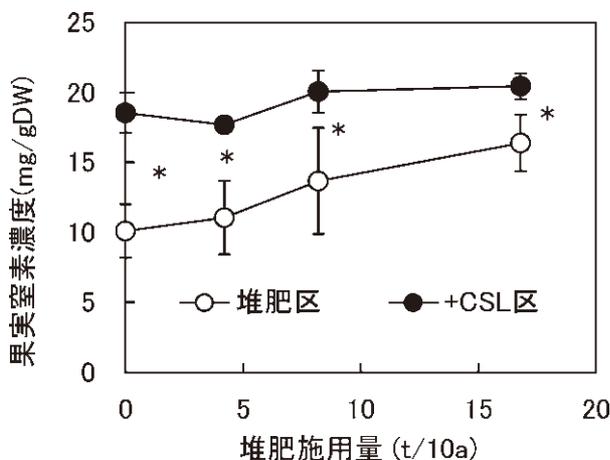


図-3 堆肥の施用量およびCSLによる追肥がトマト果実窒素濃度に与える影響
値は、第1～5果房の平均値を示し、縦棒は標準偏差を示す。有意差検定はFisherのLSD検定を用い、±CSL区間で行った。*は5%の危険率で有意差あり。

8.4 t、16.8 t区でそれぞれ、18.5、17.7、20.1、20.5mg/gであった(図-3)。全ての区において、果実の窒素濃度は+CSL区が堆肥区に比べ有意に増加した。同様に果実のアミノ態窒素濃度も窒素濃度の増加に比例して増加した(図-4)。無肥料区の平均が3.3mg/gなのに対して、堆肥区の平均が5.6mg/g、+CSL区の平均が9.4mg/gであった。無肥料区の果実は窒素濃度およびアミノ態窒素濃度ともに低く、堆肥およびCSLの追肥による窒素濃度の上昇に伴いアミノ態窒素濃度も上昇した。また、CSLの追肥により窒素濃度とアミノ態窒素濃度は堆肥区に比べて高く維持されていた。

果実の $\delta^{15}N$ 値は+CSL区が堆肥区に比べ有意に低くなった(図-5)。無肥料区で+7.8%、堆肥区の4.2 t、8.4 t、16.8 t区でそれぞれ+13.8、+18.6、+18.3%であり、+CSL区の0 t、4.2 t、8.4 t、16.8 t区でそれぞれ、+3.7、+7.4、+8.3、+11.0%であった。

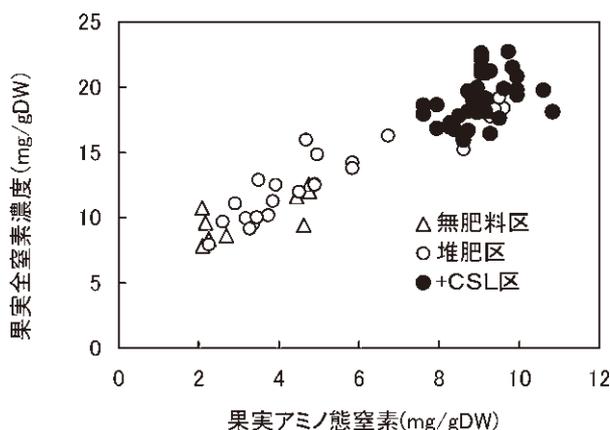


図-4 果実中の全窒素およびアミノ態窒素濃度の関係

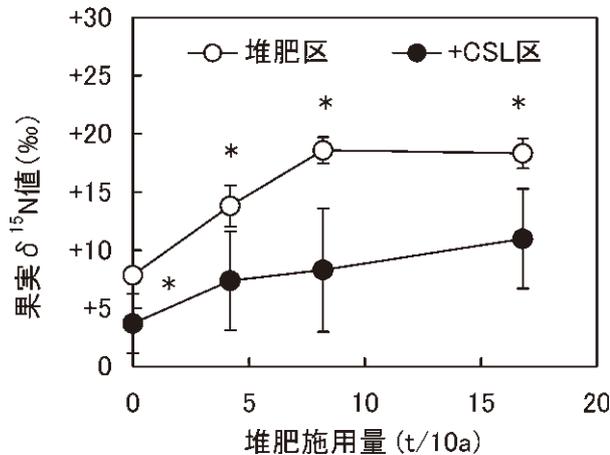


図-5 堆肥の施用量およびCSLによる追肥がトマト果実の $\delta^{15}N$ 値に与える影響
値は、第1～5果房の平均値を示し、縦棒は標準偏差を示す。有意差検定はFisherのLSD検定を用い、±CSL区間で行った。*は5%の危険率で有意差あり。

茎葉部のカリウムとリン酸の濃度は、堆肥区において施肥の増加に伴い、8.4 tまでは増加した(表-2)。カルシウムとマグネシウムは逆に減少する傾向が認められた。堆肥にCSLを追肥した場合、茎葉のカリウムとリン酸の濃度は4.2 t区と16.8 t区で上昇した。カルシウム濃度は8.4 tおよび16.8 t区で上昇し、マグネシウムについては、16.8 t区で上昇した。これらの濃度はCSLの追肥により高められる傾向にあった。

果実の場合、茎葉と異なり施肥の増加に伴う濃度の上昇は、リン酸のみその傾向が認められ、カリウム、カルシウム、マグネシウムはほぼ一定の濃度であった。CSLの追肥効果はほとんどの区において認められず、カルシウムについては4.2 t区で追肥により増加したが、マグネシウムについては、4.2 tおよび8.4 t区で減少した。

IV 考 察

実験で設定した堆肥の施肥量はドレンベッドによる隔離床栽培であるが、野菜畑の堆肥類の基本的施肥量である10a当たり1~2t(木村, 2001)に対して、数倍から十倍に相当する量であり、4.2t区でも過剰施用になっている可能性があった。また、今回の実験の場合ドレンベッドにおいて密植しているため、そのまま比較することは出来ないが、収量の低下から考えて、ドレンベッドにおいては8.4t/10a以下で施用し、CSLで追肥を行うことにより、高段まで収量が連続的に得られる可能性が示された。一方、16.8 t /10a以上は、CSL追肥により果実の窒素濃度増加が頭打ちになっていることや、5段果房の収量低下が認められたことから、CSLにより過剰施肥になっていたと考えられる。

糖度については堆肥区が+CSL区に比べ平均0.4Brix%高くなったが、堆肥が過剰に施用されると糖度が低下し、

品質の向上につながらないと考えられた。この結果からも、ドレンベッドにおける堆肥の施肥量は8.4t/10a以下にすることが望ましいと考えられる。

果実の窒素およびアミノ態窒素濃度は+CSL区が堆肥区に比べ高く、全ての区において有意な差が認められた。通常の化学肥料を用いた栽培において果実の窒素濃度は20mg/g程度であったが(中野ら, 2003)、堆肥の施肥量を通常の数倍から十数倍に増加させても、果実の窒素濃度をそのレベルまで高めることは不可能であった。窒素とアミノ態窒素濃度は高い相関があることから推察すると、堆肥の増施用により、化学肥料を用いた慣行栽培並みの果実アミノ態窒素濃度に高めることは困難であるが、CSLの追肥によりそれが可能となると考えられた。

さらに、実用的な面から考えると、CSLの追肥により高段においても連続的に収穫が望めるため、高段になるほど追肥の有効性が顕著になり収益性が高まる可能性がある。

果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+CSL区が堆肥区に比べ低くなった(図-5)。これはCSLの $\delta^{15}\text{N}$ 値(+5.4%)が堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値(+17.9%, 中野ら, 2003)に比べ低いことから、CSLの追肥により植物体がそれを吸収し果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下したものと考えられた。これらの値は施肥履歴の判別にも活用できるが、果実を構成する窒素の履歴推定に活用できる(中野ら, 2006a)。

$\delta^{15}\text{N}$ 値の2ソースモデル(和田, 2002)から、果実の窒素がCSLおよび堆肥に由来した割合を推定した。今回の実験の場合、根域を制限しており、土壌量が限られていること、栽培前に除塩を行ったこと、施肥量がかなり多量に設定されているため、土壌の寄与は極めて低く想定されると考えて、2ソースモデルを適用した。

f_1 を果実に吸収されたCSLの窒素のフラクションとし、 f_2 を果実に吸収された堆肥の窒素のフラクションと

表-2 茎葉部および果実部の無機成分組成 (mg/gDW)

	堆肥施肥量 t/10a	K		P			Ca			Mg			
		堆肥区	+CSL区	堆肥区	+CSL区	*	堆肥区	+CSL区	ns	堆肥区	+CSL区		
茎葉	0.0	8.6	18.5	*	4.6	12.9	*	32.0	31.7	ns	5.1	7.0	*
	4.2	16.9	26.7	ns	4.5	10.5	*	24.8	24.9	ns	4.2	5.1	ns
	8.4	28.9	28.8	ns	7.7	8.6	ns	18.1	21.7	*	4.5	4.9	ns
	16.8	24.1	33.8	*	6.3	9.5	*	19.6	24.0	*	4.0	5.7	*
果実	0.0	17.7	17.1	ns	4.2	4.5	ns	1.7	1.6	ns	1.5	1.2	ns
	4.2	19.1	18.4	ns	3.8	4.3	ns	1.3	1.7	*	1.3	1.1	*
	8.4	19.0	19.5	ns	4.3	4.3	ns	1.2	1.4	ns	1.2	1.1	*
	16.8	21.0	20.8	ns	4.5	4.8	ns	1.4	1.4	ns	1.3	1.3	ns

有意差検定はFisherのLSD検定を用い、±CSL区間で行った。*は5%の危険率で有意差あり。

する。果実へ吸収された窒素はこの2つに由来すると仮定すると、 $f_f + f_s = 1$ (式1) である。このとき CSL の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値を δ_f 、堆肥の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値を δ_s 、果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を δ_p とすると、 $\delta_p = f_f \delta_f + f_s \delta_s$ となる (式2)。式1を式2に代入して、果実の CSL の窒素への依存率を表現すると、 $f_f = (\delta_p - \delta_s) / (\delta_f - \delta_s)$ (式3) となる。この式から、果実におけるそれぞれの肥料に由来する窒素の依存率を算出した。計算上定数として用いた値は今回使用した CSL の $\delta^{15}\text{N}$ 値である +5.4%、堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値である +17.9% とした。その結果、4.2 t、8.4 t、16.8 t 区それぞれでは、果実を構成する窒素の 84%、77%、55% が CSL から吸収されていると推定され、堆肥の施用量が少なくなるほど、CSL から吸収される窒素割合が増加すると考えられた。過剰施肥による障害が少なく、適切な堆肥施用量にあると考えられる区を 4.2 t および 8.4 t とすると、そのような施用量においては窒素の約 80% を CSL から吸収していると推定された。実用的にも追肥 CSL が果実の窒素濃度やアミノ態窒素濃度を高める重要なソースと成り得ると言える。

無機元素については、茎葉部においては、全般的に CSL の追肥による含量の増加が認められたが、果実部においては、明瞭な増加の効果は認められなかった。

茎葉部については、窒素、リン酸、カリウムの濃度は施肥の増加に伴い増加する傾向が認められるが、CSL の追肥によりそれに上乗せして濃度の上昇が認められた。堆肥の追肥として CSL を用いた場合、平均で、カリウムで 33%、リン酸で 65%、カルシウムで 11%、マグネシウムで 25% の濃度上昇が認められた。比較的移動がしにくく、CSL には少量しか含まれていないカルシウム (表-1) の増加効果は小さかった。

果実の場合、堆肥施用量の増加に伴う濃度の上昇はリン酸のみであり、堆肥の施用量を増加させることにより、無機成分含量を顕著に増加させることは困難であると考えられた。有機物施用により農産物の栄養価が高まるとの結果もあるが (Smith, 1993)、他の報告にもあるように、堆肥を用いることによって、必ずしも通常測定される無機栄養素は増加しないことも明らかにされている (Woese ら, 1997; 中野ら, 2006b)。今回も同様の結果であった。茎葉部と同様に堆肥の追肥として CSL を用いた場合、平均増加量を計算すると、カリウムとマグネシウムが 1%、10% の減少、増加傾向にあるリン酸とカルシウムでもそれぞれ 7% と 15% の増加となり CSL による顕著な果実成分の上昇は認められなかった。

以上まとめると CSL の追肥により果実総収量は堆肥

区と同程度であり、糖度は平均 0.4Brix% 低下するが、アミノ態窒素濃度は 1.7 倍も高くなった。 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた寄与率の試算から、CSL は速やかに吸収され果実のアミノ態窒素濃度を高め、堆肥のみでは達成できない果実の窒素含量の増加が CSL の追肥により可能となる。

V 摘 要

堆肥区では施用量増加に伴って、葉の硝酸濃度の上昇が認められたが、総収量は同程度であった。+CSL 区においては堆肥区に比べ葉色の緑化が認められたが、総収量は堆肥区と同程度であった。糖度は堆肥区が +CSL 区に比べ高く、平均 0.4Brix% の上昇が認められた。茎および果実の窒素濃度は +CSL 区が堆肥区に比べ高く、同様にアミノ態窒素濃度も高くなった。

$\delta^{15}\text{N}$ 値は +CSL 区が堆肥区に比べ低くなった。これは、CSL の窒素が堆肥に由来する窒素に比べて多く吸収され、その結果果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下したものと考えられた。果実に吸収された窒素が堆肥または CSL に由来すると仮定すると CSL に由来する窒素が果実窒素の 55 ~ 84% を占めた。有機物であっても養液土耕のシステムを利用すれば追肥窒素が速やかに吸収され果実の窒素およびアミノ態窒素濃度が高まると考えられた。

堆肥の過剰施肥によっても、トマト果実の窒素濃度を、化学肥料を与えて得られるトマト果実の窒素濃度レベルである 20mg/g 程度にまで高めることはできないが、CSL の追肥により化学肥料並の果実の窒素濃度およびアミノ酸含量に高めることが可能であった。

引用文献

- 1) 川嶋浩樹・古谷茂貴・高市益行・上原洋一・大森弘美 (2006) : 有機養液土耕のトマト促成長期栽培への適用と現地農家への導入。野菜茶研研報, **5**, 55-62.
- 2) 木村武 (2001) : 有機物施用量の決め方。西貞夫監修, 新編野菜園芸ハンドブック, 185-186. 養賢堂, 東京.
- 3) 中野明正・上原洋一・山内章 (2001) : 有機性液肥の連続施用システムの開発とそれがトマトの生育・果実収量・品質および土壌の化学性に与える影響。土肥誌, **72**, 505-512.
- 4) 中野明正・山内章・上原洋一 (2003) : 有機物施用がトマトの収量、糖度、無機成分および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響。土肥誌, **74**, 737-742.
- 5) 中野明正・川嶋浩樹・渡辺慎一・上原洋一 (2005) : 栽培法がトマトの収量と糖度および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響。野菜茶研研報, **4**, 1-7.
- 6) 中野明正・上原洋一 (2006a) : イチゴの $\delta^{15}\text{N}$ 値に及ぼす肥料および土壌窒素の影響。野菜茶研研報, **5**, 7-13.
- 7) 中野明正・上原洋一 (2006b) : トマト生産における施肥、栽培法が収量、品質、環境に与える影響 - 昔のトマトはおい

- しかったか? - 農業および園芸, **81**, 291-301.
- 8) 小山雄生 (1990) : プラズマ発光分析法. 日本土壌肥料学会監修, 植物栄養実験法. 142-147. 博友社. 東京.
- 9) 大山卓爾 (1990) : アミノ酸・ウレイド. 日本土壌肥料学会監修, 植物栄養実験法. 179-182. 博友社. 東京.
- 10) Smith, B.L. (1993) : Organic food vs supermarket foods: element levels. *J.Appl.Nutr.*, **45**, 35-39.
- 11) 和田英太郎 (2002) : 窒素安定同位体比と負荷源の特定. 植物栄養・肥料の事典編集委員会, 植物栄養・肥料の事典. 632-634. 朝倉書店, 東京.
- 12) Woese, K., D.Lange, C.Boess and K.W. Bogl, (1997) : A comparison of organically and conventionally grown foods- results of a review of the relevant literature. *J.Sci.Food Agric.*, **74**, 281-293.

Effect of Compost and Topdressing of Organic Liquid Fertilizer on Yield and Quality of Tomato

Akimasa Nakano and Yoichi Uehara

Summary

Increase of manure application (2.1t/10a to 16.8t/10a) and top dressing by CSL (Corn steep liquor) increased the nitrate concentration in leaves, but did not increase the total yields of tomato. CSL top dressing decreased Brix sugar content by 0.4% compared to only manure applications. In contrast, CSL top dressing increased nitrogen and amino acid contents compared to only manure applications. From the estimation by a two source model using $\delta^{15}\text{N}$ value, 55 to 84% of the nitrogen of fruits was easily taken up from CSL, and increased nitrogen and amino acid contents of tomato fruits.

However, high dose application of manure was not able to increase the fruit nitrogen content to ordinal chemical fertilizer application level (20mg/g); CSL top dressing was able to reach the same level of nitrogen (amino acid) content in fruits from chemical fertilizer applications.