

北海道のトマト栽培ハウスにおける牛糞堆肥の連用効果

誌名	北農
ISSN	00183490
著者名	林, 哲央 日笠, 裕治
発行元	北海道農事試験場北農會
巻/号	84巻3号
掲載ページ	p. 252-260
発行年月	2017年7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



<試験成績・研究成果>

北海道のトマト栽培ハウスにおける牛糞堆肥の連用効果

林 哲 央^{1,2)} 日 笠 裕 治¹⁾

要 旨

北海道のトマト栽培ハウスにおいて牛糞尿由来堆肥を4 t/10a連用すると、土壌の容積重と硬度が低下したが、そこに上乗せして8 t/10aを5年間連用しても上乗せ分に見合う効果が現れなかった。窒素収支からみても、1年当たりの堆肥施用量は4 t/10a程度が適当と考えた。トマトの初期生育から見て、連用4～5年目頃には堆肥4 t/10aにつき5 kg/10aの基肥窒素を削減することが可能になり、規格内収量から見て、連用15～16年目には堆肥4 t/10aにつき追肥窒素を10kg/10a削減することが可能であった。このときの窒素施肥の削減量は堆肥に含まれる窒素の約90%に相当した。

1. はじめに

ハウス栽培で生産性を維持するためには土壌の養分レベルを適切に管理する必要があり、そのためには化学肥料のみならず有機物についても適切に施用される必要がある。ハウス土壌に施用された堆肥から放出される窒素の評価については既に多くの報告があり、関東以南では軟弱野菜類（三好ら2001）やトマト（徳永・木村2002）などで技術化されたものもある。

北海道におけるハウスでは主に春から秋までの期間に作物が栽培され、冬季には作物栽培が行われずに被覆したまま裸地で低温下に置かれる、あるいは被覆を剥がして積雪下にあることが多いため、年間を通じた温度や水分条件が関東以南とは大きく異なる。一方、露地畑については堆肥由来の窒素量の評価についての報告が多くあり（Eghball 2000, Hartz *et al.* 2000）、堆肥からの窒素無機化量は主に温度に依存することが知られている（石橋ら2014）。北海道のハウスについても施用後の積算温度により無機化量を推定することは可能であるが、露地とハウスとでは周年的

な土壌水分等の条件も異なる。従って、無機化した窒素が作物の生育や収量に与える影響を明らかにするためには、実際の圃場で堆肥を連年施用（以下、連用）した場合の経年的な影響を検討する必要があるが、北海道のハウスについてのそのような報告は極めて少ない。

道内のハウス栽培で施用される堆肥は一般に家畜糞尿を含み、中でも牛糞尿由来堆肥が多い（林2011）。ハウスでは連作障害の回避を指向してこれらの堆肥が大量施用されることがあるが（嶋田1977）、堆肥の過剰な投入は土壌や作物に養分負荷を与え生産性を低下させるのみならず、雨や雪により溶脱された成分が農地系外への負荷をもたらす（糸川1997）。このため、ハウスの肥培管理を適正化して農業生産を持続させるためには、実規模で堆肥からの養分放出と作物生育との関係を明らかにする必要がある。近年の肥料価格の高止まりにより、肥培管理の適正化は農業生産現場における喫緊の課題であり、堆肥の肥効を評価することの必要性は一層高まっているが、北海道のハウス栽培ではそのような報告が未だに見当たらない。

そこで、北海道のハウス土壌で夏秋どりトマト栽培を対象に、牛糞尿由来堆肥の連用が土壌物理性の変化、生育および収量に与える影響を明らかにし、適切な堆肥施用量と連用条件下での堆肥に含まれる窒素の肥効について検討した。堆肥施用

* Fertile effects of cattle manures to tomato cultivations in greenhouse fields in cold regions.

1) 道総研 道南農業試験場 Tetsuo HAYASHI
Yuji HIKASA

2) 現在、北海道原子力環境センター

時の施肥窒素量の削減については既報（林・日笠 2017）に詳述した。

2. 方 法

1) 堆肥施用

道南農業試験場（北斗市）の周年被覆ハウス内（土壌は中粒質普通褐色低地土）に1987年から毎年1回、春季に牛糞尿由来堆肥（以下、堆肥）を現物中で（以下、同じ）4 t/10a施用した区（以下、堆肥4 t区）と堆肥を施用しなかった区（以下、堆肥0 t区）を、1998年から4 t区の一部に4 t/10aを上乗せして8 t/10aを施用した区（以下、堆肥8 t区）を設定した（表1）。施用堆肥の4 t/10aは乾物重で1.1 t/10a、8 t/10aは乾物重で2.2 t/10aである。トマトの窒素施肥試験は2001～2002年に行い、4 t区は堆肥連用15～16年目、8 t区は連用4～5年目であった。

1987～1999年にはハウレンソウまたはトマトの栽培試験と緑肥エンバク栽培とを繰り返していた。残渣は概ね持ち出した。

堆肥の施用時期は

1998～1999年に5月上旬、2000～2002年に4月上旬であり、深さ20cmまで施用した。土壌pHは6.0～6.5を維持するように毎年春の堆肥施用と同時に炭酸カルシウムで矯正した。

堆肥の性状は風乾後に微粉碎して測定し、1998～2002年の平均値を示した（表2）。堆肥1 tに含まれる窒素は含有率から約4.08kgと算出された。堆肥は毎年同じ時期に同一の畜産農家から購入した。試験当時は家畜排せつ物法に基づく管理基準が設定された直後の猶予期限内であり、被覆のない屋外で製造されていた。堆肥4 t区および8 t区の面積は各々70 m²、0 t区は170 m²で、堆肥処理の反復は設定しなかったが、各出入口から内側に3 mまでは窒素施肥処理区の設定を行わず、作業機械の踏圧による土壌への物理的な影響を回避した。

1987～2002年のハウス外の年平均気温（道南農業試験場内のAMeDAS観測値）は8.4±0.6℃であった。トマトの栽培試験を行なった2001～2002年のうち、2001年は年平均気温が7.6℃の低温年であったが、栽培期間中（4月下旬～9月上旬）の旬別気温は2001年に最低7.4℃、最高20.7℃、平均16.2℃、2002年に最低9.5℃、最高21.3℃、平均16.2℃で、両年とも平年（最低8.3℃、最高21.8℃、平均16.4℃）並に推移した。

表1 堆肥施用の体系

試験区 (堆肥施用量) t/10a	堆肥施用量 (t/10a/年)		試験最終年の累積堆肥施用量 (=施用量×施用年数): t/10a
	1987～1997 1～11年目	1998～2002 12～16年目	
0 t	0	0	0
4 t	4	4	64 (= 4 × 16)
8 t	4	8	84 (= 4 × 11 + 8 × 5)

注) 試験実施は2001年および2002年。堆肥施用量は現物重（表3以下も同じ）。

表2 供試堆肥、並びに試験年と最近の北海道で用いられていた牛糞堆肥の性質

試験または採集場所	調査年	調査数	乾物率 %	N P ₂ O ₅ K ₂ O			C/N	出典
				(乾物中%)				
本試験	1998～2002	5	27.6	1.48	2.02	1.61	19.7	
道央地域	1999	17	24.2	1.67	1.54	1.87	18.4	北海道農政部, 2005
道央地域	2011	13	—	2.09	1.90	1.00	16.8	東田・林, 2012
道東, 道南, 道央地域	2010～2012	85	30.1	1.50	1.94	2.46	—	花野技他, 2013

注) 本試験の調査数は調査各年につき1。

2) 窒素施肥処理

2001～2002年の各年に堆肥量と窒素施肥量（基肥0, 5 kg/10 a × 追肥0, 10 kg/10a）とを組み合わせた施肥処理を行った。窒素施肥区の設定に当たり、北海道でハウス栽培トマトで一般的な7段果まで収穫する時の窒素施肥量は、堆肥を施用しない場合に基肥窒素10 kg/10a + 追肥窒素20 kg/10aが標準であるため（道総研2015）、これを標準区とした。

基肥は深さ20cmまで全面全層に、追肥は1～5段果の各開花期に5回に等分してかん水チューブによって液肥で全面に、各々硝酸アンモニウムで施用した。各処理の規模は8 m²である。

3) 栽培および調査法

トマト品種「ハウス桃太郎」を用い、4月下旬～9月上旬に夏秋どり作型で栽培して、主枝1本

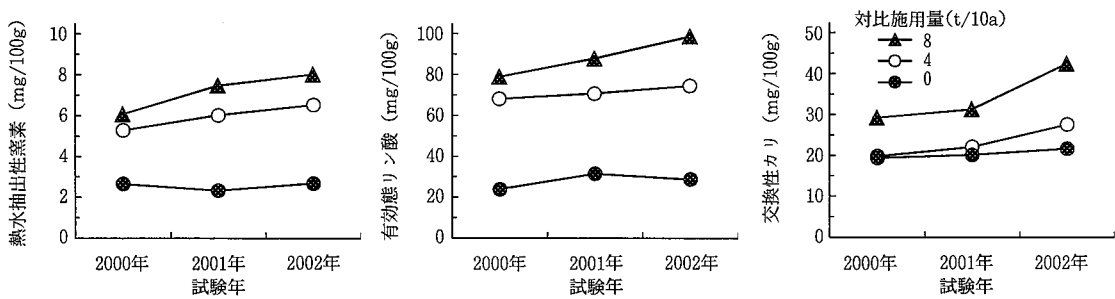


図1 供試年における土壤化学性の推移
注) 基肥前, 各施肥区の平均。

仕立てで7段果まで収穫した。リン酸およびカリは、各区における基肥前の土壤有効態リン酸および交換性カリウム(図1)に基づき施肥対応した。詳細な栽培管理法は既報に示した(林・日笠2017)。

土壤の物理性は、2002年の栽培終了時に100mlの採土管で深さ10cm付近を採取して、水分をpF1.5にして測定した。深さ別の土壤硬度は、2002年の栽培終了時に貫入式土壤硬度計で測定した。土壤の化学性は、深さ20cmまで採取して風乾後に測定した。

初期生育量として夏秋どりトマトへの追肥開始期に当たる定植後30日目に、果房枝の直下の節間で草丈と茎径を測定した。規格内収量は乱形果、尻腐果および90g未満の果実を除いて算出した。トマトの窒素吸収量は収穫した全果実と収穫終了時の茎葉とを合わせて算出した。

3. 結果

1) 堆肥の連用による作土の理化学性的変化

表3に三相分布等を、図2に深さ別の硬度を示した。試験最終年である2002年の栽培終了時に、堆肥4t区および8t区の容積重が0t区よりも

低下した。また、4t区および8t区の深さ2.5~20cmにおける硬度が、0t区よりも小さかった(Tukey法, $p < 0.05$)。他の項目に有意差は見られなかったが、4t区および8t区では0t区より気相率がやや低く、易有効性水分がやや多く、真比重がやや小さい傾向にあった。4t区と8t区とを比べると、作土層の硬度が僅かに8t区のほうが低かったものの、両区間に大きな違いは認

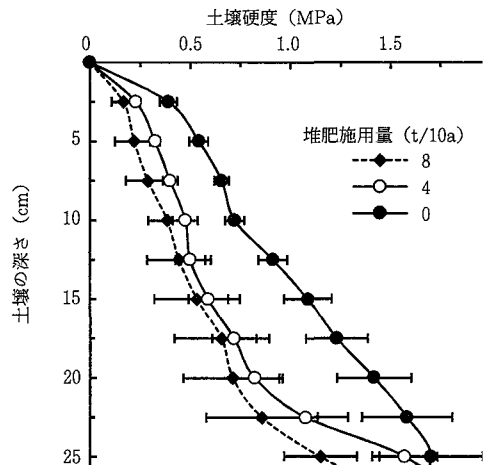


図2 異なる堆肥の連年施用量における深さ別の土壤硬度
注) 2002年の栽培終了時に調査。エラーバーは標準誤差。

表3 異なる堆肥の連年施用量における土壤の物理性

試験区 (堆肥施用量) t/10a	三相分布 (%)			易有効性 水分 (%)	容積重 g/100ml	真比重 g/ml
	固相	液相	気相			
0 t	40.2±5.2	34.0±2.7	25.8±3.9	8.0±0.4	108±9 a*	2.71±0.11
4 t	37.1±3.9	35.2±2.1	27.7±5.2	8.3±0.6	97±4 b	2.64±0.22
8 t	37.1±3.2	36.7±1.2	26.1±2.8	8.6±0.6	96±2 b	2.61±0.23

2002年の栽培終了時に調査。各数値の±以下は標準誤差。n=6。
易有効性水分はpF1.5~2.7。* 異符号間に有意差あり (Tukey法, $p < 0.05$)。

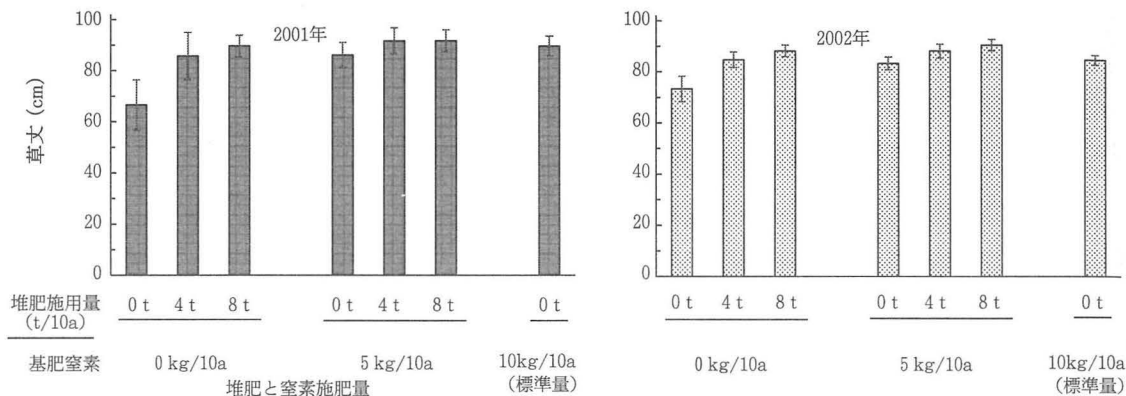


図3 異なる堆肥の連年施用量と基肥窒素施肥量における定植後30日目の草丈

注) 標準量は北海道施肥ガイド2015において7段階まで収穫したときの施肥標準量。図4も同じ。

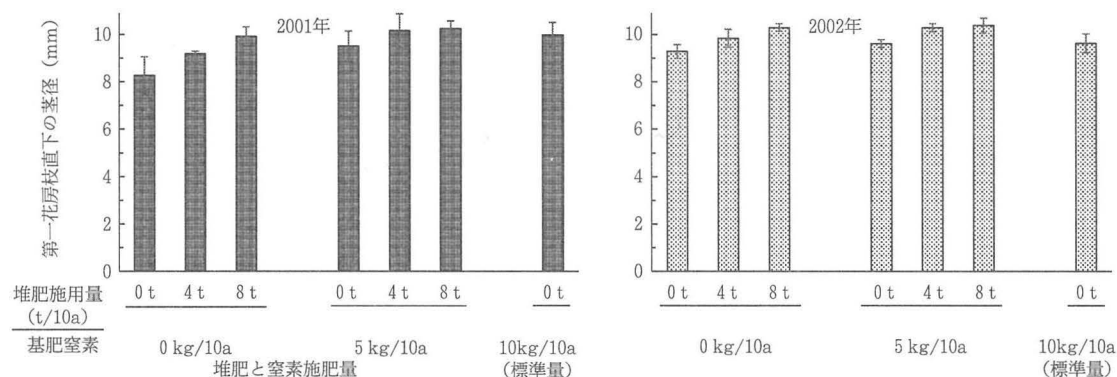


図4 異なる堆肥の連年施用量と基肥窒素施肥量における定植後30日目の第一花房枝下の茎径

められなかった。

土壌熱水抽出性窒素は堆肥施用量が多いほど高かった(図1)。各年の栽培期間中の土壌無機態窒素は、定植時から追肥開始頃までは堆肥施用量が多いほど高い傾向にあり、収穫終了時には処理間差が見られず、土壌への残存は見られなかった(林・日笠2017)。栽培期間を通じた最高値は堆肥8t区で4.7mg/100gを示し、これは北海道のトマト栽培における土壌診断基準値(道総研2015)の下限(5mg/100g)より低かった。

2) トマトの初期生育

定植後30日目の草丈および第1花房枝直下の茎径は、堆肥施用量が多いほど大きい傾向にあった(図3, 図4)。北海道におけるハウス栽培トマトの施肥標準(道総研2015)では、堆肥無施用時の

基肥窒素を10kg/10aとしているため、各処理区と基肥窒素が10kg/10aの標準区とを比較すると、[堆肥4t+基肥5kg]区、並びに[堆肥8t+基肥0kg]区において、各年とも草丈および茎径が同等以上であった。即ち、トマトの初期生育面から堆肥中窒素の肥効を基肥窒素の削減量に対応させると、堆肥4t/10aから供給された窒素は基肥窒素5kg/10aの削減を、上乘せ分を含む堆肥8t/10aから供給された窒素は基肥窒素10kg/10aの削減を可能にした。

3) トマトの規格内収量と窒素吸収量

規格内収量は、堆肥施用量が多いほど多くなる傾向にあった(表4)。処理区別に標準区と比較すると、[堆肥4t+基肥5kg+追肥10kg]区、並びに[堆肥8t+基肥10kg+追肥10kg]区に

表4 異なる連年施用の堆肥、基肥および追肥窒素施肥量におけるトマトの規格内収量と窒素吸収量

堆肥連年施用量 t/10a	基肥窒素 追肥窒素 kg/10a		規格内収量 (t/10a)		窒素吸収量 (kg/10a)	
			2001年	2002年	2001年	2002年
0	0	0	4.2	6.4	6.7	7.1
4	0	0	5.2	8.3	10.8	10.7
8	0	0	7.1	9.7	14.9	16.5
0	5	0	5.1	7.9	9.3	9.8
4	5	0	7.6	9.3	12.5	11.9
8	5	0	8.3	11.0	15.1	16.4
0	0	10	8.2	11.5	12.4	14.5
4	0	10	12.1	12.9	20.4	20.7
8	0	10	13.6	13.9	27.7	20.9
0	5	10	10.5	11.8	14.6	16.9
4	5	10	12.8	13.2	24.7	19.6
8	5	10	13.6	14.8	28.9	25.6
注) 0	注) 10	注) 20	12.9	12.9	22.3	23.9

注) [堆肥0 + 基肥窒素10kg/10a + 追肥窒素20kg/10a]が標準区。

において、各年とも同等以上の収量が得られた。即ち、トマトの収量面から堆肥中窒素の肥効を施肥窒素の削減量と比較すると、堆肥4 t/10aから供給された窒素は施肥窒素15kg/10a（基肥5 kg + 追肥10kg）の削減に、上乗せ分を含む堆肥8 t/10aから供給された窒素は施肥窒素20kg/10a（基肥10kg + 追肥10kg）の削減に見合った。窒素吸収量も堆肥施用量が多いほど多く、その処理間差は収量と同様の傾向にあった（表4）。

4. 考 察

1) 土壌物理性から見た適当な堆肥施用量

土壌の容積重や硬度は堆肥の連用により低下したが、上乗せ5年目の試験終了時点で現物4 t区（乾物で1.1 t）と8 t区（同2.2 t）との違いは認められなかった（表3、図2）。即ち、試験終了時点での累積施用量の差は両区で延べ20 t/10aになったが（表1）、この差は物理性の変化に反映しなかった。このことから、堆肥の連用による土壌物理性の改善効果は長期間連用すると1年当たり4 t/10a、累積で60 t/10a程度の量で認められ、既に一定程度の改善効果の得られた土壌に対して5年程度の短期間に大量の上乗せ施用をしても、それに見合う改善効果が現れなかったものと考えられる。

大橋・岡本（1985）は滋賀県の露地畑における

事例として、乾物で4 t/10aの堆肥連用により気相率が高まり過ぎて干害の恐れが生じることを報告している。Meekら（1982）はカリフォルニアにおける事例として、堆肥施用量が多くなるほど土壌の水浸透速度が速くなるが、乾物で7 t/10a以上を連用してもその変化が頭打ちになることを報告している。これらの量は本稿における堆肥8 t区の約2～3倍量の乾物を施用したときの知見であるが、大量施用が弊害を起こすことを示している。北海道では新規に建設されたハウスに対して、土壌物理性の早急な改善を目的として堆肥を大量に施用する事例が見られるが（林ら2009）、そのような場合、大量施用の弊害として養分負荷が起こる可能性が高い（大西ら1984）。北海道のハウス栽培では地力維持のために堆肥を1年当たり現物4 t/10a施用することが奨励されており（道総研2015）、本試験の結果は、これを支持するものである。

家畜糞尿由来堆肥を連用したときの土壌の物理的な改善効果を論じた報告は関東以南の露地畑では多く（峰岸ら1984、北村・久保田1985、大橋・岡本1985、加藤・米田2001、宮丸ら2012）、何れも乾物で0.5～1.5 t/10a、即ち、本稿における堆肥4 t区（乾物で1.1 t/10a）と同程度の牛糞由来堆肥を連用して土壌の物理的な改善効果を認めている。一方、施設栽培を対象にしたものは関東

以南においても数少ないが、佐野ら（2012）は大阪府において、現物 2 t/10a の牛糞堆肥を 9 年間連用して土壌容積重が低下したことを報告しており、このときの乾物での施用量は、堆肥の乾物率を 35% と想定すると（内山ら 2011）、0.7 t/10a 程度と推定される。大阪と北海道とでは気象条件が異なるものの、ともに長期間の連用により 1 年当たり乾物換算で 1 t/10a 前後の堆肥施用で土壌容積重の改善効果が得られたと推察される。

2) トマトの初期生育からみた堆肥施用時の基肥窒素の削減

土壌に堆肥を施用した場合は、堆肥から得られる肥効に相当する施肥量を削減する必要がある。トマトの窒素施肥は、基肥は主に定植後の活着と初期生育を高めるために施用され、追肥は果実の肥大が始まって以降に草勢を維持しつつ長期に亘り収穫を継続するために施用される。

そこで、初期生育量により堆肥施用による基肥窒素の削減効果を検討し、その指標として定植後 30 日目の草丈と第一果房枝直下の茎径を見た。これらの生育は、堆肥 4 t 区で基肥窒素を 5 kg/10a 削減、並びに堆肥 8 t 区で基肥窒素を 10kg/10a 削減したときに標準通り施肥した区と同等以上であったことから、基肥窒素は堆肥 4 t/10a につき 5 kg/10a 削減できたことになる。

本試験では毎年 4 月に堆肥を施用しトマトを定植したが、北海道の 4 月は低温であり、施用された直後の堆肥の分解は緩慢と推定される。堆肥 8 t 区におけるトマトは内 4 t 分の上乗せ施用を開始してから 4～5 年目に栽培されており、上乗せ分の堆肥の初期生育への肥効は、連用により得られたものと推察される。堆肥からの窒素放出量は連用により次第に高まることから（志賀ら 1990、六本木ら 1992、住田ら 2002）、堆肥 8 t 区においても 4～5 年の連用により、上乗せ分の堆肥 4 t/10a につき基肥窒素を 5 kg/10a 削減することが可能になったものと考えられる。

3) 収量からみた堆肥施用時の追肥窒素の削減

北海道のトマト栽培における堆肥施用時の窒素施肥の削減可能性については、基肥と追肥との配

分割が検討されていない（道総研 2015）。また、ハウス栽培で堆肥を施用したときの窒素施肥については全国的に多くの報告があるが（郡司掛・久保 1996）、基肥と追肥を総合的に勘案して削減を検討した報告は極めて少ない。本報告では連用条件における堆肥の施用効果を基肥と追肥毎に明らかにした。

前項で得られた「連用堆肥 4 t/10a につき基肥窒素を 5 kg/10a 削減可能」との結論を前提に、堆肥連用と追肥窒素との関係を、収量性から検討した。各処理区を標準区と比較すると、施肥標準区における追肥窒素量の 20kg/10a から 10kg/10a を削減した [堆肥 4 t + 基肥 5 kg + 追肥 10kg] 区で、概ね標準区と同等の規格内収量が得られた。少なくとも連用期間が 15～16 年間に達していれば、堆肥 4 t/10a で追肥窒素を 10kg/10a 削減することが可能になるものと考えられる。

また、堆肥を上乗せ施用した [堆肥 8 t + 基肥 0 kg + 追肥 10kg] 区でも規格内収量が標準区と同等以上であり、同様に追肥窒素の削減可能量が 10kg/10a と判断された。即ち、4～5 年にわたって堆肥 4 t/10a を上乗せしても追肥窒素の削減可能量は高まらなかったことになる。ただし、これは堆肥の連用期間が 15～16 年の長期にわたり、堆肥由来窒素の利用率が極めて高まった条件において、更に堆肥を上乗せ施用した処理区との差引き計算により得られた結果である。連用 4～5 年目の堆肥中窒素による追肥窒素の削減効果は、土壌中の堆肥由来窒素の利用可能量が少ない場合には得られる可能性がある。

4) 連用による堆肥施用時の窒素削減量の増加

基肥と追肥とを合わせた削減可能な窒素量は、連用 15～16 年目に堆肥 4 t/10a の施用で 15kg/10a になり、この結果から算出すると、堆肥 1 t/10a につき「減肥窒素量/堆肥施用量」が $15/4 = 3.75\text{kg}/10\text{a}$ の窒素の削減が可能になると考えられる。栽培期間中に供給される堆肥由来の窒素量は堆肥の性状により異なるものの、この削減可能推定量を関東以南における事例と次に比較した。

本試験で供試した堆肥の場合、乾物率と窒素含

有率(表2)から算出された堆肥1tに含まれる窒素は4.08kgである。連用15~16年目に堆肥1tにつき窒素を3.75kg削減すると、その削減量は「削減窒素量/全窒素量」が3.75/4.08で堆肥中の全窒素のうち92%に相当する。一方、関東以南の施設栽培では施用当年の牛糞堆肥中窒素の3割程度が作物に吸収され(三好ら2001)、あるいは6割程度が栽培期間中に無機化する(大前ら2003)との報告や、施用2年目の牛糞堆肥中窒素の4割程度が作物に利用される(徳永ら2003)との報告がある。このことから、本試験では連用により堆肥中窒素の利用率が関東以南の施用当年~2年目頃における事例より高かったと理解される。

本試験における栽培期間中のハウス内の地温は4~5月に11~19℃、7~8月に20~23℃で推移しており、これはハウス内の地温としては4~5月に15~22℃で推移した熊本県での事例(岩崎ら1994)や、7~8月に24~26℃で推移した広島県での事例(沖森ら1982)より概ね3~4℃低く、冷涼な条件であった。地温の低い北海道では施用当年の堆肥に含まれる窒素の無機化は遅いが、連用により土壤に堆肥由来の窒素が年々蓄積する。その窒素が栽培期間中に無機化するため、作物に吸収される窒素量が連用年数の経過とともに高まり、本試験では施用当年~2年目頃の関東以南以上に堆肥由来の窒素を利用できたものと考えられる。

5) 土壤熱水抽出性窒素と施肥窒素の削減量

土壤における可給態窒素の一つの指標である熱水抽出性窒素(斎藤1988)を各堆肥施用量区別に見ると、2001~2002年に堆肥4t区と0t区とで約3.7mg/100g、堆肥8t区と4t区とで約1.5mg/100gの差があった。これを施肥窒素の削減量と対応させると、堆肥4t区では窒素を15kg/10a、8t区では上乗せ分の堆肥4tにつき窒素を5kg/10a削減できたことから、熱水抽出性窒素1mg/100g当たりの施肥窒素の削減可能量は $(5/1.5) \sim (15/3.7) = 3.3 \sim 4.1 \text{kg}/10\text{a}$ と算出された。ただし、熱水抽出性窒素の高い土壤では施用有機物の分解能が高い傾向にあり(中辻

ら2008)、この削減可能量は熱水抽出性窒素が5~8mg/100g程度にあるときの一事例である。

6) トマト栽培時の窒素収支と堆肥施用量

本試験に供試された堆肥に含まれる窒素が全て分解された場合、堆肥1tにつき4.08kgの窒素が放出されることになり、堆肥を4t/10a施用すると16.3kg/10aの窒素が投入される。一方、本試験で規格内収量が10t/10a(道総研2015)得られたときのトマトの窒素吸収量は15~23kg/10aであった。トマト栽培では草勢を維持するために生育時期別の精密な窒素管理が重要になるが、農業現場における堆肥の性状と堆肥からの窒素供給パターンは多様である。このためトマトの窒素施肥では、堆肥のみでの窒素供給は行わず、堆肥と化学肥料を併用してトマトに吸収させる窒素量の一部分を堆肥由来窒素で供給することが望ましい。1年当たりの堆肥施用量もそれを前提に設定する必要がある。

本試験では堆肥8t/10aを連用したときの窒素肥効についても論議したが、この場合、堆肥由来の全窒素投入量が「堆肥中の全窒素×堆肥施用量」で $4.08 \times 8 = 32.6 \text{kg}/10\text{a}$ と算出され、トマトの窒素吸収量よりも明らかに多かった。その全量が無機化されるわけではないものの、余剰に投入された窒素は土壤とハウス周辺環境に負荷を引き起こす恐れがある(大村・坂本2000)。また、本稿における試験処理では堆肥施用時の窒素施肥量を最大で15kg/10aと、トマトの窒素吸収量の20~29kg/10aより少なく設定したこともあり、跡地土壤の無機態窒素は堆肥8t区でも高まらなかったが、過剰な堆肥施用は、長期的には土壤窒素過剰のために作物の生産性を低下させる(嶋田1977)ことになる。

以上の点からも、堆肥の年間施用量は4t/10aが適当と考えられる。これを連用してトマト栽培時には施肥窒素を適切に削減することにより、北海道のハウス土壤における生産性が維持され、かつ農業系外への窒素負荷が軽減されるなど、堆肥利用の適正化が進むものと期待される。

7) 現在の堆肥での窒素削減可能量

1998～2002年の本試験に供試された堆肥は、同期間に含まれる1999年に北海道の道央地域において採集された牛糞由来堆肥（北海道農政部2005）と比較して、乾物率がやや高く、乾物中窒素含有率はやや低く、C/N比に大きな違いは認められなかった（表2）。このことから、両者の窒素無機化程度に大差はないと推察され、本試験に供試された堆肥は、試験当時のハウス栽培における堆肥の窒素肥効を論じる上で概ね適当な材料であったものと判断される。

一方、いわゆる家畜排せつ物法が施行されて以降、家畜糞尿由来堆肥は主にコンクリート床上の屋根付き舎で製造されるため、窒素含有率がそれ以前より高い傾向にある（大津ら2012）。近年の2011年に道央地域で採集された牛糞堆肥（東田・林2012）では、本試験に供試された堆肥よりも窒素含有率が高かった。2010～2012年に道内各地で採集された牛糞堆肥（花野技せ他2013）は、窒素含有率は本試験の堆肥と同程度であったが、乾物率が1割程度高く、このことから、現在の北海道で一般に流通している堆肥では、堆肥連用条件での窒素削減可能量は、本試験で得られた結論より1割程度多くなるものと推察される。

なお、供試堆肥に含まれるリン酸とカリは、1999年や2011年に採集された堆肥中の各成分と最大で4割程度異なったが（表2）、これらは堆肥の堆積場所や家畜糞尿に混合する副資材の違いにより生じる変動の範囲内（日置ら2001、大嵩ら2015）にあったものと判断される。

謝辞

道総研道南農業試験場前研究部長の丹野 久博士、並びに安積大治元研究部長（現在、中央農業試験場）には本稿をご校閲頂き、川原祥司元専門研究員には多くの有益な助言を頂いた。以上の各位に謝意を表す。

引用文献

- Eghball, B. (2000). Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, 2024～2030.
- 郡司掛則昭, 久保研一 (1996). 有機物の窒素分解特性と果菜類に対する効果的施用法. 熊本農研ゼ報, 5, 46～55.
- Hartz, T.K., Mitchell, J.P. and Giannini, C. (2000). Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *Hort Sci.*, 35, 209～212.
- 林 哲央, 日笠裕治, 坂本宣崇 (2009). 北海道のハウス栽培における層別別の土壌養分, とくに硝酸態窒素の実態と下層土診断法の有効性. 土肥誌, 80, 14～22.
- 林 哲央 (2011). 寒冷地の施設栽培における土壌診断と肥培管理法に関する研究. 道総研農試報告, 129, 7～14.
- 林 哲央, 日笠裕治 (2017). 北海道の施設トマト栽培における牛糞堆肥連用時の窒素施肥量の削減. 土肥誌, 88, 234～237.
- 東田修司, 林 哲央 (2012). 北空知の稲作地帯で使われる堆肥の肥効成分. 北農, 79, 323～333.
- 日置雅之, 北村秀教, 久野智香子, 加藤 保 (2001). 愛知県で生産される家畜ふん堆肥の化学組成. 愛知農総試研報, 33, 237～243.
- 北海道農政部 (2005). 北海道における有機質資材の利用ガイド, p.56～66, 北海道農業改良普及協会, 札幌.
- 道総研花野技せ・中央農試・道南農試・十勝農試・北見農試・ホクレン肥料 (2013). 有機物の肥効評価と局所施肥を活用した畑作物・野菜に対するリン酸減肥指針, p.99～101, 平成24年度北海道農業試験会議（成績会議）資料.
- 北海道立総合研究機構農業研究本部 (2015). 北海道施肥ガイド2015, p.81～83, p.96～98, 北海道農政部, 札幌.
- 石橋英二, 藤原(芝)宏子, 鷲尾建紀, 大家理哉 (2014). 堆肥等有機質資材からの窒素無機化率の推定における反応速度論的手法の新たな解析方法の提案. 土肥誌, 85, 362～368.
- 糸川修司 (1997). 施設畑における施肥窒素の挙動と地下水の硝酸態窒素濃度. 土肥誌, 68, 327～330.
- 岩崎守光, 猪原健一, 久保研一 (1994). ビワ紫斑症に関する研究 第1報 紫斑症発生と地温. 九州農業研究, 56, 233.
- 加藤哲郎, 米田和夫 (2001). 堆肥の長期連用が黒ボク土の理化学性ならびにキャベツとダイコンの収量に及ぼす影響. 土壌の物理性, 87, 3～17.
- 北村明久, 久保田増栄 (1985). 鉅質畑の地力に対する有機物連用の影響（第1報）土壌中における各種有機物の分解と集積ならびに土壌理化学性の変化と作物生育. 高知農林研報, 17, 63～77.
- Meek, B., Graham, L. and Donovan, T. (1982).

- Long-term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter, and water infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 1014~1019.
- 18) 峰岸恵夫, 只木正之, 松本泰彦, 栗原久義 (1984). 淡色黒ボク畑地における牛糞連用効果. 群馬農研, A総1, 23~34.
- 19) 宮丸直子, 伊波 聡, 儀間 靖, 亀谷 茂, 豊田剛己 (2012). 緑肥と堆肥の連用がジャーガルの各種性質に及ぼす影響. 土肥誌, 83, 280~287.
- 20) 三好昭宏, 桑名健夫, 西口真嗣, 吉倉惇一郎 (2001). 施設軟弱野菜に施用した牛糞堆肥由来窒素の吸収利用. 土肥誌, 72, 558~561.
- 21) 中辻敏朗, 坂口雅己, 柳原哲司, 小野寺政行, 櫻井道彦 (2008). 有機栽培野菜畑の窒素肥沃度指標とその簡易分析法. 土肥誌, 79, 317~321.
- 22) 沖森 當, 吉田隆徳, 長谷川繁樹, 道下数一 (1982). 地温低下による施設の夏期利用技術の確立. 広島農試報告, 45, 79~103.
- 23) 大橋恭一, 岡本将宏 (1985). おがくず入り牛ふん厩肥連用による野菜収量と土壌水分環境の変動. 土肥誌, 56, 373~377.
- 24) 大高洋子, 安藤光一, 久保田貴志 (2015). 近年千葉県で流通している家畜ふん堆肥の化学性的特徴. 千葉農林総研報, 7, 67~74.
- 25) 大前加陽子, 福留紘二, 遠城道雄・林 満 (2003). 牛糞堆肥の施用がメロンの生育, 収量, 品質と培養土の理化学的性質に及ぼす影響. 鹿大農学報, 53, 1~14.
- 26) 大村邦男, 坂本宣崇 (2000). 施設花き栽培における硝酸態窒素の流出と環境負荷の軽減対策. 北海道立農試集報, 79, 59-66.
- 27) 大西成長, 吉田光二, 佳山良正 (1984). 施設栽培における厩肥連用が土壌の化学性に及ぼす影響. 土肥誌, 55, 311~315.
- 28) 大津善雄, 藤山正史, 生部和宏 (2012). 長崎県で生産される家畜ふん堆肥の化学性. 長崎農林技セ研報, 3, 67~79.
- 29) 六本木和夫, 石上 忠, 武田正人 (1992). 稲わら堆肥の連用が野菜の生育収量に与える影響. 土肥誌, 63, 690~695.
- 30) 斎藤雅典 (1988). 土壌可給態窒素量の紫外部吸光度法による評価. 土肥誌, 59, 493~495.
- 31) 佐野修司, 木村良仁, 山崎基嘉, 内山知二 (2012). 施設栽培におけるズイキの養分吸収量の評価. 大阪環農水研報, 5, 19~21.
- 32) 志賀弘行, 宮森康雄, 木村 清 (1990). 稲わら連用水田における土壌窒素肥沃度の評価. 道立農試集報, 60, 125~131.
- 33) 嶋田永生 (1977). 施設栽培の諸問題. 化学と生物, 15, 368~374.
- 34) 住田弘一, 加藤直人, 西田瑞彦 (2002). 寒冷地灰色低地土水田における堆肥長期連用試験からみた化成肥料及び堆肥中の窒素の行方. 東北農研研報, 100, 49~59.
- 35) 徳永哲夫, 木村 靖 (2002). 雨よけトマト栽培における施用有機物の肥効を考慮した施肥法. 山口農試研報, 53, 30~34.
- 36) 徳永哲夫, 木村 靖, 米山忠克 (2003). 堆肥または化学肥料を施用した雨よけトマト栽培での作物体と土壌無機態Nの $\delta^{15}N$ 値の変動. 土肥誌, 74, 323~331.
- 37) 内山知二, 佐野修司, 辰巳 眞, レオン愛, 小原洋 (2011). アンケート調査から見た施用堆肥からの肥料成分供給量の推定. 大阪環農水研報, 4, 21~25.