



20160105

有機肥料研究 3

堆肥 4 種類のコマツナ栽培試験

植物栄養学研究室・助教 落合久美子

はじめに

地域環境の保全と資源の循環を目的として、多様な有機性廃棄物原料からの堆肥製造が行われている。しかし、製造された堆肥の流通、利用は必ずしも順調ではない。この原因として、堆肥の品質や肥効には原料や製造方法によるばらつきが大きく、どのように用いるかの判断が難しいことがあげられる。

堆肥利用の促進には、個々の堆肥を評価し、適切な利用法を提案することが必要である。本試験では、原料の異なる 4 種類の市販堆肥を、化学分析、土壌インキュベーション試験とコマツナ栽培試験により評価しようと試みた。

実験方法

供試堆肥

試験には市販されている 4 種類の堆肥 (A-D) を用いた。堆肥 A, B は共に広島県内で流通する堆肥である。堆肥 A (「ゆうきくん」, ニシセト商事) は広島県尾道市のし尿処理施設因島クリーンセンターから排出されるし尿汚泥を原料とし、副資材としてもみ殻が添加されている。堆肥 B (「完熟こだわり健肥」, 広島県製肥) は地域畜産農家由来の牛ふんを原料とし、副資材にはおが粉が用いられている。堆肥 C (「JA 活緑」, JA 京都中央) は酒造会社排水汚泥とビール粕、街路樹等の剪定枝を原料とする。堆肥 D は飼料会社名で市販されている鶏糞から製造された堆肥で、ペレット状 (5×10 mm) に加工されている。

各堆肥は入手後、一部を小分けして 7mm メッシュで篩別し粗大物を除いて以下の試験に用いた。鶏糞堆肥 D はペレット加工されているため篩別は行わなかった。篩別した試料は使用まで 4°C で保管した。

堆肥の成分分析

堆肥試料を 70°C で乾燥して水分含有率を測定したのち、カッターミルで粉碎した。堆肥の全窒素量及び全炭素量は燃焼法 (スミグラフ NC-22F, 住化分析センター) で測定した。乾燥試料 3 g を 30 mL の 2 mol/L KCl で震盪抽出し、この抽出液をブレンナー蒸留し、塩化カリウム抽出液から MgO 添加

により回収されるアンモニアをアンモニア態窒素、デバルタ合金によって還元されて生成するアンモニア態窒素を硝酸態窒素とした。回収されたアンモニアはインドフェノール法で比色定量した。堆肥試料を硫酸分解し、モリブデンブルー法によってリン酸含有量を、炎光分析法 (AA-6200, 島津製作所) によってカリウム含有量を、原子吸光分析法 (同) で全亜鉛含有量を測定した。

pH と EC については、乾物として 5g に相当する重量の現物に水 50mL となるよう蒸留水を加えて 30 分震とうし、pH はガラス電極法で、EC は電気伝導度計を用いて測定した。

インキュベーション試験

堆肥を、適切な温度のもとで適切に湿った土壌とインキュベートすると、堆肥・土壌に含まれる有機態窒素の一部が微生物の作用によってアンモニウムイオンや硝酸イオンに変化する。そこで各種堆肥をマサ土と混和して恒温で静置した。マサ土は建材として市販されているものを風乾、篩別して用いた。堆肥 D (鶏ふんペレット) はカッターミルで粉碎して使用した。100 mL 容ガラスバイアル (30 × 100 mm) に風乾マサ土 20 g と堆肥試料 400 mg (現物)、蒸留水 4.7 mL を加えて 30°C で静置した。インキュベーション試験での土壌 (20g) と堆肥 (400mg) の混和比は、次に述べるコマツナ栽培試験の堆肥 20g 施用区に等しい。インキュベーションバイアルあたり 1mg の窒素は栽培試験ポットあたり 50mg の窒素に相当する。対照として堆肥を混和しないマサ土のみの処理を設けた。インキュベーションバイアル中のアンモニア態窒素量及び硝酸態窒素量は KCl 抽出-ブレンナー蒸留-インドフェノール法で測定した。

コマツナ栽培試験

堆肥の肥効をコマツナ土耕栽培試験により評価した。栽培には 1-L 容プラスチックポットを用いた。以下の①～⑥のように堆肥現物と硝酸アンモニウムを 7mm メッシュで篩別した風乾土壌 (マサ土) 1kg と混和した。

① $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3\text{-N}$ 5mg+堆肥 10g



- ② $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3\text{-N}$ 5mg+堆肥 20g
 ③ $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3\text{-N}$ 5mg+ $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$ 100mg+ 堆肥 10g
 ④ $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3\text{-N}$ 5mg+ $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$ 100mg+ 堆肥 20g
 ⑤ $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3\text{-N}$ 5mg+ $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$ 0, 50, 100, 150, 200mg
 ⑥ $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$ 0, 100mg

ここで、 $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ は ^{15}N 標識された硝酸アンモニウムを、 NH_4NO_3 は非標識硝酸アンモニウムを示す。また、すべてのポットに、 K_2HPO_4 490mg, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 300mg, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 260mg を与えた。各処理3連、計69ポットである。

土壌と肥料を混和してポットに詰めた翌日に、コマツナ (*Brassica rapa* L. 品種「楽天」) 種子をポットあたり6粒ずつ播種した。発芽後各ポット3個体の間引いた。栽培はガラス室内で2015年10月7日から11月9日の33日間行った。

コマツナ試料の分析

コマツナは地上部と根に分けて収穫し、70°Cで乾燥して乾物重を測定した。ただし前記⑥の2処理区については根のサンプリングは行わなかった。地上部試料はボールミルを用いて粉碎し、窒素含有量の定量に供試した。窒素の定量は燃焼法で行った。 ^{15}N 存在比 (^{15}N atom%) の分析は株式会社SIサイエンスに依頼した。

表1 供試堆肥の成分分析値 (現物あたり)

堆肥	原料	含水率 (%)	pH(1:10)	EC (mS/cm)	C/N比	Total-N (%)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (ppm)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (ppm)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	Zn (ppm)
A	し尿汚泥・もみ殻	50.6	5.3	2.7	11.0	1.25	3280	1040	1.83	0.38	229
B	牛ふん・おが粉	61.0	8.5	4.0	29.0	0.53	12	6	1.10	1.05	76
C	食品工業汚泥・剪定枝	38.0	8.4	2.5	7.9	2.84	3830	150	1.68	0.85	108
D	鶏ふん	11.7	9.5	5.2	9.4	1.93	232	29	5.32	3.90	552

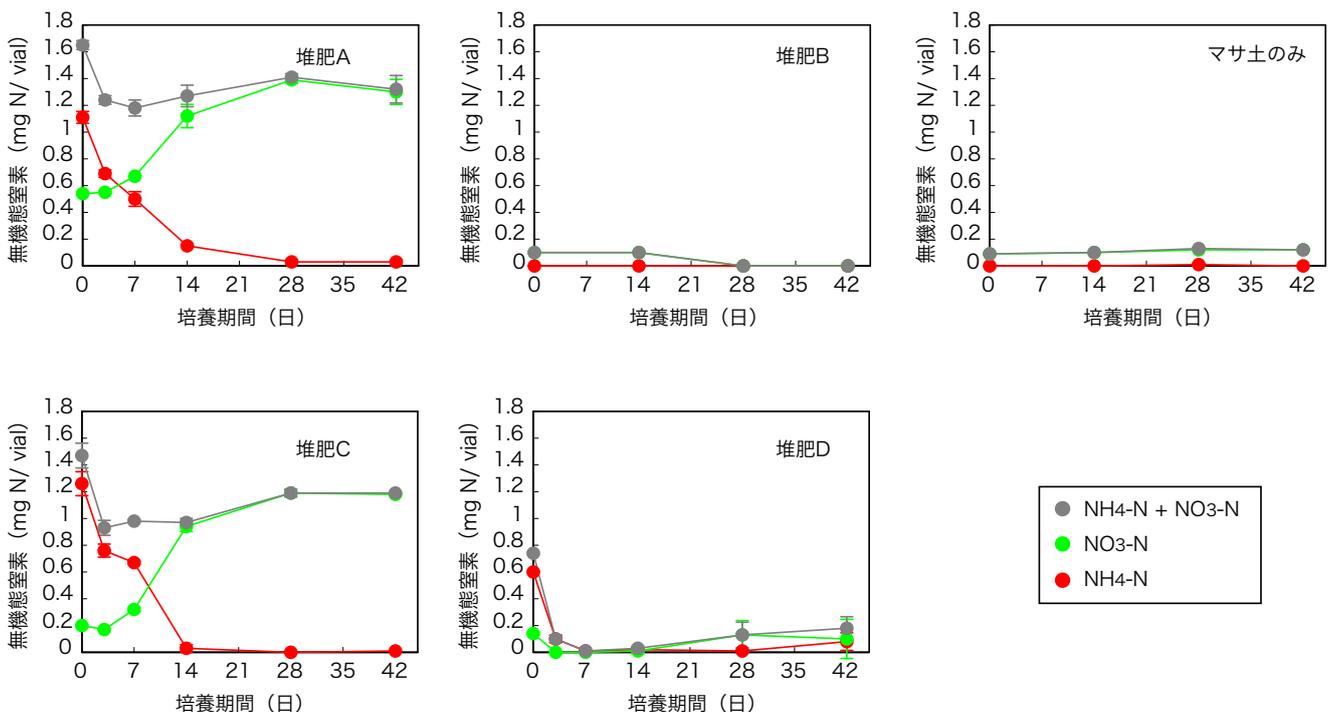


図1 供試堆肥のインキュベーション窒素量

マサ土 20g に堆肥現物 400mg を混和し 30°C で培養した。赤丸はバイアル内のアンモニア態窒素量、緑は硝酸態窒素量、灰色はアンモニア態窒素量と硝酸態窒素量の和を示す。値はバイアル3本の平均値±SD。



結果と考察

堆肥の化学分析

堆肥の成分分析結果を表1に示した。

供試堆肥の全窒素含有率は堆肥 C>堆肥 D>堆肥 A>堆肥 Bであった(表1)。堆肥 A, 堆肥 Cには無機態窒素がそれぞれ、0.43%, 0.40%と多く含まれ、堆肥 Bの無機態窒素含有量はわずかであった。

リン酸, カリウムは堆肥 Dでは比較的多く含まれていた。

亜鉛については、肥料取締法による成分表示義務の対象となる1キログラムあたり900ミリグラム以上を含む堆肥はなかった。

堆肥のインキュベーション試験

図1に示したように、まき土のみのバイアルでは6週間の間、無機態窒素量は約0.1mg/バイアルでほぼ変化なかったが、堆肥 A, C, Dを混和したバイアルでは、培養7日目まで無機態窒素総量の減少が見られた。これは主にアンモニア態窒素量の減少によるものであ

った。堆肥 A, Cでは硝酸態窒素は培養3日目から増加を始め28日目までに平衡に達した。アンモニア態窒素は硝化作用を受けて硝酸イオンに変化したと推察される。堆肥 Dではこの時期、硝酸態窒素量も減少しているため、アンモニア態窒素は微生物菌体に取り込まれたか、硝化されたのち脱窒されたか菌体に取り込まれたと推定される。培養14日から28日目にかけては無機態窒素量が微増した。堆肥 Bでは培養14~28日の間に堆肥由来の硝酸態窒素が減少した。

堆肥添加バイアルでは、堆肥 A~Dのいずれにおいても、6週間の間、培養開始時の無機態窒素量の総量は増加しなかった。

培養開始時のバイアル内の無機態窒素量を見ると、堆肥 Dでは0.74mgが検出された。堆肥分析値(表1)によると、はかり取った堆肥に含まれる無機態窒素から計算される0.19mgに比べて多かった。これは抽出操作における堆肥とKCl溶液の量比が表1の試験では1:10であるのに対し、インキュベーション試験では1:200であり、堆肥 Dには溶解度の低いアンモニウム塩、例えばリン酸マグネシウムアンモニウム

表2 コマツナの生育量と窒素吸収量

	地上部乾物重 (g)	根乾物重 (g)	地上部含水比 (g H ₂ O / g DW)	地上部窒素含有率 (%)	地上部窒素含有量 (mg)
⑥非標識硝安区					
N0	0.33 ± 0.05	n.d.	5.0 ± 0.2	1.00 ± 0.20	3.3 ± 1.02
N100	2.54 ± 0.20	n.d.	9.9 ± 0.4	1.96 ± 0.07	49.8 ± 2.75
⑤標識硝安区					
N0	0.46 ± 0.05	0.13 ± 0.01	4.7 ± 0.1	1.04 ± 0.01	4.8 ± 0.46
N50	1.74 ± 0.11	0.27 ± 0.03	7.5 ± 0.3	1.46 ± 0.10	25.3 ± 1.30
N100	1.85 ± 0.47	0.22 ± 0.02	12.0 ± 1.0	2.91 ± 0.74	51.7 ± 5.55
N150	2.75 ± 0.91	0.27 ± 0.07	13.7 ± 0.5	3.45 ± 0.41	92.5 ± 19.34
N200	2.72 ± 0.07	0.26 ± 0.02	14.2 ± 0.2	4.38 ± 0.16	119.0 ± 2.37
①②堆肥区					
A 10g	1.40 ** ± 0.13	0.22 ± 0.03	8.1 ** ± 0.5	1.67 ** ± 0.13	23.3 ** ± 0.40
A 20g	2.48 ** ± 0.11	0.29 * ± 0.01	10.7 ** ± 0.2	2.14 ** ± 0.21	53.1 ** ± 2.81
B 10g	0.48 ± 0.03	0.11 ± 0.01	4.7 ± 0.1	0.99 ± 0.05	4.8 ± 0.11
B 20g	0.51 ± 0.03	0.10 ± 0.01	4.6 ± 0.3	0.96 ± 0.05	4.9 ± 0.34
C 10g	0.92 ** ± 0.21	0.20 ± 0.06	7.1 ** ± 0.6	1.42 ** ± 0.15	12.8 ** ± 1.71
C 20g	1.84 ** ± 0.22	0.34 ** ± 0.15	8.6 ** ± 0.7	1.94 ** ± 0.16	35.4 ** ± 1.49
D 10g	0.80 * ± 0.09	0.18 ± 0.02	6.6 ** ± 0.6	1.41 ** ± 0.10	11.3 ** ± 1.81
D 20g	0.90 ** ± 0.03	0.21 ± 0.02	8.3 ** ± 0.6	2.06 ** ± 0.09	18.5 ** ± 1.43
③④硝安N100+堆肥区					
A 10g	2.75 * ± 0.03	0.22 ± 0.09	14.1 ± 0.4	3.46 ± 0.04	95.2 ** ± 1.17
A 20g	3.12 ** ± 0.21	0.23 ± 0.07	15.8 ** ± 1.2	4.16 ** ± 0.25	129.4 ** ± 1.38
B 10g	2.16 ± 0.39	0.27 ± 0.08	12.1 ± 2.2	2.47 ± 0.52	52.0 ± 1.92
B 20g	2.45 ± 0.06	0.30 ± 0.02	11.9 ± 0.8	2.29 ± 0.04	56.0 ± 0.72
C 10g	2.73 * ± 0.39	0.32 ± 0.09	13.7 ± 1.5	3.05 ± 0.53	82.1 ** ± 4.76
C 20g	3.04 ** ± 0.43	0.34 ± 0.18	14.8 ± 1.1	3.75 ± 0.49	112.9 ** ± 7.26
D 10g	1.72 ± 0.18	0.27 ± 0.04	9.1 * ± 1.2	1.86 * ± 0.23	31.8 ** ± 1.64
D 20g	1.32 ± 0.15	0.30 ± 0.14	8.0 ** ± 0.3	1.81 * ± 0.17	24.1 ** ± 4.90

処理区①~⑥については本文材料と方法に記載の通り、値は3ポットの平均値±SD。

n.d.: 測定せず。

アスタリスクは①②堆肥区については標識硝安区のN0との間に有意差があること、③④硝安N100+堆肥区については標識硝安区N100との有意差を示す。

p* < 0.05, *p* < 0.01, Dunnettの両側検定。

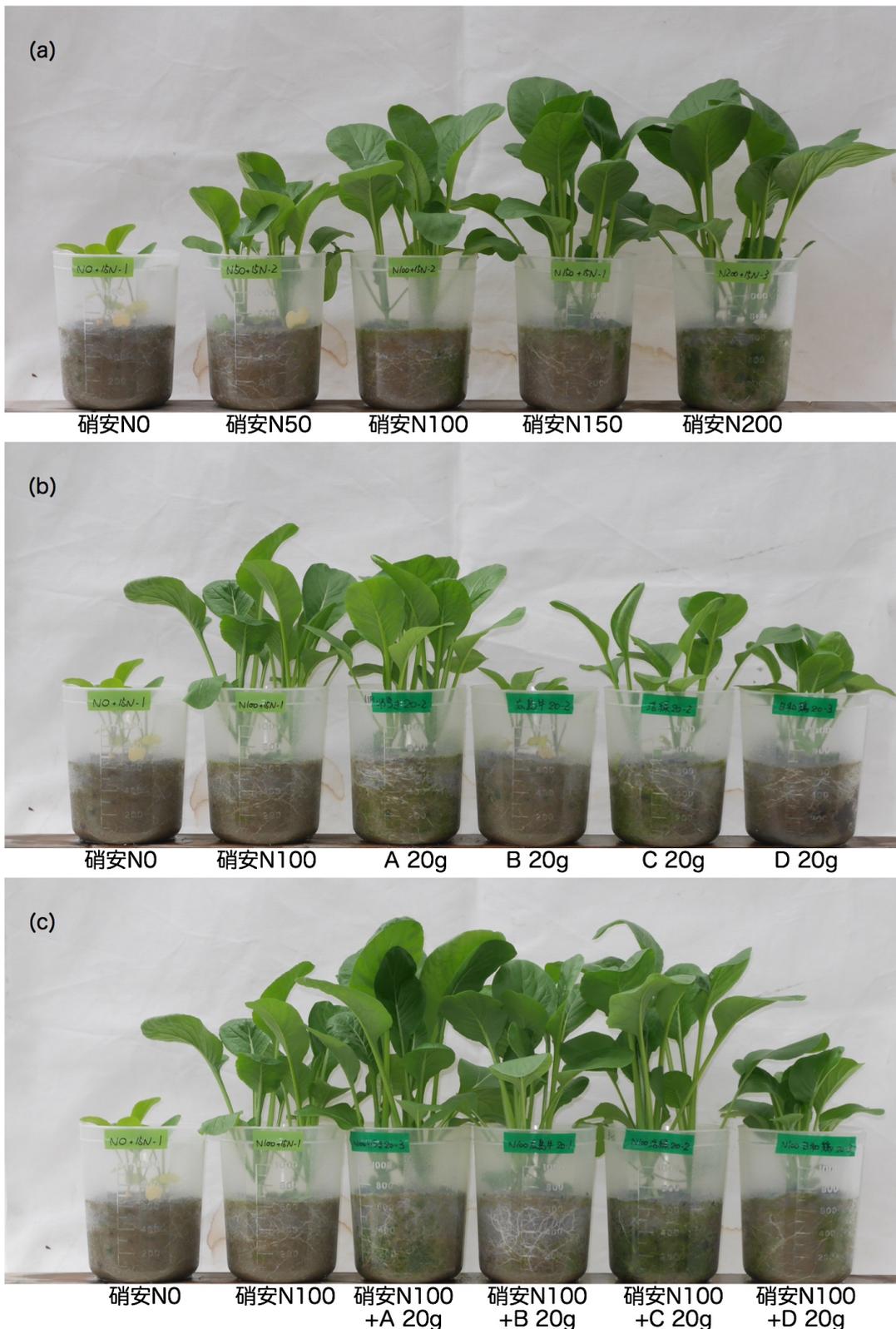


図2 播種後31日目のコマツナの様子 (a)硝酸アンモニウム施用区, (b)堆肥20g施用区, (c)硝酸アンモニウム窒素100mg+堆肥20g施用区



(MAP) 態のアンモニウムイオン, が含まれていた可能性 (棚橋ら, 2010) が考えられる。

堆肥を混和した土壌でのインキュベーション試験において、いずれの堆肥においてもインキュベーション 42 日間で、培養開始時の無機態窒素量が増えた堆肥はなかった。つまり、堆肥に含まれるはずの有機態窒素は無機化されていたと想定されるが、42 日間のインキュベーションの間に正味の蓄積は認められず、堆肥に含まれる有機態窒素は作物に利用されていないと推定される。

コマツナの栽培試験

硝酸アンモニウム (AN; ammonium nitrate) の形の窒素を与えたコマツナの地上部乾物重は、施肥窒素が 0 から 200 mg に増加するにつれて大きくなった (表 2、図 2(a))。この結果はコマツナの生育を窒素栄養が律速していることを示している。根乾物重は N0 区で小さく、AN50 から AN200 では差がなかった (表 2)。

堆肥のみを与えた場合 (表 2①②, 図 2(b)), コマツナの地上部乾物重は堆肥 A > 堆肥 C > 堆肥 D > 堆肥 B となり、堆肥 B では N0 区 (表 2⑤) とほとんど差がなかった。堆肥 A と C では地上部乾物

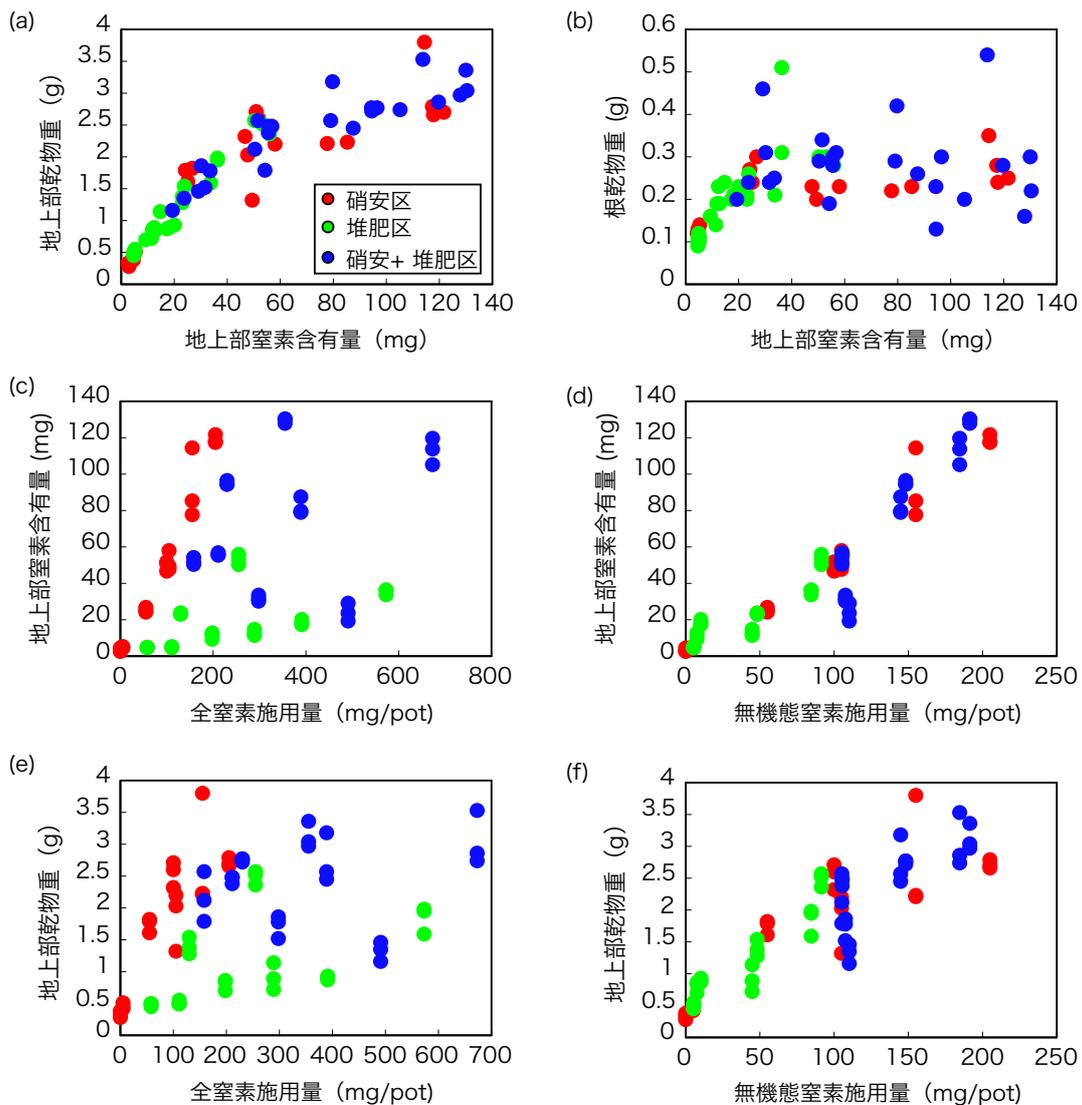


図 3 コマツナ栽培試験における(a)地上部窒素含有量と地上部乾物重, (b)地上部窒素含有量と根乾物重, (c)全窒素施用量と地上部窒素含有量, (d)無機態窒素施用量と地上部窒素含有量, (e)全窒素施用量と地上部乾物重, (f)無機態窒素施用量と地上部乾物重の関係

シンボルはそれぞれ 1 ポットを示す。赤は硝酸アンモニウム区, 緑は堆肥区, 青は硝酸アンモニウム窒素 100mg+堆肥区。

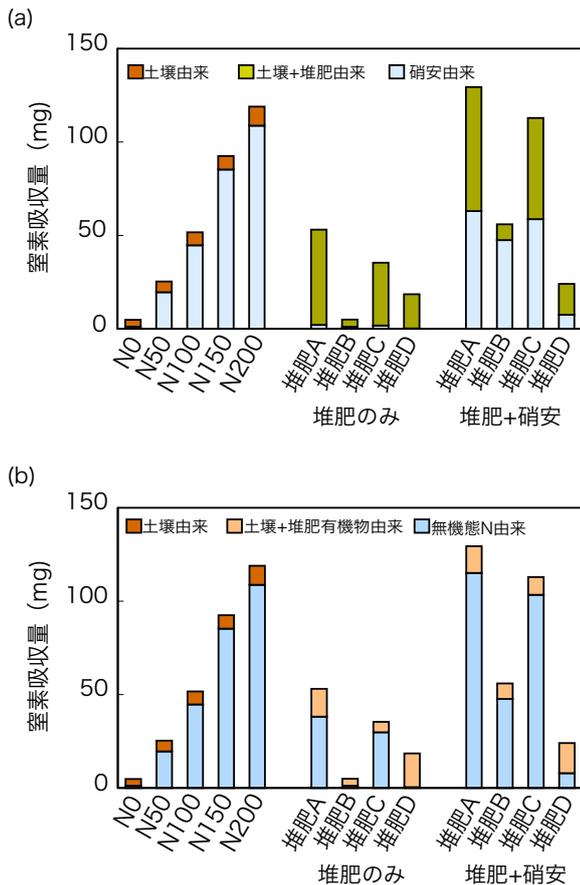


図 4 コマツナ吸収窒素の給源の窒素同位体比分析による分画(a)堆肥由来の窒素吸収量,(b)堆肥中の有機態窒素由来の窒素吸収量 堆肥 20g 施用区の値。

重は堆肥施用量の増加に従って増加した。

硝酸アンモニウム窒素 100 mg とともに堆肥を与えた場合、堆肥 A, B, C の施用はコマツナ地上部の生育に対し相加的に働いた。一方、堆肥 D を与えた場合のコマツナ地上部は、N100 区に比べて小さく、また、堆肥 D10g 施用よりも 20g 施用でコマツナの生育が劣った (表 2, 図 2(c))。

これらの生育データをグラフに表した (図 3)。コマツナの地上部乾物重は地上部窒素含有量 (窒素吸収量) の増加とともに、地上部窒素含有量 50mg 付近までは直線的に、その後は緩やかに増加した (図 3a)。根乾物重は地上部窒素含有量約 40mg までは、地上部窒素含有量の増加とともに増加し、その後はばらつきは大きいものの、ほぼ一定であった (図 3b)。

次に、地上部窒素含有量と施肥窒素量の関係を見ると、全体としては両者には弱い正の相関が見られた (図 3c)。硝酸アンモニウムのみを与えた場合、窒素施容量と窒素含有量に直線関係があり、回帰係数から施肥窒素の 57%がコマツナに吸収されてい

た。堆肥のみを与えた場合、コマツナ地上部の窒素含有量は全窒素施用量に応じて増加する傾向があった。従って、堆肥の全窒素含有率から、およその窒素供給量を推定できる可能性がある。一方で、全窒素量から窒素肥効を推定した場合に、予測が大きく外れる堆肥が存在することも示された。

無機態窒素施用量とコマツナ地上部窒素含有量には強い正の相関が見られた (図 3d)。これは、今回用いた堆肥の窒素肥効が、コマツナのように栽培期間の短い作物を栽培する場合には、当初含まれる無機態窒素でほぼ説明可能なことを示す。この結果は、インキュベーション試験において、窒素の無機化が生じなかった (図 1) ことと一致する。

図 3d では、無機態窒素施用量 100mg 付近に、青丸の一群の外れ値が存在する。これらの点は、堆肥 D を硝酸アンモニウム窒素 100mg とともに与えたポットの値である。堆肥 D を併用した場合、コマツナの窒素吸収量は硝酸アンモニウムを単独で与えた場合に比べて小さくなっており、堆肥 D により硝酸アンモニウム窒素の吸収が阻害されたと考えられた。阻害機構については無機態窒素が有機化されることと推定されるが今後の検討が必要である。

全窒素施用量、無機態窒素施用量と地上部乾物重の関係 (図 3e, f) も、窒素含有量と同様の傾向が見られた。

コマツナ試料の ^{15}N 存在比から、吸収された窒素のうち、硝酸アンモニウム施肥に由来する窒素量と土壌及び堆肥に由来する窒素量を求めた (図 4a)。土壌からの窒素供給量は小さかったことが示された。NO 区にくらべると N200 区では土壌由来窒素吸収量はやや大きく、根の生育量が大きくなったことで、より多くの土壌窒素を吸収可能になったためだと考えられた。同様に、硝酸アンモニウムと堆肥 A, B, C を併用した場合には、堆肥窒素の吸収量の増進が見られた。一方、堆肥 D と硝酸アンモニウムを併用した場合の硝酸アンモニウム由来の窒素吸収量は、顕著に小さくなった。

また、標識硝酸アンモニウムの混和により堆肥中の無機態窒素も均一に標識されたと仮定して、無機態窒素由来窒素吸収量及び、堆肥中の有機態窒素に由来するコマツナの窒素吸収量を算出した (図 4b)。この結果、コマツナが吸収した窒素の大部分は、無機態窒素に由来しており、堆肥中の有機態窒素はコマツナにほとんど利用されなかったことが示された。

総合考察

インキュベーション試験とコマツナ栽培試験の結果



から、40日程度の栽培期間において、堆肥の無機化による窒素供給は無視でき、施肥設計には当初無機態窒素量を考慮すればよいことが示唆された。

今回の試験に用いた4点の堆肥のうち、堆肥A-Cはコマツナの生育に悪影響はなく、これらの堆肥中の無機態窒素は化学肥料と相加的な窒素肥効を示した。しかし、堆肥Dはコマツナの窒素吸収を阻害した。

堆肥A

即効性の窒素成分が多い。施肥設計にあたっては堆肥中の無機態窒素量分を化学肥料窒素に代替可能。有機態窒素からの窒素の無機化供給はほとんどない。

堆肥B

無機態、可給態窒素成分はほとんど含まれない。窒素肥効は期待できないが、コマツナの生育に対する悪影響はなく、土作り堆肥として多量に施用することが可能だと考えられる。

堆肥C

堆肥A同様、無機態窒素量が多い。有機態窒素からの無機化供給はほとんどない。

堆肥D

コマツナの生育低下、窒素吸収の阻害が生じた。リン酸、カリウムの含有量が比較的高いので、リン肥料、カリ肥料としての用途があるかもしれない。

今回の試験では、窒素肥効に着目し、リン酸肥効、カリウム肥効については検討していない。これらについても評価する必要がある。

文献

1) 棚橋寿彦・矢野秀治・伊藤元・小柳渉 (2010) 牛ふん堆肥・豚ふん堆肥中のリン酸マグネシウムアンモニウム存在とその評価のための抽出法, 土肥誌, 81, 329-335

堆肥の入手先、関連情報 URL

ゆうきくん (堆肥A)

有限会社ニシセト商事

<http://nisiseto.jp/index.html> (ニシセト商事ウェブサイト)

完熟こだわり健肥 (堆肥B)

JA 全農ひろしま

JA 活緑 (堆肥C)

JA 京都中央