

# 炭素率の高い植物性有機物の施用が 土壌の無機態窒素の動態と植物の生育に及ぼす影響

満田幸恵\*・持永 亮<sup>1)</sup>・竹下美保子<sup>2)</sup>・川下功雅<sup>3)</sup>・牟田博喜<sup>3)</sup>

有機物は土壌に施用されることで土壌の物理性、化学性および生物性が改善され、作物の収量や品質の向上が期待される。本研究では、植物性有機物を堆肥化せずに直接農地に施用する場合の指導に資するため、稲わら、麦わら、もみ殻、竹を供試し、土壌中の無機態窒素の動態を明らかにした。さらに、これら有機物の施用が植物に及ぼす影響をコマツナを用いて検証した。有機物を土壌に混和し 30°C 条件で 4 週間培養した場合の窒素無機化量は、いずれも負の値を示した。減少が最も顕著であったのは麦わらを用いた場合で、次いで稲わら、竹、もみ殻の順であった。各有機物を土壌に 1kg/m<sup>2</sup> 施用しコマツナの栽培試験を行った結果、麦わらを施用した場合には、施用しない場合に比べ葉色は淡く窒素吸収量は少なかった。これは、土壌中の有機物の分解に伴い土壌中の無機態窒素量が減少したことによるものと推察された。コマツナのように栽培期間が 30~40 日程度の作物栽培にわらや竹を 1kg/m<sup>2</sup> 施用する場合には、窒素の増肥が必要であり、その量は稲わらで 2 g/m<sup>2</sup>、麦わらで 4 g/m<sup>2</sup>、竹で 3 g/m<sup>2</sup> 程度と推定された。栽培期間の短い作物にもみ殻を施用する場合には、増肥の必要性は小さいことが示唆された。

[キーワード: 窒素, もみ殻, 竹, 炭素率, わら]

Effects of Application of Plant Organic Matter with a High Ratio of Carbon to Nitrogen on Dynamics of Inorganic Nitrogen in Soil and Plant Growth. MIZDA Yukie, Ryo MOCHINAGA, Mihoko TAKESHITA, Koga KAWASHITA and Hiroki MUTA (Fukuoka Agriculture and Forest Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 9: 22-26 (2023)

When organic matter with a high ratio of carbon to nitrogen is applied to soil, inorganic nitrogen in the soil is consumed by soil microorganisms to decompose and increase the organic matter. This causes a shortage of inorganic nitrogen available for plants. On the other hand, when organic matter with a high ratio of carbon to nitrogen is applied to soil, the soil can contain more pore space and humus, and physical properties are expected to improve. In this study, we investigated the dynamics of inorganic nitrogen in soil when rice straw, wheat straw, rice husks, or bamboo, which have a high ratio of carbon to nitrogen and are easily available, were mixed with soil. When the soil was incubated at 30°C for 8 weeks, the amount of inorganic nitrogen in the soil with each type of organic matter decreased compared to that without mixing. In particular, the most significant decrease in inorganic nitrogen was observed when wheat straw was used. In cultivation tests, when wheat straw was applied, leaf discoloration and a reduction in nitrogen absorption were observed. These effects were considered to be based on a decrease in inorganic nitrogen due to the decomposition of organic matter in the soil. These results suggest that when organic matter with a high ratio of carbon to nitrogen is applied to soil, the amount of inorganic nitrogen in the soil decreases, which may affect plant growth depending on the type of organic matter applied, and that nitrogen fertilization should be increased.

[Keywords: bamboo, nitrogen, ratio of carbon to nitrogen, rice husk, straw]

## 緒言

農作物の生産において土壌への有機物の施用は、根圏環境を整え生産性を向上させるために重要である。有機物の施用効果としては、土壌を膨軟にして孔隙を増やし透水性を向上させる等の物理性に関するものや、腐植を増やし肥料の保持力を向上させ地力窒素量を増加させる等の化学性に関するものが挙げられる(六本木ら 1993, 藤富ら 2005, 柴原 2010, 藤富ら 2014)。窒素供給に果たす土壌中の地力窒素の役割は大きく、水稻では窒素吸収量のうち 57~79%が地力窒素由来とされており(山本 1995)、これを維持、増進するためには有機物の施用が必要である。さらに、温室効果ガスのひとつである二酸化炭素は植物体内で固定されるため、収穫残渣等の有

機物を土壌に還元することで二酸化炭素の封じ込めが可能であることから、近年は環境負荷軽減の視点からも有機物の施用が注目されている(藤富ら 2014, 白戸ら 2016)。植物性有機物の中でも稲わら、麦わら、もみ殻は水田作物の収穫残さで入手が容易であり、もみ殻は暗きよの疎水材や養液栽培の培地としても用いられている(近乗ら 1992, 深山ら 2004, 農林水産省農村振興局 2017)。竹は地下茎で繁殖し森林や農地に容易に侵入するため適度な間伐等により保全する必要があるが、伐採された竹の有効利用が課題である(野中 2019)。これらの植物性有機物は全窒素に対する全炭素の割合(炭素率)が高く、そのまますき込むと微生物が有機物を分解し増殖する際に土壌中の無機態窒素が使われるため、作物に対して窒素飢餓が生じ、生育が遅延する懸念がある(武

\*連絡責任者(農産部): mitsuda-y0890@pref.fukuoka.lg.jp

受付 2022 年 7 月 19 日; 受理 2022 年 11 月 7 日

1) 現 福岡県筑後農林事務所八女普及指導センター

2) 現 福岡県朝倉農林事務所朝倉普及指導センター

3) 前 福岡県農業大学校

田 2010)。このため、これらは窒素を添加して堆肥化したり家畜ふん堆肥を作成する時の副資材として用いたりして土壌に施用するのが一般的である(全国農業協同組合連合会 2014)。堆肥化には時間および場所を要する一方で、腐熟していない植物性有機物は孔隙を多く含み物理性改善効果が期待される。このため、堆肥化せずにそのまますき込む際の不具合を軽減する対策があれば、これらの有機物の農地への還元が進み、地力維持に資するものとして期待できる。

そこで本研究では、植物性有機物の利用促進に資するため、近隣で入手が可能な稲わら、麦わら、もみ殻、竹といった有機物を堆肥化せずに土壌に混和した場合の土壌中の無機態窒素の動態を明らかにした。さらに、二毛作や周年栽培を行う場合には、栽培終了から次作までの期間が短く、有機物の施用から期間を置かず栽培を開始することがあるため、施用直後における作物の栽培が植物の生育に及ぼす影響についてコマツナを用いて検証した。

## 材料および方法

### 1 供試材料

土壌として、福岡県農林業総合試験場内圃場の灰色低地土を用いその化学性を第 1 表に示した。供試した植物性有機物は、稲わら、麦わら、もみ殻、竹とした。わらはは約 1cm に裁断したものを、麦わらは小麦のわらを用いた。竹は福岡県内処理施設で粉碎し 5mm に篩ったものを入手し、含有する生育阻害物質の影響が懸念されたため、24 時間流水であく抜きして用いた。

### 2 試験方法

#### 試験 1 植物性有機物の土壌への施用が土壌中無機態窒素の動態に及ぼす影響

風乾土 100 g 当たりの有機物施用量が 現物重で 2 g (2kg/m<sup>2</sup>相当)となるよう 2mm で篩った風乾土 125 g と有機物 2.5 g を混和してガラス瓶に充填し、有機物分解の際に無機態窒素が有機化することが予測されたため、土壌 100 g 当たりの硝酸態窒素が 20mg となるよう硝酸カルシウムを添加した。土壌水分は最大容水量の 60%となるように調整し、乾燥防止のためガラス瓶の上部をアルミホイルで覆い 30℃条件で培養、1 週間ごとに蒸発により減少した量の蒸留水を添加した。培養開始から 8 週間後まで 1~2 週間ごとに 1 区当たり 2 瓶取り出し、土壌の 5 倍量の 10%塩化カリウム溶液を加え無機態窒素を抽出し、水蒸気蒸留法で測定した。有機物を混和しない土壌についても同様に培養した。有機物を混和した土壌の無機態窒素量から有機物を混和しない土壌の無機態窒素量を差し引き、窒素無機化量を求めた。供試した植物性有機物の炭素含有率はヤナコテクニカルサイエンス(株)製 MT-700 で測定し、窒素含有率は硫酸を用いて分解し定容したものの一部を水蒸気蒸留法にて窒素量を測定し、窒素含有率を算出した(作物分析法

委員会 1975)。含水率は現物重と 105℃24 時間乾燥後の重量の差を現物重で除して求めた。

#### 試験 2 植物性有機物の施用と有機化に応じた窒素の増肥がコマツナの生育に及ぼす影響

##### (1) 試験区の構成

植物性有機物を 1m<sup>2</sup>当たり 1kg(現物重)施用し、栽培試験を実施した。対照区として植物性有機物を施用しない区、参考として有機物も窒素肥料も施用しない無窒素区を設けた。植物性有機物を施用する区の窒素施肥量は、対照区と同等とするもの(標肥区)と増肥するもの(増肥区)の 2 水準を設けた。増肥量は、試験 1 の培養 4 週目の結果を参考に、30℃ 4 週間で減少すると想定される窒素量とした。

##### (2) 耕種概要

栽培には 1/5000 a ワグネルポットを用い、農林業総合試験場生産環境部ガラス室で 1 区 4 ポットで試験を実施した。2021 年 6 月 23 日に植物性有機物と肥料を地表から 10cm の深さに混和して施用した。対照区および標肥区の窒素施肥量は 10 g/m<sup>2</sup>とし、増肥区では第 4 表に示した窒素量を上乘せした。窒素肥料にはハイパーCDU と尿素を窒素成分で半量ずつ施用した。リン酸とカリは全ての区で各 10 g/m<sup>2</sup>を重焼リンと硫酸カリで施用した。6 月 25 日に品種「いなむら」((株)サカタのタネ)を 1 ポット当たり 4 か所に 4 粒ずつ播種し生育初期に間引いて 1 か所 1 本立ちとした。7 月 30 日に収穫調査を実施した。

##### (3) 調査方法

収穫期に、株重と草丈、最大葉の葉色を KONICA MINOLTA 製 SPAD-502 を用いて計測した。作物体は乾燥後に粉碎したものを試料として、ガンニング変法でサリチル硫酸を用いて分解し定容したものの一部を水蒸気蒸留法にて窒素量を測定し、作物体の窒素含有率を算出した(作物分析法委員会 1975)。窒素吸収量は、作物体の乾物重と窒素含有率の積により求めた。統計解析には R および R コマンダーの機能を拡張した統計ソフトウェアである EZR を使用した。収穫期に採取した土壌は、風乾土と蒸留水を 1:5 の重量比で振とうし、pH を HM-42X、電気伝導度(EC)を CM-42X(いずれも東亜ディーケー(株)製)で計測した。

第 1 表 供試した土壌の化学性

pH	EC (mS/cm)	CEC (meq/100g)	交換性			炭素 (%)	窒素 (%)
			石灰	苦土	カリ		
6.5	0.04	12.8	184	32	27	1.49	0.13

## 結果

### 試験1 植物性有機物の土壌混和が土壌中無機態窒素の動態に及ぼす影響

供試した植物性有機物の炭素および窒素含有率、炭素率、含水率を第2表に示した。供試した有機物の炭素率は、稲わらが53、麦わらが188、もみ殻が96、竹が300であった。第1図に植物性有機物の種類と窒素無機化量の推移を示した。いずれの植物性有機物を施用した場合とも窒素無機化量は見かけ上負の値を示した。培養4週後の窒素無機化量は、もみ殻区、竹区、稲わら区、麦わら区の順に減少した。その量は、麦わら区が最大で18.6mg/100g、次いで稲わら区が9.8mg/100g、竹区が6.4mg/100g、最小のもみ殻区が1.8mg/100gであった。もみ殻区の窒素無機化量は、4週目までは-1.1~-2.7mg/100gの間で推移し、8週目には-6.7mg/100gとなった。もみ殻区および竹区の窒素無機化量は、4週から8週にかけて継続して減少した。一方で、稲わら

区では3週から6週にかけて2.5mg/100g、麦わら区では6週から8週にかけて2.4mg/100g増加した。

### 試験2 植物性有機物の施用と有機化に応じた窒素の増肥がコマツナの生育に及ぼす影響

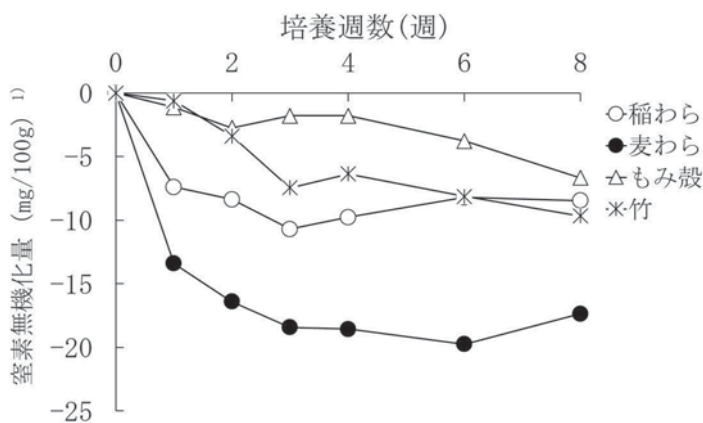
試験を実施したガラス室内の栽培期間中の平均気温は、28.4℃であった。第3表に収穫時の土壌のpHとECを示した。pHは6.3~6.4、ECは0.04~0.06mS/cmの範囲であった。

第4表に植物性有機物の種類と窒素の増肥がコマツナの生育に及ぼす影響を示した。対照区との比較では、草丈および株重は、窒素を施肥した区ではいずれも同等であった。葉色は、麦わら標肥区で対照区との間に有意に低い値を示した。窒素吸収量は、麦わら標肥区と竹標肥区において対照区より有意に少なかった。一方で、麦わら増肥区では対照区より有意に多かった。窒素吸収量が対照区より有意に少なかった麦わら標肥区、竹標肥区では、対照区との窒素吸収量の差は、それぞれ3.68g/m<sup>2</sup>、3.23g/m<sup>2</sup>であった。

第2表 供試した資材の特性

植物性有機物	炭素 <sup>1)</sup> (%)	窒素 <sup>1)</sup> (%)	炭素率(C/N)	含水率(%)
稲わら	36.8	0.70	53	8.2
麦わら	43.2	0.23	188	8.8
もみ殻	37.7	0.39	96	7.5
竹	44.2	0.15	300	13.1

1) 現物当たり



第1図 植物性有機物の種類と窒素無機化量の推移

1) 風乾土100g当たり植物性有機物が現物重で2.0gとなるように混和し最大容水量の60%の土壌水分で30℃で培養、植物性有機物を混和しないものの土壌中無機態窒素含有量との差で示したもの

第3表 収穫時土壌の化学性

植物性有機物	窒素施肥	pH	EC (mS/cm)
稲わら	標肥	6.3	0.05
	増肥	6.3	0.05
麦わら	標肥	6.4	0.05
	増肥	6.3	0.06
もみ殻	標肥	6.3	0.05
	増肥	6.3	0.05
竹	標肥	6.4	0.04
	増肥	6.3	0.04
対照		6.3	0.04
無窒素		6.5	0.04



第4表 植物性有機物の種類と窒素の増肥がコマツナの生育に及ぼす影響

植物性 有機物	窒素の 施肥	窒素 増肥量 (g/m <sup>2</sup> )	草丈 (cm)	株重 (g)	葉色 <sup>1)</sup>	窒素 吸収量 (g/m <sup>2</sup> )	窒素吸収量の 対照区との差 (g/m <sup>2</sup> )
稲わら	標肥	—	21.6	23.2	51	11.6	-1.94
	増肥	5	23.8	28.3	53	15.8	2.34
麦わら	標肥	—	21.2	21.4	46 * <sup>2)</sup>	9.8 **	-3.68
	増肥	9	22.7	28.7	53	16.2 *	2.67
もみ殻	標肥	—	23.1	27.7	52	14.6	1.13
	増肥	1	23.3	27.2	52	15.0	1.51
竹	標肥	—	22.0	22.1	47	10.3 *	-3.23
	増肥	3	23.4	26.8	52	13.4	-0.12
対照			22.4	24.2	52	13.5	—
無窒素 (参考) <sup>3)</sup>			(19.4)	(14.1)	(43)	(6.1)	—

1) KONICA MINOLTA 製 SPAD-502 による測定値

2) Dunnett の多重比較検定により、同一項目内における対照区との間には、\*は 5%水準で、\*\*は 1%水準で有意差があることを示す

3) 無窒素区は参考値のため検定は実施していない

## 考 察

植物性有機物を土壌に混和し畑状態で培養した試験 1 での窒素の無機化量は、稲わらおよび麦わらでは培養 2 週目まで著しく減少し有機化が進んだが、もみ殻および竹ではその 4 割以下しか減少しなかった。培養期間を通し、麦わら区ではいずれの時期でも窒素無機化量が最も減少し有機化が著しい結果が得られた。麦わら区の窒素無機化量は、6 週目まで減少したが 8 週目には 6 週目と比較して増加した。これは、有機物の炭素率低下に伴い微生物による窒素の有機化速度が低下し、窒素の有機化が無機化を下回ったためと推察された。培養試験は、試験開始時に窒素を 20mg/100 g 添加し土壌中の無機態窒素量が十分存在する条件で行ったため、麦わら区の 8 週目の窒素無機化量は 6 週目より増加したが、土壌中の無機態窒素量が少ない場合には施肥した窒素が継続して微生物の増殖に使われ、無機態窒素の減少が継続する可能性がある。稲わら区の窒素無機化量は 3 週目まで減少し、4 週目までの減少量は麦わらに次いで大きかったが、その後増加に転じ 6 週目には竹区と同等となった。もみ殻区の窒素無機化量は、4 週目までは他の植物性有機物と比較して少ない減少量で推移したが、8 週目には稲わら区や竹区に近い値を示し、分解および有機化に時間を要することが推察された。もみ殻は、難分解性有機物の含有量が多く (小柳ら 2011) さらに撥水性を有し (相崎 2010, 安西 2016) 分解が遅いため、暗きよの疎水材として用いられることもあるが (農林水産省農村振興局 2017)、

土壌に混和した場合には、土壌微生物や水分条件により、分解が進むことが考えられた。

竹の炭素率は供試した有機物の中で最も高かったが、4 週目までの竹区の窒素無機化量の減少量は、稲わら区および麦わら区より少なく有機化の進行程度は軽かった。これは、竹に含まれる有機化合物の一部はリグニン等の分解しにくい形で存在する (田中 2018) ためであると考えられる。有機物は、分解され易く微生物に利用されやすい易分解性有機物と分解され難い難分解性有機物から成り、その組成により分解速度が異なる。もみ殻および竹はわら類と比べて難分解性有機物が多く含まれ (小柳ら 2011)、微生物による分解速度も遅く、培養 2 週目までは有機化も進まなかったものと考えられた。以上より、わら類では初期の生育抑制が、もみ殻および竹では長期的な有機化による生育の影響が懸念される。また、本研究の結果からはもみ殻の分解が遅いことが示唆された。

土壌の仮比重を 1 g/cm<sup>3</sup>、作土深を 10cm と仮定すると、試験 1 の培養試験で混和した 2 g/100 g は 1m<sup>2</sup> 当たり 2kg に相当し、有機物を 1kg/m<sup>2</sup> 施用した場合に 4 週間で有機化される窒素量は、麦わら、稲わら、竹、もみ殻の順に、それぞれ 9.3, 4.9, 3.2, 0.9 g/m<sup>2</sup> と推定された。武田 (2010) は炭素率 20 以上の有機物で土壌施用時に窒素の有機化が促進するとしている。今回供試した有機物はいずれも炭素率が 20 以上であり、施用後作物が必要とする窒素が不足する窒素飢餓の懸念を裏づけるものである。

試験 2 では有機物を  $1\text{kg}/\text{m}^2$  施用する条件でコマツナの栽培試験を実施した。コマツナの生育期間は 1 か月程度と予測されたため、4 週間で有機化された窒素量を基に、増肥区の増肥量を第 4 表のように設定した。栽培期間の平均気温は  $28.4^\circ\text{C}$  で、施肥から収穫までに 37 日を要した。第 3 表に示した土壌の pH は適正值で、電気伝導度は低く土壌養分の残存は少なかった。コマツナの草丈および株重は、対照区と比較していずれも有意な差が認められなかった。一方で葉色は麦わら標肥区が淡く、窒素吸収量は麦わら標肥区および竹標肥区が有意に少なかった。試験 1 の培養試験では、麦わらを混和した場合に 4 週目までの窒素無機化量の減少が最も著しかったことから、栽培期間中の土壌中の無機態窒素含有量は麦わら標肥区が最も少なく、これがコマツナの窒素吸収量の減少の要因となり、その影響が葉色の低下に発現されたと考えられる。麦わら増肥区では、対照区に比べ窒素吸収量が有意に多かった。西尾ら (2000) は根圏土壌には微生物が集積していると述べており、これが培養試験と比較して窒素の無機化が進み吸収量が増加した要因のひとつと考えられた。稲わら区では、培養試験による窒素無機化量の減少が培養 1 週から認められ、その減少量は竹の 12 倍で麦わらの 5 割程度であったが、3 週から 6 週目にかけて増加に転じたことで、稲わら標肥区の窒素吸収量が対照区と同等になった要因と推察される。もみ殻は難分解性有機成分を多く含み (小柳ら 2011)、培養試験でも 4 週目までの窒素無機化量の減少が他の植物性有機物と比較して非常に少なかったことから、コマツナの生育期間中には有機化がほとんど進行せず、対照区と比較して窒素吸収量に差が認められなかったと考えられる。竹標肥区におけるコマツナの窒素吸収量の減少は、培養試験で竹を混和した場合に 4 週目を除き継続して無機態窒素の減少が見られたことから、有機化によりコマツナが吸収できる窒素が減少したものと推察される。

コマツナの窒素吸収量の減少は、稲わら、麦わら、竹で増肥をすることで回復する傾向にあったことから、植物性有機物を施用することによる作物に対する窒素飢餓は、増肥により軽減できることが確認できた。窒素吸収量の差に着目すると、稲わら、麦わら、竹を  $1\text{kg}/\text{m}^2$  施用した場合に必要な窒素の量は、それぞれ  $2\text{g}/\text{m}^2$ 、 $4\text{g}/\text{m}^2$ 、 $3\text{g}/\text{m}^2$  程度と推定される。

本試験は、植物性有機物を施用し 2 日後に播種した生育期間 37 日と短いコマツナでの結果である。稲わらおよび麦わらについては、ポット試験としての性格上 1cm 程度に短く裁断したが、生産現場ではもっと大きな形状で土壌にすき込まれるため、わら類の分解速度は本試験結果より遅い可能性もある。また、生育期間が短い作物に植物性有機物をそのまま施用する場合には、もみ殻は増肥の必要性が小さいことが示唆された。一方で、生育期間が長い作物に植物性有機物を施用する場合には、もみ殻や竹など特に有機物の分解が遅く長期に渡ると考えられる資材では、施用量に留意するとともに長期的な無機態窒素の欠乏を補うため、追肥の増肥や緩効性肥料の利用を視野に入れる必要があると考える。

## 引用文献

- 相崎万裕美 (2010) 用土, 新版 土壌肥料用語事典 第 2 版, 農産漁村文化協会, 東京, p. 211-217.
- 安西徹郎 (2016) 物理性改良に用いる資材の種類と特性, だれにもできる土壌の物理性診断と改良, 農産漁村文化協会, 東京, p. 68-70.
- 近乗偉夫・安部勇徹・宝満利行 (1992) もみがらを培地とした低コスト養液栽培装置の開発. 大分農技セ研報 22:97-110.
- 藤富慎一・末吉孝行・平野稔彦 (2005) 花崗岩質土壌における牛ふん堆肥連用が露地野菜畑の土壌窒素無機化および窒素収支に及ぼす影響. 福岡農総試研報 24:10-15.
- 藤富慎一・黒柳直彦・小田原孝治・山口 修 (2014) 福岡県の二毛作水田における有機物施用による炭素貯留効果. 福岡農総試研報 33:1-7.
- 小柳 渉・村松克久・小橋有里 (2011) 分解特性からみたバイオマスおよび堆肥の利用方向. 新潟農総研畜研セ研報 17:9-14.
- 深山陽子・米山 裕・衣巻 巧・土屋恭一 (2004) トマト循環型養液栽培におけるロックウール代替培地としてのもみがらの検討. 神奈川農総研研報 145:27-33.
- 西尾道徳・古在豊樹・奥 八郎・中筋房夫・沖 陽子 (2000) 作物の生育と環境. 農山漁村文化協会, 東京, p. 107-115.
- 野中重之 (2019) 九州における放置竹林問題と求められる対応方策. 地方自治ふくおか 68:44-60.
- 農林水産省農村振興局 (2017) 暗渠資材の種類及び選定, 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」, p. 165-166.
- 六本木和夫・石上 忠・武田正人 (1993) 稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の理化学性に与える影響. 土肥誌 64:27-33.
- 作物分析法委員会 (編) (1975) 全窒素, 栄養診断のための栽培植物分析測定法, 養賢堂, 東京, p. 67-69.
- 柴原藤善 (2010) 土壌有機物, 新版 土壌肥料用語事典 第 2 版, 農産漁村文化協会, 東京, p. 91-98.
- 白戸康人・麓 多門・片柳 薫・岸本文紅・三島慎一郎 (2016) 日本の農地における土壌の炭素貯留と温室効果ガスの緩和策. JATAFF ジャーナル 4(2):4-9.
- 武田 甲 (2010) 微生物の作用, 新版 土壌肥料用語事典 第 2 版, 農産漁村文化協会, 東京, p. 230-236.
- 田中良平 (2018) バイオマスとしての竹の利用. 九州森林研究 71:137-140.
- 山本富三 (1995) 稲体の窒素栄養と地力窒素発言量に基づく生育診断法. 福岡農総試特別報告 8:22-37.
- 全国農業協同組合連合会肥料農薬部 (編) (2014) よくわかる土と肥料のハンドブック 土壌改良編. 農産漁村文化協会, 東京, p. 171-178.