

石膏による稲わらおよび稲わら堆肥の分解調節

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
巻/号	686
掲載ページ	p. 645-650
発行年月	1997年12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



石膏による稲わらおよび稲わら堆肥の分解調節*

藤間 充**・三枝正彦***

キーワード 稲わら堆肥, 石膏, 分解速度

1. はじめに

近年、環境保全型農業の立場から、堆肥を最初とする有機物資材が再び注目され、その需要は増加している^{1,12)}。有機物資材は土壌の物理・化学・生物性を総合的に改良する優れた資材であるが、これらの発現や持続性は、有機物の分解に依存する。有機物の分解を調節することは、有機物資材を利用する上で特に養分供給効果の持続性の面から極めて重要なことである。久保田ら⁹⁾はヒドロキシ-Alによる稲わら堆肥の分解抑制効果を明らかにした。しかしながら、ヒドロキシ-Alは有機物と不可逆的に結合し¹⁵⁾安定な複合体を形成し、またこの複合体は難分解性である⁹⁾ことから、堆肥の分解により発現する養分供給効果が小さくなることが考えられる。Caは土壌中の腐植と結合し^{5,13,14)}その分解を抑制することが知られている。堆肥の腐植は土壌有機物中の腐植と同質のものである⁴⁾ことから、Caを堆肥に添加するとCa-腐植複合体を形成し分解を抑制すると考えられる。しかしながら、従来のCa供給源である炭カル、消石灰などを用いると、pH上昇により微生物活性が高まり、逆に有機物の分解を促進させるとの報告がある^{3,6)}。これに対し石膏類は、pH上昇効果を持たないことから、分解調節のためのCa源として有効であると考えられる。

本研究では、石膏の有機物分解調節効果について、稲わらの腐熟過程での石膏の効果および慣行稲わら堆肥の土壌中での分解過程における石膏の効果とヒドロキシ-Alと比較した。

2. 材料および方法

1) 稲わら堆肥の作成

稲わら堆肥の作成は熊田ら¹⁰⁾の方法に準じて、以下のように行った。2~3 cmに切断した稲わら300 gに、第1表に示した比率で石膏あるいはヒドロキシ-Alを添加した。稲わら100 gあたり石灰窒素5 g添加後のC/N比は26.8であった。石膏およびヒドロキシ-Alの添加量は、堆肥のCECを約100 cmol(+) kg⁻¹と仮定し、それぞれCa²⁺、Al(OH)_{2.5}^{0.5+}としてCECに相当する量とした。これらの稲わらを1/5000 aワグネルポットに入れ、わらを手で握ったときに水がしたたる程度に蒸留水を加えた。加えた水の量は約200 mLであった。ポットは50°Cの定温器中で、ときどき水を補給し攪拌しながら12週間静置した。

堆積開始後、3, 6, 9および12週間目に、乾物重、窒素および炭素含量を測定した。窒素、炭素含量はいずれも、70°C, 48時間乾燥後粉碎した試料について以下の方法で行った。

- (1) 窒素含量；試料を硫酸-過酸化水素法¹¹⁾により分解した後、水蒸気蒸留法により測定した。
- (2) 炭素含量；チューリン法²⁾により測定した。

2) 土壌中における堆肥の無機化量および分解量の測定

稲わらと石灰窒素で作成した慣行堆肥(C/N比、7.9)に、堆肥100 gあたり石膏あるいはヒドロキシ-Alをそれぞれ8.6 gあるいは100 g添加し、水分含量が50%になるように蒸留水を加えて、25°Cで1週間放置した。これらを乾燥後、粉碎し試験に供した。ここで石膏を添加した堆肥、およびヒドロキシ-Alを添加した堆肥を、本研究ではそれぞれ石膏添加堆肥、Al添加堆肥と呼ぶ。500 mLポリ広口瓶に、淡色黒ボク土の蔵王土壌100 gを入れ、堆肥2 gを加え、蒸留水を用いて最大容量の60%に水分を調節した。この広口瓶の中に4 M水酸化カリウム溶液4 mLを入れた試験管を入れ、緩くふたをし20, 25, 30°Cで保温静置した。水分の調節は

* 本研究の一部は1995年4月土壌肥料学会仙台大会で報告した。本研究の一部は文部省科学研究費補助金(特別研究員奨励費)の助成による。

** 東北大学農学部附属農場(現在、山口大学農学部附属農場753 山口市吉田1677-1)

*** 同上(989-67 宮城県玉造郡鳴子町川渡局区内) 1996年10月25日受付・1997年1月21日受理

日本土壌肥料学雑誌 第68巻 第6号 p.645~650(1997)

14日ごとに行った。培養開始後7, 21, 35, 70日目に窒素および炭素無機化量を測定した。

無機態窒素は1M塩化カリウム溶液を用い、土壌：溶液=1：2.5で2回抽出し、水蒸気蒸留法により測定した。無機化率は土壌のみを保温静置したブランク値を差し引いた値を添加堆肥の全窒素量で除して求めた。

炭素無機化量は以下のように水酸化カリウム溶液に吸収された二酸化炭素量から求めた。二酸化炭素量は、0.1M塩酸によるpH8.4から3.9までの滴定値から求めた。各pHの指示薬には、0.33%フェノールフタレインと0.04%ブロムフェノールブルーを用いた。別にブランクを設け、大気より侵入した二酸化炭素量を求め、両者の差を発生二酸化炭素量とし、炭素無機化率はこの値を添加した堆肥の全炭素量で除して求めた。

3) 堆肥中の窒素および炭素無機化量の速度論的解析
インキュベート中の窒素および炭素無機化量を金野⁹⁾の開発したコンピュータプログラムを用いて速度論的に解析した。このプログラムは、土壌中の窒素の無機化過程の律速反応を酵素反応とし、反応速度論的に解析するもので⁷⁾、本研究では堆肥中の炭素の無機化過程も同様に酵素反応に律速されると仮定しこのプログラムを用いて検討した。

第1表 稲わら堆肥作成時の添加物(稲わら100gあたりの添加量)

	石灰窒素	石膏*	ヒドロキシ-Al**
	g		
慣行	5.0		
石膏添加	5.0	8.6	
ヒドロキシ-Al添加	5.0		100.0

* 石膏は試薬2水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。

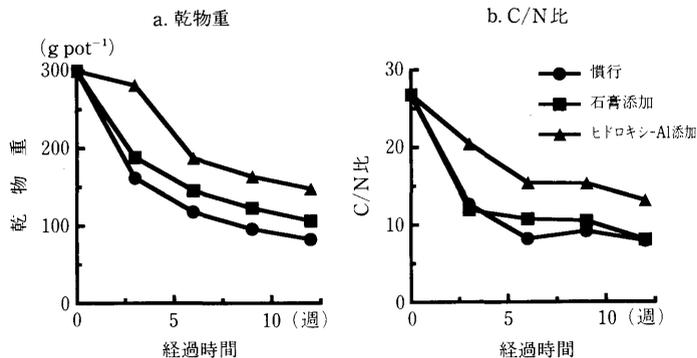
** ヒドロキシ-Alは土壤改良資材として市販されているもの(多木化学, 商品名:ハイドラール)を用いた。

3. 結果および考察

1) 稲わらの腐熟過程に対する石膏の添加効果

第1図aに稲わら堆積中の乾物重の推移を示した。乾物重は時間の経過と共に減少し、堆積12週間後の慣行区の乾物重は堆積開始時の27%, 82gであった。これに対し、石膏添加区では、乾物重の減少は慣行区に比べて緩やかで、堆積12週間後では堆積開始時の35%, 104gであった。ヒドロキシ-Al添加区では、乾物重は常に著しく高く推移し、堆積12週間後においても堆積開始時の56%, 167gと慣行区の約2倍であった。これらの結果は、石膏、ヒドロキシ-Alによって、稲わらの分解が抑制されることを示している。稲わら堆積中の質的变化をC/N比からみたのが第1図bである。ここで、堆積開始時のC/N比は、窒素源として加えた石灰窒素に含まれる窒素量も含めて求めたものである。慣行区では初期に急激に減少した後は、緩やかな減少を続け、堆積終了時では7.9に達した。石膏添加区は、慣行区とほぼ同じような推移をし、堆積12週間後のC/N比も8.1と慣行区とほぼ同様の値を示した。C/N比は有機物の分解の難易度の指標になる。石膏添加区の腐熟度は慣行区と同等であったと考えられる。これに対し、ヒドロキシ-Al添加区は常に高いC/N比で推移し、堆積終了時では13.2であった。なお、石膏添加区で分解が慣行区より遅いのにもC/N比が慣行区並みになった理由は明らかでないが、石膏添加でpHが低く経過し、分解した窒素の揮散が押さえられるため結果的に堆肥に多く固定されたことが考えられる。この点に関しては今後の詳細な検討が必要である。

堆積12週間後の稲わら堆肥の形状を写真1に示した。慣行区では稲わらの原形をほとんど留めておらず、十分に腐熟していたと考えられる。石膏添加区では、若干稲



第1図 稲わらの堆積中の乾物重およびC/N比の変化

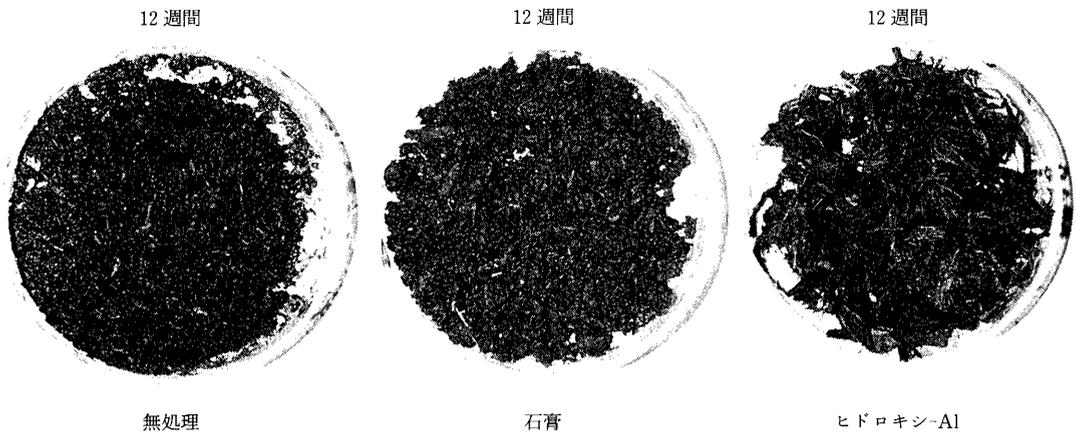
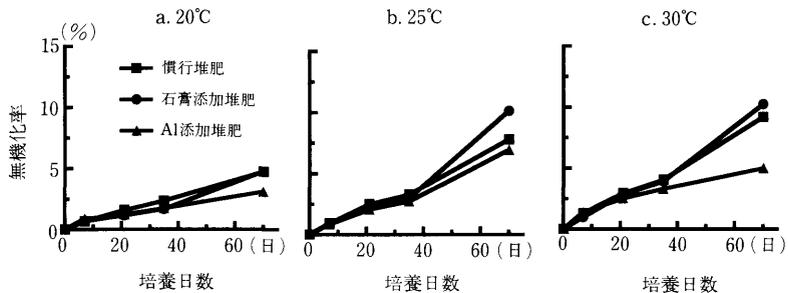


写真1 堆積12週間後の稲わらの形状（無処理：慣行区，石膏：石膏添加区，ヒドロキシ-AI：ヒドロキシ-AI添加区）



第2図 各処理堆肥の温度別窒素無機化率の推移

わらの原形を留めており、やや分解が抑制されたことが認められる。これらに対しヒドロキシ-AI添加区では、稲わらの原形をかなり留めていた。

このように、稲わら堆肥の形状からも、石膏ならびにヒドロキシ-AIの分解抑制効果が認められ、その程度はヒドロキシ-AIの方が著しく強いことが認められた。またヒドロキシ-AI添加区は堆積12週間後でもC/N比が高かったことを合わせると未熟な堆肥であると考えられる。以上の結果は、石膏あるいはヒドロキシ-AIを堆肥の作成時に添加した場合には、作成期間が増加することを示唆している。

2) 石膏添加による稲わら堆肥の土壌中での無機化および分解過程

第2図に堆肥の土壌中での温度別窒素無機化率の推移を示した。無機化率は培養の後半で増加する傾向がみられた。いずれの温度においても、石膏添加堆肥は35日目までは慣行堆肥とほぼ同様に推移したが、70日目では

は25°Cでは慣行堆肥の7.78%に対し10.13%、30°Cでは、慣行堆肥の9.18%に対し10.24%と、無機化率の増加が認められた。20°Cにおいては慣行堆肥の4.73%に対して石膏添加堆肥は4.75%とほぼ同等の値を示した。これに対しAI添加堆肥においては、20°Cで3.09%、25°Cで6.93%、30°Cで5.00%といずれの温度においても他の2つの堆肥に比べて無機化率は小さく、窒素の無機化抑制が認められた。このことは、AI添加堆肥においては、窒素の供給が慣行堆肥および石膏添加堆肥に比べて劣ることを示している。

第3図に稲わら堆肥の土壌中での温度別の炭素無機化率の推移を示した。慣行堆肥と石膏添加堆肥の無機化は初期に急激に進み、時間の経過と共に緩やかになる傾向を示した。また、無機化率はいずれの温度においても、慣行堆肥がもっとも大きい値で推移し、慣行堆肥に石膏を添加した石膏添加堆肥はそれよりやや低い値で推移した。70日目の無機化率は、慣行堆肥の20°Cで3.0%、

25°Cで3.4%, 30°Cで4.4%に対して, 石膏添加堆肥では20°Cで2.5%, 25°Cで2.9%, 30°Cで3.3%であった。これらに対し慣行堆肥にヒドロキシ-Alを添加したAl添加堆肥は, 20°Cで0.6%, 25°Cで1.0%, 30°Cで1.1%と著しく低い値であり, ヒドロキシ-Alは石膏に比べさらに強い分解抑制効果を持つことが認められた。

3) 堆肥の無機化および分解過程の速度論的解析

土壤中での堆肥窒素の無機化および堆肥の分解率について, 金野⁷⁾の開発したコンピュータプログラムを用いて反応速度論的解析を試みた。窒素の無機化については70日目においても, 活発な無機化が起きていると思われる(第2図)。従っていずれの堆肥も窒素無機化の反応速度定数が負の値となり, このモデルにあてはめ解析を行うことができなかった。

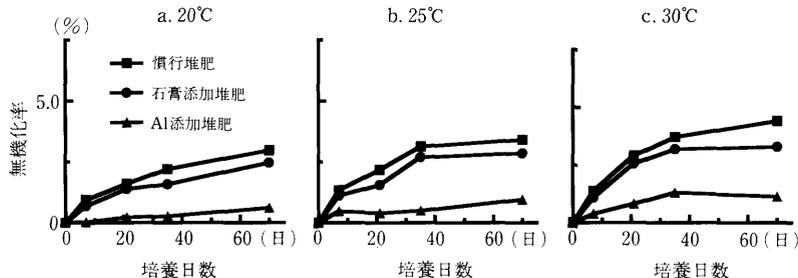
これに対し, 炭素無機化率についてはこのモデルによく適合した。このように窒素と炭素の無機化の違いは堆肥分解に必要な微生物の増殖がまず優先し, 初期には無機化した窒素が菌体に取り込まれみかけ上減少するのに対し, 無機化した炭素(炭酸ガス)はそのまま集積するためと思われる。各処理堆肥の温度別の炭素無機化曲線を25°C変換し重ね合わせたのが第4図である。またそれぞれの炭素無機化の特性値を第2表に示した。C₀は

見かけの可分解性の炭素量を示しており, この値が小さくなることは, 無機化の抑制効果を意味している。慣行堆肥のC₀は17.96であったのに対し, 石膏添加堆肥では15.78と12%の減少であった。これに対しAl添加堆肥では, C₀=6.02と著しく低い値を示した。また, kは速度定数を示し, この値の大小が, 無機化速度の指標になる。慣行堆肥と石膏添加堆肥のkはそれぞれ0.034と0.038とほぼ等しいのに対しAl添加堆肥では0.021と低い値を示した。このように石膏, ヒドロキシ-Alにはいずれも堆肥の分解抑制効果が認められたが, その抑制の程度はヒドロキシ-Alの方が大きいことが明らかとなった。以上の結果から石膏は有機物の分解調節材として極めて有望であると思われる。

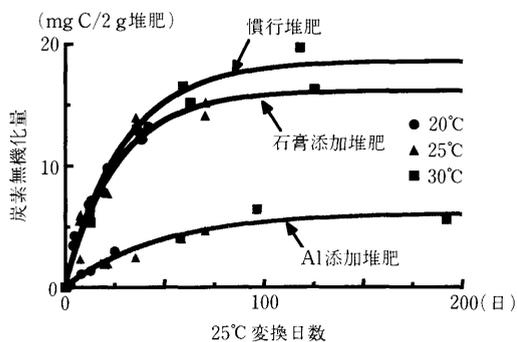
4. 要 約

石膏の有機物分解調節効果について, 稲わらの腐熟過程における石膏添加効果および慣行稲わら堆肥の土壤中での分解過程における添加石膏の効果をヒドロキシ-Alと比較検討した。

1) 50°Cで堆積した稲わらの乾物重は, 慣行区に比べ, 石膏添加区で高く推移し, 堆積12週間後の乾物重は慣行区で堆積開始時の27%であったのに対し, 石膏



第3図 各処理堆肥の温度別炭素無機化率の推移



第4図 各処理堆肥の炭素無機化曲線の重ね合わせ

第2表 各堆肥炭素の無機化特性値

	C ₀	k	Ea	B
慣行堆肥	17.96	0.034	18720.8	0.641
石膏添加堆肥	15.78	0.038	20780.7	0.379
Al添加堆肥	6.02	0.021	36161.0	0.154

C₀: 可分解性炭素量 (mg C/2g 堆肥).

k: 25°Cにおける無機化の速度定数.

Ea: 活性化エネルギー (cal).

B: 定数.

添加区では35%であり、石膏による稲わらの分解抑制効果が認められた。ヒドロキシ-Al添加区では、慣行区、石膏添加区よりも著しく高い値で推移し、堆積12週間後の乾物重は堆積開始時の56%であった。

稲わらの堆積中のC/N比は、慣行区と石膏添加区はほぼ同等の値で推移し、堆積終了時には約8であった。これに対してヒドロキシ-Al添加区は常に高い値で推移し、堆積12週間後においてもC/N比は約13で、慣行区、石膏添加区と比較すると未熟であった。

2) 慣行法で作成した慣行堆肥に石膏、あるいはヒドロキシ-Alを添加しその窒素および炭素の無機化過程を検討した。石膏添加堆肥の窒素の無機化率は、20, 25, 30°Cいずれの温度でも慣行堆肥と35日目まではほぼ同等の値で緩やかに増加した。その後25, 30°Cにおいては石膏添加堆肥の無機化率が慣行堆肥を上回った。これに対しAl添加堆肥では、20, 25, 30°Cいずれにおいても窒素の無機化が阻害された。

炭素の無機化率は、20, 25, 30°Cいずれの温度でも慣行堆肥に比べ石膏添加堆肥で低く推移した。Al添加堆肥はさらに低い無機化率で推移し、石膏添加堆肥よりもさらに強い分解抑制が認められた。

3) 堆肥炭素の無機化過程を反応速度論的に解析した。石膏添加堆肥において、無機化速度定数は0.038で慣行堆肥の0.034とほぼ同じであったが、見かけの可分解性炭素量が慣行堆肥の17.96に対し15.78と12%減少し、石膏による炭素の無機化抑制効果が明らかとなった。Al添加堆肥の無機化速度は慣行堆肥の0.034に対し0.021、可分解性炭素量は17.96に対し6.02と低い値を示し、ヒドロキシ-Alは石膏よりもさらに強い無機化抑制効果を示した。

以上の結果から、石膏はヒドロキシ-Alと同様に有機物の分解抑制効果を持ち、また窒素の無機化促進とその効果の持続性、さらに安価であることを考慮すると、有機物の分解調節材として有望であると思われる。

文 献

- 1) 麻生昇平：有機質肥料の特性と施肥，季刊肥料，**60**，10～16 (1991)
- 2) 東 俊雄：有機炭素 B. チューリン法，土壤標準分析・測定法，土壤標準分析・測定法委員会編，p. 86～94，博友社，東京 (1986)
- 3) 池 盛重・坂井 弘：十勝火山灰地における有機物の施用効果に関する研究，第3報 堆肥の施用効果に及ぼす各種添加物の影響について，北農試彙報，**77**，34～39 (1962)
- 4) 稲松勝子：稲藁堆肥の腐植様物質，桑園土壤の化学性および桑の生育に対する稲藁堆肥の施用効果に関する基礎的研究 (第1報)，土肥誌，**40**，59～66 (1969)
- 5) 川口菊雄・坂上 朗：水田土壤における腐植の形態ならびに動態に関する研究 (第2報)，数種の土壤における石灰，堆肥連用土壤の腐植の形態，同上，**40**，221～227 (1969)
- 6) 川口菊雄・坂上 朗・橋本重久：水田土壤における腐植の形態ならびに動態に関する研究 (第1報)，石灰および堆肥連用土壤の腐植の形態について，同上，**39**，363～369 (1968)
- 7) 金野隆光：非線形モデルのあてはめ，土壤肥料試験研究のための統計計算用 BASIC プログラム，農技研化学部資料，No. 1，p. 79～111 (1983)
- 8) 金野隆光：土壤中の生物活性と温度，土壤の物理性，**41**，7～16 (1980)
- 9) 久保田徹・箱石 正・高橋 茂：ヒドロキシアルミニウム処理による堆肥の分解抑制，土肥誌，**57**，155～160 (1986)
- 10) 熊田恭一・広瀬春朗・中野綱次郎・北洞信也：数種の有機質および無機質資材を混合した稲わらの腐朽過程，同上，**43**，13～20 (1972)
- 11) 水野直治・南 松雄：硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法，同上，**51**，418～420 (1980)
- 12) 三幣正巳：環境にやさしい有機質肥料，季刊肥料，**60**，20～27 (1991)
- 13) 白谷好輔・熊田恭一：石灰資材添加による腐植の形態変化，腐植酸の化学的性質に関する研究 (第3報)，土肥誌，**45**，12～17 (1974)
- 14) SHIROYA, R. and KUMADA, K. : Combination reaction between humic acid and calcium ions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **22**, 345～349 (1976)
- 15) 吉田 稔・中野克良：塩基性アルミニウム吸着による土壤有機物のカチオン吸着能の低下，土肥誌，**49**，513～515 (1978)

Effect of Gypsum on the Decomposition of Rice Straw and Rice Straw Manure

Mitsuru TOMA¹ and Masahiko SAIGUSA

(Exp. Farm, Tohoku Univ., present address ; ¹Exp. Farm, Yamaguchi Univ.)

The effects of gypsum on the decomposition of rice straw and rice straw manure were examined in comparing with those of hydroxy-Al.

- 1) The dry weight of rice straw, rice straw with gypsum and rice straw with hydroxy-Al at 12

weeks into the humification process were 27, 35 and 56% of initial dry weight, respectively.

The C/N ratio of both rice straw and rice straw with gypsum were changed similarly, and after 12 weeks of incubation at 50°C, the C/N ratios of both treatments were about 8. On the other hand, that of rice straw with hydroxy-Al was significantly higher (13 at 12 weeks).

2) The rate of nitrogen mineralization of rice straw manure and rice straw manure with gypsum were almost equal at 35 d of incubation. After 35 d of incubation, however, the mineralization rate of rice straw manure with gypsum was higher than that of rice straw manure.

The decomposition ratio of rice straw manure with gypsum treatment was lower than that of rice straw manure. The decomposition ratio of rice straw manure with hydroxy-Al was significantly lower than the ratios of the others.

3) The kinetics of the carbon mineralization process of rice straw manure were studied. The amount of potential decomposable carbon in rice straw manure treated by gypsum was 12% lower than rice straw manure with no treatment, however, the mineralization rate constant was not different between the two. With hydroxy-Al treatment, both the decomposable carbon and the mineralization rate constant were 33 and 62% of the rice straw manure with no treatment, respectively.

These results indicate that gypsum and hydroxy-Al have an effect on the control of decomposition of rice straw and rice straw manure. However, the effect of hydroxy-Al was so strong that the nutrient supply from manure becomes much smaller. Therefore, gypsum is a more favorable material to control the decomposition of rice straw manure.

Key words decomposition, gypsum, rice straw manure

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 68, 645-650, 1997)