

岡山県における混合堆肥複合肥料の製造技術の開発

岡山県農林水産総合センター 畜産研究所
環境研究グループ

水木 剛

1. 混合堆肥複合肥料とは？

(1) 家畜ふん堆肥の特長と課題

まだ記憶に新しい2008年の肥料原料価格の高騰以降、国産の肥料資源である家畜ふん堆肥への注目が高まりました。良質な有機質肥料である家畜ふん堆肥は、土壌への有機物の供給源となるだけでなく、肥料成分も豊富に含むため肥料代の節減にもつながるといった認識が広がりました。

しかしながら、今日でも家畜ふん堆肥の利用が十分に進んでいるとは言えない状況です。その理由として、家畜ふん堆肥は化成肥料などと比べると散布に労力がかかり、原料や製造方法などの違いにより肥料成分が多様で施肥管理が難しいといったような点があげられます。

(2) 普通肥料「混合堆肥複合肥料」の新設

そうした中、平成24年に普通肥料の公定規格が一部改正され¹⁾、家畜ふん堆肥を化学肥料などと混合する混合堆肥複合肥料が新設されました(注：混合堆肥複合肥料の原料には食品由来の有機質物を主原料とする堆肥も認められていますが、本稿では家畜ふん堆肥のみを対象とします)。これにより、家畜ふん堆肥の土づくり効果と化学肥料の高い肥料効果を併せもった新しい肥料の生産・流通が可能となったのです。

この改正以前は、特殊肥料^{注1)}である家畜ふん堆肥と普通肥料^{注2)}を混合した肥料を生産・流通させることは認められてい

ませんでした。しかしながら、以前からこうしたニーズは少なからずあり、岡山県内でも耕種農家からの要望に応じて圃場で家畜ふん堆肥と土壌改良資材を同時散布している堆肥センターの事例もあります。

(3) 混合堆肥複合肥料が抱える課題

こうした背景もあり、この新しい肥料の登場による家畜ふん堆肥の需要拡大を大いに期待したわけですが、公定規格の詳細(表1)が明らかになると甘い期待はすぐに吹き飛びました。原料家畜ふん堆肥に関する規格は特に厳しく、後述のとおり岡山県の堆肥生産の実情から考えると相当にハードルが高いものでした。さらに、造粒または成形後の加熱乾燥が必須であるため、加熱乾燥設備を有しない県内の堆肥センターなどではすぐには取り組めないことが明らかとなったのです。

表1 混合堆肥複合肥料の公定規格の概要

①原料家畜ふん堆肥に関すること
・窒素が乾物あたり2%以上
・窒素、リン酸、カリの合計が乾物あたり5%以上
・炭素窒素比が15以下
・家畜ふん堆肥の割合は乾物重量で50%以下
②製造工程に関すること
・造粒または成形後に加熱乾燥すること
③完成肥料の品質に関すること
・窒素、リン酸、カリのうち、いずれか2つ以上の合計が10%以上
・その他保証成分の最小量
・有害成分11種の最大量

※農林水産省告示「肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件」から一部改変

(4) 岡山県農林水産総合センターの
取り組み

そこで、当センターでは、普通肥料の製造・販売に関するノウハウを有する肥料メーカーの協力を得ながら混合堆肥複合肥料の商品化に向けた試験研究を行うこととしました。本稿では、我々がこれまでに取り組んできた試験研究の成果を中心に紹介させていただき、混合堆肥複合肥料の普及に向けた課題などについて述べさせていただきます。

2. 岡山県における農畜産業の現状
と混合堆肥複合肥料の開発方針

(1) 岡山県の農畜産業の現状

白桃やブドウの生産が盛んで「くだもの王国おかやま」として知られる岡山県ですが、農林水産省の畜産統計（平成28

年2月1日現在）によると、乳用牛15,300頭（全国第12位）、肉用牛31,800頭（同20位）、採卵鶏10,067,000羽（同4位）、ブロイラー2,443,000羽（同11位）で、中国四国地方を代表する畜産県でもあります。当然、家畜排せつ物の発生量についても同様ということになります。

(2) 混合堆肥複合肥料の開発へ向けて
一方、当センターの調査²⁾によると県内の水田はリン酸が適正値を超える圃場が多い反面、苦土やケイ酸が不足している圃場が多くなっています（図1）。野菜畑ではリン酸、カリ、石灰が過剰となっています（図2）。また、土壌中の有機物含量を示す腐植については、いずれも約4割の圃場で不足しています。

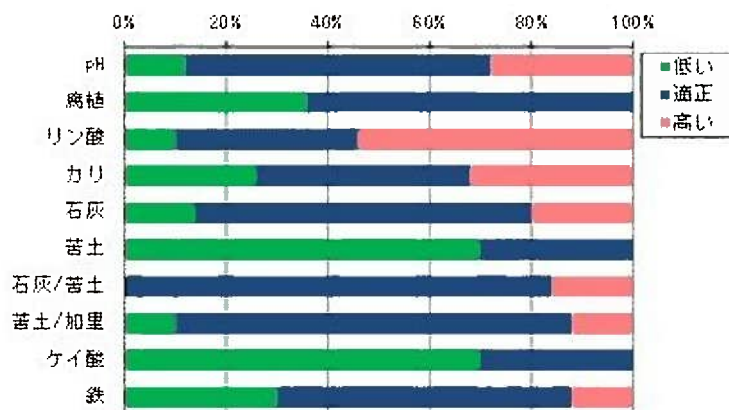


図1 水田土壌の化学性 (2012年：50圃場)

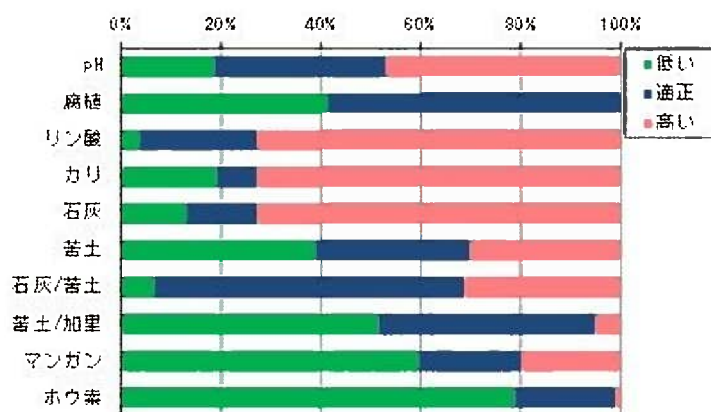


図2 野菜畑土壌の化学性 (2008～2012年：198圃場)

これらの原因として、近年、水田では堆肥施用量が減少していること、畑では過度な肥料の施用が行われていることなどが考えられています。

こうした県内の状況を踏まえ、当センターでは以下のような方針で混合堆肥複合肥料の開発を行うこととしました。

- ①有機機物の投入量を増やすため、可能な限り堆肥の混合割合を多くする（＝堆肥の利用を増やす）。
- ②土壌中に過剰な肥料成分を削減することで、土壌養分バランスの適正化と低コスト化を図る。
- ③基肥一発施肥かそれに準ずるような省力化された施肥体系の確立。

3. 研究成果 (平成 25～27 年度)

試験①：高窒素混合堆肥複合肥料の検討³⁾

(1) 硫安、尿素、IB 窒素の混合

耕種農家のニーズが高い肥料成分である窒素の含有量を高めることを目的として、混合する窒素肥料の割合の上限を検討することとしました。ここでは、代表的な窒素肥料として、硫安^{注3)}、尿素^{注4)}及び IB 窒素^{注5)}を用いました。

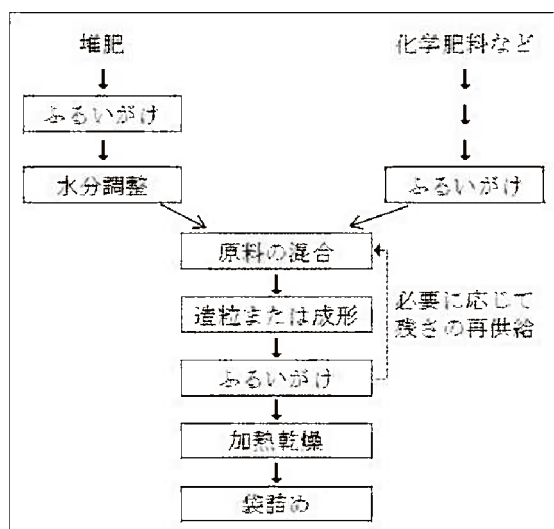


図3 混合堆肥複合肥料の製造工程の例

試作肥料の製造工程は図3のとおりで、まず、主原料となる家畜ふん堆肥の水分を20%前後に調整し、ふるいがけしました。これを乾物重量比50%とし、さらに硫安、尿素またはIB窒素を同じく50%、30%または10%となるように混合（堆肥と窒素肥料で不足する部分は、なたね油かすを混合）して、ローラー・ディスクダイ方式の造粒機（不二パウダル株式会社、F-5/11-175D型）で直径5mm、長さ10mmのペレット状に成形しました。その後、ふるいがけして90℃、2時間以上加熱乾燥して完成としました。

(2) 膨化と固結

その結果、安価な窒素源として期待していた尿素は乾物重量比30%以上混合すると激しい膨化・固結を起こし、ペレットの形状を維持できませんでした（写真1）。尿素が吸湿による固結を起こしやすいこと⁴⁾は知られていますが、家畜ふん堆肥と混合して造粒した場合の影響はかなり大きいことが明らかとなりました。



写真1 正常な完成肥料（左）と膨化・固結した完成肥料（右）

また、牛ふん堆肥と硫安を50:50で混合すると、そばろ状に造粒されてペレット化できませんでした（注：若干加水することでペレット状にはなりましたが、加熱乾燥後に激しい膨化・固結を起こしました）。

試験②：複数の化学肥料を混合した
混合堆肥複合肥料の製造、
及び固結防止材の効果の
検討⁵⁾

(1) 化学肥料の混合

次に、特定の作物や栽培条件を想定した混合堆肥複合肥料を複数の化学肥料を混合して試作しました。試験①の結果を受けて、尿素による膨化・固結を抑制するため、その混合割合を乾物重量比 15% 以内としました。

表 2 はその一例で、本県における園芸利用を想定して設計しました。それぞれの特長は、上から順に、県内の圃場に過剰気味なリン酸を減らしたこと、野菜畑土壌に不足がちなマグネシウムを強化したこと、低コスト化を図るために鶏ふん焼却灰を混合したことです。

その結果、いずれの完成肥料も膨化・

固結が発生しました。さらに、尿素の混合割合が同じにもかかわらず、膨化・固結の発生の程度は大きく異なりました（表 3 のシリカなしを参照）。そのため、膨化・固結の程度は、尿素の混合割合だけでなく、ほかの原料の影響も受けていると推察されました。

(2) シリカヒューム混合による
固結防止

そこで、完成肥料の膨化・固結を抑制するため、普通肥料の固結防止材として使用が認められているシリカヒューム^{注6}を混合することとしました。具体的には、表 2 の堆肥の一部を乾物重量比 2% のシリカヒュームに置き換えました。

その結果、膨化・固結の発生は目に見えて改善されましたが、完全に抑制することはできませんでした（表 3）。

表 2 園芸用混合堆肥複合肥料の原料混合割合

(単位：%乾物)

	原料混合割合					設計成分値			
	堆肥	尿素	硫マグ	硫加	なたね油かす 鶏ふん 焼却灰	窒素	リン酸	カリ	苦土
園芸一般	50	15		15	20	9.5	2.9	9.8	1.0
園芸マグ強化	50	15	20	10	5	8.5	2.6	7.1	4.0
園芸低コスト	50	15			35	8.2	12.3	8.0	3.3

表 3 シリカヒュームによる膨化・固結の抑制

		膨化 ^{※1}	固結 ^{※2}
園芸一般	シリカなし	100%	弱い
	シリカあり	70~80%	なし
園芸マグ強化	シリカなし	100%	強い
	シリカあり	80~90%	やや強い
園芸低コスト	シリカなし	80~90%	なし
	シリカあり	60~70%	なし

※1 完成肥料の表面がひび割れるなどして形状が一様でないものの比率を目視で確認。

※2 強い：手でほぐしても元のペレットの形状をとどめない強い固結、やや強い：手でほぐせばばらける程度の固結、弱い：軽い振動でばらける程度の固結、なし：固結なし。

なお、シリカヒュームは乾物重量比 3%までの混合が認められていることから、混合割合を増やすことや肥料表面へのコーティングを併用することなども検討しましたが、コストがかかる上に肝心の肥料成分が目減りしてしまうことから、本試験では取り組みませんでした。

試験③：尿素・硫安混合肥料の検討

(1) 尿素的混合割合

これまでの試験結果を受けて、膨化・固結が発生しないレベルまで尿素的の混合

割合を減らし、不足する窒素を他の窒素肥料などで補う方法を検討することとしました。

まず、尿素的の混合割合を複数の化学肥料を混合した条件で再検討したところ、乾物重量比 5%以内であれば膨化・固結が発生しにくいことが確認されました(図表省略)。

(2) 硫安の混合割合

そこで、尿素的の混合割合を乾物重量比 5%で固定して硫安の混合割合を変動させた肥料を試作しました(表 4)。

表 4 尿素・硫安混合複合肥料の原料混合割合

(単位：%乾物)

	肥料原料					設計成分値		
	堆肥	尿素	硫安	なたね油かす	硫加	窒素	リン酸	カリ
尿5-硫安0	50	5		35	10	5.4	3.5	7.4
尿5-硫安10	50	5	10	25	10	7.0	3.3	7.3
尿5-硫安20	50	5	20	15	10	8.5	3.0	7.2
尿5-硫安30	50	5	30	5	10	10.1	2.7	7.1
尿5-硫安45	50	5	45			13.0	2.5	2.0

その結果、硫安を乾物重量比 45%まで混合しても固結は生じず、直径も造粒機のダイス径 3mm とほぼ同等で、膨化はペレット表面がわずかにひび割れる程度に抑制されました(図表省略)。完成肥料

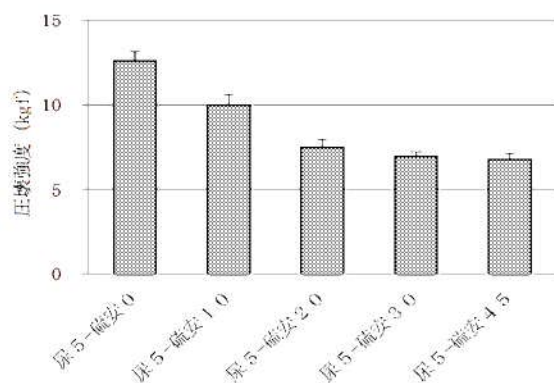


図 4 尿素・硫安混合肥料の圧壊強度 (n=20)

の硬さを示す圧壊強度は、測定方法が異なるため単純比較はできませんが、JA 全農の水稲側条施肥用粒状複合肥料(粒径 2.0~2.8mm)の規格である 2kgf 以上を十分に上回っていることから、実用上の問題はないと考えられました(図 4)。

(3) 尿素と硫安の混合割合と検討事項

これにより、乾物重量比 5%の尿素に対して同 30~45%の硫安を混合することで、膨化・固結の発生を抑制しつつ、化成肥料なみの 10%以上の窒素含量を確保できることが明らかとなりました。

なお、一部の肥効調節型肥料を混合する場合には留意すべき点があることも分かりました。例えば被覆肥料は造粒時の摩擦で被覆がはがれてしまうことがあり

ました(写真2)。また、スーパーIB^{注7}の粒は造粒時に粉碎され、IB窒素を混合したものとの間で窒素無機化曲線の差が小さくなる傾向が認められました(図5)⁸⁾。そのため、こうした肥料では期待どおりの窒素肥効が得られなくなる可能性があります。なお、これらの現象は、造粒機の構造やダイス径、一緒に混合する原料の物理化学性によっても異なると想像されるため、製造にあたっては事前の十分な検討が必要です。



写真2 被覆肥料を含む原料(左側)を造粒機のローラーで加圧したもの(右側)

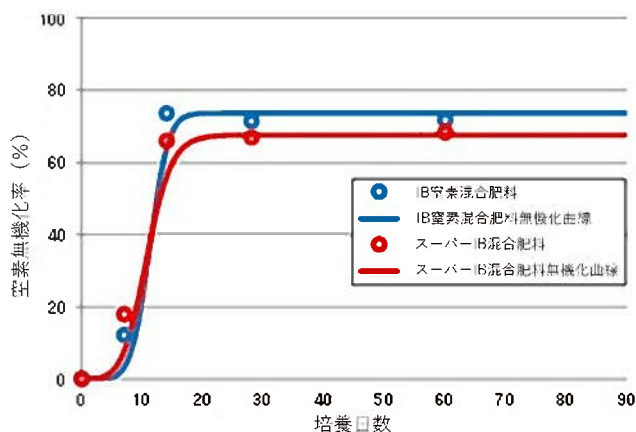


図5 IB窒素またはスーパーIBを混合した混合堆肥複合肥料の窒素無機化曲線(30°C・畑条件)

試験④：保存性の評価^{3.5.6)}

完成した混合堆肥複合肥料は倉庫などで長期間保管されることも想定されます。その際に、粉化などの物理的な崩壊やカビなどの発生、肥料成分の低下が起これば、商品価値を低下させるだけでなく、期待した肥効が得られなくなる可能性もあります。

そこで、試験①～③で試作した完成肥料を25～35°Cの恒温槽で半年間保存して、品質の変化を調査しました。その結果、若干の粉化はあったものの、多くの肥料では硬さや肥料成分の大幅な低下は認められませんでした(図表省略)。過去に行った水分約21%の豚ふん堆肥ペレットの保存試験⁹⁾の結果と比べると、明らかにカビやカビ臭の発生が少なく、保存性はかなり高い印象でした。

混合堆肥複合肥料の高い保存性は、造粒後の加熱乾燥の効果と考えられます。これまでの経験から、加熱乾燥後に形状を維持できていれば、保管中の品質の低下は起きにくいと思われます。

4. 今後の課題

～混合堆肥複合肥料は畜産の救世主となりうるか?～

(1) 肥料メーカーとの連携

混合堆肥複合肥料の製造には、造粒・成形や加熱乾燥を行うための機械・設備が新たに必要となるため、中小規模の畜産経営が単独で取り組むのは現実的ではありません。そのため、混合堆肥複合肥料を製造するためには、肥料メーカーとの連携が最も現実的です。すなわち、作った堆肥を混合堆肥複合肥料の原料として買い取ってもらうことです。

(2) 堆肥成分の安定性

ただし、普通肥料の原料ですので、公定規格をクリアしていることは当然です

が、年間を通じて肥料成分が安定していて、低水分で固まりのない均質なものであることが求められます。

しかしながら、平成 23～24 年度に県内で生産された牛ふん堆肥のべ 215 点を分析したところ、窒素含量は乾物あたり平均 $1.8 \pm 0.5\%$ でした¹⁰⁾。また、過去に行われた全国規模での調査では、寒冷期と温暖期の季節間または年次間で肥料成分の変動も報告されています^{11, 12, 13)}。

(3) 窒素成分

特に、牛ふん堆肥を混合堆肥複合肥料の原料とするためには、まずは乾物あたり 2%以上の窒素を安定的に維持できるかがポイントとなります。そのため、堆肥化原料に鶏ふんまたは豚ふんを混合するなどして窒素含量を増やすといった工夫や、密閉縦型発酵装置などによる高窒素堆肥の製造技術の導入も必要になるかもしれません。

また、炭素窒素比が 15 以下というのも、オガクズを敷料として多用することが多い県内の酪農・肉用牛経営にとっては厳しい条件です。

(4) 有機物の効果

さらに、家畜ふん堆肥の混合割合は最大でも乾物重量比 50%と制限されています。土づくり効果を期待されながらも、有機物が豊富な牛ふん堆肥を多用できないジレンマを抱えながら設計を行っています。そうした中で、より土づくり効果が高い肥料が作れるように公定規格の緩和を望む意見も出てきています¹⁴⁾。

(5) 混合堆肥複合肥料の有効性

一方、混合堆肥複合肥料を用いた栽培試験では、慣行法と比較して同等以上の収量をあげているといった報告や、10～30%の施肥コスト抑制効果も試算されています¹⁵⁾。さらにデータを積み重ね、コスト面や労力面での優位性が明らかになれば、今後の普及に弾みがつくのではな

いかと考えています。

(6) 普及へ向けて

公定規格の改正から数年が経過し、混合堆肥複合肥料はいくつかの肥料メーカーから商品化されています。しかしながら、研究に携わっている立場からみると、世間の認知度はあまり高くないように感じられます。

近い将来、我々が開発した混合堆肥複合肥料が広く利用されるようになることで、健全な土づくりと家畜ふん堆肥の需要拡大が進むことを期待しつつ、引き続き普及に向けた技術開発を進めていきたいと考えています。

引用文献

- 1) 肥料料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件の一部を改正する件 (平成 24 年 8 月 8 日 農林水産省告示第 1985 号)。
- 2) 岡山県農林水産部(2013)：家畜ふん堆肥適正施用の手引き。
- 3) 水木 剛・白石 誠・大家理哉・鷲尾建紀(2015)：新規格肥料「混合堆肥複合肥料」の製造技術の検討。岡山県農林水産総合センター畜産研究所研究報告第 5 号, 1-8。
- 4) 荒井明彦(1969)：肥料固結防止材としての応用。油化学, 第 18 巻第 9 号, 668-672。
- 5) 水木 剛・白石 誠・大家理哉・鷲尾建紀(2016)：新規格肥料「混合堆肥複合肥料」の製造技術の検討 (第 2 報)。岡山県農林水産総合センター畜産研究所研究報告第 6 号, 1-10。
- 6) 水木 剛・白石 誠・大家理哉・鷲尾建紀(2016)：新規格肥料「混合堆肥複合肥料」の製造技術の検討 (第 3 報)。岡山県農林水産総合センター畜産研究所研究報告第 6 号, 11-17。

- 7) JA 全農 営農・技術センター 肥料研究室(2009):くみあい肥料の品質の考え方。(参考 URL)
https://www.zennoh.or.jp/eigi/pdf_hiryo/hiryo_kumiai.pdf
- 8) 鷲尾建紀(2015):岡山県農林水産総合センター農業研究所データ(未発表).
- 9) 水木 剛・白石 誠・小林 宙・疇地 勅和(2011):利用性の高い堆肥の供給体制の確立.岡山県農林水産総合センター畜産研究所研究報告第1号,1-5.
- 10) 水木 剛(2014):堆肥の迅速診断法.平成26年度(第49回)岡山県産業動物獣医学会プログラム・講演抄録,12.
- 11) (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所(2002):簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業 堆肥の品質実態調査(中間)報告書.
- 12) (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所(2003):簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業 堆肥の品質実態調査(中間)報告書.
- 13) (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所(2005):簡易低コスト家畜排せつ物処理施設開発普及促進事業 堆肥の品質実態調査報告書.
- 14) 大森誉紀・横田仁子(2016):牛糞堆肥に硫酸アンモニウムを混合しペレット化した硫安混合堆肥の開発.愛媛県農林水産研究報告第8号,43-49.
- 15) 小宮山鉄兵・辻あづみ(2013):混合堆肥複合肥料の開発~堆肥と普通肥料を混合した安価な有機複合肥料~.グリーンレポート, No.531, 10-11.

注：用語解説 (掲載ページ)

1. 特殊肥料 (p.19 左)
 堆肥、米ぬか、魚かすなど農林水産大臣が指定した肥料で、都道府県知事への届出と肥料成分などの品質表示が必要。家畜ふん堆肥は窒素、リン酸、カリ、炭素窒素比などの成分表示が必要。
2. 普通肥料 (p.19 左)
 成分などの公定規格が定められ、その規格に基づいて農林水産大臣登録を受けた肥料。硫安、尿素、石灰窒素、過リン酸石灰、硫酸加里など主要な化学肥料は普通肥料である。
3. 硫安 (p.21 左)
 硫酸アンモニア。アンモニア性窒素を20.5%以上含む普通肥料。
4. 尿素 (p.21 左)
 窒素を43.0%以上含む普通肥料。
5. IB 窒素 (p.21 左)
 IB はイソブチルアルデヒド縮合尿素の略称。窒素を28.0%以上含む普通肥料。緩効性窒素肥料である。
6. シリカヒューム (p.22 右)
 平均粒径0.15 μ mの球状微粒シリカで、肥料の固結防止などに使われる。
7. スーパーIB (p.24 左)
 IB 窒素(イソブチルアルデヒド縮合尿素)に硬化剤を添加し、粒径2~4mmに造粒した商品。窒素を32%以上含む機械施肥に適応。

(編集担当)