

温度反応特性を考慮した水稻用被覆肥料の選定法

岡山県農業総合センター農業試験場

森 次 真 一

1. はじめに

被覆肥料の最大の特徴は温度依存性にあり、温度条件に応じて肥料成分の溶出がコントロールされる。そして、対象とする作物の養分吸収パターンや栽培時期に合わせて肥料を選択すれば、追肥作業の省略や無駄のない施肥が可能となる。このため、被覆肥料を用いる栽培ではその溶出特性を把握しておくことが極めて重要といえる。その反面、デメリットとして気象条件による肥効の不安定さを指摘する声も多い。

近年、水稻栽培では従来の穂肥時期に窒素成分の溶出が始まるシグモイド溶出型被覆尿素を配合した被覆複合肥料を基肥として利用することが多くなった。安定生産のためには、気象条件が変動しても穂肥時期に安定して窒素溶出が始まるシグモイド溶出型被覆尿素的の導入が必要である。被覆肥料の選定にあたって各地で窒素溶出特性を考慮した検討が行われているが、実際の栽培では肥料の溶出だけでなく同時に水稻の生育も温度に反応することを考慮しなければならない。

被覆肥料の導入にあたっては、被覆肥料と水稻の感温特性を明らかにし、両者を比較するとともに、さらには広域的な産地への適合性や気象変動に対する適応性も把握しておくことが望ましい。そこで、両者の感温特性の比較や広域的な適合性の判定を行う手法を検討したので紹介する(図1)。

2. 方法

1) 被覆尿素的の感温特性(窒素溶出特性)

解析対象とした岡山県中北部地域で作付けが多いコシヒカリに適する全量基肥用被覆肥料の選定を行った。候補として3種類の被覆尿素(シグモイ

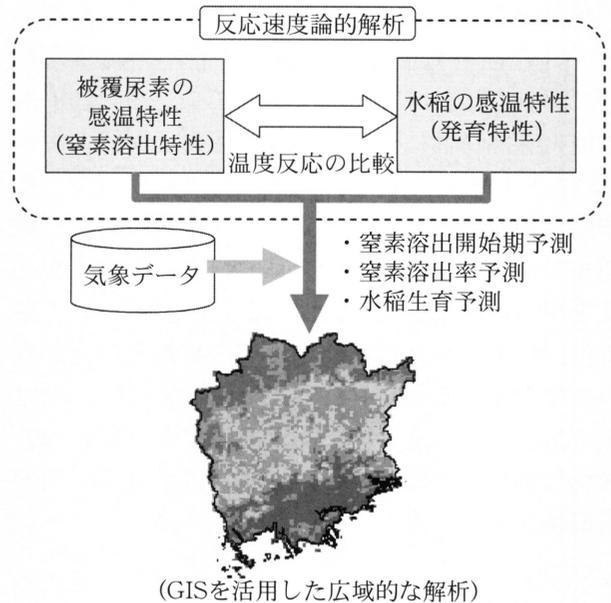


図1. 感温特性を基にした被覆肥料の広域判定法の概要

ド溶出型被覆尿素, エムコートS60H, S80H, S100H)を供試し、窒素溶出特性値を明らかにした。窒素溶出特性値とは、いつから溶出が始まり、どの程度の割合で溶出が進むのかを計算するための係数であるが、肥料によって異なり、この数値が肥料の種類毎の温度反応特性を把握するのに重要な値となる。窒素溶出特性値は、15・25・35℃の温度別培養試験を行い、石橋ら(1992)

(式I)

$$N=A\{1-\exp[-k(t-TAU)]\}$$

$$\text{ただし、 } t=\sum \exp[Ea1(T-Ts)/R \times T \times Ts],$$

$$TAU=\sum \exp[Ea2(T-Ts)/R \times T \times Ts]$$

N: 窒素溶出率(%), A: 最大溶出率(%), k: 溶出速度定数(日⁻¹),
 t: 温度変換日数(日), TAU: 溶出開始までの日数(日), R: 気体定数,
 T: 地温(絶対温度K), Ts: 標準温度(絶対温度K),
 Ea1: kに対する見かけの活性化エネルギー(J・mol⁻¹),
 Ea2: TAUに対する見かけの活性化エネルギー(J・mol⁻¹)

の方法に準じて温度別の窒素溶出曲線を基に反応速度論的手法の1次反応式(式I)により求めた。ここでは特に溶出開始までの日数(以下, TAU)及び, TAUに対する見かけの活性化エネルギー E_a を被覆尿素の感温特性値とした。この場合の E_a は溶出開始までの期間に対する温度の影響の大きさを数値化した値である。

2) コシヒカリの幼穂形成期の感温特性

被覆尿素の感温特性と同じ尺度で水稻の生育ステージの進み方に対する感温特性を評価できれば, 両者の比較が可能となる。このため, 幼穂形成期の感温特性についても被覆尿素と同様の解析手法を用いた。つまり, 異なる温度条件(異なる作期)でコシヒカリを栽培し, 移植期~幼穂形成期までの日数と地温を測定し, 得られた結果を式IIを用いた温度変換日数法(金野ら, 1986)で解析し, 移植期~幼穂形成期までの日数及び見かけの活性化エネルギー(以下, E_a)を求めた。 E_a は生育ステージの進み方に対する温度の影響の大きさを数値化した値であり, ここでは幼穂形成期の感温特性値とした。

(式II)

$$DTS = \exp[E_a(T - T_s)/R \times T \times T_s]$$

DTS: 温度変換日数(日), T: 地温(絶対温度K),

T_s : 標準温度(絶対温度K), R: 気体定数,

E_a : 見かけの活性化エネルギー($J \cdot mol^{-1}$)

3) 地理情報システム(GIS)を活用した広域的な判定

解析対象とした県中北部地域は吉備高原等の丘陵地から中国山地にかけての中山間地で気象条件が複雑であり, 年平均気温も約10~14.5℃と地域間差が大きい。加えて, 東西に約100km, 南北に約50kmと広範囲であり, 俯瞰的に対象地域を捉えるために1×1kmメッシュ単位で解析を行った。つまり, 本試験で求めた被覆尿素とコシヒカリの感温特性値を基にして1kmメッシュ単位で窒素溶出開始期やコシヒカリの生育ステージ毎の窒素溶出率等を算出した。本解析では, アメダス1kmメッシュ気象データ(清野, 1993)の平年値(1971~2000年)を基に地温を推定し(森次ら, 2003), 計算に用いた。計算開始日は,

対象地域の標準的な田植え時期である5月15日とし, 被覆尿素の窒素溶出開始期については積算溶出率が5%を超えた日とした。また, 気象変動の影響を明らかにするために, 低温年(1993年)及び高温年(1994年)の気象データを用いて気象条件の違いが両者の関係や窒素溶出パターンへ及ぼす影響を解析した。

3. 結果及び考察

1) 被覆尿素の感温特性(窒素溶出特性)

供試した3種類のシグモイド溶出型被覆尿素のTAU及びTAUに対する E_a を表1に示した。求められた E_a は, 60タイプ(S60H)が約70,300 $J \cdot mol^{-1}$, 80タイプ(S80H)が約77,000 $J \cdot mol^{-1}$, 100タイプ(S100H)が77,200 $J \cdot mol^{-1}$ であった。また, 標準温度25℃におけるTAUは, それぞれ35, 47, 53日であった。

2) コシヒカリの幼穂形成期の感温特性

地温を用いた温度変換日数法によって求めた幼穂形成期の感温特性値 E_a は88,900 $J \cdot mol^{-1}$ であった。また, 標準温度25℃における移植~幼穂形成期の所要日数は46日であった(表1)。

表1. コシヒカリの生育ステージ(移植期~幼穂形成期)及びシグモイド溶出型被覆尿素の窒素溶出開始期までの感温特性, 標準温度変換日数

	E_a ($J \cdot mol^{-1}$)	標準温度変換 日数 ^z (日)
コシヒカリ	88,903	46

エムコート S60H	70,288	35
S80H	76,986	47
S100H	77,153	53

^z 地温25℃の温度変換日数

供試した被覆尿素のTAUに対する E_a は約70,000~77,000 $J \cdot mol^{-1}$ であったのに対し, コシヒカリの幼穂形成期に対する E_a は約89,000 $J \cdot mol^{-1}$ であった。両者の E_a はともに地温に対する窒素溶出開始期あるいは幼穂形成期の温度反応性を示しているため, 両者の比較が可能であり, コシヒカリの幼穂形成期は, 温度変化に対して被覆尿素の窒素溶出開始期よりもやや敏感に反応するものと推

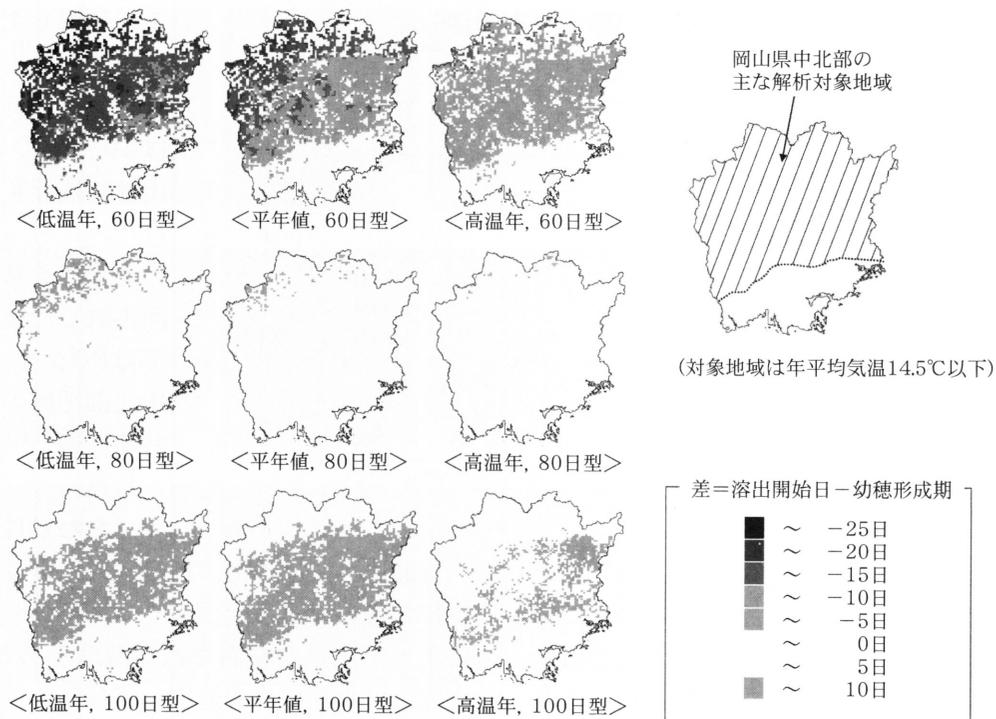


図2. シグモイド溶出型被覆尿素的窒素溶出開始日とコシヒカリの幼穂形成期の差 (気象データ；平年値1971~2000年，低温年1993年，高温年1994)

察された。さらにこの点については、実際の温度条件によって評価することが重要であると考えられ、次節で検討した。また、標準温度25℃における温度変換日数は、80タイプの窒素溶出開始期がコシヒカリの幼穂形成期と同等の値を示した。

3) GISを活用した広域的な判定

岡山県中北部地域を対象に、コシヒカリの幼穂形成期と各被覆尿素的窒素溶出開始期を1kmメッシュ単位で予測し、両者の差(ずれ)の分布状況を図2に示した。両者の差は80タイプが最も小さく、平年，低温年，高温年ともほとんどの地域で±5日以内であった。これに対して、60タイプは幼穂形成期よりも約2週間前、100タイプは約1週間後から溶出が始まる地域が多く分布した。特に60タイプでは低温年において窒素溶出開始期と幼穂形成期のず

れが大きく、幼穂形成期の20日以上前から窒素溶出が始まる地域が中国山地沿いの気温が低い地域を中心に全体の約3割程度に分布した。これは、コシヒカリの移植~幼穂形成期の標準温度変換日数と被覆尿素的施肥~窒素溶出開始期の標準温度変換日数の差が11日あることに加えて、両者のEaの差が約19,000J・mol⁻¹と大きいことによるものと考えられた。

表2. 出穂期における被覆尿素的窒素溶出率の分布割合^z

溶出タイプ 気象	窒素溶出率 (%)						
	~30%	~40%	~50%	~60%	~70%	~80%	~90% ~100%
低温年						87.7	12.3
S60H 平年						98.3	1.7
高温年						99.5	0.5
低温年			0.4	97.7	1.9		
S80H 平年			7.8	92.1	0.1		
高温年				98.4	1.6		
低温年	0.0	98.5	1.5				
S100H 平年	0.2	99.5	0.3				
高温年		18.7	81.3				

^z 対象地域における全水田メッシュ数に対する該当メッシュ数の割合 (%)

表3. 成熟期における被覆尿素的窒素溶出率の分布割合^z

溶出タイプ 気象	窒素溶出率 (%)						
	~30%	~40%	~50%	~60%	~70%	~80%	~90% ~100%
低温年							100.0
S60H 平 年							100.0
高温年							100.0
低温年						100.0	
S80H 平 年						100.0	
高温年						99.9	0.1
低温年				43.4	56.6		
S100H 平 年				2.9	97.1		
高温年					94.8	5.2	

^z 対象地域における全水田メッシュ数に対する該当メッシュ数の割合 (%)

また、窒素溶出開始後の溶出パターンを知るために、平年、低温年、高温年における出穂期及び成熟期の窒素溶出率を予測し、それぞれの生育ステージにおける窒素溶出率の分布割合を求めた(表2, 表3)。60タイプは、ほとんどの地域において出穂期までに70~80%, 成熟期には90%以上の溶出率を示した。次に、80タイプは、ほぼ全域において出穂期までに50~60%, 成熟期に80~90%の溶出率を示し、気象変動の影響はほとんどの地域で認められなかった。さらに、100タイプでは、出穂期までに30~50%, 成熟期に60~80%の溶出率を示し、特に低温年では成熟期の溶出率が約60~70%にとどまる地域が全体の約4割に分布すると予測された。

被覆尿素的窒素溶出開始時期については、コシヒカリを倒伏させないことを念頭に検討する必要がある。今回供試した中では、60タイプは溶出開始時期が早く、特に低温年では溶出開始期が下位節間伸長期にあたり、倒伏の危険性が高まると考えられた。一方、80タイプでは幼穂形成期前後から溶出が始まり、100タイプでは幼穂形成期をやや過ぎた頃から溶出が始まることから、コシヒカリを対象とした場合は80及び100タイプの窒素溶出開始時期が適当であると判断された。

次に、80及び100タイプの幼穂形成期以降の窒素溶出パターンについてみると、80タイプでは、気象条件に関わらず、成熟期では90%近く溶出す

るのに対して、100タイプでは年によって溶出率が異なり、特に低温年では40%近くの窒素が溶出せず残存すると考えられた。これらから、溶出の安定性を考えると、今回供試した被覆尿素の中では80タイプが岡山県中北部地域のコシヒカリ栽培に適していると考えられた。

4. おわりに

冒頭述べたように、被覆肥料は多くのメリットを持つ肥料である反面、その特性として気象条件によって肥効が左右される懸念がある。しかし、実際には水稻の生育速度も気象条件によって変動するため、これらを合わせて肥効判定をすることが重要である。今回、被覆肥料を地域へ導入する際の試みとして、水稻と被覆肥料の両者の温度反応特性を考慮した肥料選定方法を紹介した。現在、岡山県中北部地域のコシヒカリ栽培においては、全量基肥施肥用の被覆肥料として、従来はシグモイド100タイプが用いられてきたが、新たにシグモイド80~90タイプを配合した被覆肥料が用いられるようになり、従来よりもより安定した肥効が期待できるようになった。

引用文献

- 石橋英二・金野隆光・木本英照 1992. 反応速度論的方法によるコーティング窒素肥料の溶出評価, 土肥誌, 63, 664-668
- 金野隆光・杉原進 1986. 土壤生物活性への温度影響の指標化と土壤有機物分解への応用, 農環研報, 1, 51-68
- 森次真一・石橋英二・沖和生・山本章吾 2003. アメダスメッシュデータによる被覆尿素からの窒素溶出予測, 農業環境工学関連5学会講要, 306
- 清野 裕 1993. アメダスデータのメッシュ化について, 農業気象, 48 (4), 379-383