

石灰窒素秋施用による 稲わら腐熟促進効果と窒素動態の解明 (第一報)

秋田県立大学生物資源科学部 高階史章・小川賢人・平野聖也・金田吉弘・佐藤 孝
日本石灰窒素工業会 毛利友明

水田への稲わら直接還元と腐熟化促進

水田における収穫後の稲わらの取扱いは、稲作の機械化の進展にともない大きく変化してきた。従来、稲わらは圃場から持ち出されて各農家の家畜(主に役畜)の飼料や敷料などとなり、利用後は堆肥化されて圃場へと還元されていた。水田への堆肥施用は、養分供給や土壌物性の改善を通じ、地力の維持・増進に重要な役割を果たしてきた。しかし、昭和40年(1965年)頃からコンバインが急速に普及したことにより、水田への収穫後の稲わらは直接還元されるのが一般的となった(写真1)。

水田への稲わらの施用・すき込みは、次年度の水稲作において湛水直後の異常還元や有機酸の生成、施肥窒素の有機化による窒素飢餓などを引き起こし、水稲の初期生育を抑制することから、稲わらの効率的な処理が大きな課題となった。また、耕うん機の導入など農作業の機械化の進行にともない、稲作農家の飼育する役畜が大幅にいなくなり、加えて労働力の不足などの理由もあり、堆肥生産および水田への施用量は大幅に減少し、それにとともなう地力の低下が懸念されるようになった。この



写真1 コンバイン収穫による稲わらの散布

ような実態に対応し、水田へ稲わらを直接すき込むことにより、次年度の水稲作に悪影響をおよぼさず、さらに地力向上を図る、すなわち、従来の堆肥の代わりとして合理的に稲わらを施用することを目的とした試験研究が全国各地で実施され、その結果が「水田におけるいねわらの施用法と施用基準」(農林水産省技術会議事務局・1968年)としてとりまとめられている。同書では「水田における稲わら施用は、地域・土壌・栽培法などに応じた適切な方法で行えば、堆肥施用に匹敵する効果がある」と結論づけられ、施用基準が寒冷地および暖地に区分して示された。

すき込みの時期については、暖地に比べて寒冷地ほど「春すき込みよりも秋すき込みのほうが、田植え時までに稲わらの腐熟が進むため初期生育への悪影響が少ない」ことが明らかにされている。そのため、寒冷地では、秋すき込みによる稲わら分解期間の確保が重要となることが示されている。また、稲わらの分解(腐熟)促進のために、窒素や土壌改良資材の施用などの対策が重要であることも指摘している。これらの技術を踏まえ、乾田への秋すき込みについては、関東以西の暖地では稲わらの全量施用、春の圃場作業までの稲わら分解が遅く水稲生育抑制が起こりやすい北日本でも全量に近い量の施用(例えば東北で500~600kg/10a)が可能という施用上限値が提示されている。

乾田における稲わら施用技術については、この段階でほぼ確立されたといえるが、一方で寒冷地、特に北日本日本海側に広く分布する排水不良土壌の湿田については「稲わら施用は避けるか乾田の半分以下の施用量にとどめるべき」とされ、施用法は十分に確立されないままであった。そのため、湿田および半湿田における稲わら施用法の試験はその後にも継続されてきた。例えば久保田(1992年)は、新潟県における早場米生産に着目し、稲わらの秋すき込み時期を前倒しすると湿田および半湿田でも稲わらの全量すき込みが可能であることを示してい

る。しかし、秋から冬にかけての気象条件や農作業の都合から、収穫後の稲わらの秋すき込みが難しい地域もあり、各地域の実情に応じた稲わらの施用法を確立することが必要となっている。

腐熟促進資材としての石灰窒素とその窒素の動態

前述したように、稲わらすき込み時に窒素を添加すると稲わらの腐熟を促進し、特に「石灰窒素は腐熟促進効果が高い」とされている。その理由としては、ほかの窒素肥料と同様に稲わらの炭素率(C/N比)を下げる効果に加え、石灰窒素に含まれる石灰が酸性を中和して微生物の活動に好適なpHを保つ効果や稲わらの繊維をほぐす効果が挙げられている(石灰窒素Q&A)。

石灰窒素を用いた稲わら秋すき込みの技術は、北日本を中心にこれまで数多く実証されてきた。宮城県の湿田での試験では、石灰窒素+稲わら秋すき込み処理は、稲わらだけのすき込みおよび稲わら焼却の両処理に比べ収量性が高く、特に、不作年次でも減収が少ないことが報告されている(斎藤と塩島・1982年)。また、秋すき込み時の石灰窒素と土壌改良資材(熔リン・ケイカル)の同時施用が効果的であるという報告も多く、山形県庄内地方と岩手県の試験で水稲収量の増加が確認され(上野ら・1978年、千葉ら・1980年)、長野県と福島県の試験でも窒素吸収量および収量の増加が確認されている(立谷・1979年)。さらに、秋すき込み時の耕起深は、稲わらができるだけ空気に触れるように表面の攪拌程度にすることも指導されている。なお、石灰窒素による稲わら腐熟促進効果については「石灰窒素100年 技術の歩み」(日本石灰窒素工業会・2001年)に詳しくまとめられているので、こちらも参照されたい。

稲わらの腐熟促進を目的とした石灰窒素の施用法は、収穫後の稲わらの上に10 a当たり10~20kg程度(Nとして2~4kg/10 aに相当)を散布し、土中にすき込むのが標準的とされている。稲わらとともに土壌にすき込まれた石灰窒素由来の窒素は、稲わらの腐熟効果を高めるだけでなく、その一部は土壌および稲わら中に残存し、翌年以降の水稲に吸収されることにより生育を促進させると考えられる。そのため、石灰窒素由来窒素の動態を定量的に把握することは、水稲栽培時の肥培管理を策定するうえで重要となる。

滋賀県の試験では、収穫後に石灰窒素とともにすき込まれた稲わらは、石灰窒素なしの稲わらと比べて田植え時の全窒素含量が10%ほど高いことから、すき込まれた石灰窒素由来窒素の一部は稲わらに取り込まれて有機

態として残存していたと推察される。また、稲わら中の窒素の形態を考慮すると、稲わらに取り込まれた石灰窒素由来窒素は、主に生育後半に無機化されて追肥の役割を果たすとされている(石灰窒素Q&A)。宮城県農業センターでは、窒素の安定同位体である重窒素(^{15}N)で標識した石灰窒素を用いたコンクリート枠での水稲栽培試験が行われている。その結果、石灰窒素の単用に比べ、稲わらと石灰窒素を混用すると出穂期以降の石灰窒素由来窒素の吸収が増加することが定量的に示され、最終的な石灰窒素由来窒素の利用率は、石灰窒素単用(13.3%)に比べて稲わらと石灰窒素の混用(21.7%)で大幅に上昇することが報告されている(立谷・1979年)。

これまで述べてきたように、稲わら秋すき込み時の石灰窒素の添加が水稲生育におよぼす影響については、これまで各地で多くの試験が実施されてきたが、石灰窒素由来窒素の動態(水稲への吸収、土壌への残存)については、定量的に評価された例は少なく、特に、土壌への残存に関する情報は乏しい。筆者らは、秋田県の低地土水田において、稲わらの秋すき込み時に施用された石灰窒素由来の窒素の動態について硫酸アンモニウム(以下、硫酸)を対照として定量的に評価する試験を実施しているので、その結果をここで報告する。

石灰窒素由来窒素の動態解明試験

●試験設計

西田(2010年)の方法を参考に、 ^{15}N をトレーサーとして用い、稲わら秋すき込み時に施用される石灰窒素由来窒素の動態を追跡した。試験は2012年11月~2013年10月の1年間、秋田県大潟村(八郎潟干拓地)に位置する秋田県立大学フィールド教育研究センターで実施した。水稲一株分の面積の無底塩化ビニル枠(縦17cm×幅30cm

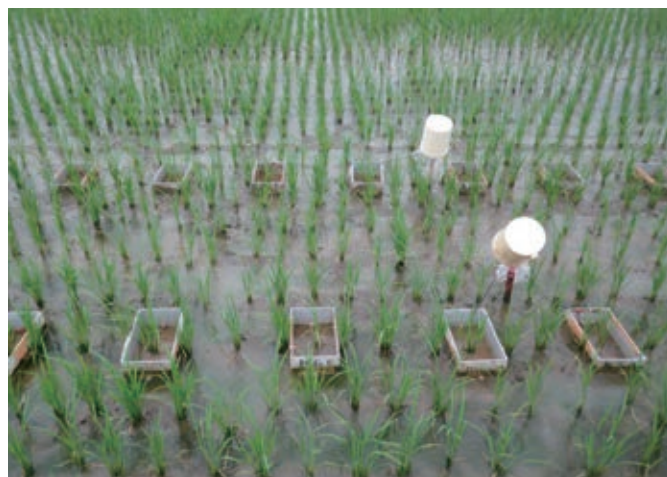


写真2 枠試験での水稲栽培の様子

×高25cm)の底部に不織布を張り、稲わら(600 g/m²相当)および¹⁵N標識資材(石灰窒素または硫安)を混和した土壌(強粘質細粒グライ土水田の作土)を深さ15cmまで充填し、秋(2012年11月)に圃場に埋設した。石灰窒素と硫安はともに粒状のものを使用し、施用量は20kg/10a(=4kgN/10a、N20%)とした。翌5月の代かき後に水稻(品種「あきたこまち」)を中苗3本/株で移植し、実際の圃場の群落条件に近い環境で栽培した(写真2)。水稻栽培時の施肥設計・栽培管理は慣行の代かき栽培を基準とし、全区とも基肥としてN、P₂O₅、K₂Oを各5kg/10a施用した。

水稻生育期間中に草丈、茎数、葉色を経時的に調査した。収穫期に水稻地上部と栽培跡土壌を採取して¹⁵Nを分析し、資材由来窒素の分配(植物体吸収・土壌残存)を定量的に明らかにした。

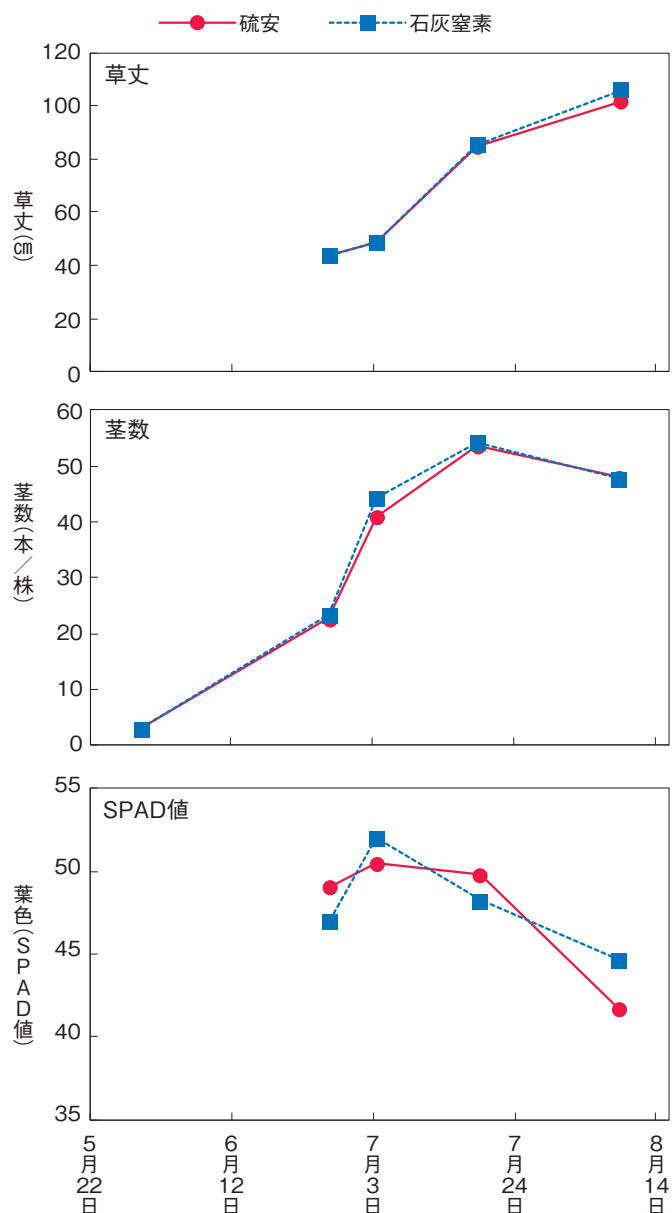


図1 草丈、茎数および葉色の経時変化

●水稻生育への影響

水稻の草丈、茎数および葉色(SPAD値)の経時変化を図1に示した。草丈は、生育期間を通じて硫安・石灰窒素両区間に顕著な差はなかった。茎数の推移をみると、分けつ後期に相当する6月26日から7月3日の間に大幅に増加し、幼穂形成期(7月18日)に最高(54~55本/株)となった。その後、穂揃い期にかけて茎数はやや減少したものの、全体として極めて旺盛な生育を示した。これは、①本試験で用いたセル苗は根の切断がなく植え傷みが少ないため活着が早かった②さらに試験年(2013年)は6月から7月上旬にかけて高温が続いたなど、分けつの発生を促進する条件が揃ったことが要因であると推察された。茎数は、分けつ後期(7月3日)の石灰窒素区が硫安区をやや上回ったが、全体としては両区間に顕著な差はみられず、最終的な穂数にも差はなかった。葉色は、分けつ後期(6月26日)から幼穂形成期(7月18日)にかけては処理区間で一定の傾向はみられなかったが、穂揃い期(8月8日)にかけての低下幅は硫安区(50から42)に比べて石灰窒素区(48から45)で小さく、石灰窒素施用により水稻生育後半の窒素栄養が維持された可能性が考えられた。

収穫期に水稻乾物重を図2に示した。穂の乾物重は、硫安区に比べ石灰窒素区でやや大きくなったが、地上部全体では処理区間で顕著な差はなかった。2013年の試験では、稲わら秋すき込み時の添加資材の違いが水稻生育(特に草丈・茎数・乾物重)におよぼす影響は顕著ではなかった。

●石灰窒素由来窒素の分配率

水稻成熟期における資材由来窒素の分配率を図3に示した。秋すき込み時の資材による窒素施用量を100%とし、そこから植物体吸収率および土壌残存率を減らした差分を未回収率として表した。未回収が生じる主な要因としては、資材由来窒素がアンモニウム態を経て硝酸態窒素となった後、降水の土壌中への浸透にともなう枠外(下方)

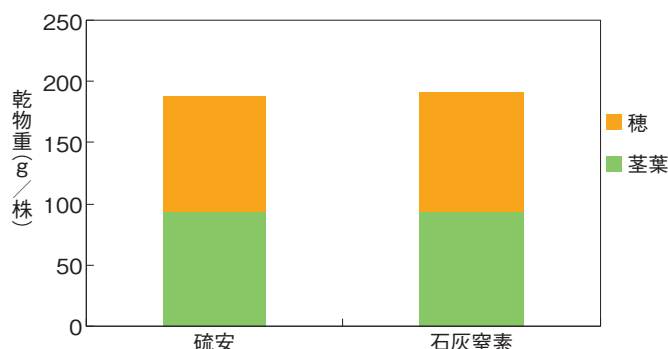


図2 成熟期に水稻乾物重

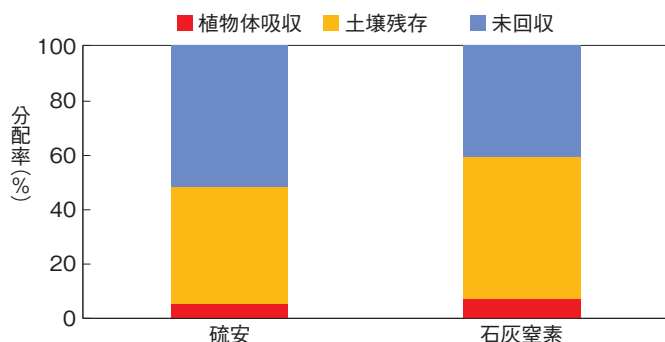


図3 成熟期における資材由来窒素の分配率

への溶脱や、嫌気的な条件下での脱窒による大気への放出などの窒素損失が挙げられる。

石灰窒素区は硫安区に比べて、植物体吸収率(6.6% > 4.0%)および土壌残存率(43% > 31%)が高く、未回収率が低かった(51% < 65%)。すなわち、秋すき込み稲わらの腐熟促進資材としては、硫安に比べ石灰窒素のほうが窒素のロスが少なく、翌年の水稻に効率よく利用されることが示された。

この違いが生じた要因としては、両者の肥料タイプの違いが挙げられる。速効性の肥料である硫安は、土壌へのすき込み後、速やかにアンモニウム態窒素を放出する。このアンモニウム態窒素は、稲わらの分解にともない微生物に取り込まれて有機化される一方で、微生物による硝酸化成作用を受け硝酸態窒素へと変化する。この硝酸態窒素は、前述したような溶脱や脱窒により枠外へ容易に放出される。

一方、緩効性肥料である石灰窒素は、その分解過程で硝酸化成抑制作用を持つジシアンジアミドが生成される。その働きにより、石灰窒素由来窒素は硫安由来窒素に比べアンモニウム態の形で長く土壌中にとどまることから、有機化される期間が長かったと推察された。結果として、春耕起の時点で石灰窒素区の土壌および稲わら中の有機態窒素の残存量は硫安区より多くなり、その後の水稻への吸収量および収穫時の土壌残存量も多くなったものと考えられた。

●まとめと今後の課題

秋すき込み稲わらの腐熟促進資材としては、石灰窒素は硫安と比べて窒素のロスが少なく、翌年の水稻への吸収率も高いことが定量的に示された。また、水稻栽培終了後も40%超の窒素が土壌に残存しており、肥効調節型肥料としての石灰窒素の特性が発揮されたものと推察した。今後は、残存形態の解明および土壌窒素肥沃度への影響や地域の気象条件との関係の解析も必要と考えられる。

また、石灰窒素施用による稲わらの腐熟促進は、水稻生育・土壌肥沃度への影響に加え、三浦(2003年)や前号(石灰窒素だよりNo.148)の塩野(2013年)が報告しているように、水田からのメタン放出抑制にも有効であることから、環境面での評価も今後さらに重要となると考えられる。

これまでの石灰窒素を用いた稲わら腐熟促進試験の多くは、秋すき込みを前提としている。しかし、実際には、積雪寒冷地の水田では、秋の作業期間の短さや秋耕起による春作業への悪影響が懸念されることから、稲わらの秋すき込みが難しい圃場が多い。そこで、前号の塩野(2013年)は石灰窒素の秋散布、春すき込みを前提とした試験を行い、稲わら分解・水稻生育・メタン放出への効果を明らかにしている。本試験は秋すき込みを前提としているが、春すき込みでは窒素の動態が異なると予想されることから、今後その評価についても検討していきたい。

最後に、本試験は日本海側の秋田県で実施してきたが、稲わらの分解程度は気象条件・土壌条件によって異なり、分解にともなう窒素動態も異なると考えられる。そこで、2014年から気象条件の異なる地域(太平洋側)でも同様の試験を開始し、太平洋側と日本海側での窒素動態の比較も予定している。こちらの試験の結果については、今後十分なデータが得られた時点で改めて報告したいと考えている。

●参考文献

- 上野正夫・斉藤昭四郎・小南力・斉藤正志・渡辺和夫・鈴木正 1978. 水稻に対する有機物および土壌改良資材の施用効果. 山形県立農業試験場研究報告, 12, 57-86.
- 久保田勝 1992. 新潟県における湿田・半湿田に対する稲わらの施用法に関する研究. 新潟農試研報, 39, 1-87.
- 斎藤満保・塩島光洲 1982. 稲わらの連用、連年焼却が水稻の収量に及ぼす影響. 東北農業研究, 31, 39-40.
- 塩野宏之 2013. 前年秋の石灰窒素施用がメタン発生、水稻の生育・収量へおよびす影響. 石灰窒素だより, 148, 15-18.
- 石灰窒素 Q & A (URL: <http://www.cacn.jp/technology/qa.html>)
- 立谷壽雄 1979. 「稲わらすきこみ」に想う. 石灰窒素だより, 110, 6-9.
- 千葉満男・島津了司・武藤和夫・内田修吉 1980. 水田における稲わら施用と稲作の安定化. 岩手農試研報, 22, 81-117.
- 西田瑞彦 2010. 重窒素を用いた直接的手法による水田における有機質資材由来窒素の動態解明. 東北農研研報, 112, 1-40.
- 日本石灰窒素工業会 2001. 石灰窒素100年 技術の歩み. (URL: http://www.cacn.jp/technology/100nen_pdf/100nenayumi.pdf)
- 農林水産省技術会議事務局 1968. 水田におけるいねわらの施用法と施用基準.
- 三浦吉則 2003. 水田からのメタン発生の実態と抑制のための稲わら管理に関する研究. 福島農試特研報, 7, 1-38.