

石灰窒素の秋施用による 稲わら腐熟促進効果と 窒素動態の解明 (第二報)

秋田県立大学 生物資源科学部 高階史章・平野聖也・保田謙太郎・金田吉弘・佐藤 孝
宮城大学 食産業学部 原川祐華・木村和彦

水田での稲わら腐熟促進と石灰窒素の動態

現在、日本で一般的となっている水稲のコンバイン収穫では、収穫後の稲わらは土壌の表面に散布・放置されている。特に、北日本などの寒冷地の水田では、冬の期間に稲わらの分解(腐熟)が進まず、翌春の耕起時に土壌にすき込まれた未分解の稲わらが湛水直後の異常還元などを引き起こし、水稲の初期生育を抑制している。そのため、秋のうちに稲わらに窒素資材を添加して土壌にすき込むなどの腐熟促進策が重要となる(農林水産省技術会議事務局・1968年)。稲わら秋すき込み時に添加する腐熟促進資材として、石灰窒素の有効性がこれまでに多く報告されている。その効果は、窒素添加にともなう稲わらの炭素率(C/N比)の低下に加え、石灰窒素に含まれるカルシウムによる酸性の中和や稲わらの細胞を柔ら

かくすることなどが指摘されている(石灰窒素Q&A)。

石灰窒素施用による稲わら腐熟促進についてはこれまで多くの試験が行われ、収穫後の稲わらに10~20kg/10a程度(Nとして2~4kg/10aに相当)を散布して土壌中にすき込むという手法が確立されている(石灰窒素Q&A、日本石灰窒素工業会・2001年)。稲わらに添加され土壌にすき込まれた石灰窒素由来窒素のうち、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と考えられ(図1)、その動態の定量的な把握は、水稲栽培時の肥培管理を策定するうえで重要となる。しかし、稲わら腐熟促進資材として添加された石灰窒素由来窒素の圃場での動態については、定量的な評価例は少なく、特に土壌への残存まで含めた評価となるとその数は限定される(詳細については高階ら・2014年、「石灰窒素だよりNo.149」を参照)。

前報(高階ら・2014年、「石灰窒素だよりNo.149」)では、

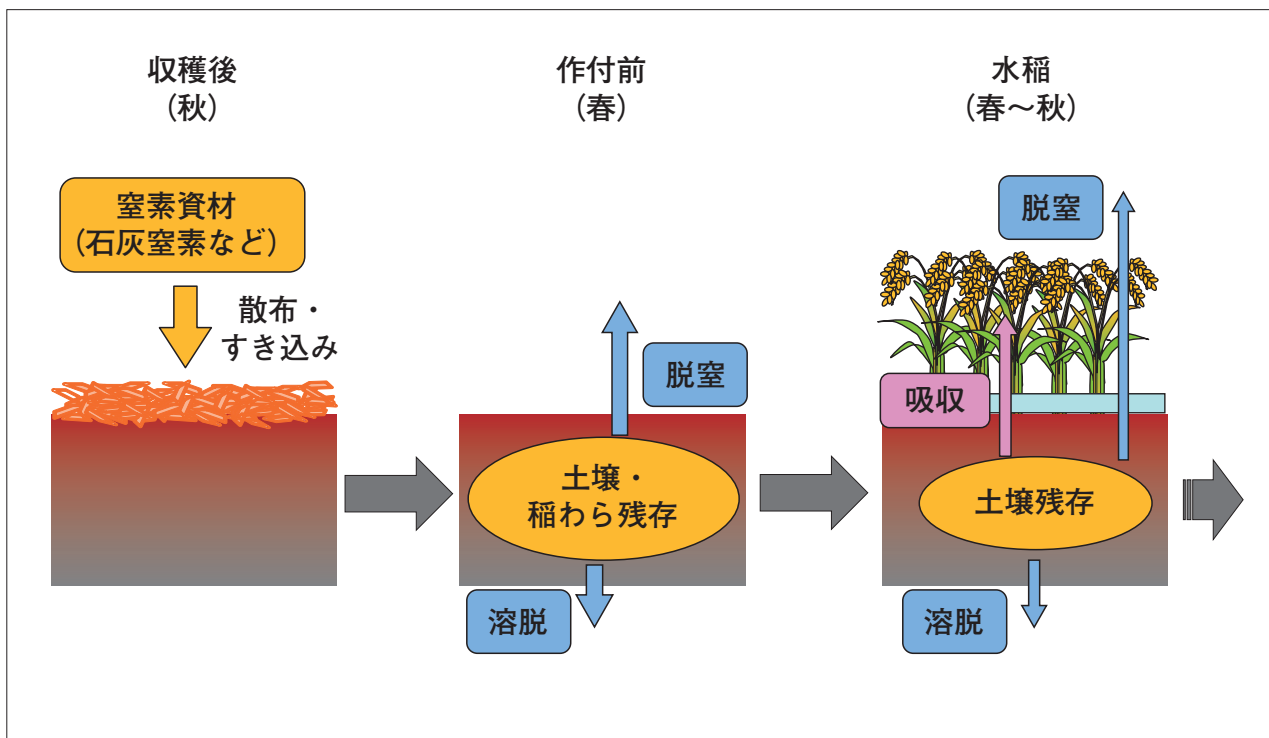


図1 稲わら腐熟資材由来窒素の動態

秋田県の低地土水田において、稲わら秋すき込み時に施用された石灰窒素由来窒素の動態を、一般的な化学肥料として用いられる硫酸アンモニウム(以下、硫安)を対照として定量的に評価した試験の結果を報告した。秋に施用された石灰窒素由来窒素は、翌年の水稻に6.6%が吸収され、さらに栽培後の土壤に51%が残存しており、その割合はともに硫安より高かった。これは、石灰窒素の主成分であるカルシウムシアンミドの分解過程で硝化抑制効果を持つジシアンジアミドが生成され(石灰窒素 Q & A)、アンモニア態窒素から硝酸態窒素への硝化が抑制されたことにより、石灰窒素由来窒素が硫安由来窒素に比べアンモニア態の形で長く土壤に留まり、多く有機化されたためであると推察された。

以上の結果から、稲わら腐熟促進資材として施用される石灰窒素は、硫安に比べ翌年の水稻生育の向上や地力の維持効果が大きいと期待されている。しかし、秋すき込みによる稲わら腐熟の進行は、土壤条件、気温や降水量といった気象条件によって異なる(千葉ら・1980年)。また、土壤中での窒素の形態変化も、土壤条件や気象条件によって異なるため、資材由来窒素の動態もこれらの条件の違いに影響を受けると考えられる。

そこで、今回の研究では、稲わら腐熟促進資材として添加した石灰窒素由来窒素の動態について、秋田と宮城という条件が異なる2圃場で試験を行い検討した。

学太白キャンパス(以下、宮城)内の水田連作圃場で行った。水稻1株分の無底塩化ビニル枠(縦17cm×幅30cm×高25cm)の底部に不織布を張り、稲わら(600kg/10a相当)および¹⁵N標識資材(硫安または石灰窒素)を混和した土壤を深さ15cmまで充填し、秋(2013年10月)に圃場に埋設した(写真1)。土壤はそれぞれ、秋田では秋田県農業試験場内の水田連作圃場から採取した作土を、宮城では宮城大学太白キャンパス内の水田連作圃場から採取した作土(ともに灰色低地土)を用いた。硫安および石灰窒素は、ともに粒状のものを使用し、施用量は20kg/10a(=4kg-N/10a、N:20%)とした。翌5月の代かき後に水稻(品種:「あきたこまち」/秋田、「ひとめぼれ」/宮城)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1)。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、全区基肥としてN、P₂O₅、K₂Oを秋田では各5kg/10a、宮城では各4kg/10a施用した。両圃場とも追肥は行わなかった。

また、水稻生育期間中に草丈、茎数、葉色を経時的に調査した。この調査は分けつ期(秋田:6月25日、宮城:6月23日)、最高分けつ期(秋田:7月6日、宮城:7月7日)、幼穂形成期(秋田:7月14日、宮城:7月14日)、穂揃期(秋田:8月12日、宮城:8月13日)に実施した。今回の試験では、水稻作付前(4月上旬)に枠内の土壤

石灰窒素由来窒素の動態解明試験

●試験設計

今回の試験では、西田(2010年)の手法に準じて、重窒素(¹⁵N)トレーサー法により気象条件が異なる圃場の稲わら腐熟資材由来窒素の動態を追跡した。資材(硫安および石灰窒素)と気象条件が異なる2圃場(秋田と宮城)を組み合わせ、試験区を設定した(図2)。

試験は2013年10月~2014年9月の1年間、秋田県大潟村に位置する秋田県立大学フィールド教育研究センター(以下、秋田)および宮城県仙台市に位置する宮城大

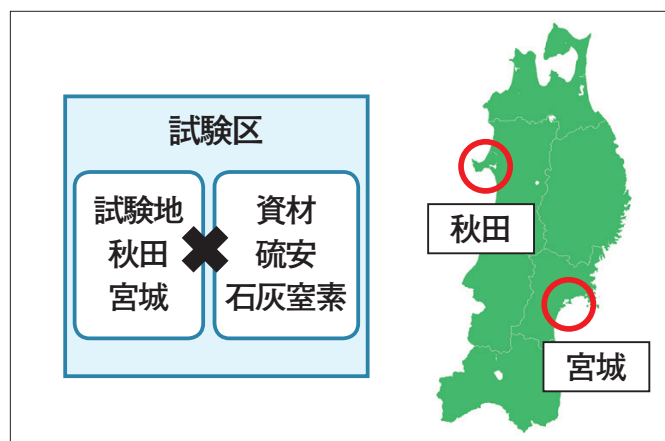


図2 試験設計

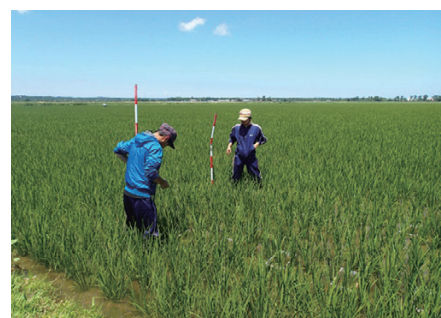


作付前(4月7日)

写真1 試験風景(秋田)



水稻移植(5月28日)



分けつ期調査(6月25日)

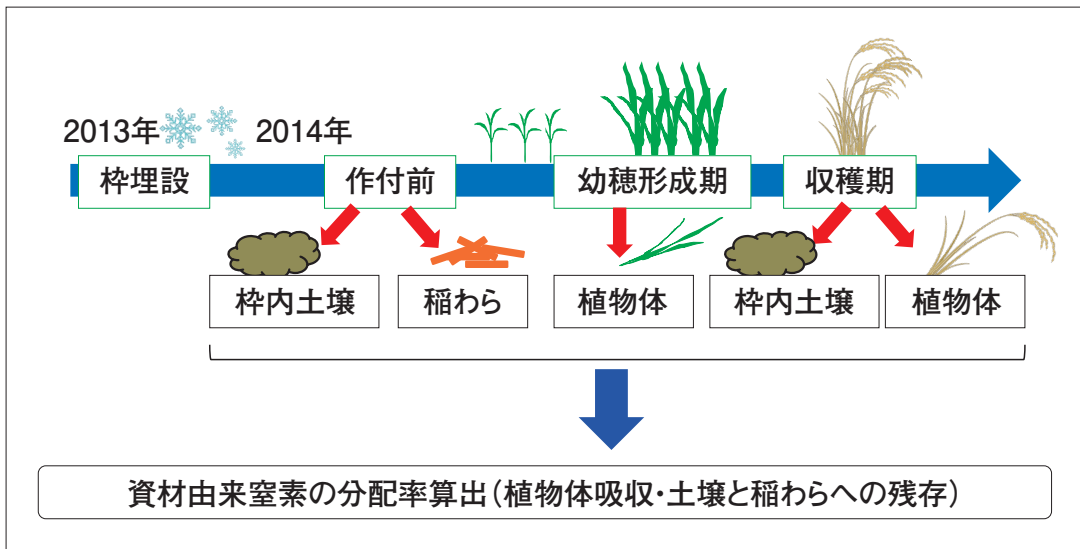


図3 試験の流れ

と稲わらを採取した。幼穂形成期(前出)には植物体(地上部)のみを採取した。収穫期(9月中旬)には植物体(地上部)と土壌を採取した。以上の試料について、乾燥・微粉碎などの調整後に¹⁵N分析を行い、資材由来窒素の分配(植物体吸収・土壌と稲わらへの残存)を定量的に明らかにした(図3)。

●圃場条件の違い

秋の資材施用・柁埋設日(秋田:10月17日、宮城:10月15日)から作付前の試料採取日(秋田:4月7日、宮城:4月5日)までの積算地温(深度5cmでモニタリング)と積算降水量を表1に示した。両圃場を比較すると、稲わらの分解が進むとされる10~11月の積算地温は、秋田(374℃)に比べ宮城(449℃)で高かった。また、10~11月の積算降水量は、宮城(169mm)に比べ秋田(302mm)が多かった。資材施用から作付前までの期間全体をみても、積算降水量は、宮城(548mm)に比べ秋田(789mm)が多かった。

両圃場における試験前の土壌の一般理化学性を表2に示した。秋田のpH(H₂O)は5.75であり、宮城(6.50)に比べ低かった。全炭素・全窒素はどちらも秋田が高く、可給態窒素(風乾土を30℃・4週間湛水培養)も宮城

表1 各圃場における作付前までの積算地温と積算降水量

圃場	積算地温(℃)		積算降水量(mm)	
	10~11月	12~4月	10~11月	12~4月
秋田	374	182	302	487
宮城	449	283	169	379

柁埋設日(秋田:10月17日、宮城:10月15日)から作付前の試料採取日(秋田:4月7日、宮城:4月5日)までの積算値

表2 供試土壌の化学性

圃場	pH(H ₂ O)	全炭素(%)	全窒素(%)	C/N比	CEC(cmolc/kg)	可給態窒素(mg-N/100g)	可給態リン酸(mg-P ₂ O ₅ /100g)
秋田	5.75	2.67	0.24	11.3	17.4	16.2	35.9
宮城	6.50	1.93	0.18	10.7	19.3	10.7	18.9

(10.7mg-N/100g)に比べ秋田(16.2mg-N/100g)で高かった。可給態リン酸(トルオーグ法)もまた、宮城(18.9mg-P₂O₅/100g)に比べ秋田(35.9mg-P₂O₅/100g)で高かった。両圃場とも、地力増進基本指針における水田の目標値(8

~20mg-N/100g、10mg-P₂O₅/100g以上)の範囲内であった。

●資材施用~作付前の資材由来窒素の動態

作付前の資材由来窒素の分配率を図4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、そこから稲わらへの取り込み率と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は、資材由来窒素がアンモニア態を経て硝酸態窒素となった後、降水の土壌中での浸透にともなう柁外(下方)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。稲わらへの取り込み率は、宮城(硫安5%、石灰窒素5%)に比べ秋田(硫安9%、石灰窒素12%)で高く、秋田では硫安に比べ石灰窒素が有意に高かった。土壌残存率は、石灰窒素が秋田:43%、宮城:67%で、硫安が秋田:32%、宮城:58%であり、有意ではなかったものの硫安より石灰窒素で高い傾向がみられた。稲わらへの取り込み率(5~12%)は、土壌残存率(32~67%)に比べて低く、資材由来窒素は、主に土壌中に有機態窒素として残存していると推察された。稲わらと土壌への残存率の合計(稲わら+土壌残存率)は、

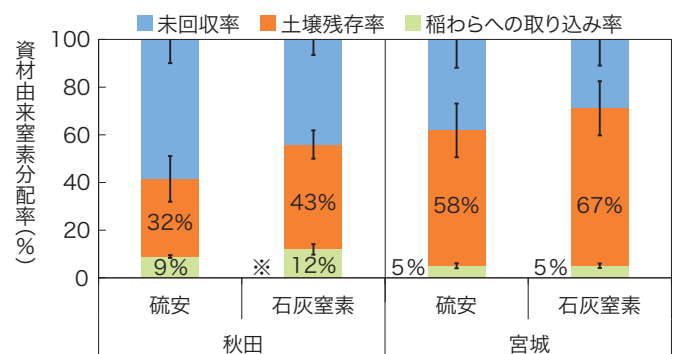


図4 作付前の資材由来窒素分配率

エラーバーは標準偏差を示す

※は各圃場の処理区間で有意差あり(t検定、5%水準)

表3 草丈、茎数および葉色の経時変化

圃場	資材	草丈(cm)				茎数(本/m ²)				葉色(SPAD)			
		分けつ期	最高分けつ期	幼穂形成期	穂揃期	分けつ期	最高分けつ期	幼穂形成期	穂揃期(穂数)	分けつ期	最高分けつ期	幼穂形成期	穂揃期
秋田	硫安	39.5	59.1	71.5	115.3	314	456	426	265	43.6	42.8	39.5	36.7
	石灰窒素	39.5	57.6	71.6	114.5	287	446	422	265	43.8	44.2	41.3	36.4
宮城	硫安	50.9	58.9	65.6	100.8	277	279	275	245	38.2	32.2	35.3	35.7
	石灰窒素	52.4	58.4	65.1	101.3	199	257	270	245	40.1	33.6	34.9	34.3

両圃場とも資材間に有意差はなかったが、石灰窒素(秋田55%、宮城72%)は硫安(秋田41%、宮城63%)より高い傾向があった。これは、石灰窒素の分解過程で生じるジシアングアミドによって硝化が抑制され、石灰窒素由来窒素は溶脱などによる損失が少なく、硫安に比べ稲わらと土壤に多く残存したためと考えられた。また、稲わら+土壤残存率は、秋田よりも宮城で高かった。宮城は、10月中旬の資材施用後の降水量が少なく、溶脱による資材由来窒素の損失が起りにくかったため、秋田に比べて資材由来窒素が稲わらと土壤に多く残存したと考えられた。

●水稲生育への影響および資材由来窒素の吸収

水稲の草丈、茎数および葉色(SPAD値)の経時変化を表3に示した。草丈は、秋田・宮城ともに生育期間を通じて資材間に顕著な差はなかった。秋田の茎数は、栽培期間を通じて両資材とも同様の推移を示し、最終的な穂数にも差がなかった。宮城の茎数は、分けつ期に石灰窒素(199本/m²)に比べ硫安(277本/m²)で有意に多かったが、最高分けつ期で両資材とも約270本/m²でほぼ同等の値となり、最終的な穂数にも差はなかった。秋田の葉色(SPAD値)は、最高分けつ期に硫安(42.8)に比べ石灰窒素(44.2)で高く、幼穂形成期も同様の傾向(硫安:39.5、石灰窒素:41.3)であったが、穂揃期にはほぼ同等の値になった。宮城の分けつ期の葉色は、硫安(38.2)に比べ石灰窒素(40.1)が高かったが、その後は資材間に顕著な差はみられず、穂揃期では硫安(35.7)に比べ石灰窒素(34.3)で低かった。

収穫期の水稲乾物重を図5に示した。秋田・宮城とも

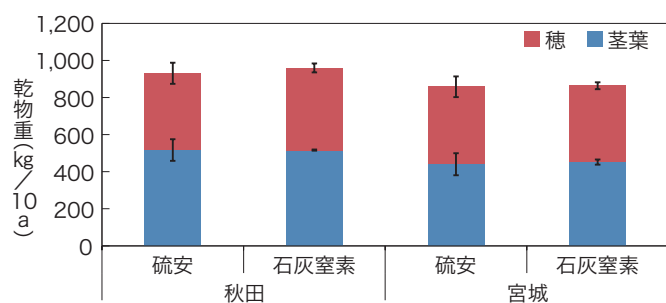


図5 収穫期の水稲乾物重

エラーバーは標準偏差を示す
部位別、全乾物重ともに各圃場の処理区間で有意差なし
(t検定、5%水準)

に、収穫期の地上部乾物重に資材間で有意な差はなかった。前報と同様に、今回の試験でも、稲わら秋すき込み時に添加する資材の違いが水稲生育(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。

時期別の水稲の資材由来窒素吸収量を図6に示した。収穫期までに水稲に吸収された資材由来窒素を資材別にみると、硫安(秋田:0.15kg-N/10a、宮城:0.22kg-N/10a)に比べて石灰窒素(秋田:0.21kg-N/10a、宮城:0.27kg-N/10a)で有意に多く、圃場間では秋田より宮城で有意に多かった。これは作付前における資材由来窒素の土壤と稲わらへの残存率の差(図4)を反映しているものと考えられた。また、これらの差は生育前半(幼穂形成期まで)の窒素吸収で顕著にみられるとともに、生育後半(幼穂形成期～収穫期)の窒素吸収は生育前半に比べ少ないことが明らかとなった。

以上のように、水稲の資材由来窒素吸収量は資材間で異なることがわかったが、生育調査の結果(表3)と収穫期における乾物重(図5)では明確な差はみられなかった。また、収穫期の窒素吸収量も同様に資材間に有意な差はみられず、植物体の資材由来窒素吸収量は全吸収量に対して3~6%とごくわずかであった(図7)。以上から、資材由来窒素吸収量の資材間での違いは、水稲の生育・窒素吸収に影響をあたえるほどではなかったと考えられた。

今回の試験における石灰窒素由来窒素の水稲への吸収量は0.21~0.27kg-N/10aの範囲であり、基肥を全層施肥した場合の窒素利用率を30%として計算すると、この吸収量は0.7~0.9kg-N/10aの基肥窒素に相当すると見積もられた。このことから、稲わら腐熟促進資材

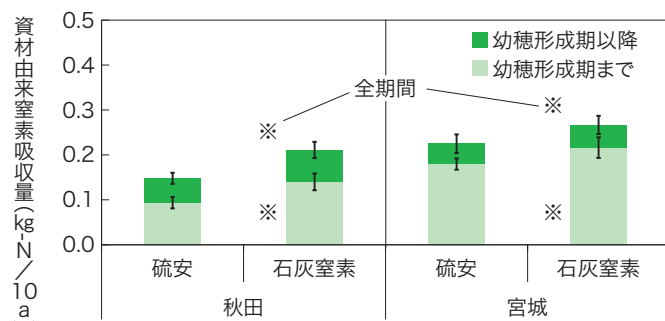


図6 時期別の水稲の資材由来窒素吸収量

エラーバーは標準偏差を示す
※は各圃場の処理区間で有意差あり(t検定、5%水準)

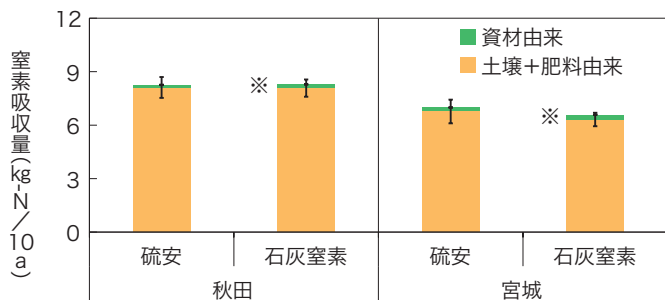


図7 収穫期の由来別植物体窒素吸収量

エラーバーは標準偏差を示す

※は各圃場の処理区間で有意差あり(t検定、5%水準)

総窒素吸収量は各圃場の処理区間で有意差なし(t検定、5%水準)

として石灰窒素を4kg/10a程度添加した場合、翌年の水稲作時に1kg-N/10a程度の減肥(石灰窒素Q&A)を行うのは妥当であると考えられた。

●作付期間中の石灰窒素由来窒素の動態

作付前と収穫期の資材由来窒素分配率を図8に示した。収穫期の資材由来窒素の植物体吸収率は、硫安(秋田3.4%、宮城5.3%)より石灰窒素(秋田4.9%、宮城6.2%)が多く、かつ秋田より宮城で高かった。土壌残存率も同様に、硫安(秋田32%、宮城36%)より石灰窒素(秋田43%、宮城58%)が多く、かつ秋田より宮城で高かった。これは、作付前における資材由来窒素の土壌と稲わらへの残存率の差を反映しているものと考えられた。また、作付前までに生じた未回収率(28~59%)に比べ、栽培期間中に新たに生じた未回収率の増加分は、宮城の硫安(22%)を除き6~7%と低く、圃場および資材間で同程度であった。このことから、資材由来窒素の損失は主に秋の添加から作付前までに生じ、作付前の時点では、資材や地域にかかわらず大部分が比較的安定な有機態窒素として土壌中に存在し、その一部が水稲栽培期間中に無機化され植物に吸収されていると考えられた。宮城の硫安については、作付前土壌に易分解性有機態窒素として多く残存していたため、栽培期間中の損失が大きくなった可能性が考えられた。

収穫期でも32~58%の資材由来窒素が土壌中に残存

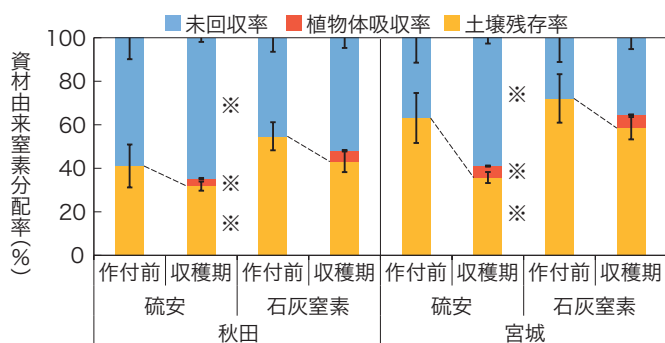


図8 作付前と収穫期の資材由来窒素分配率

エラーバーは標準偏差を示す

作付前の値は図4と同様で、稲わらへの残存を土壌残存に含めて示す

※は各圃場の処理区間で有意差あり(t検定、5%水準、収穫期のみ)

していたことから、翌年の水稲にも一定量の資材由来窒素が吸収されるものと考えられ、土壌に残存した資材由来窒素の存在形態や、次年度以降の水稲にどの程度利用できるかを今後明らかにしていく必要がある。また、稲わら腐熟促進資材の施用は、単年度では水稲生育に対する効果がみられなくても、連用することで地力窒素が蓄積され水稲生育に影響をおよぼす可能性があり、その効果は土壌残存率が高い石灰窒素で特に高いものと考えられる。

●まとめと今後の展望

前報と同様に、稲わら秋すき込み時に腐熟促進資材として添加される石灰窒素は、硫安に比べて水稲作付前までの損失が少なく、翌年の水稲への吸収率も高いことが、東北地方の太平洋側および日本海側という気象条件の異なる2圃場で定量的に示された。

資材の違いが水稲の生育におよぼす影響は顕著ではなかったものの、添加した資材由来窒素の3~6割が栽培後の土壌に残存していたことから、稲わら腐熟促進資材による窒素添加は、地力の維持効果が期待できると考えられた。その効果は、硫安に比べ“肥効調節型肥料”である石灰窒素で高く、さらに秋の添加後に降水量が少ない地域で高まると考えられた。

また、近年、水田での転作作物として飼料米の栽培が大幅に増加している。飼料用米栽培では、良食味が求められない一方で主食用米以上に低コストでの生産が重要であり、多収の品種・栽培管理の導入が進むとみられている。稲わらまで利用するホールクロープサイレージと異なり、コンバインで籾のみを収穫するタイプの飼料用米栽培の場合、多収を追求すれば必然的に収穫後の水田に残される稲わらが増加し、翌年の水稲栽培への影響も大きいものとなる。それゆえに、飼料用米栽培では、稲わらの処理(腐熟促進など)がこれまで以上に重要となり、これに対応した石灰窒素の施用法やその窒素動態に関する試験も今後必要となってくると考えられる。

●参考文献

石灰窒素Q & A (URL: <http://www.cacn.jp/technology/qa.html>)
 高階史章・小川賢人・平野聖也・金田吉弘・佐藤孝・毛利友明 2014. 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). 石灰窒素だより, 149, 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.