

地下水位制御による良食味米生産の試み

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 資源保全チーム ○石田 哲也
清水 真理子
桑原 淳

水稻が出穂期以降に吸収する窒素は米粒中に蓄積して、高タンパク米となることが知られている。そこで、地下水制御システムを利用して出穂期の土壌窒素を流亡させ、水稻の窒素吸収を抑制することで低タンパク米を生産する実地試験を行ってきた。5カ年の試験期間で低タンパク米の指標値に到達することはできなかったが、米粒のタンパク含有率を若干なりとも低下させる傾向にあることは確認できた。5カ年の結果を取纏めて報告する。

キーワード：地下灌漑、地下水位制御、低タンパク米

はじめに

水田地帯で実施されている国営農地再編整備事業では圃場の大区画化と地下水位制御システムの導入が積極的に進められている。地下水位制御システムは疎水材型暗渠に給水機能を附加した設備で、堆泥による暗渠管狭窄や排水機能低下をフラッシングで回復させることができ、暗渠の長寿命化に貢献する。また、排水側に設置されている水位調整型水閘を操作することで、地下灌漑の機能を発揮することができる。すなわち、地下からの給水で灌漑すること、地下水位を任意の深さに維持すること、地下水を随意に昇降させることが可能といえる。

泥炭地帯で栽培される米はタンパク含有率が高く、良食味米の評価を得られにくいことが積年の課題となっている。地下水位制御システムを利用して地下の水分環境を変化させ、タンパク含有率を低下させた良食味米の生産につなげることの地元要望が提起された。

そこで、国営農地再編整備事業の実施地区に設置された試験圃場において、地下水位制御システムを利用した地下水制御で、米のタンパク含有率を低下させることができるほどに土壌窒素を低下させることができるかという検証実験を2011年度に開始した。2015年度までに得られた5作の結果を取り纏めて報告する。

1. 試験方法

(1) 試験圃場の概要

試験圃場は空知総合振興局管内の石狩川流域に発達していた原野を造成した水田地帯に位置している。2009年度に大区画化を主要工種とする圃場整備が施工された隣接する二つの圃場で、集中管理孔型の地下水位制御システムが整備されており、試験区と対照区を設定した。試験圃場の模式図を図-1に示した。水稻の生育収量調査と分析用試料採取は土壌試料の採取地点の近傍で実施されている。

水稻の品種と栽培方法、営農管理は両圃場で同一であるが、試験区では地下水位制御システムを利用して低タンパク化を目的とした水管理(以下、低タ

ンパク化対策という)を行った。低タンパク化対策の詳細は後述するが、簡潔に述べると「水稻の出穂期の約20日間に、短時日で給水と排水を反復する水管理方法」である。

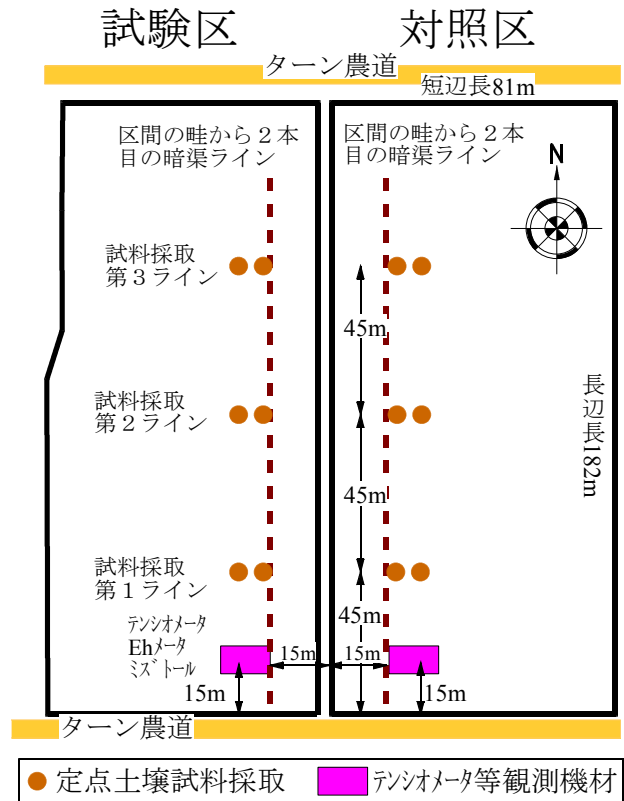


図-1 試験圃場の模式図

(2) 低タンパク化対策の内容

水稻の品種と栽培方式、低タンパク化対策の開始日と給排水のパターンを表-1に示した。

低タンパク化対策の開始日は毎年の生育調査で判断した水稻の出穂始めとしたため、一律ではない。

2011年からの4カ年は、給水も排水も地下から実施する方法で、給水日数と排水日数の組み合わせを変えて試験した。2015年は、過去4カ年の試験結果

を踏まえて、早期落水と地下給水・地表排水の方法で試験した。

表-1 水稻栽培と低タンパク化対策の履歴

	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
灌水直播	ほしまる	ななつぼし	乾田直播	乾田直播	移植
水稲品種	ほしまる	ななつぼし	ほしまる	大地の星	ななつぼし
給水方法	地下	地下	地下	地下	地下
排水方法	地下	地下	地下	地下	地表
	2給1排×5	2給2排×5	2給2排×5	1給2排×6	早期排水 1給2排×5
7月22日					土壌の硝酸化成を促進する目的で早期に灌水排除 給水栓＝閉 水閘＝-10cm 表面堰＝開
7月23日		灌水状態			
7月24日					
7月25日					
7月26日					
7月27日			灌水状態		
7月28日		給1		灌水状態	
7月29日	灌水状態	給1			
7月30日		排1			
7月31日		給1			
8月1日		給2			
8月2日		給2			
8月3日		排2			
8月4日		給2			
8月5日		給3	排1		
8月6日		給3	排1		
8月7日		給3	給1	排1	
8月8日		給3	給1	給1	
8月9日	給1	給4	給2	給2	
8月10日	給1	給4	排2	排2	
8月11日	排1	排4	給2	給2	
8月12日	給2	排4	給2	排3	
8月13日	給2	給5	排3	排3	
8月14日	排2	給5	排3	給3	
8月15日	給3	排5	給3	排4	
8月16日	給3	排5	給3	排4	
8月17日	排3	以後は落水	排4	給4	
8月18日	給4		排4	排5	
8月19日	給4		給4	排5	
8月20日	排4		給4	給5	
8月21日	給5		排5	排6	
8月22日	給5		排5	排6	
8月23日	排5		給5	給6	
8月24日	以後は落水		給5	以後は落水	
8月25日			以後は落水		

b) 水田土壌の窒素循環

植物が吸収利用する窒素は無機態である。土壌中の無機態窒素は、陽荷電で土粒子に保持されやすいアンモニウム態窒素と陰荷電で土粒子に保持されにくい硝酸態窒素の形態で存在している。図-3の水田土壌の窒素循環模式図²⁾に青矢印で示した洗脱や脱窒が土壌窒素が削減されていくフローである。

地下水位制御システムを利用した土壌窒素の削減とは、土粒子に保持されにくい硝酸態窒素を洗い流す(=洗脱)ことが有効と考えられる。加えて、アンモニウム態窒素の硝化を促進すれば、より効果的な窒素削減が可能と考えられる。

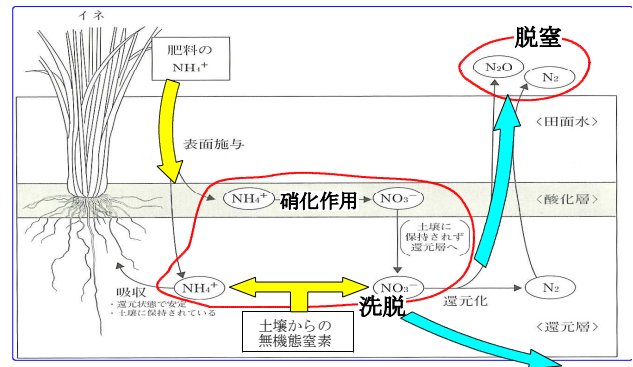


図-3 水田土壌の窒素循環模式図

以上の、「米粒中への窒素の蓄積」と「水田土壌の窒素循環」のメカニズムに基づいて、出穂期頃の土壌中の硝酸態窒素を地下水制御で洗い流して、米粒の低タンパク化を狙いとした手法が低タンパク化対策の骨子である。

a) 米粒中への窒素の蓄積

稲が出穂期頃に吸収する土壌由来窒素が米粒に蓄積しやすいことが明らかにされている(図-2)¹⁾。したがって、窒素肥沃度の高い土壌ほどタンパク率が高くなるため、泥炭土壌でタンパク率の課題が生じてきている。この土壌由来の無機態窒素の吸収を抑制すれば米のタンパク含有率の低下に結びつくと考えられる。しかし、無機態窒素は水稻の生育に必須な栄養成分であり、リン・カリと並んで多量に必要な要素でもある。むやみに窒素を低減させることは収量の低減や一穂粒数の減少による高タンパク化にも結びつくことになる。したがって、栄養成長期には十分な窒素を与え、生殖成長期以降には窒素を削減するという制御が必要となる。このような窒素制御に地下水位制御システムを活用できないだろうか？ということが低タンパク化対策の狙いである。

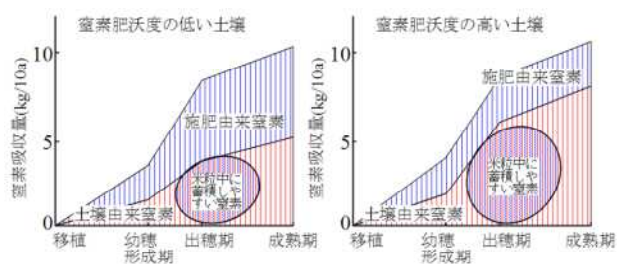


図-2 土壌窒素肥沃度に対応した水稻窒素吸収量の差異
Tetsuya Ishida, Mariko Shimizu, Jyun Kuwabara

2. 試験結果

(1) 米粒のタンパク率

図-4に5カ年の白米のタンパク率を示した。タンパク率は微粉碎した白米をCNコーダーで分析した窒素率に米のタンパク係数5.95を乗じた値である。

北海道の米づくり[2011年版]³⁾に掲載されている出荷基準では、品種による差異はあるが、おおむね、6.8%以下が低タンパク米、6.9~7.8%が一般米、7.9%以上が高タンパク米である。その指標値を赤線で図示した。また、参考値として、圃場の下層に泥炭が出現しない非泥炭圃場(まだ区画整理は施工されていない)で収穫された米の値も示した。

試験圃場で収穫された白米は、いずれの年においても一般米のレベル以下に達することはできなかった。しかし、2015年産を除き、試験区では対照区に比べ、約1ポイント低い値となっていた。このことは、地下水位制御システムを利用した低タンパク化対策の効果は、皆無ではないが、地下水位制御のみの対策では米粒のタンパク率低下に顕著に反映されるほどの十分な効果を発揮することはできないと言える。

また、非泥炭圃場で収穫された米であっても、タンパク率が高い年があり、土壌条件のみならず、気象条件や肥培管理などが複合してタンパク率に影響していることが示されている。

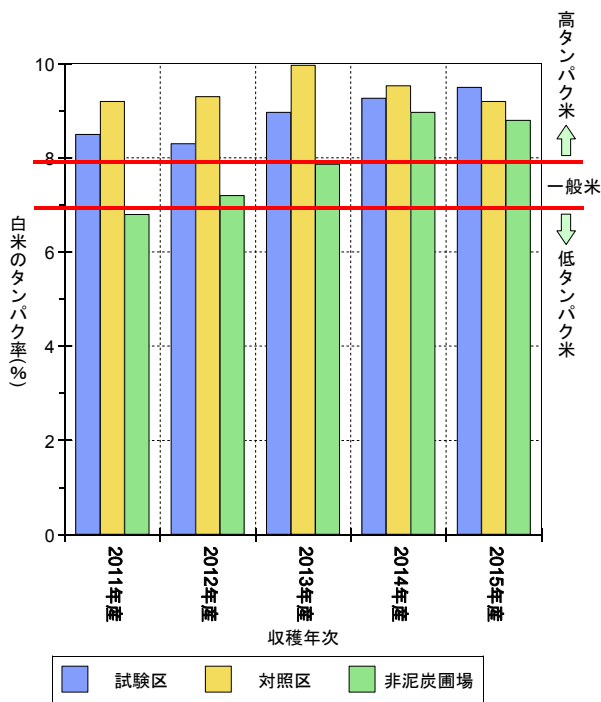


図-4 白米のタンパク率

(2). 土壌窒素の経時変化

2012年と2015年は、水稻品種(ななつぼし)も栽培方法(移植)も同一であるが、試験区と対照区のタンパク率が逆転してしまった。そこで、土壌無機態窒素(アンモニウム態窒素と硝酸態窒素の含量)の経時変化を、低タンパク化対策を実施した期間とともに、図-5(2012年)と図-6(2015年)に示した。表層とは地表から鋤床層上端まで、下層とは鋤床層に相当する。

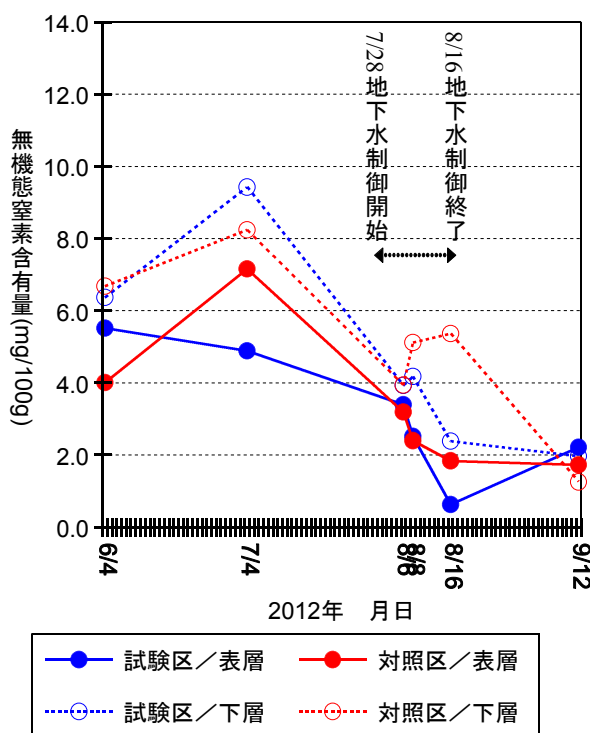


図-5 2012年の土壌無機態窒素の経時変化

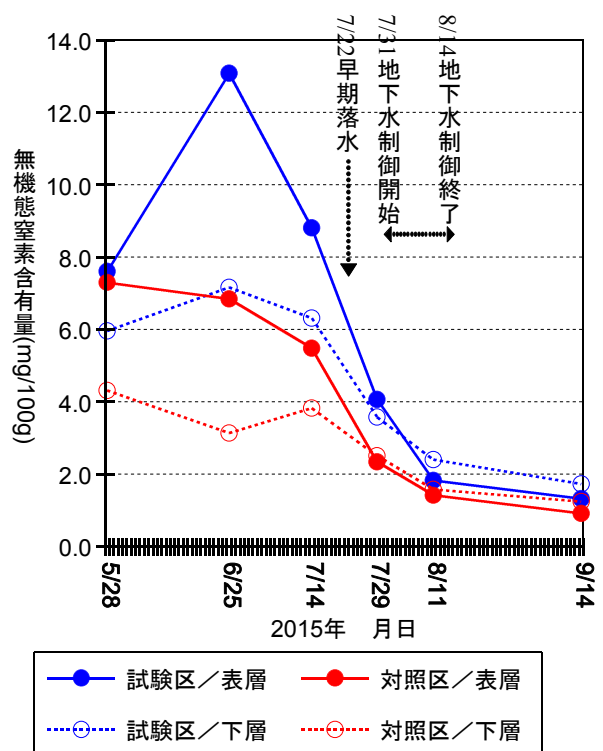


図-6 2015年の土壌無機態窒素の経時変化

土壌中の無機態窒素の指標となる値として「低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き」¹⁾がある。この手引きは、北海道を3地帯に分けた地帯区別別に、土壌型を組み合わせ、移植後(6月初旬)と幼穂形成期前(6月5半旬~7月1半旬)での追肥の要否をアンモニア態窒素の含有量で判定するための診断基準である。したがって、本手引きで「追肥不要」とされている値は、おおむね適正なアンモニア態窒素レベルにあると解釈することができる。

試験圃場(沖積土・半湿田)でのアンモニア態窒素含有量(mgNH₄-N/100g乾土)の適正範囲を、この基準に照合すると以下のようなものである。

移植後(6月初旬) : 4.1~5.0

幼穂形成期前(6月5半旬~7月1半旬) : 2.6~3.5

図-5、図-6で当該時期の値を見ると、どちらも適正範囲を超過したレベルにあったこと、特に2015年の試験区の表層では、6月中旬までに無機化が強く進行し、基準に照らすと過剰とも言える高い値に達していたことが認められる。しかし、低タンパク化対策の実施後には、対照区と同程度のレベルに低下している。このことは、低タンパク化対策により無機態窒素の低減率が高まったと言える。

白米のタンパク率が僅かとはいえ逆転してしまったことを勘案すると、低タンパク化対策で稲の窒素吸収を促進したためとも考えられ、地下水制御によって窒素が洗脱もしくは脱窒したためとは断言できない。しかし、2012年の結果では、地下水制御で対照区より試験区の窒素含有量が低下したことが認められ、低タンパク化対策による効果があったと考えられる。

土壌中の無機態窒素の減少は、図-3に示したように、稲による吸収+脱窒+流亡である。本調査結果

では、これらを明確に仕分けすることは難しい。また、土壌中の無機態窒素の由来を特定することもできない。したがって、対照区に比べて試験区での土壌窒素の減少量が大きいことは認められるが、その全てが低タンパク化対策の効果であるとは言えない。

少なくとも、地下水位制御による土壌窒素の低減は可能であることは言える。その効果を顕著に発揮させるための具体的な手法の開発は今後に残された課題である。

3. まとめ

北海道米麦改良協会発行の冊子「平成26年産に向けての米づくり」⁴⁾で、蛋白質含有率低下対策として以下の10項目が掲げられている。

- ①透排水性のよい土壌作り
- ②ほ場乾田化
- ③土壌診断に基づいた窒素施肥
- ④適期内早期移植
- ⑤栽植密度の確保
- ⑥初期生育の向上
- ⑦不稔障害を軽減する水管理・ケイ酸資材の施用
- ⑧登熟の向上
- ⑨稲わらの適正処理
- ⑩減収を招く病害虫からの被害回避

これらの対策は農家の営農管理の場面で実践すべき栽培技術としてあげられているもので、極言すれば「窒素施肥を適正に抑え、生育旺盛な稲を育てて着粒数を増やすことで一粒あたりの窒素分配を抑えて蛋白率低下を目指す」ということになる。

地下水位制御システムを利用した低タンパク化対策は、このような基本的な栽培技術と相反するものではなく、出穂期以降の土壌由来窒素を低減させるという補完技術としての位置づけを目指している。

5年間の低タンパク化対策の試行では、低タンパク米のレベルに到達することはできなかった。しかし、低タンパク化対策を実施することで、僅かではあっても米粒のタンパク率を低下させることはできていた。加えて、低タンパク対策の前後で、土壌中の無機態窒素の含有量は低減していることは確認できている。一方、地下水は迅速に昇降していても土壌が含んでいる水分は迅速には変化せず、硝化を抑制していることの懸念を報告⁵⁾している。したがって、「洗脱」のみならず「脱窒」もより効果的に発現する手法、地下水を昇降させる回数や時期、表面排水と地下排水の組み合わせ、上述した栽培技術と組み合わせた複合対策などを試行していく必要がある。

参考文献

- 1) 北海道農政部、道立農試：低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き 平成10年8月
- 2) 松中照夫：土壌学の基礎 生成・機能・肥沃度・環境 農文協 2003年12月
- 3) 北海道、道総研農業研究本部、ホクレン農業協同組合連合会、社団法人北海道米麦改良協会：北海道の米づくり[2011年版] 2011年
- 4) 一般社団法人 北海道米麦改良協会：平成26年産に向けての米づくり 平成26年2月
- 5) 新津由紀、石田哲也、清水真理子：地下水位制御システムを活用した泥炭水田における土壌養水分の動態 第58回(平成26年度)北海道開発技術研究発表会 2015年2月