

北海道の水稲湛水直播栽培における土壌中アンモニア態窒素と窒素吸収

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
巻/号	853
掲載ページ	p. 194-199
発行年月	2014年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



北海道の水稲湛水直播栽培における土壌中アンモニア態窒素と窒素吸収

岡田佳菜子¹・楠目俊三^{2,3}・五十嵐俊成²

キーワード 北海道, 湛水直播, 窒素吸収, 土壌中アンモニア

1. はじめに

水稲の生育に窒素の吸収は欠かせない。北海道の水稲湛水直播栽培において幼穂形成期までの窒素吸収量の基準は 40kg ha^{-1} である。この時期の吸収量は茎数と関係し、少ないと穂数不足につながる(上川農業試験場ほか, 2012)。また、水稲の移植栽培では止葉期以降に窒素の追肥を行うと、出穂期前後の窒素吸収量が増え精米タンパク質含有率は高まる(後藤ら, 2006)。したがって水稲湛水直播栽培において幼穂形成期までに適切な量の窒素を吸収することは、高収量・高品質米を生産する上で欠かせない。

北海道の水稲生産地帯である石狩川流域の空知と上川管内において、直播水稲の播種時期は融雪後の5月中旬である。この時期の平均気温は $10.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ と幼根の伸長限界温度である気温 $12.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ より低く、基肥を施用してから根による窒素の吸収が始まるまでに遅れを生じる。この間に土壌中の無機態窒素は水の縦浸透や微生物の活動による影響を受け溶脱や脱窒、揮散、有機化を生じ、施肥窒素の利用率は低下すると考えられる。さらに、水稲湛水直播栽培は苗立ち本数を高めるため播種後の1~3週間を落水状態とする(田中ら, 1996; 邊見・古土, 2005; 吉永ら, 2000)。しかし、どの程度落水を行うかは農家ごとに異なり、落水中の降雨や走水の有無、再入水時期の違いにより、施肥窒素の挙動の異なることが予想される(吉永ら, 2000; Nguyen *et al.*, 2012; Norman *et al.*, 2009)。さらに直播水田は畑作物と輪作をおこなうことが多く、復元田として直播栽培を行う場合と連作田として直播栽培を行う場合では地力窒素の発現量や発現パターンの異なることが予想される(廣川ら, 1992; 渡邊, 1992)。これらのことから直播水田は移植水田と比較して、窒素の吸収開始時期が遅れ、さらに施肥窒素や地力窒素の挙動が複雑なため、窒素不足や圃場ごとの窒素吸収量にばらつきを生じる可能性がある。しかし空知・上川管内の直播圃場において窒素吸収量

の実態調査を行った報告はない。

稲体に窒素不足を生じた場合、窒素の追肥はこれを補う有効な手段である。土壌中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は作物の窒素の吸収と強くかかわり、基肥窒素量や追肥の有無の診断基準として使用されている(北海道農政部編, 2010)。水稲の場合、土壌中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は最高分げつ期までの窒素吸収量に影響を及ぼす(Wada *et al.*, 1989)。水稲以外の作物においては土壌中交換性 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 量と窒素吸収量の関係から基肥や追肥の診断基準を設定している(佐藤ら, 2008; 林ら, 2009)。したがって水稲栽培においていつの時期の土壌中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量がどのように窒素吸収量と関わるかを知ることは、追肥のタイミングや施肥量を決定する上で重要である。さらに、水田土壌中の交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と窒素吸収量の関係は土壌の理化学性などにより異なることが報告されている(Wada *et al.*, 1989; 安藤ら, 1978)。しかし、北海道の水稲直播栽培において複数の土壌を使用して土壌中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量と窒素吸収量の関係を検討したものはない。

これらのことから本試験では、北海道の水稲地帯である空知と上川管内において直播水稲の窒素吸収量の実態を把握し、窒素吸収量がどのように玄米収量および精米タンパク質含有率と関わるかを明らかにする。さらに、複数の土壌タイプおよび異なる前歴作物の圃場を使用した直播水稲において、生育時期ごとの土壌中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量と幼穂形成期窒素吸収量の関係を明らかにする。

2. 材料と方法

1) 窒素吸収量の実態調査

2007年から2011年の5年間にわたり、北海道内の主要な水稲生産地帯である上川・空知管内の農家圃場(2市2町, 図1)において水稲湛水直播栽培を行い調査した。これらの地域において水稲栽培期間にあたる、5月から9月までの日平均積算気温は、2007年から2011年までの5ヵ年平均でいずれの地域も $2600\text{ }^{\circ}\text{C日}$ 以上となり、水稲移植栽培を行った場合、安定性の高い地域に分類される。圃場の理化学性の平均値±標準偏差は、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 5.7 ± 0.3 , 可給態窒素(湛水保温静置法: $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 7日間培養, 土壌: 蒸留水=1:1) $99\pm 62\text{ mg kg}^{-1}$, 陽イオン交換容量(CEC) $22.0\pm 4.9\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, 可給態リン酸(プレイ No.2) $286\pm 157\text{ mg kg}^{-1}$, 交換性塩基は K, Ca, Mg それぞれ 0.32 ± 0.13 , 6.97 ± 2.17 , $1.36\pm 0.37\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ である。

¹ 拓殖大学北海道短期大学 (074-8585 深川市メム 4558)

² 上川農業試験場 (078-0397 上川郡比布町南1線5号)

³ 現在, 日本植物調節剤研究協会北海道試験地 (069-1304 夕張郡長沼町東1線北15番地)

Corresponding Author: 岡田佳菜子

2013年8月27日受付・2013年12月26日受理

日本土壌肥科学雑誌 第85巻 第3号 p.194~199 (2014)

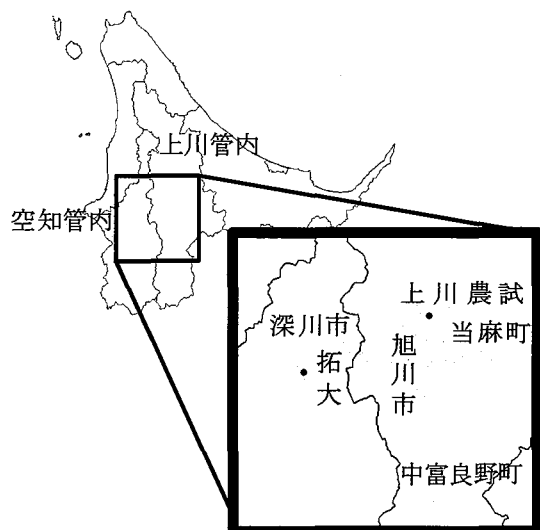


図1 空知・上川管内の調査地域

農家圃場の施肥は、播種5～13日前に施肥と耕起を行い、その1～6日後に入水した。施肥量は農家慣行とし、窒素、リン酸およびカリそれぞれの平均値は 97 kg ha^{-1} 、 $104 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ 、 $84 \text{ kg-K}_2\text{O ha}^{-1}$ である。これらの施肥量は地域の施肥標準（北海道農政部編, 2010）、 $60 \sim 85 \text{ kg-N ha}^{-1}$ 、 $80 \sim 100 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ 、 $80 \sim 90 \text{ kg-K}_2\text{O ha}^{-1}$ と同程度もしくはそれ以上である。窒素肥料は速効性もしくは肥効調節型肥料（LP40）を30%含むものを使用した。施肥法は全層施肥のみもしくは側条施肥との組み合わせである。播種は、水稻品種「ほしまる」を催芽し（乾籾換算 $100 \sim 120 \text{ kg ha}^{-1}$ 、カルパー無）、代掻き後の落水した水田に条間 0.2 m で機械播種した。播種後は11～25日間落水状態とし、出芽を確認後は湛水とした（落水出芽法；田中ら, 1996）。除草剤は作付け期間中に1～3回散布し、散布時期は出芽後の6月初旬、6月中旬そして下旬とした。

2007年から2011年にかけて空知管内の拓殖大学北海道短期大学（以下「拓大」、北緯 $43^\circ 43'$ 、東経 $142^\circ 1'$ 、褐色低地土、埴壤土、 $\text{pH} (\text{H}_2\text{O}) 5.2$ 、可給態窒素 112 mg kg^{-1} 、 $\text{CEC } 29.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ）の水田で水稻湛水直播栽培を行った（図1）。圃場面積は約 20 a であり、栽培方法は、「ほしまる」を乾籾換算 $100 \sim 110 \text{ kg ha}^{-1}$ （カルパー：乾籾=1:1）を、農家圃場と同様に機械播種した。施肥量は基肥として窒素、リン酸、カリそれぞれ $80, 70, 60 \text{ kg ha}^{-1}$ を全層施用し、一区当たりの面積は約 3 a とした。栽培期間中の除草は出芽後の6月初旬にトップガンフロアブルを 5 L ha^{-1} 散布し、6月中旬にクリンチャーバスME液剤 10 L ha^{-1} を1000倍に希釈して散布した。

2008年に上川農業試験場（以下「上川農試」、北緯 $43^\circ 51'$ 、東経 $142^\circ 28'$ 、褐色低地土、埴壤土、 $\text{pH} (\text{H}_2\text{O}) 6.2$ 、可給態窒素 97 mg kg^{-1} 、 $\text{CEC } 13.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ）の水田において、上記と同様の方法で湛水直播栽培を行った。圃場面積は約 17 a であり、播種は「ほしまる」を乾籾換算

118 kg ha^{-1} （カルパー無）を農家圃場と同様に機械播種し、施肥量は基肥として窒素、リン酸、カリそれぞれ $95, 95, 95 \text{ kg ha}^{-1}$ を全層施用した。

これら農家圃場そして拓大と上川農試の圃場の合計51圃場（2007年5、2008年13、2009年15、2010年11、2011年7圃場）において植物窒素吸収量と収量調査を行った。調査方法は出芽後に苗立ち本数を $150 \sim 170 \text{ 本 m}^{-2}$ にそろえた調査区 $0.5 \text{ m} \times 1$ 畦を設置し、幼穂形成期、出穂期、成熟期に植物を採取、 70°C で通風乾燥後、粉碎し、硫酸・過酸化水素分解を行い自動分析装置（AACS-II, BRAN+LUEBBE製）で窒素量を定量した（北海道立中央農業試験場, 1992）。収量調査は、成熟期に 2.0 m 播種条 $\times 2$ 畦を刈り取り、穂数を測定後に粒厚 1.95 mm 以上を精玄米収量として計量した。登熟歩合は収量調査を行った畦の隣接条 0.25 m を刈取り、測定した。精米タンパク質含有率は精玄米を90.5%に搗精し、近赤外分光分析装置（2007年と2008年はInfraAlyzer 360型、BRAN+LUEBBE製、2009年以降はDS2500, FOSS製）により求めた。窒素吸収量および収量の調査は1圃場あたり5ヶ所とした。

2) 窒素吸収量と土壤中交換性アンモニア態窒素量

前述の調査圃場のうち主要な土壌群および異なる栽培前歴からなる23圃場を選出し、土壤中交換性アンモニア態窒素量と幼穂形成期の植物窒素吸収量の関係を調べた。

土壌中の交換性アンモニア態窒素量は、直径 5 cm 、深さ 10 cm の塩ビ管を使用して、条間中央部から深さ $0 \sim 10 \text{ cm}$ の土壌を1圃場あたり5ヶ所採取し、10% KCl抽出後（生土：抽出液=1:5）、抽出液のアンモニア態窒素濃度を自動分析装置（AACS-II, BRAN+LUEBBE社）により測定し求めた。測定時期は、再入水直後（播種後約16日）、3葉期（播種後約32日）、5葉期（播種後約46日）、幼穂形成期（播種後約55日）である。

2008年は拓大圃場において地温を測定した。測定方法は、土壌深さ 5 cm に温度記録計（TR-71S, T&D corporation製）を設置し測定した。気温は気象庁より深川市の値を入手した。

3. 結果と考察

表1に調査圃場における土壌群ごとの可給態窒素および窒素施肥量、施肥法を示した。使用土壌の土壌群は上川・空知管内の主要水田土壌からなり、本試験では褐色低地土およびグライ低地土の割合が高い。土壌の窒素肥沃度を示す可給態窒素は平均値 101 mg kg^{-1} となり、北海道の水田土壌の平均値 114 mg kg^{-1} （農林水産省生産局, 2008）と比べやや低い。本試験に使用した土壌の窒素施肥量は、いずれも施肥標準より多く、特に褐色低地土と泥炭土は多肥傾向にある。次に施肥法をみると、側条施肥の利用割合は年次の影響を受け、年次別にみると2007年から2011年までそれぞれ80, 46, 33, 9, 0%となり、年次を経るごとに減少する。種子から圃場で生育する直播栽培では、初期生育が遅れ側条施肥の肥効と稲の吸収のタイミングが合わ

ず、側条施肥としての効果を得られないことから利用割合は低下したと考えられる。

表2は本試験で調査を行った圃場の幼穂形成期と成熟期の窒素吸収量の度数分布表である。試験を実施した2007年から2011年までの水稻生育期間中の気温は2009年を除き平年並みもしくは平年以上で推移した。2009年は5月を除き生育全般を通じて低温となり減収した。幼穂形成期の窒素吸収量は平均値 36 kg ha^{-1} 、変動係数は43%となり、「ほしまる」の直播栽培指針に示された基準値 40 kg ha^{-1} より少なく(上川農業試験場ほか, 2012)、基準値以下となる圃場は51圃場中32圃場と全体の63%を占めた。年次別にみると2007年から2011年まで吸収量はそれぞれ52.1, 34.2, 29.1, 39.7, 39.7 kg ha^{-1} となり、2009年は低温による影響を受け吸収量が少ない。土壌型別にみると褐色低地土34.6, 灰色低地土44.9, グライ土38.2, 泥炭土29.8, 灰色台地土 37.4 kg ha^{-1} と灰色低地土において基準値より高くなり、褐色低地土で低かった。成熟期の窒素吸収量は平均値 97 kg ha^{-1} となり北海道の基準値 100 kg ha^{-1} とほぼ同等である。基準値以下となる圃場は全体の55%をしめ28圃場である。年次ごとの吸収量は2007年から2011年までそれぞれ102, 99, 93, 92, 105 kg ha^{-1} となり、2009年と2010年を除き基準値以上である。土壌型別にみると、可給態窒素において 100 mg kg^{-1} 以下の多かった褐色低地土では、窒素吸収量 100 kg ha^{-1} 以下となる場合が多い。直播栽培の「ほしまる」は、成熟期の窒素吸収量 100 kg ha^{-1} を超えると倒伏が見られ、 120 kg ha^{-1} 以上で顕著に倒伏する(上川農業試験場ほか, 2012)。本試験の調査では

全体の16%にあたる8圃場において 120 kg ha^{-1} 以上となり、過剰に窒素を吸収していることが明らかとなった。

幼穂形成期の窒素吸収量は精玄米収量との間に有意な正の相関が認められた(表3)。これは幼穂形成期の窒素吸収量が穂数、一穂粒数および総粒数と結びつき、窒素不足の場合、粒数不足となり減収することを示している。出穂期および成熟期の窒素吸収量は、幼穂形成期と同様に玄米収量および総粒数と強い正の相関が認められ、さらに登熟歩合と負の相関、精米タンパク質含有率と正の相関が認められた。したがって、幼穂形成期を過ぎてからの窒素の吸収は玄米品質の低下や精米タンパク質含有率の増加につながる可能性があり、幼穂形成期までに基準値以上の窒素を吸収する栽培方法の確立が必要である。

直播栽培において幼穂形成期の窒素吸収量が土壌中交換性 NH_4^+-N 量とどのようにかわっているかを明らかにするため、上記の調査圃場から23圃場を選出し(表4)、幼穂形成期窒素吸収量と生育時期ごとの土壌中交換性 NH_4^+-N 量の相関係数を示した(表5)。幼穂形成期窒素吸収量は、出芽の揃う再入水直後の土壌中交換性 NH_4^+-N 量と相関は認められない。一方、分けつ始めにあたる3葉期の土壌中交換性 NH_4^+-N 量は幼穂形成期窒素吸収と1%水準で有意な正の相関が認められた。また、5葉期と幼穂形成期の土壌中交換性 NH_4^+-N 量とは5%水準で有意な正の相関が認められた。3葉期の土壌中交換性アンモニア態窒素量と幼穂形成期窒素吸収量の相関図から、幼穂形成期に必要なとされる植物窒素吸収量 40 kg ha^{-1} (上川農業試験場ほか, 2012) を得る場合、土壌中 NH_4^+-N 量

表1 調査圃場の土壌型別可給態窒素および窒素施肥量、施肥法

調査 点数	可給態窒素 (mg kg^{-1})					窒素施肥量 (kg ha^{-1})					施肥法	
	<50	50-100	100-150	150-200	>200	<60	60-80	80-100	100-120	>120	全層	全層+側条
褐色低地土	23	8	6	7	2	0	0	6	7	8	16	7
灰色低地土	4	1	1	0	1	0	1	2	1	0	4	0
グライ低地土	15	2	4	5	4	1	4	5	4	1	9	6
泥炭土	4	1	1	0	0	0	0	2	2	0	2	2
灰色台地土	5	0	3	1	1	0	1	4	0	0	3	2
合計	51	12	15	13	8	1	6	19	14	9	34	17

表2 調査圃場の土壌型別植物窒素吸収量

調査 点数	幼穂形成期 (kg ha^{-1})					成熟期 (kg ha^{-1})					
	<20	20-30	30-40	40-50	>50	<60	60-80	80-100	100-120	>120	
褐色低地土	23	4	3	9	5	2	1	9	5	6	2
灰色低地土	4	0	0	1	3	0	0	0	2	1	1
グライ低地土	15	1	3	5	4	2	0	2	5	6	2
泥炭土	4	2	0	1	0	1	0	2	0	1	1
灰色台地土	5	0	2	1	1	1	1	1	0	1	2
合計	51	7	8	17	13	6	2	14	12	15	8

表3 窒素吸収量と収量構成要素、精米タンパク質含有率の相関係数

窒素吸収量 測定時期	精玄米収量	総粒数	穂数	一穂粒数	登熟歩合	玄米千粒重	精米タンパク質 含有率
幼穂形成期	0.592 **	0.628 **	0.575 **	0.479 **	-0.163	-0.028	0.062
出穂期	0.693 **	0.848 **	0.711 **	0.707 **	-0.528 **	-0.180	0.453 **
成熟期	0.714 **	0.782 **	0.755 **	0.508 **	-0.330 *	-0.082	0.516 **

*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意である (n=51)。

表4 調査圃場の土壌条件および窒素施肥, 播種日

年次	場所	土壌の種類	前作物	窒素施肥量 (kg ha ⁻¹)	肥料銘柄	播種日
2008年	拓大	褐色低地土	イネ	80	塩安	5/12
	中富良野	灰色低地土	秋まきコムギ	70	BB472LP	5/13
	中富良野	褐色低地土	イネ	112	BB472LP	5/13
	中富良野	泥炭土(客土あり)	イネ	84	BB472LP	5/13
	旭川	灰色低地土	イネ	95	塩安	5/13
2010年	拓大	褐色低地土	イネ	80	塩安	5/12
	深川	褐色低地土	イネ	85	BB552LP	5/15
	深川	グライ低地土	イネ	90	BB552LP	5/17
	深川	褐色低地土	イネ	120	BB552LP	5/16
	深川	褐色低地土	イネ	110	BB552LP	5/15
	深川	褐色低地土	イネ	99	BB552LP	5/17
	旭川	褐色低地土	イネ	123	BB552LP	5/16
	旭川	褐色低地土	イネ	112	BB552LP	5/15
	深川	グライ土	イネ	80	BB552LP	5/17
	当麻	グライ土	イネ	101	BB472LP	5/13
	当麻	灰色低地土	イネ	110	BB472LP	5/13
2011年	拓大	褐色低地土	イネ	80	塩安	5/12
	上川農試	褐色低地土	イネ	95	塩安	5/12
	深川	グライ低地土	秋まきコムギ	107	S686	5/18
	深川	灰色台地土	イネ	90	BB552LP	5/17
	深川	褐色低地土	テンサイ	120	BB552LP	5/18
	当麻	灰色低地土	イネ	90	BB552LP	5/11
	深川	灰色台地土	イネ	80	BB552LP	5/18

表5 土壌中NH₄⁺-N量と幼穂形成期窒素吸収量の相関係数

土壌中NH ₄ ⁺ -N測定時期	サンプル数	相関係数
再入水直後(播種16日)	23	0.405
3葉期(播種32日)	23	0.757 **
5葉期(播種46日)	10	0.672 *
幼穂形成期(播種55日)	12	0.620 *

*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意である。
括弧内は播種後日数の平均値を示す。

は40 mg kg⁻¹以上必要である(図2)。

3葉期の土壌中NH₄⁺-Nと幼穂形成期窒素吸収量の間に密接な関係の生じる理由について以下のように考察を行った。幼穂形成期窒素吸収量の吸収源は、胚乳中の窒素と、3葉期の土壌中NH₄⁺-N、そして3葉期以降から

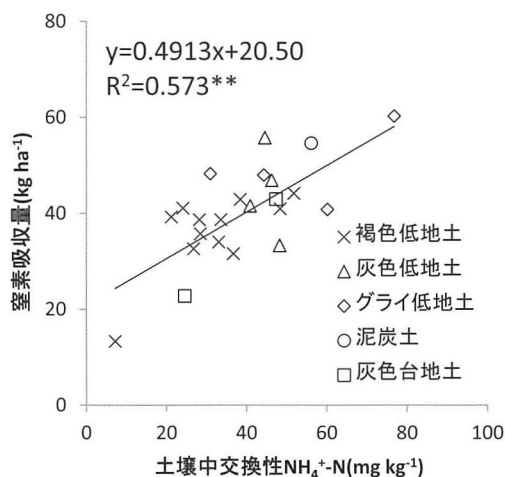


図2 3葉期土壌中交換性NH₄⁺-N量と幼穂形成期窒素吸収量の関係
n=23, **: 1%水準で有意。

幼穂形成期にかけて土壌から無機化するNH₄⁺-Nである。根からの窒素の吸収は3葉期から主に始まることと(上田・三井, 1967), 3葉期土壌中NH₄⁺-N量は施肥窒素を多く含むことから, 3葉期の土壌中NH₄⁺-Nは幼穂形成期窒素吸収量の吸収源として重要である。さらに, 図3は2008年の拓大圃場の播種後の地温の推移を示したものであるが, 地温は播種から3葉期にかけて上昇する。地力窒素の無機化は湛水後の地温上昇に伴い急速にすすむが(犬伏, 1985), 3葉期の土壌中NH₄⁺-N量は湛水後の初期の無機化した窒素を含み, 3葉期以降の窒素の無機化速度を反映すると推察される。

水稲の移植栽培では, 最高分けつ期までの土壌中交換性NH₄⁺-N量と窒素吸収量の関係は土壌ごとに異なり, こ

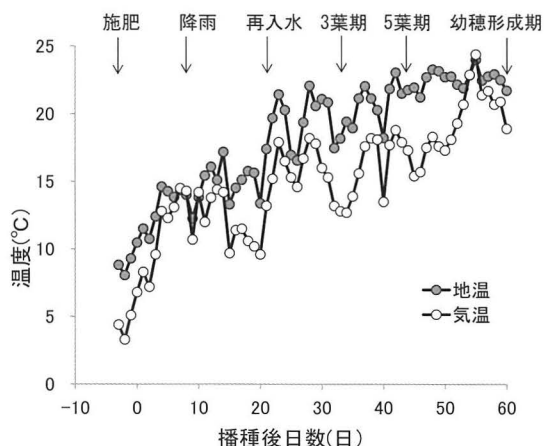


図3 2008年拓大直播水田における地温と気温
矢印は左から, 施肥, 降雨, 再入水, 3葉期, 5葉期, 幼穂形成期

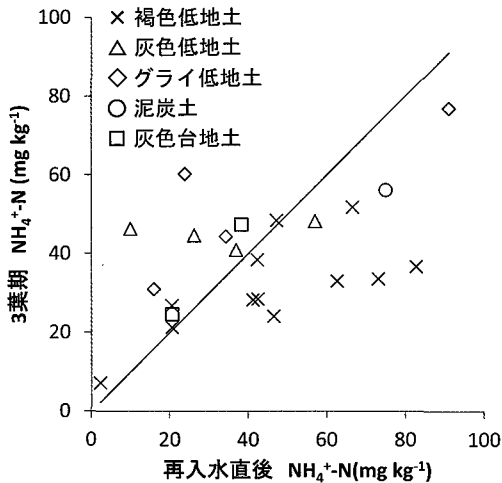


図4 再入水直後(播種約16日)と3葉期(播種約32日)の土壤中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量
 図中の直線は $y=x$.

の原因は苗の植えつけ深さや水深に起因する分けつ発生速度の違いによるものである(安藤ら, 1978). 本試験では複数の土壌を含め土壤中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量と窒素吸収量に直線回帰式が成立した. 直播栽培の主茎数(苗立ち本数)は $150\sim 170$ 本 m^{-2} と移植栽培の 83 本 m^{-2} と比べ密植である. そのため, 幼穂形成期の全茎数に占める分けつ茎の割合は低い. したがって, 直播栽培の幼穂形成期までの乾物重の増加は, 植えつけ深さや水深等の分けつ発生に関わる環境要因(佐々木ら, 2002)の影響を受けにくく, 複数の土壌間において, 幼穂形成期の窒素吸収量と交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量に密接な関係が認められたと考えられる.

再入水直後の土壤中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量が幼穂形成期窒素吸収量と相関の認められない理由を考察するため, 再入水直後と3葉期の土壤中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量の関係を示した(図4). 図中の直線は $y=x$ の関係を示し, プロットがこの直線より上にある場合は, 再入水から3葉期にかけて $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は増加することを示し, 下にある場合は減少することを示す. 両者に有意な関係は認められず, 再入水直後から3葉期にかけて土壤中交換性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量の増加する土壌(灰色低地土とグライ低地土)と, 減少する土壌(褐色低地土)が認められた. 2008年の深川市の拓大圃場において, 播種から再入水直後までと再入水直後から3葉期までの平均地温を比較すると, それぞれ 14°C と 20°C となり再入水後に地温は上昇している(図3). 再入水後の地温の上昇原因として, 気温の上昇と湛水に伴う潜熱・保温効果が考えられる. 再入水前は気温と地温の差が小さいのに対して, 再入水後は地温が気温より高い. 排水性の良い褐色低地土は再入水後の入水頻度が高く地温の上昇幅が小さく, 一方, 灰色低地土とグライ低地土のように排水性の悪い土壌は入水頻度が低く地温を高く保つことのできた可能性がある. これらの地温の違いが地力窒素の無機化速度に影響を及ぼし, 再入水直後と3葉期の土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量の値が異なると考えられる.

本試験では3葉期の土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量と幼穂形成期の窒素吸収量に密接な関係が得られ, 水稻直播栽培における幼穂形成期の窒素吸収不足は, 土壌中の無機態窒素量によるものであることを明らかにした. 調査に使用した圃場の窒素施肥量は施肥標準もしくはそれ以上である. しかし, 施肥を行ってから根による吸収の始まる3葉期までに, 土壌中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量が減少し, 施肥窒素利用効率は低下すると考えられる. 今後は追肥や肥効調節型肥料の利用により施肥効率を高める技術の検討を行う必要がある.

謝辞: 本稿の作成にあたってご校閲いただきました, 山形大学農学部安藤豊教授に感謝の意を表します.

文 献

- 安藤 豊・庄子貞雄・千葉隆久 1978. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について第9報 土壌型の異なる圃場での積算有効温度示数と基肥窒素の行動, 水稻による窒素吸収の関係. 日作紀, **47**, 388-394.
- 林 哲央・日笠裕治・坂本宣崇 2009. 北海道のハウス栽培における層別別の土壌養分, とくに硝酸態窒素の実態と下層土診断法の有効性. 土肥誌, **80**, 14-22.
- 邊見由紀子・古土井悠 2005. 水稻湛水散播直播栽培における水管理技術. 広島県立農業技術センター研究報告, **78**, 9-16.
- 廣川智子・伊藤純雄・北川靖夫 1992. 礫質灰色低地土長期田畑輪換復元田におけるコシヒカリの施肥窒素および土壌窒素の吸収. 土肥誌, **63**, 550-558.
- 北海道農政部編 2010. 北海道施肥ガイド2010, p.39-42.
- 北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課 1992. 土壌および作物栄養の診断基準, p.106-111.
- 上川農業試験場・中央農業試験場 2012. 「ほしまる」の水稻湛水直播栽培指針. 平成23年度北海道農業試験会議資料, p.28.
- 後藤英次・野村美智子・稲津 脩 2006. 寒地水稻に対する時期別追肥窒素の利用効率と各器官への分配. 日作紀, **75**, 443-450.
- Nguyen, M. D., Kristian K. B., Jan, S., Ngo, N. H., Chu, V. H., Pham, S. T., and Tage, D. 2012. Effects of alternating wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer nitrogen fate in rice field in the Mekong Delta, Vietnam. *Soil Biol. Biochem.*, **47**, 166-174.
- 農林水産省生産局 2008. 土壌保全調査事業成績書, p.471
- Norman, R. J., Wilson, C. E., Jr., Slaton, N. A., Griggs, B. R., Bushong, J. T., and Gbur, E. E. 2009. Nitrogen fertilizer sources and timing before flooding dry-seeded, delayed-flood rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **73**, 2184-2190.
- 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸 2002. 大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響. 日作紀, **71**, 308-316.
- 佐藤康司・中津智史・三木直倫・中村隆一・笛木伸彦・志賀弘行 2008. 秋まきコムギの起生期における土壌硝酸態窒素診断による窒素追肥量の設定. 土肥誌, **79**, 45-51.
- 犬伏和之 1984. 水田土壌中の易分解性有機態窒素. 土と微生物, **26**, 31-39.
- 田中英彦・古原 洋・今野一男 1996. 北海道の水稻湛水直播栽培における「落水出芽法」の適応性について: 2) 土壌還元の前進行および播種深度が苗立ち率に及ぼす影響. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報, **12**, 38-39.
- 上田 実・三井進午 1967. 植物栄養の化学的制御に関する研究(第3報): 水稻幼植物の養分吸収に及ぼすキノンの影響. 土肥誌, **60**, 106-115.

Wada, G., Aragonés D. V., and Aragonés R. C. 1989. Nitrogen absorption pattern of rice plant in the tropics. *J. Journal of Crop sci.*, **58**, 225–231.

渡邊公吉 1992. 北海道道央地域における復元田の土壌特性と施肥法. *土肥誌*, **63**, 550–558.

吉永悟志・西田瑞彦・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2000. 湛水直播栽培における播種後の落水管理が施肥窒素の動態および水稲の生育・収量に及ぼす影響. *日作紀*, **69**, 481–486.

Nitrogen uptake and ammonium-N content of flooded soil in direct-seeded rice cultivation in Hokkaido

Kanako OKADA¹, Toshimi KUSUME^{2,3} and Toshinari IGARASHI²

¹ *Takusoku University Hokkaido Junior College,*

² *Kamikawa Agric. Exp. Stn.,* ³ *Present address: Jpn. Association of Phyto-regulators*

In central Hokkaido, it is common practice in the cultivation of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) to drain the soil after seeding for 1 to 3 weeks and then reflood the soil after emergence to improve seedling establishment. The objectives of the present study were to investigate the influence of nitrogen (N) uptake at early spikelet differentiation (ESD) on grain yield and quality and to clarify the relationship between exchangeable soil ammonium and N uptake at ESD under flooded soil conditions in direct-seeded rice cultivation. In 2007–2011, 51 direct-seeded rice plants were collected from various fields in central Hokkaido. In 63% of samples, N uptake at ESD was below the recommended optimal uptake level of 40 kg ha⁻¹. These plants yielded fewer kernels per area and lower overall grain yields. Nitrogen uptake at both heading and maturity was positively correlated with protein content of milled rice and negatively correlated with percentage of ripened grains. These results indicate that increased N uptake during the initial growth stages is important to stabilize not only rice yield, but also rice quality. We monitored soil ammonium content at a depth of 0–0.1 m approximately every 2 weeks following reflooding through ESD. Soil samples were collected from 23 commercial or experimental fields and were extracted using 10% KCl solution. Nitrogen uptake at ESD was positively correlated with exchangeable soil ammonium at the three-leaf stage, irrespective of soil type and cropping history of the field. It was also positively correlated with soil ammonium at both the five-leaf stage and ESD, but these correlations were not as strong as that at the three-leaf stage. Our findings demonstrate that 40 mg kg⁻¹ of soil ammonium in the plow layer at the three-leaf stage is sufficient to result in 40 kg ha⁻¹ of N uptake at ESD.

Key words: Hokkaido, direct-seeded rice, exchangeable soil ammonium, nitrogen uptake

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **85**, 194–199, 2014)