

北海道で多収を示す秋播性ライコムギにおける起生期の窒素追肥反応 —コムギ, ライムギとの比較—

義平大樹¹⁾・唐澤敏彦²⁾・中司啓二²⁾

(¹⁾ 酪農学園大学酪農学部, ²⁾ 北海道農業研究センター)

要旨 : 1980年代以降にポーランドで育成された秋播性ライコムギは, 北海道中央部において適応し, 多収を示す。その多収要因を明らかにするため, 起生期における窒素追肥量が子実収量に及ぼす影響を調査し, 窒素施肥効率 (起生期の窒素追肥量 (FN) 当りの子実収量 (G) の増加量, $\Delta G/\Delta FN$) を4ヶ年にわたり, コムギおよびライムギの間で比較検討した。ライコムギの子実収量はすべての窒素追肥処理区においてコムギとライムギに比べて高く, その作物間差異は窒素追肥量にともなって拡大し, $\Delta G/\Delta FN$ はすべての年次においてライコムギがコムギとライムギに比べて高かった。ライコムギの高い $\Delta G/\Delta FN$ は登熟期間における高い平均葉面積指数 (MLAI) に由来した。登熟期間のMLAIのコムギとの差は乳熟期までの吸収窒素 (N) 当りの葉身重 ($\Delta LW/\Delta N$) の大きさに起因した。これに対して同期間のMLAIのライムギとの差は葉身窒素含有量 (LN) の差に起因し, それは乳熟期までの吸収窒素当りの葉身窒素濃度 (LNC) の上昇量 ($\Delta LNC/\Delta N$) の大きさによってもたらされた。すなわち, ライコムギの多収性はライムギの具備する吸収窒素の葉面積拡大効率の高さと, コムギの具備する登熟期の葉身への窒素分配量の多さをあわせもつことによりもたらされていると推察した。

キーワード : 起生期の窒素追肥, コムギ, 作物間差異, 子実収量, 窒素施肥効率, 葉面積, ライコムギ, ライムギ。

著者らは, 穂数がコムギなみに確保される秋播性ライコムギ品種は, 北海道において秋播性コムギよりも多収であることを示し (中司ら 2002), ポーランドで1980年代後半以降に育成されたものに収量性の優れる品種が多いことを報告した (義平ら 2000)。また, これらの秋播性ライコムギ品種の多収性は, 成長解析によると, 栄養成長期間の葉面積指数 (LAI) と純同化率 (NAR) がコムギ品種に比べて高いことと, 登熟期間の穂重増加速度と LAI がライムギ品種に比べて大きいことにより実現していた (義平ら 2005)。

コムギにおいては, 多収品種が栄養成長期間の LAI が高い (Apricio ら 2002) ことが指摘されており, その品種間差異が窒素吸収量の差に基づくこと (Frederick and Camberato 1995, Guohua ら 2002) が明らかになっている。また, 多収品種は受光態勢が良好で NAR が高い傾向にあるとする報告 (水落 1990) があり, NAR を左右する光合成速度は葉身窒素濃度に影響されること (Migus and Hunt 1980, Frederick and Cambrato 1994) も知られている。ライコムギにおいても Fossati ら (1993) によると, 多収の系統は吸収窒素の増収効率が高いとしている。これらの報告から考えると, 近年育成されたライコムギ品種の栄養成長期間における高い LAI や NAR は, 同期間の窒素吸収量, もしくは吸収窒素当りの葉面積拡大速度や光合成速度がコムギと比較して高いことによりもたらされると予想される。

また, 北海道における秋播性コムギの標準的な窒素施肥時期は, 播種前と起生期の2回であり, 多収や子実タンパク質含有率の向上をねらう場合のみ止葉期から出穂期まで

の期間にも窒素追肥が行われる。この3回の窒素施肥時期のうち, 黄熟期の地上部乾物重や子実収量に最も影響を与えるのは起生期窒素追肥であることが指摘されている (渡辺 1999)。ライコムギの子実収量がコムギを上回るのは, ライコムギの高い栄養成長期間の乾物生産能力によることから (義平ら 2005), ライコムギの多収性にも起生期における窒素施肥反応が深く関与しており, ライコムギとコムギの間に起生期の追肥窒素当りの子実収量増加量 (以下, 窒素施肥効率) の差異がみられることが予想される。

また, コムギにおいては, 登熟期間の LAI が子実収量を左右し, 適量の窒素施肥は, 葉身への窒素分配量を高めて止葉の老化を遅らせ, 登熟期間の LAI の上昇に結びつき増収をもたらしすことも知られている (下野 1986, 水落 1990)。ライムギと比較した場合のライコムギの多収性も登熟期間における LAI が大きいこと (義平ら 2005) や, 窒素収穫指数が高く, 稈への窒素分配が少ないこと (義平ら 1997) が関係していることから, 登熟期間におけるライコムギの高い LAI は, 同期間の窒素吸収量, もしくは葉身への窒素分配量がライムギに比べても高いことに由来すると推定され, ライコムギとライムギの間にも窒素施肥効率に差異がみられると予想される。

そこで, 4年間にわたり, 起生期における窒素追肥が子実収量に及ぼす影響を調査し, 窒素施肥効率とその関連因子について, ライコムギ, コムギおよびライムギの3作物間で比較検討し, 北海道で多収を示す秋播性ライコムギの多収要因を明らかにしようとした。

材料と方法

1. 栽培方法, 供試品種および試験年次の気象概要

試験は、北海道農業試験場（現、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構北海道農業研究センター、札幌市羊ヶ丘）の試験圃場で1996年秋から2000年夏の4ヶ年にわたって実施した。試験圃場は多湿黒ボク土で、前作は各年共通してエンバクである。供試品種として4ヶ年ともに、ライコムギはPrestoを、コムギはホクシンを、ライムギはWarkoを用いた。Presto, Warkoはそれぞれ、道央地帯で多収を示すことが分かっている秋播性ライコムギ、ライムギ品種（義平ら2000）、ホクシンは北海道において最も栽培面積の多い秋播性コムギ品種である。播種日は、1996年が9月23日、1997年が9月13日、1998年が9月7日、1999年が9月3日である。以下、収穫年次を試験年次とする。栽植様式は4ヶ年共通して畦間20cm、畦の長さ4m、畦数20の条播で、播種量は 250 粒 m^{-2} とし、シードテープにより播種した。

施肥量は北海道施肥標準に従い、4ヶ年とも基肥として硫安 20 gm^{-2} ($\text{N-}4\text{gm}^{-2}$)、過リン酸石灰 80 gm^{-2} ($\text{P}_2\text{O}_5\text{-}16 \text{ gm}^{-2}$)、硫酸カリ 28 gm^{-2} ($\text{K}_2\text{O-}14 \text{ gm}^{-2}$)を播種前に全層施用した。また、約50%の個体の葉が起立し始めた時期を起生期（4月上中旬）とし、起生期から1週間以内の時期に窒素追肥として硫安を表層施用した。追肥処理は4水準で、窒素0, 3, 6, 12gNm^{-2} を追肥する区（以下、N0, N3, N6, N12）を設置した（第1表）。試験区配置は、4ヶ年とも窒素追肥処理を主区、作物（品種）を副区とする1区 16 m^2 の分割区法3反復である。

全試験年次において根雪前に雪腐病防除としてイミノクタジン酢酸塩メプロニル混合剤を散布した結果、子実収量に影響するような冬損は発生しなかった。また、減収要因となる程度の倒伏も4ヶ年間を通じてみられなかった。

なお、試験年の気象は、1997年は栄養成長期間のやや低温と登熟期間の多照と少雨、1998年が栄養成長期間の高温と多照、1999年が登熟期間の高温と多雨、2000年が栄養成長期間の寡照と生育期間全般の多雨として特徴づけられた。

2. 調査項目

幼穂形成期、止葉期、開花始期、乳熟中期および黄熟期をそれぞれ、約50%の個体の最長節間が2cm以上に達した時期、止葉が完全に展開した時期、穂より葯が抽出し始めた時期、穂の中央部の子実を爪でつぶし乳状の液が多くでる時期、および節以外の植物体が完全に黄化した時期として判定し、各生育期の3日以内に、生育中庸な畦 0.1 m^2 （畦長50cm）を地際より刈り取り、部位別乾物重と葉面積を調査した。葉鞘を含む穂、葉身、穂、枯死部に分け、 80°C で48時間通風乾燥させて重量を測り、それぞれにつきセミマイクロケルダール法により窒素を分析した。葉面積

は葉身の緑色部を自動葉面積計（LI-3000A, LI-COR社製）で測定した。葉面積指数と全乾物重（地下部を除く）から、各生育期間の平均葉面積指数（MLAI）および純同化率（NAR）を計算した。

また、黄熟期に各区につき生育中庸な 1 m^2 を刈り取り、2週間自然乾燥させた後、子実収量および地上部乾物重を計測した。子実収量は水分13%に補正した値を用いた。収穫指数は地上部乾物重に占める子実乾物重の割合、窒素収穫指数は地上部窒素量に占める子実窒素量の割合とした。

3. 窒素施肥効率とその関連因子および統計処理

収量関連形質を作物間で比較する場合には、年次を反復として、主区を窒素追肥量、副区を作物とした分割区法による分散分析をおこなった。また、窒素施肥反応の作物間差異を明らかにするため、窒素吸収量と収量関連形質の間の相関係数を求め、回帰式を算出した。起生期の窒素追肥量（FN）に対する子実収量（G）の回帰式の傾き、およびFNに対する乳熟期までの窒素吸収量（N）の回帰式の傾きをそれぞれ、 $\Delta G/\Delta FN$ （窒素施肥効率）、 $\Delta N/\Delta FN$ （施肥窒素の利用効率）とし、前者を後者で除した $\Delta G/\Delta N$ （吸収窒素の増収効率）の作物間差異を検討した。次に、登熟期間のMLAIに対する子実収量、および乳熟中期における葉身の窒素含有量（LN）に対する登熟期間のMLAIの回帰式の傾きをそれぞれ、 $\Delta G/\Delta \text{MLAI}$ 、 $\Delta \text{MLAI}/\Delta \text{LN}$ とし、子実収量と葉身窒素分配量の関係を検討した。さらに、LNは葉身乾物重（LW）と葉身窒素濃度（LNC）の積であるから、乳熟期までの窒素吸収量に対する葉身重および葉身窒素濃度の回帰式の傾きをそれぞれ、 $\Delta \text{LW}/\Delta \text{N}$ 、 $\Delta \text{LNC}/\Delta \text{N}$ とし、葉身への窒素分配量に作物間差異が生じる要因の解析に用いた。これらの窒素施肥効率の関連因子に関する作物間差異は、回帰式の傾きの分子を独立変数、分母を従属変数として統計ソフトSuperANOVAを用い、共分散分析し検定した。

結 果

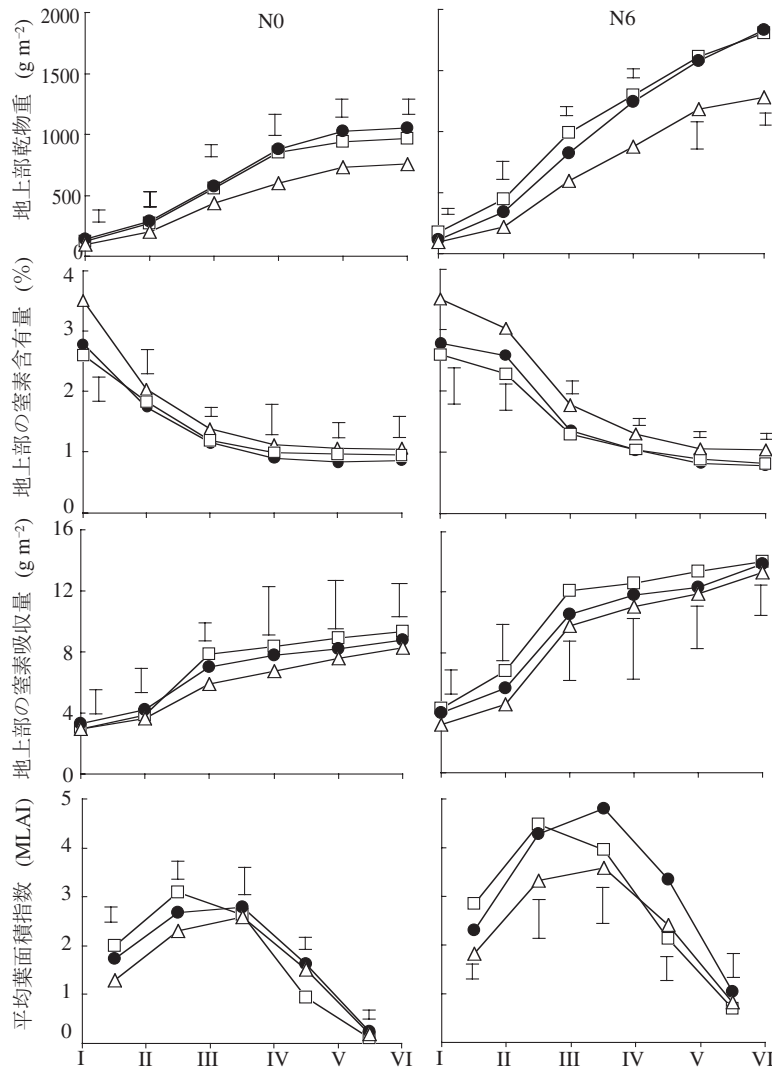
1. 生育ステージ

第1表に生育ステージを示した。標準追肥量のN6区における生育期を作物間で比較すると、起生期、幼穂形成期、止葉期および出穂期はライムギが最も早く、コムギが最も遅かった。開花始期は3作物ほぼ同時期で、乳熟期と黄熟期はコムギが最も早く、ライムギが最も遅かった。この傾向はN0区とN3区も同様であった。N12区についても、黄熟期がN6区に比べて各作物ともに1~2日遅れたほかはN6区とほぼ同様の傾向を示した。したがって、窒素追肥量にかかわらず起生期から止葉期までの日数はコムギが最も長く、ライムギが最も短かった。逆に、止葉期から開花始期まで、および開花始期から黄熟期までの日数はライムギが最も長く、コムギが最も短かった。

第1表 生育ステージ.

窒素追肥処理区	作物	起生期	幼穂形成期	止葉期	(月. 日)			乳熟中期	黄熟期
					出穂期	開花始期			
N0	ライコムギ	4.10	5.1	5.25	5.29	6.10	7.4	7.23	
	コムギ	4.12	5.6	6.2	6.6	6.10	7.2	7.19	
	ライムギ	4.9	4.27	5.18	5.22	6.9	7.3	7.27	
N3	ライコムギ	4.10	5.1	5.25	5.29	6.9	7.6	7.23	
	コムギ	4.11	5.6	6.2	6.6	6.9	7.3	7.18	
	ライムギ	4.9	4.27	5.19	5.23	6.8	7.4	7.28	
N6	ライコムギ	4.10	5.1	5.25	5.29	6.10	7.6	7.23	
	コムギ	4.12	5.6	6.1	6.5	6.10	7.3	7.19	
	ライムギ	4.9	4.27	5.19	5.23	6.9	7.5	7.28	
N12	ライコムギ	4.10	5.2	5.25	5.29	6.10	7.7	7.24	
	コムギ	4.11	5.7	6.2	6.6	6.11	7.4	7.21	
	ライムギ	4.9	4.28	5.19	5.24	6.10	7.5	7.30	

N0は起生期に窒素を施さなかった区, N3, N6, N12はそれぞれ起生期に硫酸により窒素3, 6, 9, 12g m⁻²追肥した区を表し, 各値は4ヶ年の平均値を示す.
 起生期, 幼穂形成期, 止葉期, 開花始期, 乳熟中期および黄熟期をそれぞれ, 約50%の個体の葉が起立し始めた時期, 最長節間が2cm以上に達した時期, 止葉が完全に展開した時期, 穂より葯が抽出し始めた時期, 穂の中央部の子実を爪でつぶし乳状の液が多くでる時期, および節以外の植物体が完全に黄化した時期とした.



第1図 地上部乾物重, 窒素含有率, 窒素吸収量および平均葉面積指数(MLAI)の推移.

●: ライコムギ (Presto), △: コムギ (ホクシン), □: ライムギ (Warko).

N0, N6は第1表と同一, 各シンボルは4ヶ年の平均値.

Iは起生期, IIは幼穂形成期, IIIは止葉期, IVは開花始期, Vは乳熟中期, VIは黄熟期を示す.

分散分析は年次を反復として行い, 縦棒は最小有意差(5%水準)を示す.

2. 地上部乾物重、窒素吸収量および平均葉面積指数の推移

第1図に地上部乾物重、窒素含有率、窒素吸収量および平均葉面積指数 (MLAI) の推移 (4ヶ年の平均値) をN0区とN6区について示した。地上部乾物重は両区ともに生育期間を通してライコムギとライムギがコムギに比べて有意に大きく、その差はN6区がN0区よりも大きかった。

窒素含有率は両区とも生育期間を通してコムギがライコムギとライムギに比べて高く、N6区においては止葉期以降に有意な作物間差異がみとめられた。地上部の窒素吸収量は両区ともに止葉期以降ライムギが最も多く、コムギが最も少ない傾向を示したが、年次間のばらつきが大きく、いずれの生育期においても差は有意ではなかった。

MLAIは、起生期から止葉期にかけて両区ともライコムギとライムギがコムギより有意に高かった。また、開花始期から乳熟期までのMLAIは、N0区とN6区ともにライコムギがコムギとライムギを有意に上回った。なお、N3区とN12区における地上部乾物重、窒素含有率、窒素吸収量およびMLAIの作物間差異についても、N0区とN6区とほぼ同様の傾向を示した。

3. 子実収量、窒素吸収量およびその関連形質

第2表に子実収量、黄熟期の地上部乾物重、収穫指数、窒素含有率、窒素吸収量および窒素収穫指数について4ヶ年の平均値を示した。どの窒素処理区においても、子実収量はライコムギがコムギとライムギに比べて有意に大きく、地上部乾物重はライコムギとライムギがコムギに比べて有意に大きかった。このため、ライムギの収穫指数は

第2表 子実収量、黄熟期の地上部乾物重、収穫指数、窒素含有率、窒素吸収量および窒素収穫指数。

窒素追肥処理区	作物	子実収量 (g m ⁻²)	地上部乾物重 (g m ⁻²)	収穫指数	窒素含有率 (%)	窒素吸収量 (g m ⁻²)	窒素収穫指数
N0	ライコムギ	425	1049	0.35	0.87	9.1	0.65
	コムギ	315	757	0.36	1.11	8.4	0.66
	ライムギ	402	969	0.36	0.96	9.3	0.56
	LSD(0.05)	59	132	0.02	0.16	1.4	0.04
N3	ライコムギ	627	1493	0.37	0.78	11.6	0.58
	コムギ	468	1062	0.39	1.06	11.2	0.66
	ライムギ	574	1532	0.34	0.78	12.0	0.48
	LSD(0.05)	59	161	0.03	0.12	1.4	0.06
N6	ライコムギ	824	1780	0.40	0.80	14.3	0.68
	コムギ	610	1287	0.41	1.08	13.9	0.72
	ライムギ	670	1784	0.33	0.82	14.7	0.55
	LSD(0.05)	55	116	0.04	0.12	1.5	0.05
N12	ライコムギ	931	2062	0.40	0.84	17.4	0.71
	コムギ	644	1380	0.41	1.20	16.5	0.72
	ライムギ	726	2076	0.30	0.89	18.4	0.51
	LSD(0.05)	73	144	0.05	0.11	1.7	0.05
作物		**	**	**	**	**	**
窒素追肥量		**	**	ns	**	**	**
作物×窒素追肥量		**	**	**	ns	ns	*

窒素追肥処理区は第1表と同一、各値は4ヶ年の平均値。

子実収量は水分13%に換算した値を用い、収穫指数は地上部乾物重に対する子実乾物重の割合、窒素収穫指数は地上部窒素含有量に対する子実窒素含有量の割合とした。

分散分析は年次を反復として行い、**、*はそれぞれ1、5%水準で有意差があり、nsは有意でないことを表し、LSD(0.05)は有意水準5%の最小有意差を示す。

N0区を除いて、最も小さかった。

窒素含有率は、すべての処理区でコムギがライコムギとライムギに比べて有意に高かった。窒素吸収量は各処理区にともライムギがやや高く、コムギがやや低い傾向を示したが、N0区を除いて有意な作物間差異はみとめられなかった。窒素収穫指数はいずれの処理区においても、収穫指数と同様にライコムギとコムギが、ライムギに比べて有意に高かった。

また、収穫指数を除くすべての形質において有意な窒素追肥の処理間差異がみとめられた。すなわち、子実収量、地上部乾物重、収穫指数および窒素含有量は窒素追肥量が多い区ほど高い傾向を示し、窒素含有率と窒素収穫指数はN3区が他の処理区に比べてやや低かった。子実収量、地上部乾物重、収穫指数および窒素収穫指数については、作物と窒素追肥量との間に有意な交互作用がみとめられた。すなわち、上記の形質は窒素追肥量の多い区ほど作物間差異が大きくなる傾向を示した。

4. 子実収量と成長パラメータとの関係

第3表に子実収量と、平均葉面積指数 (MLAI) および純同化率 (NAR) との関係を示した。各作物別および3作物全体、さらにライコムギとコムギ、およびライコムギとライムギの2作物を込みにした場合も共通して、栄養成長期間と登熟期間ともに子実収量とMLAIの間には有意な正の相関関係がみとめられたが、NARとの間には多くの場合有意な相関関係はみとめられなかった。総じて栄養成長期間で高く、特に3作物およびライコムギとライムギの2作物を込みにした場合において顕著であった。すなわち、3作物共通して子実収量と最も関係の深い成長パラメータは登熟期間のMLAIであった。

5. 窒素追肥量と子実収量、および窒素吸収量との関係

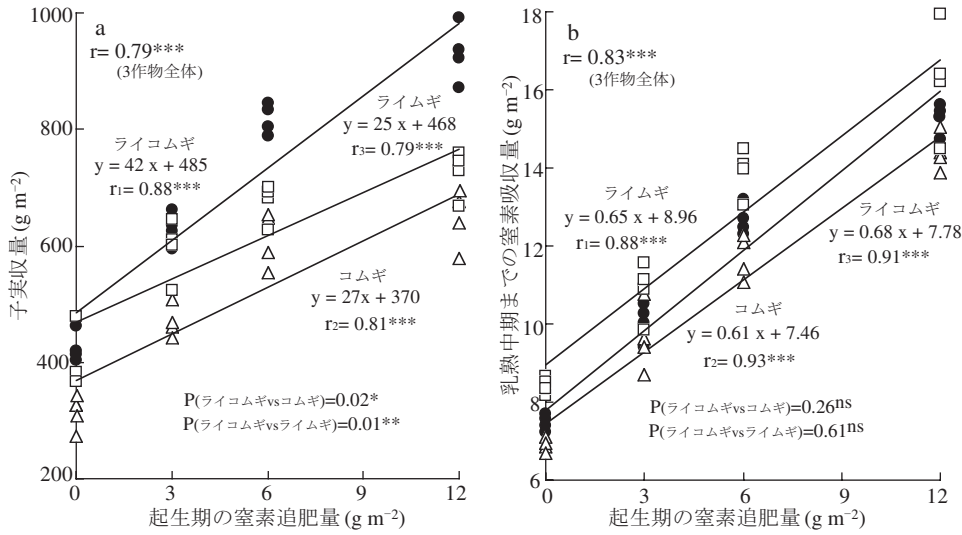
第2図-aに窒素追肥量と子実収量との関係を示した。両形質間には3作物込みで有意な正の相関関係 ($r = 0.79^{***}$) がみとめられ、作物別にみても有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.88^{***}$, $r_2 = 0.81^{***}$, $r_3 = 0.79^{***}$) がみとめられた。また、回帰直線の傾き ($\Delta G/\Delta FN$) にはライコムギとコ

第3表 子実収量と、平均葉面積指数 (MLAI) および純同化率 (NAR) の相関関係。

対象作物 (データ数)	栄養成長期間		登熟期間	
	MLAI	NAR	MLAI	NAR
ライコムギ (n=16)	0.80 ***	0.37 ns	0.81 ***	0.14 ns
コムギ (n=16)	0.73 **	0.15 ns	0.88 ***	0.36 ns
ライムギ (n=16)	0.74 **	0.54 *	0.82 ***	0.25 ns
ライコムギ+コムギ (n=32)	0.81 ***	0.51 **	0.82 ***	0.14 ns
ライコムギ+ライムギ (n=32)	0.42 *	0.31 ns	0.81 ***	0.03 ns
3作物 (n=48)	0.60 ***	0.44 *	0.81 ***	0.14 ns

各値は相関係数を表し、***, **, *はそれぞれ0.1, 1, 5%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。

栄養成長期間は起生期から開花始期まで、登熟期間は開花始期から黄熟期までの期間を示す。



第2図 起生期の窒素追肥量と子実収量 (a) および乳熟中期までの窒素吸収量 (b) の関係。

● :ライコムギ, △ :コムギ, □ :ライムギ。
 r , r_1 , r_2 , r_3 はそれぞれ3作物全体, ライコムギ, コムギ, ライムギの相関係数を表し,
 $P(\text{ライコムギvsコムギ})$, $P(\text{ライコムギvsライムギ})$ はそれぞれ, ライコムギとコムギ,
 ライコムギとライムギにおける回帰直線の傾きに差異がない確率を示す。
 $***$, $**$, $*$ はそれぞれは0.1, 1, 5%水準で有意であることを示し, ns は有意差のないことを示す。

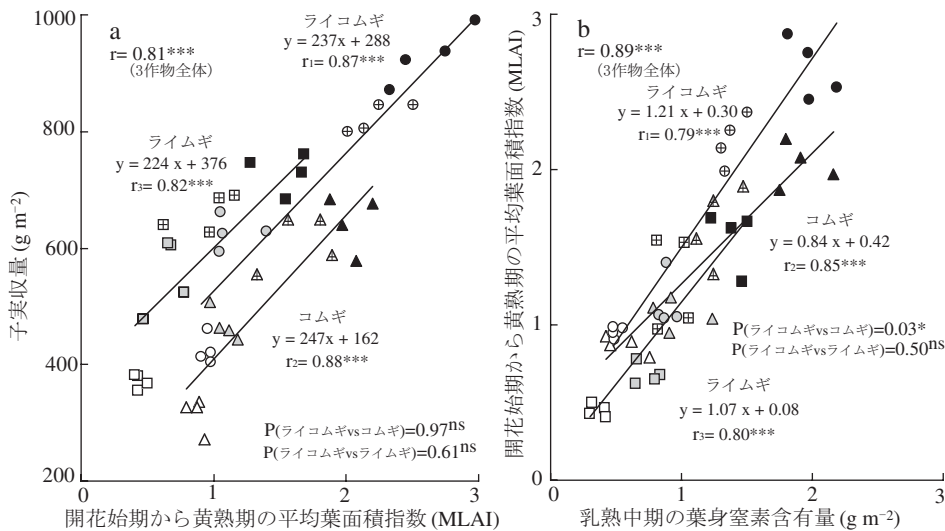
ムギの間 ($P = 0.02$), ライコムギとライムギの間 ($P = 0.01$) ともに, 有意な作物間差異がみとめられ, ライコムギの傾きがコムギとライムギに比べて大きかった。

窒素追肥量と乳熟中期までの窒素吸収量 (N) との関係においても (第2図-b), 3作物全体, 作物別ともに, 有意な正の高い相関 ($r = 0.83^{***}$, $r_1 = 0.88^{***}$, $r_2 = 0.93^{***}$, $r_3 = 0.91^{***}$) を示した。しかし, 回帰直線の傾きにはライコムギとコムギの間 ($P = 0.26$), ライコムギとライムギの間 ($P = 0.61$) ともに有意な作物間差異がみとめられなかった。すなわち, 起生期の窒素施肥効率 ($\Delta G/\Delta$

FN) はライコムギがコムギとライムギに比べて高かったが, 施肥窒素の利用率 ($\Delta N/\Delta FN$) は3作物間で差異はみられなかった。

6. 子実収量と登熟期間の窒素分配およびその関連形質間の関係

開花始期から黄熟期までの MLAI と子実収量の関係を見ると (第3図-a), 3作物全体で有意な正の相関関係 ($r = 0.81^{***}$) がみとめられ, 作物別にみても, それぞれ有意な正の相関関係 (ライコムギ $r_1 = 0.87^{***}$, コムギ $r_2 =$



第3図 登熟期間の平均葉面積指数 (MLAI) と子実収量 (a), および乳熟中期の葉身窒素含有量と登熟期間の MLAI (b) との関係。

(○, ⊙, ⊕, ●), (△, ▲, ▴, ▾), (□, ⊠, ⊡, ■) はそれぞれライコムギ, コムギ, ライムギにおける N0, N3, N6, N12 区を表し, その他のシンボルは第2図と同一。

0.88***, ライムギ $r_3 = 0.82^{**}$) がみとめられた.

また, ライコムギとコムギにおける両形質間の関係を比較すると, 回帰直線はライコムギがコムギより上方に位置するが, その傾き ($\Delta G/\Delta MLAI$) に有意な差異はみとめられなかった ($P = 0.97$). N0 区と N3 区における MLAI には両作物間に大差はみられないが, N6 区と N12 区においてはライコムギの MLAI がコムギに比べて大きかった. ライコムギとライムギの比較においても, 回帰直線の傾き ($\Delta G/\Delta MLAI$) には有意な差異がみとめられなかったが ($P = 0.61$), 同一の窒素処理区においては常にライコムギの子実収量と MLAI がライムギに比べて大きかった.

第3図-bに乳熟中期における葉身窒素含有量(以下, 葉身窒素量)と開花始期から黄熟期までの MLAI の関係を示した. 両形質間には3作物全体 ($r = 0.89^{***}$), 作物別(ライコムギ $r_1 = 0.79^{***}$, コムギ $r_2 = 0.85^{***}$, ライムギ $r_3 = 0.80^{***}$) ともに有意な正の相関関係がみとめられ, 葉身窒素量が多いほど MLAI が高かった.

ライコムギの回帰直線の傾き ($\Delta MLAI/\Delta LN$) はコムギより有意に大きかった ($P = 0.03$). 同じ葉身窒素量ではライコムギの MLAI が常にコムギより高く, 差異は窒素追肥量が多い区ほど作物間差異が拡大する傾向を示した. 一方, ライコムギとライムギを比較すると, 回帰直線の傾き ($\Delta MLAI/\Delta LN$) に差異はみとめられなかったが ($P = 0.50$), 同一の窒素追肥処理区においては常にライコムギの MLAI と葉身窒素量がライムギより大きかった.

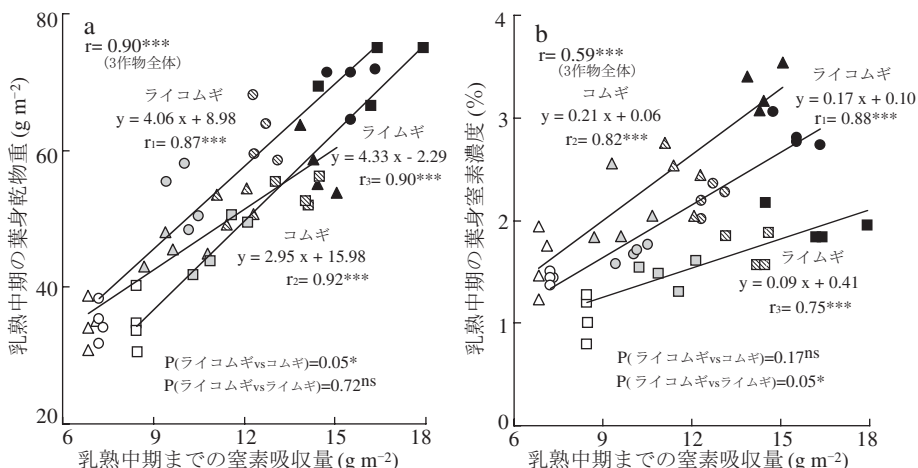
次に乳熟中期における窒素吸収量と葉身乾物重(以下, 葉重)の関係(第4図-a)をみると, 両形質間には各作物とも有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.87^{***}$, $r_2 = 0.92^{***}$, $r_3 = 0.90^{***}$) がみとめられ, 3作物間全体の相関関係も高い値 ($r = 0.90^{***}$) を示した. ライコムギとコムギを比較すると, 回帰直線の傾き ($\Delta LW/\Delta N$) はライコムギがコムギに比べて有意に大きかった ($P = 0.05$). N0 区における葉重には両作物間で大差はみられないが, 窒素追肥

量が多い区ほど差異が拡大する傾向を示した. また, ライコムギとライムギとを比較すると, 回帰直線の傾きには作物間差異はみとめられなかった ($P = 0.72$). しかし, ライコムギの回帰直線はライムギに比べてほぼ上方に位置し, 窒素吸収量が同一でも葉重はライコムギの方が大きかった.

第4図-bに乳熟中期における窒素吸収量と葉身窒素濃度の関係を示した. 両形質間には3作物全体 ($r = 0.59^{**}$) においても, 作物別(ライコムギ $r_1 = 0.88^{***}$, コムギ $r_2 = 0.82^{***}$, ライムギ $r_3 = 0.75^{***}$) にみても有意な正の相関関係がみとめられた. ライコムギの回帰直線はコムギに比べて下方に位置する傾向を示し, その傾き ($\Delta LNC/\Delta N$) には有意な作物間差異はみとめられなかった ($P = 0.18$). このことは, 両作物にみられる葉身窒素量の葉面積拡大効率 ($\Delta MLAI/\Delta LN$) の差異(第3図-b)が吸収窒素に対する葉身窒素濃度上昇率 ($\Delta LNC/\Delta N$) 以外の要因によって影響されていることを示している. 一方, ライムギの回帰直線の傾き ($\Delta LNC/\Delta N$) はライコムギより有意に小さかった ($P = 0.05$). ライコムギでは窒素追肥量の多い区ほど, 葉身窒素濃度が高く, 両作物では吸収窒素による葉身窒素濃度の上昇量 ($\Delta LNC/\Delta N$) が異なっていた.

考 察

4ヶ年の平均値によると, 標準の窒素追肥量(N6)においてライコムギの子実収量はコムギに比べて35%, ライムギに比べて22%高く, その作物間差異はN0においてやや小さく, N12区において大きかった. すなわち, 子実収量の作物間差異は窒素追肥量ともなって拡大し(第2図), ライコムギの多収性には窒素施肥効率 ($\Delta G/\Delta FN$) が関与していた. また, 施肥窒素の利用効率 ($\Delta N/\Delta FN$) には3作物間で差異がみられないことから, ライコムギは吸収した窒素の増収効率 ($\Delta G/\Delta N$) が他の2作物よりも高いと言える.



第4図 乳熟中期までの窒素吸収量と乳熟中期の葉身乾物重(a), および葉身窒素濃度(b)との関係. 各シンボルは第3図と同一.

一方、子実収量と生育段階別の成長パラメータの関係を検討したところ、3作物に共通して、子実収量の差異は登熟期間のMLAIとの関係が深かった(第3表)。このことから、 $\Delta G/\Delta N$ に作物間差異が生じる要因を子実収量と乳熟期における窒素吸収量および登熟期間のMLAIに関連した形質間の関係から検討した。ライコムギの高い $\Delta G/\Delta N$ は、登熟期間のMLAIがコムギとライムギに比べて大きいことに起因し、ライコムギとコムギにおけるMLAIの差異は乳熟中期の吸収窒素当りの葉重($\Delta LW/\Delta N$)の差と関係していた。また、ライコムギとライムギにみられるMLAIの差異は乳熟中期の葉身窒素量(LN)の差に由来し、それは、同時期の葉身窒素濃度の上昇率($\Delta LNC/\Delta N$)の差異と関係が深かった。また、比葉重(葉身重/葉面積)はライコムギが他の2作物に比べてやや大きい傾向を示すが、大差はみられない(義平・唐澤2003)。したがって、ライコムギの多収性はライムギの具備する吸収窒素の高い葉面積拡大効率とコムギの具備する葉身への高い窒素分配量をあわせもつことにより実現していると推察できた。

ライコムギの窒素施肥効率($\Delta G/\Delta FN$)は、他のムギ類に比べて高いとする報告(Grahamら1989, Minuddin and Afridi 1997)がみられる。しかし、これらの報告は、積雪のともなわない温暖な地方で行われた試験結果であり、 $\Delta G/\Delta FN$ は基肥窒素量により計算されている。北海道のような寒冷多雪地帯では、秋播性コムギにおける播種前の過度の施肥窒素は融雪水により溶脱する可能性が高く、起生期における窒素追肥が基肥よりも増収効果が高いこと(渡辺1999)から、本報の起生期における窒素施肥反応とこれらの報告の基肥窒素反応は類似しているといえよう。

また、Guohuaら(2002)は、登熟期間後半まで葉身窒素濃度が高く、葉面積指数の低下が遅いコムギ品種が多収を示すと指摘しており、Blacklow and Incoll(1981)はコムギにおける登熟期間の葉面積指数の品種間差異は、窒素の多肥条件で拡大すると報告している。本実験で得られたライコムギの多収要因もこれらの報告と共通するものと考えられる。

近年、日本各地において輸入濃厚飼料に依存した畜産が展開され、家畜飼養頭数の増大とそれともなう排泄物の農耕地への過剰施用から(築城・原田1997)、周辺環境への窒素の流出が問題となっている(竹内1997)。しかし、自給濃厚飼料が増産されれば、窒素の循環系が改善されると考えられる。その際に、子実を濃厚飼料として利用でき(Juskiw 1998)、窒素施肥効率が高いライコムギは有効な飼料作物の一つになり得ると思われる。

謝辞: ライコムギ、ライムギの供試品種の入手に当たっては、ポーランドダンコ社のPojmajおよびBanaszak両博士に協力して頂いた。とりまとめに当たっては、元北海道農業試験場養分動態研究室室長の水落勁美氏にご助言を頂いた。圃場管理に当たっては、北海道農業研究センター業務科の方々に、また収量調査、サンプル採取および窒素分

析に当たっては、酪農学園大学酪農学科飼料作物学研究室の多くの学生に絶大な協力を頂いた。これらの方々に心から感謝する。

引用文献

- Aparicio, N., D. Villegas, J. L. Araus, J. Casadesus and C. Royo. 2002. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in Durum wheat. *Crop Sci.* 42: 1547-1555.
- Blacklow, M. W., L. D. Incoll 1981. Nitrogen stress of winter wheat changed the determinants of yield and the distribution of nitrogen and total dry matter during grain filling. *Aust. J. Plant Physiol.* 8: 191-200.
- Fossati, D., Fossati A. and B. Feil 1993. Relationship between grain yield and nitrogen concentration in winter triticale. *Euphytica* 71: 115-123.
- Frederick, J. R. and J. J. Camberato 1994. Leaf net CO₂-exchange rate and associated leaf traits of winter wheat grown with various spring nitrogen fertilization rates. *Crop Sci.* 34: 432-439.
- Frederick, J. R. and J. J. Camberato 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat in southeastern Coastal Plain. II Physiological responses. *Agron. J.* 87: 527-533.
- Graham, R. D., P. E. Geytenbeek and B. C. Radcliffe 1989. Responses of triticale, wheat rye and barley to nitrogen fertilizer. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 23: 73-79.
- Guohua M., L. Tang, F. Zhang and J. Zhang 2002. Carbohydrate storage and utilization during grain filling as regulated by nitrogen application in two wheat cultivars. *J. Plant. Nutr.* 25: 213-229.
- Juskiw, P. 1998. Triticale production by country 1997/1998. *Proc. 4th Int. Triticale Symp. Red Deer, Alberta.* 2: 1.
- Migus, W. N. and L. A. Hunt 1980. Gas exchange rates and nitrogen concentrations in two winter wheat cultivars during the grain-filling period. *Can. J. Bot.* 58: 2110-2116.
- Minuddin, S. and M. Afridi 1997. Grain yield and quality of triticale as affected by progressive application rates of nitrogen and phosphorus fertilizer. *J. Plant Nutr.* 20: 593-600.
- 水落勁美 1990. コムギの多収獲に関する作物栄養生態学的研究 肥料科学 13: 71-105.
- 中司啓二・荒木和哉・義平大樹 2002. 海外から導入した秋播ライコムギの北海道における生育特性. 第一報 多収品種と低収品種の収量関連形質の比較. *日育・日作北海道談話会報.* 43: 71-72.
- 下野勝昭 1986. 秋小麦の栄養生理と窒素肥培管理法に関する研究. *北海道立農試報* 57: 1-80.
- 竹内誠 1997. 農耕地からの窒素・リンの流出. *土肥誌* 68: 708-715.
- 築城幹典・原田靖生 1997. 我が国における家畜排泄物の発生の実態と今後の課題. 環境保全と新しい畜産. 農林水産技術情報協会, 東京. 15-29.
- 渡辺裕志 1999. 秋まきコムギの品質と肥培管理. 畑地管理と生産物の品質向上. *北海道農業と土壤肥料* 1999. 北農会, 札幌. 127-130.
- 義平大樹・鈴木幸・塩見信子・唐澤敏彦・中司啓二 1997. 秋播ライコムギの収量, 子実タンパク質含有率に及ぼす窒素施肥時期・窒素施用量の影響—コムギ, ライムギとの比較—. *日育・日作北海道談話会報* 37: 54-55.

義平大樹・唐澤敏彦・中司啓二 2000. 道央多雪地帯における秋播ライコムギの収量性. 日作紀 69: 165-174.

義平大樹・唐澤敏彦 2003. コムギ, ライムギと比較した多収性ライコムギの葉内窒素含量と光合成速度との関係. 日作紀 72 別: 170

-171.

義平大樹・唐澤敏彦・中司啓二 2005. 北海道で多収を示す秋播性ライコムギの成長解析—コムギ, ライムギとの比較—. 日作紀 74: 330-338.

Responses to Nitrogen Fertilizer Application at Regrowing Stage of High-Yielding Cultivar of Winter Triticale in Comparison with Those of Wheat and Rye in Hokkaido: Taiki YOSHIHIRA¹⁾, Toshihiko KARASAWA²⁾ and Keiji NAKATSUKA²⁾ (¹⁾ *Fac. of Dairy Science, Rakuno Gakuen Univ., Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan*; ²⁾ *National Agricultural Research Center for Hokkaido Region*)

Abstract: The efficiency of nitrogen fertilization (the increase of grain yield (G) per unit nitrogen fertilizer (FN) applied at the regrowing stage, $\Delta G/\Delta FN$) of high yielding winter triticale cultivar 'Presto' was analyzed in comparison with that of Japanese wheat cultivar 'Hokushin' and Polish rye cultivar 'Warko' in the field from 1997 to 2000. In each of the 4 years G and $\Delta G/\Delta FN$ of triticale were higher than those of wheat and rye. The differences in $\Delta G/\Delta FN$ among the three crops were due to the differences in mean leaf area index (MLAI) during the grain filling period. The differences in MLAI between triticale and wheat were attributed to the differences in the leaf blade dry-weight per unit nitrogen uptake ($\Delta LW/\Delta N$) at the milk-ripe stage. On the other hand, the differences in MLAI between triticale and rye were due to the differences in the nitrogen allocation to the leaf blade at the milk-ripe stage, which resulted from the differences in the nitrogen concentration of the leaf blade per unit nitrogen uptake ($\Delta LNC/\Delta N$). The results indicated that high yields of new winter triticale cultivars were due to a combination of the high efficiency of nitrogen uptake for leaf expansion, which is the characteristic of rye, and the high nitrogen allocation to the leaf blade during the grain filling period, which is the characteristic of wheat.

Key words: Differences among crops, Grain yield, Leaf area, Nitrogen fertilizer efficiency, Nitrogen top dressing at regrowing stage, Rye, Triticale, Wheat.