

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—

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品種は北海道中央部において適応性を示し、多収となる。その要因を乾物生産過程から明らかにするために、5年間にわたり、北海道育成のコムギ品種、およびポーランドのほか、ドイツ、韓国育成のライムギ品種とともに栽培して成長解析を行い、作物間で比較した。ライコムギはすべての試験年次において、コムギおよびライムギよりも多収を示した。ライコムギとコムギの子実収量の差は主として全乾物生産量の差に起因し、起生期から止葉期までの期間の個体群成長速度 (CGR) の差と関係していた。この高いライコムギの CGR は、平均葉面積指数 (MLAI) が大きくかつ純同化率が高いことによってもたらされた。一方、ライコムギとライムギの子実収量の差は収穫指数の差に起因し、開花始期から乳熟期までの期間の穂の乾物重の増加速度 (EGR) の差と関係していた。このライコムギの高い EGR は、MLAI が大きいことによってもたらされた。これらの作物間差異は品種間差異よりも大きかった。本実験の結果から、供試したライコムギ品種の多収性は、ライムギ品種の具備する起生期から止葉期までの高い乾物生産能力と、コムギ品種の具備する開花始期から乳熟期までの高い穂部乾物重増加速度をあわせもつことにより実現したものと推察した。

キーワード: 乾物生産, コムギ, 作物間差異, 子実収量, 成長解析, 品種, ライコムギ, ライムギ。

属間雑種ライコムギ (× *Triticosecale* Wittmack) は、コムギとライムギを交配して作った人工的な作物である (Brown ら 1989)。最近の 50 年間に改良が重ねられ、世界的にはコムギ、オオムギ、エンバクの一部に代わる作物として栽培されている。2001 年現在のライコムギの栽培面積は 328 万 ha にのぼり (Arseniuk and Oleksiak 2002)、大部分の国においては主として中小家畜を中心とした濃厚飼料、または反芻家畜用のホールクロップサイレージとして用いられている (Juskiw 1998)。

1980 年代以降に育成されたライコムギ品種の子実収量および黄熟期の地上部乾物重が他の麦類より安定的に高いことが、メキシコ (Skovmand ら 1984)、ブラジル (Kochhann ら 1990)、ポーランド (Sowa and Mackowiak 1990)、イタリア (Rossi ら 1990)、オーストラリア (Andrews ら 1991)、イングランド (Mcdonald 1991)、ドイツ (Karpenstein and Heyn 1991)、スペイン (Royo and Serra 1993)、日本 (水落 1993)、カナダ (Maclead ら 1996)、韓国 (尹 1998) など世界各地で報じられている。義平ら (2000) も、ポーランドで育成されたライコムギ品種は北海道の秋播性コムギ品種のホクシンよりも多収を示し、その多収要因は、コムギに比べて一穂重および黄熟期の地上部乾物重が大きいこと、ライムギに比べて収穫指数が高いことであることを報告した。しかし、ライコムギの近代品種がなぜ多収を示すのかを乾物生産過程から検討した報告は非常に少ない。ライコムギの成長解析を行った例として、Sandra ら (1987) および Sharma ら (1987) の報告があり、インド北部においてライコムギ 12 品種の成長解析が行われたが、ライコムギの多収性をコムギやライムギと比較したものではない。

近年、コムギやオオムギにおいて多収性についての育種方法を転換する必要性を示唆する報告がみられる。後藤 (1987) は、短稈化し収穫指数を高めることによって、コムギの多収性を実現する方法は限界に近づきつつあり、乾物生産量を増加させることの必要性を指摘した。また水落 (1990) は、群落構造および止葉期の窒素施用効果を検討した結果、穂数型のコムギ品種でさらなる多収を目指すことには限界があり、葉が短くて厚く、短強稈で極穂重型の遺伝的性質の導入が必要であると報告している。ライコムギはコムギと比較して長稈で穂重型であることから (義平ら 1997)、ライコムギの多収要因を乾物生産過程から検討することは、ライコムギの育種方法のみならず、近年における収穫指数の増加に依存し過ぎたコムギの育種方法の改良にも資するものと考えられる。

そこで、北海道の栽培環境に適応し、多収を示すポーランド育成の秋播性ライコムギ品種と、北海道育成のコムギおよびポーランド、ドイツ、韓国育成のライムギ品種について、5 ヶ年にわたり主要な生育時期に部位別乾物重と葉面積を調査して成長解析を行い、それらを作物間で比較することによって、北海道におけるライコムギの多収要因を乾物生産過程から検討した。

材料および方法

1. 供試品種

ライコムギとライムギは欧州において、コムギは北海道において、近年栽培されている秋播性品種を 1994 年から 1999 年の 5 ヶ年にわたり供試した (第 1 表)。以下、収穫年次を試験年次として記載する。1996 年、1997 年、1998 年

第1表 供試品種

試験年次	ライコムギ	コムギ	ライムギ
1995	Presto, Tewo, Moniko	ホクシン, チホクコムギ, 月寒1号	Warko, Amilo, Mardar
1996	Presto	ホクシン	Warko
1997	Presto	ホクシン	Warko
1998	Presto	ホクシン	Warko
1999	Presto, Disco, Pinokio	ホクシン	Warko, Paldanghomil, Petkuser

においては、ライコムギが Presto、コムギがホクシン、ライムギが Warko の各1品種を用いた。Presto と Warko はポーランドのダンコ社育成の多収品種 (Wolski 1990) で、ホクシンは北海道で現在最も広く栽培されている品種である。

ライコムギは Presto に加えて、1995 年には Tewo と Moniko を、1999 年には Disco と Pinokio を用いた。これらはともにポーランドで育成された多収品種であり、Pinokio と Disco は他の品種よりも短稈である (Wolski and Gryka 1998)。ライムギは Warko に加えて 1995 年には Amilo と Mardar を、また 1999 年には Paldanghomil と Petkuser を供試した。Amilo と Mardar はポーランドで育成された多収品種、Paldanghomil は韓国育成の早生品種 (尹 1998)、Petkuser はドイツで育成された長稈晩生品種である (吉村 1998)。コムギは、1995 年のみ複数の品種を供試し、ホクシンに加えて北海道で育成されたチホクコムギと月寒1号を用いた。

2. 栽培・調査方法および気象概要

試験は農林水産省北海道農業試験場 (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) でおこなった。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。播種期は 1994 年および 1995 年が 9 月 23 日、1996 年が 9 月 15 日、1997 年が 9 月 13 日、1999 年が 9 月 10 日である。栽植様式は畦間 20 cm、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。試験区の配置は 1 区 16 m^2 の 3 反復乱塊法とした。基肥として、播種前に化学肥料 S807 (くみあい肥料) を 50 g m^{-2} (N-4g, P_2O_5 -15g, K_2O -8.5 g m^{-2}) 施した。また、約 50% の個体の葉が起立し始めた時期を起生期 (4 月上旬) とし、起生期から 1 週間以内の時期に追肥として、硫酸 30 g m^{-2} (N-6 g m^{-2}) を施用した。

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、1995 年の Tewo を除いて、冬枯れはほとんど発生しなかった。1995 年の Tewo では雪腐病発病度 1.1 程度 (1: 無~5: 甚) の冬枯れがみられたが、子実収量に大きく影響を及ぼす程度のもではなかった。また、倒伏は 1999 年の Petkuser を除いてみとめられなかった。Petkuser では多少のたわみ型倒伏がみられたが、子実収量への影響はなかった。

越冬前、起生期、幼穂形成期、開花期、乳熟期、黄熟期

の各生育期ごとに、部位別乾物重と葉面積を調査した。部位別乾物重は、生育が中庸な畦について 0.1 m^2 (畦長 50 cm × 畦幅 20 cm) の個体を地際より刈り取り、葉鞘を含む茎、葉身、穂、枯死部に分け、 80°C で 48 時間通風乾燥させて、重量を測定した。葉面積は緑色部の葉身を自動葉面積計 (LI-3000A, LI-COR 社製) で測定した。全乾物重 (地下部を除く)、葉面積指数および穂部乾物重から、個体群成長速度 (CGR)、純同化率 (NAR)、平均葉面積指数 (MLAI) および穂部乾物重の増加速度 (EGR) を計算した。また、黄熟期に生育が中庸な 1 m^2 の部分の個体を反復ごとに刈り取り、2 週間自然乾燥させた後、子実収量と地上部乾物重を計測した。子実収量は水分含有率 13% で補正した値を用い、収穫指数は地上部乾物重に対する子実乾物重の割合として百分率で表した。

結果の解析では、まず 5 ケ年の試験年次に共通して供試したライコムギの Presto、コムギのホクシン、ライムギの Warko について、作物間で収量関連形質や成長パラメータを比較した。その後、これらの作物間差異と各作物内の品種間差異との関係について検討した。分散分析では、代表品種の収量関連形質を作物間で比較する際には、複数年次の実験における統計解析 (McIntosh 1983) を用いて、年次と作物を要因として計算した。また、成長パラメータを比較する場合には、年次を反復として分散分析をおこなった。

なお、各試験年次の気象概要は、1995 年は生育全般の寡照と栄養成長期間の多雨、1996 年は生育全般の低温と寡照、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 年は栄養成長期間の高温と多照、1999 年は登熟期間の高温と多雨として特徴づけられた (第2表)。

第2表 試験年次の気象条件

試験 年次	積算気温		積算日射量		降水量	
	栄養成	登熟	栄養成	登熟	栄養成	登熟
	長期間	期間	長期間	期間	長期間	期間
	(°C)		(MJ/m ²)		(mm)	
1995	686	920	1083	842	194	122
1996	534	891	1107	801	129	126
1997	614	962	1123	981	113	97
1998	716	905	1304	853	111	158
1999	642	990	1158	878	145	203
平年	625	887	1184	908	141	113

栄養成長期間は4月1日から6月10日まで、登熟期間は6月11日から7月31日までとして、各気象データを計算した。平年値は1981年から2000年の平均値。

第3表 5ヶ年の共通品種における各作物の生育期

作物	品種	起生期	幼穂 形成期	止葉期	出穂期	開花 始期	乳熟期	黄熟期
ライコムギ	Presto	4月11日 (6.8)	5月2日 (3.6)	5月25日 (3.2)	6月2日 (3.8)	6月11日 (4.4)	7月3日 (3.4)	7月25日 (3.6)
コムギ	ホクシン	4月12日 (6.8)	5月6日 (3.5)	6月3日 (6.6)	6月7日 (5.4)	6月10日 (4.8)	6月30日 (4.0)	7月20日 (3.1)
ライムギ	Warko	4月9日 (7.8)	4月29日 (4.5)	5月20日 (5.4)	5月29日 (5.0)	6月10日 (5.8)	7月5日 (4.5)	7月31日 (4.1)

各値は5ヶ年の平均値, カッコ内の値は標準偏差(日)を示す.

結 果

1. 生育期

第3表に各作物の生育期を5ヶ年の平均値として示した. 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. したがって, 起生期から止葉期までの日数はコムギで長く, ライムギで短かく, 逆に, 止葉期から開花始期および開花始期から黄熟期までの日数はコムギで短かく, ライムギで長く, ライコムギは両作物の中間であった.

2. 子実収量, 黄熟期の地上部乾物重および収穫指数

第4表に各作物の子実収量, 黄熟期の地上部乾物重および収穫指数を年次別に示した. いずれの試験年次でも, 子実収量はライコムギがコムギとライムギより有意に高かった. また, 黄熟期の地上部乾物重はライコムギとライムギがコムギより有意に大きかった. このため, ライコムギとコムギの収穫指数は, 子実収量が小さく地上部乾物重の大きいライムギの収穫指数を上回った.

子実収量, 地上部乾物重および収穫指数には有意な年次間差異がみとめられ, 生育期間を通して寡照に経過した1996年における子実収量はどの作物においても低かった. また, 栄養成長期間がやや低温に経過した1997年におけるライムギの地上部乾物重は他の年次より小さく, 収穫指数が高い傾向を示した. また, 栄養成長期間が高温と多照に経過した1998年におけるライコムギとライムギの地上部乾物重は, 他の年次より大きかった. なお, 子実収量と地上部乾物重には作物と年次の間には有意な交互作用がみとめられた. すなわち, 栄養成長期間が多照に経過した1998年では, 子実収量および地上部乾物重におけるライコムギとコムギの差異が大きくなる傾向を示した.

3. 地上部乾物重および成長パラメータ

5ヶ年の共通品種における各作物の地上部乾物重の推移を第1図に, また, CGR, MLAI, NAR および EGR の推移を第2図に, 5ヶ年の平均値として示した. 地上部乾物重は, 生育期間を通じてライコムギとライムギがコムギよ

第4表 5ヶ年の共通品種における各作物の子実収量, 黄熟期の地上部乾物重および収穫指数.

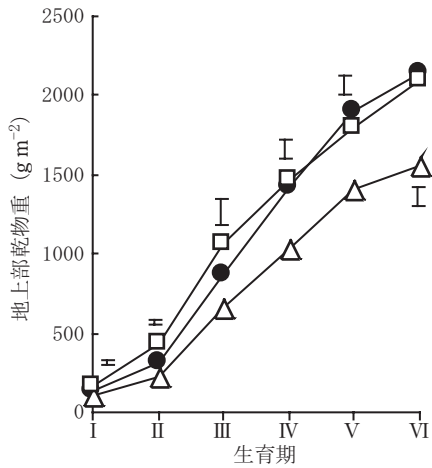
試験 年次	作物	品種	子実 収量 (gm^{-2})	地上部 乾物重 (gm^{-2})	収穫 指数 (%)
1995	ライコムギ	Presto	797	1705	40.7
	コムギ	ホクシン	606	1378	38.3
	ライムギ	Warko	684	1707	34.9
	LSD (0.05)		48	83	1.4
1996	ライコムギ	Presto	733	1639	38.9
	コムギ	ホクシン	550	1320	36.2
	ライムギ	Warko	623	1890	28.7
	LSD (0.05)		78	103	1.7
1997	ライコムギ	Presto	846	1712	43.0
	コムギ	ホクシン	648	1324	42.6
	ライムギ	Warko	683	1595	37.3
	LSD (0.05)		61	112	3.2
1998	ライコムギ	Presto	858	1842	40.5
	コムギ	ホクシン	601	1312	39.9
	ライムギ	Warko	751	1884	34.7
	LSD (0.05)		53	209	3.6
1999	ライコムギ	Presto	805	1811	38.7
	コムギ	ホクシン	588	1341	38.2
	ライムギ	Warko	686	1826	32.7
	LSD (0.05)		57	145	1.0
5ヶ年 平均	ライコムギ	Presto	808	1742	40.4
	コムギ	ホクシン	599	1335	39.0
	ライムギ	Warko	685	1780	33.6
	LSD (0.05)		27	67	0.41
分散分析	作物		**	**	**
	年次		**	*	**
	作物×年次		*	*	ns

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とした.

**, *はそれぞれ1, 5%水準で有意差があり, nsは有意差がないことを示す.

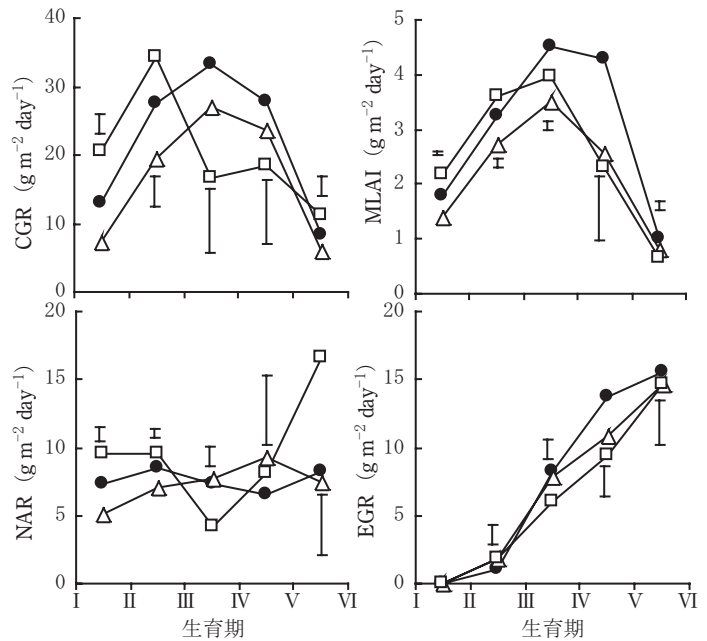
LSD (0.05)は5%水準での最小有意差を示す.

りも有意に大きく, 生育にともない差異が拡大した. また, 起生期から止葉期まではライコムギがライムギに比べて小さい傾向を示したが, 開花期以降では, 両作物間の差異はみとめられなかった. 起生期から止葉期までの CGR, MLAI および NAR はともに, ライムギが最も高く, コムギが低く, ライコムギは両作物の中間で, ライムギおよびライコムギと, コムギとの間には有意な差異がみとめられた. また, 開花始期から乳熟期までの EGR はライコムギがコムギとライムギに比べて有意に高かった.



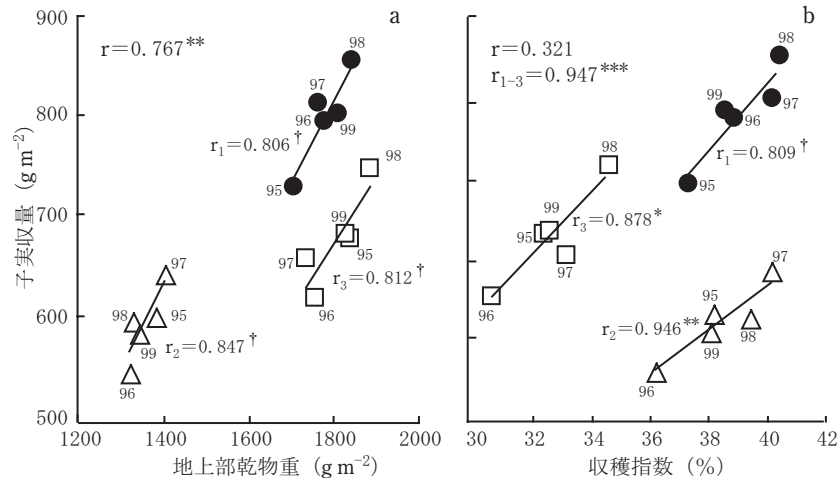
第1図 5ヶ年の共通品種における各作物の地上部乾物重の推移。

Iは起生期, IIは幼穂形成期, IIIは止葉期, IVは開花始期, Vは乳熟期, VIは黄熟期を示す。
●: ライコムギ (Presto), △: コムギ (ホクシン), □: ライムギ (Warko).
各シンボルは5ヶ年の平均値, 縦棒は年次を反復として分散分析した時の5%水準の最小有意差を示す。



第2図 5ヶ年の共通品種における各作物の個体群成長速度 (CGR), 平均葉面積指数 (MLAI), 純同化率 (NAR) および穂部乾物重増加速度 (EGR) の推移。

図中のシンボルは第1図と同一。



第3図 5ヶ年の共通品種における各作物の黄熟期の地上部乾物重と子実収量 (a) および収穫指数と子実収量 (b) との関係。

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

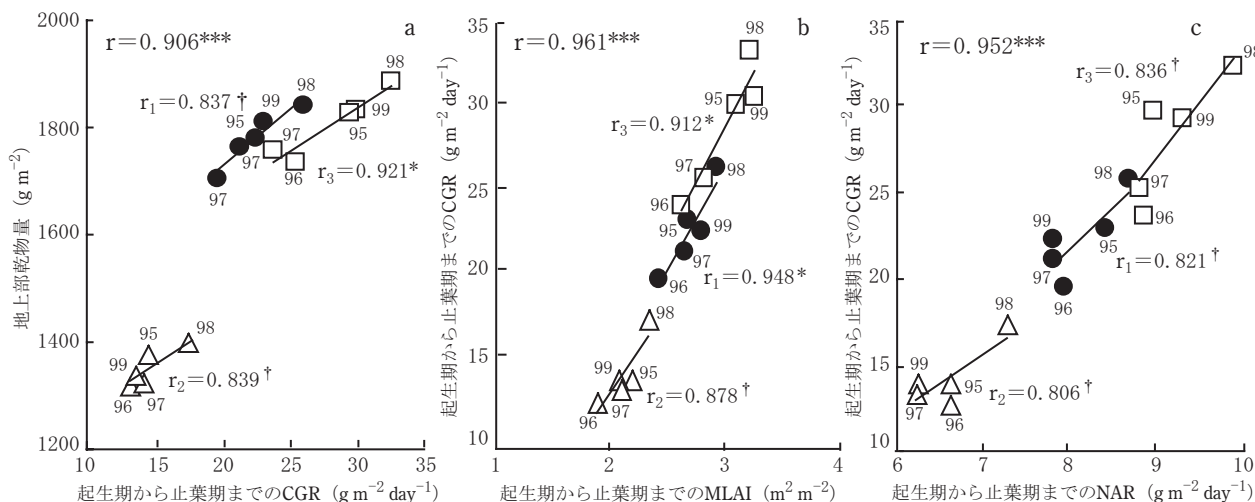
r , r_1 , r_2 , r_3 , r_{1-3} はそれぞれ, 3作物を込みにした場合, ライコムギのみ, コムギのみ, ライムギのみ, ライコムギとライムギ2作物を込みにした場合の相関係数を示し, ***, **, *, †はそれぞれ0.1, 1, 5, 10%水準で有意, nsは有意差がないことを示す。

図中の数字は試験年次の西暦の下二桁を表す。

4. 子実収量, 黄熟期の地上部乾物重, および収穫指数と成長パラメータとの関係

第3図-aに5ヶ年間にわたる黄熟期の地上部乾物重と子実収量の関係を示した。地上部乾物重と子実収量の間には3作物全体では1%水準で有意な正の相関関係 ($r = 0.767$) がみとめられた。各作物別にみても, ライコムギ, コムギ, ライムギそれぞれに10%水準で有意な正の相関

関係 ($r_1 = 0.806$, $r_2 = 0.847$, $r_3 = 0.812$) がみとめられた。ライコムギとコムギにおける両形質を比較すると, ライコムギはコムギに比べて, いずれの年次でも地上部乾物重と子実収量がともに大きかった。すなわち, 両作物における子実収量の差異は, 年次間の変異を考慮した場合でも地上部乾物重の差異に起因したと考えられる。また, ライコムギとライムギにおける両形質間の関係を比較する



第4図 5ヶ年の共通品種における各作物の起生期から止葉期までの個体群成長速度 (CGR) と黄熟期の地上部乾物重 (a), 起生期から止葉期までの平均葉面積指数 (MLAI) と CGR (b), および起生期から止葉期までの純同化率 (NAR) と CGR (c) との関係。

図中のシンボルは第3図と同一。

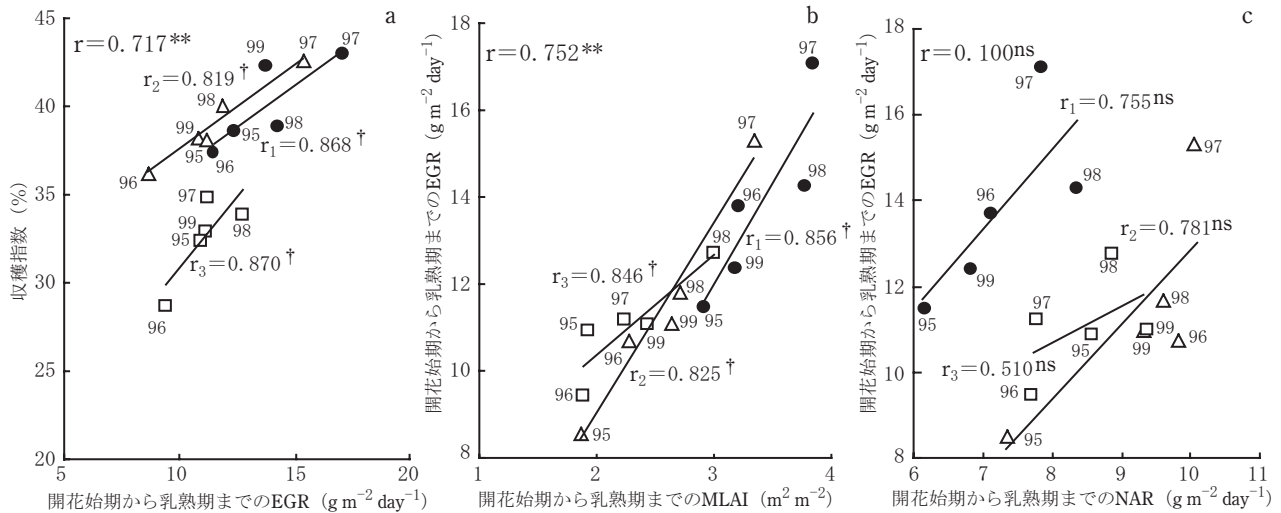
と、両作物ともに、地上部乾物重の大きい年次には子実収量が増加する傾向を示し、年次間における子実収量の差異は地上部乾物重の差異に起因したと考えられる。しかし、地上部乾物重に対する子実収量の回帰直線は、ライムギに比べてライコムギの方が上方に位置する傾向を示し、また、地上部乾物重の年次間差異の幅は両作物でほぼ同一であった。すなわち、地上部乾物重が同一でも子実収量はライコムギの方が大きかったことを意味している。したがって、両作物間における子実収量の差異は主として地上部乾物重以外の要因によって影響されたものと考えられる。

第3図-bに収穫指数と子実収量の関係を示した。両形質間には3作物全体では有意な相関関係 ($r = 0.321$) はみとめられなかった。しかし、各作物別にみると、ライコムギ、コムギ、ライムギそれぞれに 10, 1, 5%水準で有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.809$, $r_2 = 0.946$, $r_3 = 0.878$) がみとめられた。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、両作物ともに収穫指数の高い年次には子実収量が増加する傾向を示し、年次間における子実収量の差異は収穫指数の差に起因したと考えられる。しかし、収穫指数に対する子実収量の回帰直線はコムギに比べてライコムギの方が上方に位置する傾向を示し、収穫指数の年次間の幅は両作物でほぼ同一であった。すなわち、収穫指数が同一でも子実収量はライコムギの方が大きかったことを意味している。したがって、両作物間における子実収量の差異は主として収穫指数以外の要因によって影響されたものと考えられる。また、ライコムギとライムギにおける両形質間の関係を比較すると、両作物を込みにした場合、両形質間には 0.1%水準で有意な正の相関関係 ($r_{1-3} = 0.947$) がみとめられ、ライコムギはライムギに比べていずれの年次でも収穫指数と子実収量とともに大きかった。

すなわち、両作物における子実収量の差異は、年次間の変異を考慮した場合でも収穫指数の差異に起因したと考えられる。

第4図-aに5ヶ年の共通品種における各作物の起生期から止葉期までの CGR と黄熟期の地上部乾物重の関係を示した。両形質間には3作物全体では 0.1水準で有意な正の相関関係 ($r = 0.906$) がみとめられた。また、各作物別にみても、ライコムギ、コムギ、ライムギそれぞれに 10, 10, 5%水準で有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.837$, $r_2 = 0.839$, $r_3 = 0.921$) がみとめられた。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、ライコムギはコムギに比べていずれの年次でも地上部乾物重と CGR がともに大きかった。すなわち、両作物における地上部乾物重の差異は年次間の変異を考慮した場合でも起生期から止葉期までの CGR の差異に起因したと考えられる。また、ライコムギとライムギにおける両形質間の関係を比較すると、両作物ともに CGR の大きい年次には地上部乾物重が増加する傾向を示し、年次間における地上部乾物重の差異は CGR の差に由来すると考えられる。しかし、CGR に対する地上部乾物重の回帰直線はライムギに比べてライコムギの方が左方に位置した。すなわち、ライコムギの CGR はライムギよりも低いにもかかわらず、両作物の地上部乾物重に大差がみられないことを意味している。

第4図-bに起生期から止葉期までの MLAI と CGR の関係を示した。両形質間には3作物全体では 0.1%水準で有意な正の相関関係 ($r = 0.961$) がみとめられた。また、各作物別にみても、ライコムギ、コムギ、ライムギそれぞれに 5, 10, 5%水準で有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.948$, $r_2 = 0.878$, $r_3 = 0.912$) がみとめられた。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、ライコムギ



第5図 5ヶ年の共通品種における各作物の開花始期から乳熟期までの穂重増加速度 (EGR) と収穫指数 (a), 開花始期から乳熟期までの平均葉面積指数 (MLAI) と EGR (b), および開花始期から乳熟期までの純同化率 (NAR) と EGR (c) との関係。

図中のシンボルは第3図と同一。

はコムギに比べていずれの年次でも MLAI と CGR がともに大きかった。すなわち、両作物における起生期から止葉期までの CGR の差異は、年次間の変異を考慮しても同期間の MLAI の差に起因すると考えられる。また、ライコムギとライムギにおける両形質間の関係を比較すると、ライコムギの MLAI と CGR は同一年次では常にライムギに比べて小さかった。すなわち、ライコムギの起生期から止葉期の CGR がライムギに比べて低いのは、同期間の MLAI の差に由来すると考えられる。

第4図-cに起生期から止葉期までの NAR と CGR の関係を示した。両形質間には3作物全体では0.1%水準で有意な正の相関関係 ($r = 0.952$) がみとめられた。また各作物別にみても、ライコムギ、コムギ、ライムギそれぞれに10%水準で有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.821$, $r_2 = 0.806$, $r_3 = 0.836$) がみとめられた。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、ライコムギはコムギに比べていずれの年次でも NAR と CGR がともに大きかった。すなわち、両作物における起生期から止葉期までの CGR の差異は MLAI だけでなく、同期間の NAR の差にも起因すると考えられる。また、ライコムギとライムギにおける両形質間の関係をみると、ライコムギの NAR は同一年次では常にライムギに比べて低かった。すなわち、ライコムギの起生期から止葉期までの CGR がライムギを下回るのは MLAI だけでなく、同期間の NAR の差にも由来するといえる。

第5図-aに開花始期から乳熟期までの EGR と収穫指数の関係を示した。両形質間には3作物全体では1%水準で有意な正の相関関係 ($r = 0.717$) がみとめられた。また各作物別にみても、ライコムギ、コムギ、ライムギそれぞれに10%水準で有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.868$, $r_2 = 0.819$, $r_3 = 0.870$) がみとめられた。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、両作物ともに EGR の大きい年次には収穫指数が高くなる傾向を示し、年次間における収穫指数の差異は EGR の差に起因すると考えられる。しかし、収穫指数の年次間差異の幅は両作物でほぼ同一であったが、EGR は同じ年次で比較すると常にライコムギがコムギを上回っていた。すなわち、収穫指数が同一でも開花始期から乳熟期までの EGR はライコムギがコムギに比べて高いことを意味している。また、ライコムギとライムギにおける両形質間の関係を比較すると、ライコムギはライムギに比べていずれの年次でも EGR と収穫指数がともに大きかった。すなわち、両作物における収穫指数の差異は、年次間の差異を考慮しても開花始期から乳熟期までの EGR の差異に起因すると考えられる。

第5図-bに開花始期から乳熟期までの MLAI と EGR の関係を示した。両形質間には3作物全体では1%水準で有意な正の相関関係 ($r = 0.752$) がみとめられた。また各作物別にみても、ライコムギ、コムギ、ライムギそれぞれに10%水準で有意な正の相関関係 ($r_1 = 0.856$, $r_2 = 0.825$, $r_3 = 0.846$) がみとめられた。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、両作物ともに MLAI の高い年次に EGR も高い傾向を示し、年次間における EGR の差は MLAI の差に起因すると考えられた。ライコムギの EGR と MLAI はともに、同一の年次では常にコムギを上回っていた。すなわち、両作物における開花始期から乳熟期までの EGR の差異は年次間の変異を考慮しても同期間の MLAI の差に起因する。一方、ライコムギとライムギにおける両形質間の関係を比較すると、両作物ともに MLAI の高い年次に EGR も高い傾向を示し、ライコムギの EGR と MLAI はともに、同一年次では常にライムギを上回っていた。すなわち、ライコムギとライムギにおける開花始期から乳熟期までの EGR の差異も、ライコムギとコムギの

場合と同様に同期間の MLAI の差異に由来すると考えられた。

第5図-cに開花始期から乳熟期までの NAR と EGR の関係を示した。両形質間には3作物全体においても、各作物別でも有意な相関関係がみとめられなかった。すなわち、ライコムギとコムギ、およびライコムギとライムギにおける EGR の差異は主として NAR 以外の要因に影響されたものと考えられる。

5. 子実収量、地上部乾物重および収穫指数における各作物の品種間差異

第5表に複数の品種を供試した1995年と1999年における子実収量、黄熟期の地上部乾物重および収穫指数を品種別に示した。各作物の品種間差異について検討すると、ライコムギでは、1999年において Presto が短稈品種の Disco と Pinokio に比べて、地上部乾物重が大きく収穫指数が低かった。コムギでは、1995年においてチホクコムギがホクシンと月寒1号に比べて、子実収量と地上部乾物重がともに小さかった。ライムギでは、1999年において Warko は旧品種の Paldanghomil と Petkuser に比べて子実収量と収穫指数がともに高かった。

このように、各作物において有意な品種間差異はみられたものの、各形質における作物間の大小関係は代表品種 Presto、ホクシン、Warko の間で比較した場合（第4表）とすべて同じであり、子実収量はライコムギがコムギとライムギに比べて大きく、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大きく、収穫指数はライコムギとコムギがライムギに比べて高かった。これらの作物間差異を

越える品種間の差異がみとめられたのは、1999年におけるライコムギの短稈品種 Pinokio の子実収量と地上部乾物重の場合のみであった。すなわち、Pinokio の子実収量はライムギ品種の Warko と、また地上部乾物重はコムギ品種のホクシンと有意な差異がみとめられなかった。

考 察

ライコムギ品種を海外から北海道へ導入した場合、子実収量の品種間変異が大きく、低収品種は越冬性が劣り、穂数が確保されない傾向にあること、多収品種は穂数がコムギ並みかそれ以上に確保され、一穂重が大きいたことが報告されている（中司ら2002）。また、1980年代後半以降にポーランドで育成された品種の多くが穂重型に該当することが報告されている（義平ら2000）。これらのライコムギ品種の多収性を成長解析の観点から検討した結果、以下のような結論が得られた。

コムギとの子実収量の差は黄熟期の地上部乾物重の差に由来するものであり、それは、ライコムギの栄養成長期間の MLAI と NAR の両方がコムギよりも大きいことによってもたらされた。また、ライムギとの子実収量の差は収穫指数の差に由来するものであり、それは、ライコムギの登熟期間の MLAI がライムギよりも大きいことによって生じた。しかも、これらの作物間差異は作物内の品種間差異を大きくこえていた。すなわち、供試したライコムギ品種の多収性は、ライムギが具備する起生期から止葉期まで高い乾物生産能力と、最近のコムギ品種が具備する高い EGR をあわせもつことにより実現しているといえる。前述したようにコムギにおいても収量レベルを今以上に向上させる

第5表 複数品種を供試した試験年次における各作物の子実収量、黄熟期の地上部乾物重および収穫指数。

作物	品種	育成地	1995			1999		
			子実 収量 (gm^{-2})	地上部 乾物重 (gm^{-2})	収穫 指数 (%)	子実 収量 (gm^{-2})	地上部 乾物重 (gm^{-2})	収穫 指数 (%)
ライコムギ	Presto	ポーランド	733 a	1705 ab	37.4 bc	805 a	1811 a	38.7 b
	Tewo	ポーランド	723 a	1717 ab	36.6 c	—	—	—
	Moniko	ポーランド	725 a	1662 b	37.9 b	—	—	—
	Disco	ポーランド	—	—	—	788 a	1620 b	42.3 a
	Pinokio	ポーランド	—	—	—	756 ab	1471 c	44.7 a
コムギ	ホクシン	北海道	606 d	1378 c	38.3 b	588 c	1341 c	38.2 b
	チホクコムギ	北海道	502 e	1129 c	38.7 ab	—	—	—
	月寒1号	北海道	642 c	1411 c	39.6 a	—	—	—
ライムギ	Warko	ポーランド	684 b	1707 ab	34.9 d	686 b	1826 a	32.7 c
	Amilo	ポーランド	679 b	1766 a	33.4 d	—	—	—
	Mardar	ポーランド	631 cd	1705 ab	32.2 d	—	—	—
	Paldanghomil	韓国	—	—	—	507 c	1563 b	28.2 cd
	Petkuser	ドイツ	—	—	—	531 c	1823 a	25.3 d

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とし、異なるアルファベット間に有意差があることを表す。

ために穂重型の品種が有用であるとの指摘（後藤 1987, 水落 1990）がみられる。コムギより長稈穂重型である属間雑種ライコムギ（義平ら 2000）をコムギと比較することにより得られた本試験の結論は、最近のコムギ品種の多収性育種の方向性についての指摘を支持している。

春播性コムギの多収性を検討した報告と比較すると、Aparicio ら（2002）は、スペインのデュラムコムギにおいて栄養成長期間の MLAI と全乾物生産量が大きい品種が多収を示すと報告している。本実験におけるコムギ品種と比較した場合のライコムギ品種の多収要因は、Aparicio らの報告と一致した。一方、Wang ら（2002）はカナダの春播性コムギ品種を比較し、新品種は旧品種に比べて、登熟期間の EGR が高いことによって多収を実現していると指摘している。本実験におけるライコムギと比較した場合のライコムギの多収要因は Wang らの報告とほぼ一致する。しかし、高橋ら（1989）は、ドイツのコムギ品種の多収性には、出穂前の稈への同化産物の蓄積量の大きさが関与していると報告している。本実験における 3 作物の比較では登熟期間の MLAI の違いによる穂部乾物生産量そのものの差異が子実収量の差に結びついていることや、出穂前の稈への同化産物の蓄積量に 3 作物の間で大差がみられない（義平ら 1998）と報告されていることから、高橋らの報告とは結果を異にした。

また、本試験の場合、栄養成長期間の MLAI のみならず、NAR の高さもライコムギの高い乾物生産に寄与していた。このライコムギの栄養成長期間の NAR の高さが何に基づくかはいまだ不明の点が多いが、幼穂形成期までのライコムギの草型がコムギに比べてより水平型であり、ライコムギの方がコムギに比べて受光率が早く高まること（義平ら 1999）や、本試験の場合、栄養成長期間の平均気温が高温年次でさえ 13℃を下回っていることから、低温時のライコムギの光合成速度がコムギよりも優れる（米田ら 2002）ことに関連する可能性がある。

謝辞：ライコムギとライムギの供試品種の入手については、ポーランドダンコ社の M. S. Pojmaj および Z. Banaszak 両博士にご協力頂いた。圃場管理については、北海道農業研究センター業務科の方々に、また調査については、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ご協力頂いた。とりまとめにあたっては、元北海道農業試験場養分動態研究室室長水落勤美氏にご助言を頂いた。また、北海道立中央農業試験場作物開発部部長吉良賢二氏にご校閲を頂いた。これらの方々に心から感謝する。

引用文献

- Andrews, A. C., R. Wright, P. G. Simpson, R. Jessop, S. Reeves and J. Wheeler 1991. Evaluation of new cultivars of triticale as dual-purpose forage and grain crops. *Aust. Exp. Agric.* 31 : 769–775.
- 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.
- Arseniuk, E. and T. Oleksiak 2002. Production and breeding of cereals in Poland. *Proc. 5th Int. Triticale Symp. Radzikow, Poland.* 1 : 14.
- Brown, W. L., R. Bressani, D. V. Glover, A. R. Hallauer, V. A. Johnson and C. O. Qualset 1989. History. In Vietmeyer, N. T. ed., *Triticale : a promising addition to the world's cereal grains*, National Academy Press, Washington. 8–13.
- 後藤寛治 1987. 収穫指数の意義と限界. *育種学最近の進歩*. 23 : 21–28.
- Juskiw, P. 1998. Triticale production by country 1997/1998. *Proc. 4th Int. Triticale Symp. Red Deer, Alberta.* 2 : 1.
- Karpenstein, M. M. and J. Heyn 1991. Die Ertragebildung der Wintergetreidearten Triticale und Weizen auf klimatischen Grenzstandorten Nordhessens. *Agribiol. Res.* 45 : 88–96.
- Kochhann, C. H., A. C. Baier and S. Wietholer 1990. Harvest index, yield components and nitrogen content in triticale, wheat and rye. *Proc. 2nd Int. Triticale Symp. Rio Grande, Bragil.* 140–143.
- Maclead, J. G., W. H. Pfeiffer, R. M. DePauw and J. M. Clarke 1996. AC Centra spring triticale. *Can. J. Plant. Sci.* 76 : 333–335.
- Mcdonald, H. G. 1991. Rye and triticale in the UK. In *Home-grown cereals authority research review*. 21 : 4–6.
- McIntosh, M. S. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75 : 153–155.
- 水落勤美 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.
- 水落勤美 1993. 北海道におけるライコムギの収量性—コムギおよびライムギとの比較—. *土肥講要* 39 : 233.
- 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.
- Rossi, L., B. Giorgia and C. Mosconi 1990. Breeding achievements and prospects in triticale on Italy. *Proc. 2nd Int. Triticale Symp. Rio grande, Bragil.* 246–248.
- Royo, C. and J. Serra 1993. Triticale for forage and dual-purpose in Catalonia, Spain. *Triticale topics.* 10 : 9–11.
- Sandra, G. S., B. D. Sharma, K. S. Gill and G. S. Dhindsa 1987. Studies on determining the contribution of different characters to grain yield in Triticale. *Proc. 2nd Int. Triticale Symp. Rio grande, Bragil.* 93–97.
- Sharma, B. D., G. S. Sandra, K. S. Gill and G. S. Dhindsa 1987. Physiological and morphological determinants of grain yield at different stages of plant growth in triticale. *Proc. 2nd Int. Triticale Symp. Rio Grande, Bragil.* 98–104.
- Skovmand, B., P. N. Fox and R. L. Villareal 1984. Triticale in commercial agriculture : progress and promise. *Advan. Agron.* 36 : 15–26.
- Sowa, W. and W. Mackowiak 1990. Breeding triticale that is well adapted to variable growing conditions at IHAR. *Proc. 2nd Int. Triticale Symp. Rio Grande, Bragil.* 246–248.
- 高橋肇・中世古公男・後藤寛治 1989. 乾物分配率からみた春播コムギの生育相と品種特性との関係. *日作紀* 58 : 91–95.
- Wang, H., T. N. McCaig, R. M. DePauw, F. R. Clarke and J. M. Clarke 2002. Physiological characteristics of recent Canada western red spring wheat cultivars: Yield components and dry matter production. *Can. J. Plant. Sci.* 82 : 299–306.

- Wolski, T. 1990. Winter triticale breeding. Proc. 2nd Int. Triticale Symp. Rio Grande, Brazil. 41–48.
- Wolski, T. and J. Gryka 1998. Further progress in semi-dwarf winter triticale breeding. Proc. 4th Int. Triticale Symp. Red Deer, Alberta. 2 : 163–166.
- 米田瞳・義平大樹 2002. 秋播ライコムギの光合成速度および葉面積拡大速度に及ぼす温度、窒素の影響—コムギ、ライムギとの比較—。日育・日作北海道談話会報 43 : 79–80.
- 義平大樹・田原義久・唐澤敏彦・中司啓二・有原丈二 1997. 秋播ライコムギ (× *Triticosecale* Wittmack) の収量性に関する基礎的研究. 第2報. 乾物生産性と葉群構造のコムギ、ライムギとの比較. 酪大紀 21 : 201–209.
- 義平大樹・原亜紀子・清水英里子・唐澤敏彦・中司啓二 1998. 秋播ライコムギに対する止葉期の摘葉処理および出穂期以降の稈遮光処理が子実収量に及ぼす影響—コムギ、ライムギとの比較—。日育・日作北海道談話会報 39 : 147–148.
- 義平大樹・渡辺正彦・石田春美・三森絢介・唐澤敏彦 1999. 秋播ライコムギの乾物生産性と群落構造との関係—コムギ、ライムギとの比較—。日育・日作北海道談話会報 40 : 59–60.
- 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.
- 吉村義則 1998. らい麦. 牧草・飼料作物の品種概説. 日本飼料作物種子協会. 167.
- 尹承吉 1998. 韓国中部地方における飼料用らい小麦の品種特性とサイレージ利用に関する研究. 酪農学園大学博士論文, 国立国会図書館, 博士論文目録 99-E-77.

Growth Analysis of High-Yielding Cultivars 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 069-8501, Japan* ; ²⁾ *National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Sapporo 062-8555, Japan.*)

Abstract : Field experiments were conducted to determine the reasons, on the basis of growth analysis, for the high-yielding new winter triticale cultivars bred in Poland in comparison with those of Japanese wheat cultivars, and Polish, Korean and German rye cultivars from 1995 to 1999. The difference in grain yield between triticale and wheat was due to a difference in crop growth rate (CGR) from the regrowing stage after winter to the flag leaf stage. This difference in CGR was attributed to the differences in mean leaf area index (MLAI) and net assimilation rate (NAR) . On the other hand, the difference in grain yield between triticale and rye was due to the difference in harvest index, which resulted from the difference in ear growth rate (EGR) during the grain filling period. The EGR was significantly related to MLAI and the dry matter partitioning ratio to ear during the grain filling period. The differences among the three crops were greater than cultivars differences in each crop. These results indicated that the high yield of the new winter triticale cultivars was derived from a combination of the high vigor at the early vegetative growth stage in rye and the high efficiency of grain filling in wheat.

Key words : Cultivar, Differences among crops, Dry matter production, Grain yield, Growth analysis, Rye, Triticale, Wheat.