日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）70(3)：373—378（2001）

品質・加工

コムギ種子の登熟とフォーリングナンバー値との関係

庵英俊*
（ホクレン農業協同組合連合会）

要旨：アミロ粘度が高い良質のコムギを適期に収穫するための知見を得る目的で，1996年と1997年に北海道の主要産地で秋播コムギ（品種チホクコムギとホクシン）の登熟期における千粒重，子実水分，フォーリングナンバー（FN）値の推移を調査した．年次により粒重の増加速度が異なり，千粒重が最大となる時期（粒重最大期）に差異がみられた．子実水分は40%までは年次および産地を問わずほぼ一定の速度で低下した．しかし，40%を切ってからは年次や産地により異なり，出穂後55日でも水分が30%以下にならない場合や，2～3日のうちに30%を切る場合などがあった．粒重最大期の年次間差や子実水分40%以降の低下速度の違いは登熟期の気温，日照時間，降水量の影響が大きいと考えられた．FN値は，1996年には上昇をはじめる時期が遅くその上昇程度も小さく，最大値が300 sec以下の産地が多かった．1997年のFN値上昇は出穂後32～34日の早い時期にはじまり，ホクシンはチホクコムギよりFNの最大値が大きく，300 sec以上を示す期間が長かった．FN値が300 secを超えると生理的成熟期にあたる粒重最大期を過ぎており，これ以降であればアミロ粘度が高い良質コムギの収穫が可能と考えられた．
キーワード：コムギ，子実水分，千粒重，登熟，フォーリングナンバー値，粒重最大期．

北海道では，7月中旬から8月上旬にかけてのコムギの収穫期に降雨に遭遇しやすく，しばしば穂発芽や粘度の低い低アミロコムギ（アミログラム最高粘度が300 B.U.以下のコムギ）が発生する．このような雨害を受けたコムギを使用すると，パンやうどんなどへの2次加工適性が著しく低下するため（平野 1971，食糧庁管理部検査課 1988），穂発芽や低アミロコムギの発生を軽減することが求められている（土屋 1982，長内 1985）．その対策として，穂発芽耐性品種の開発が重要であるが，開発には長い時間を必要とする．コムギの高品質・安定生産のための収穫時期判定技術の確立が望まれている．

現在の機械化されたコムギの収穫体系では，収穫適期の判定は子実水分を目安としており，子実水分が約30%以下になった時点を適期としている（平野ら 1969）．しかし，子実水分の低下は気象条件により左右される．子実水分が40%の段階では，晴天だと水分の低下が大きく，1日あたり5～6%も低下する場合がある一方で，降雨があると水分は減少せず，むしろ増加する（宮本ら 1986）．子実水分が40%以下になり30%まで到達する日数は，2～3日の場合や7～8日以上も要する場合があり，40%前後以降に不順な天候が続く場合，水分の低下速度を予測することは難しい．このことから，現在の子実水分による収穫適期の判定は正確なものではなく，場合によっては，30%以上の高水分で経過することによる低アミロコムギの発生（野田 1999）にも影響すると考えられる．したがって，良質なコムギを収穫するためには，子実水分の把握に加えて，より的確に収穫時期を判断できる方法が求められる．

コムギの粘度測定にはアミログラフ法が公定法とされている．しかし，この方法では製粉作業が必要であり，測定時間も長い．一方，フォーリングナンバー（以下FN）法はアミログラフ法と比較して全粒粉の少量の試料で済み，短時間で測定できる利点をもっている（中津ら 1989，食糧庁管理部検査課 1988）．このため，北海道の生産現場ではFNの測定器が広く普及している．フォーリングナンバー値（以下FN値）とアミログラム最高粘度との相関関係においては，粘度の高い試料では精度は劣るが，低アミロコムギの検出には有効とされている（熊谷ら 1986，中津ら 1989，尾関・山内 1988）．そのため，生産現場における低アミロコムギの回避を目的とする場合，粘度測定には簡便なFN法を利用する方が適当と考えられる．

そこで，著者は生産現場で活用できるより簡便で正確な収穫適期判定技術の開発を目的に一連の研究を行った．本報では子実水分とアミロ粘度を示すFN値の測定によって，北海道内のコムギ生産現場におけるコムギ子実の登熟過程を明らかにし，収穫適期について検討した．

材料と方法

1. 試料の採取

1996年と1997年の2年間，北海道のコムギ主産地である十勝管内，網走管内，空知管内の一般農家圃場で栽培されたチホクコムギとホクシンを対象に調査を行った．品種ごとに各地区2圃場を選んでそれぞれ5 m×10 m（50 m²）の試験区を設定し，この中から対角線状に出穂後30日前後から55日頃まで，ほぼ1日おきに試料を採取した．なお，空知地区は1997年のみ調査した．毎回午前10時までに約400穂を採取して分析試料とした．各圃場における出穂期を第1表に示した．なお，出穂期は止葉から出た穂の数が全体の40～50%の時期とした．

2001年4月23日受理．＊連絡責任者（〒060-0906 札幌市ホクレン農業総合研究所．247 institute 015@hokuren.or.jp）．

NII-Electronic Library Service

第1表　試験地におけるコムギの出穂期.

試験地	品種	1996 (月.日)	1997 (月.日)
十勝A	チホクコムギ	6.18	6.19
	ホクシン	6.12	6.10
十勝B	チホクコムギ	6.23	6.22
	ホクシン	6.18	6.17
網走C	チホクコムギ	6.24	6.23
	ホクシン	6.20	6.17
網走D	チホクコムギ	6.23	6.19
	ホクシン	6.19	6.17
空知E	チホクコムギ	−	6.15
	ホクシン	−	6.10

2. 調査方法

子実水分：採取した10穂を脱粒し，これを135 ℃で4時間乾燥して水分を測定した.

千粒重：採取した試料の子実水分が14%以下になるように，通風乾燥機を用いて50 ℃で8～16時間乾燥した．千粒重は乾燥した100粒の重量を秤量して算出した．上記の測定は3回反復した．なお，秤量した子実を135 ℃，1.5時間乾燥して子実水分を測定し（農林水産技術会議事務局 1968），千粒重を13.5%水分に換算して示した．また，出穂後日数を要因とする一元配置分散分析を行い，スチューデント化した範囲を用いて1%水準の有意差を算出した．これから，千粒重の最大値と有意差がなくなった時期を推定した（松崎・豊田 1997）.

アミログラム最高粘度：小型テストミルQuadrumat junior（ブラベンダー社製）で，70 GGのふるいを用いて製粉し，A粉を調製した．このとき子実の目標水分を15.0%としてテンパリングを行った．このA粉について，ビスコグラフPt 100型（ブラベンダー社製）を用いて測定した（農林水産技術会議事務局 1968）.

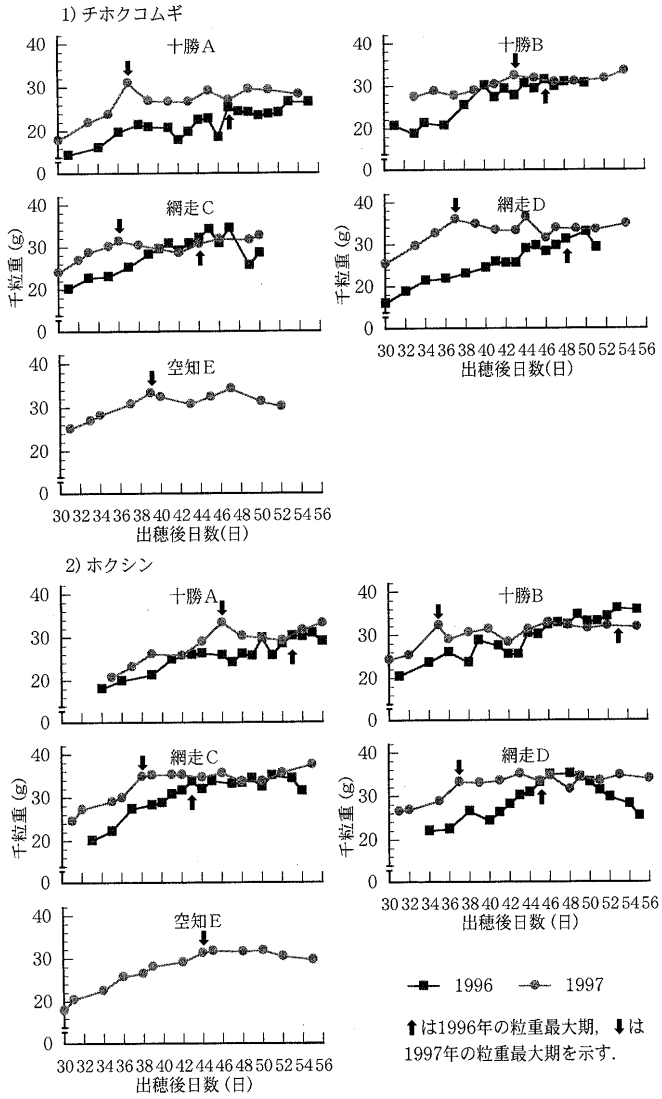
FN値：乾燥した穂から脱穀機で脱粒した子実をラボラトリーミル3100型（Perten社製）で粉砕した．FN値はフォーリングナンバー1800型（Perten社製）を用い，全粒粉7.00 g（14.0%水分ベース）の懸濁液中を攪拌棒が一定の位置まで降下する時間を秒数で読み，これをFN値（sec）とした.

気象データ：各試験地の平均気温，降水量および日照時間は地区のアメダス情報を利用した.

結果と考察

1. 千粒重の推移

1996年および1997年のチホクコムギとホクシンの登熟後期における千粒重の推移を第1図に示した．子実は一般に成熟に向かって乾物の転流により千粒重を増し，粒重が最大となって生理的な成熟期を迎え（Clarke 1983），その後水分が減少する．ここでは粒重が最大を迎えた時期を収穫適期の指標と考え，登熟中の千粒重の推移から，千粒重がはじめて粒重の最大値と1%水準で有意差がなくなる



第1図　登熟後期における千粒重の推移.
粒重最大期とは，千粒重がはじめて粒重の最大値と1%水準で有意差がなくなる時点をいう.

時点（以下粒重最大期と表記する）を求めた．チホクコムギの粒重最大期は1996年では出穂後44～48日であった．これに対して，1997年は出穂後36～43日と同一地区において前年より7～10日間早かった．子実の登熟日数や登熟速度には気温の影響が大きく，低温条件下では登熟期間が延び，その速度が低下する（Evans and Wardlaw 1976，松崎・豊田 1997）．また，遮光処理は子実重の増加速度に影響を及ぼす（Takahashiら 1994）．1996年は1997年より登熟期前半の気温が低温で推移し，また，登熟期の日照時間も非常に少なかったため（第2表），子実重の増加が遅れ，粒重最大期が遅くなったと推察された.

ホクシンもチホクコムギと同様に1996年は1997年に比べて粒重最大期がやや遅く，網走地区は出穂後43～45日で，十勝地区は出穂後53日で最大となった．また，1997年の粒重最大期は多くの地区で出穂後35～38日となり，十勝のA地区と空知地区では出穂後44～46日とやや遅れていた．年次により粒重最大期に差が生じたのは，チホクコムギと同様に登熟期間の気象条件による影響が大きいと

NII-Electronic Library Service

第2表　試験期間の旬別気象状況.

試験地	期間	出穂後日数		平均気温（℃）			降水量（mm）			日照時間（h）		
		チホクコムギ	ホクシン	1996	1997	平年	1996	1997	平年	1996	1997	平年
十勝A	6月下旬	～12	～20	14.3	18.6	14.9	33.0	12.0	30.8	13.4	48.1	52.8
	7月上旬	～22	～30	14.7	18.6	15.9	59.0	27.0	32.2	2.6	27.7	49.2
	7月中旬	～32	～40	20.4	19.2	17.3	66.0	5.0	33.6	33.3	30.7	34.4
	7月下旬	～42	～50	20.1	23.9	19.4	18.0	9.0	26.4	11.0	52.8	53.6
	8月上旬	～52	～60	17.2	20.6	20.7	22.0	175.0	39.9	12.0	17.4	60.5
	合計			86.7	100.8	88.2	198.0	228.0	162.9	72.3	176.7	250.5
十勝B	6月下旬	～8	～13	14.3	18.3	15.0	26.0	7.0	31.1	17.1	58.8	52.9
	7月上旬	～18	～23	14.7	16.3	16.0	48.0	23.0	33.0	3.1	34.3	50.2
	7月中旬	～28	～33	20.3	19.0	17.4	70.0	5.0	33.8	44.9	50.7	32.9
	7月下旬	～38	～43	20.1	23.4	19.5	19.0	5.0	23.0	17.1	57.2	48.4
	8月上旬	～48	～53	17.2	20.7	20.9	13.0	139.0	31.6	18.3	28.3	57.0
	合計			86.6	97.7	88.8	176.0	179.0	152.5	100.5	229.3	241.4
網走C	6月下旬	～7	～13	14.3	16.9	14.3	12.0	21.0	17.2	22.1	28.5	63.8
	7月上旬	～17	～23	14.5	18.5	15.6	42.0	14.0	20.4	16.7	29.6	77.6
	7月中旬	～27	～33	17.8	18.5	17.0	61.0	49.0	28.1	7.5	34.3	62.4
	7月下旬	～37	～43	19.6	24.8	19.0	31.0	7.0	21.8	39.0	89.2	79.4
	8月上旬	～47	～53	16.9	19.2	20.1	27.0	96.0	22.5	23.9	20.3	72.2
	合計			83.1	97.8	86.0	173.0	187.0	110.0	109.2	201.9	355.4
網走D	6月下旬	～11	～13	15.5	17.9	15.3	11.0	39.0	20.1	21.5	30.8	59.9
	7月上旬	～21	～23	15.3	19.1	16.7	39.0	12.0	21.5	16.8	33.3	71.0
	7月中旬	～31	～33	18.8	19.0	18.0	25.0	39.0	32.4	16.5	33.8	53.4
	7月下旬	～41	～43	20.1	26.4	19.8	22.0	0.0	28.1	35.7	94.9	71.9
	8月上旬	～51	～53	17.7	19.9	20.8	23.0	62.0	22.8	34.6	22.4	67.1
	合計			87.4	102.2	90.6	120.0	152.0	124.9	125.1	215.2	323.3
空知E	6月下旬	～15	～20	－	18.7	16.1	－	6.0	23.0	－	33.8	61.5
	7月上旬	～25	～30	－	19.0	17.2	－	57.0	29.9	－	24.6	63.1
	7月中旬	～35	～40	－	20.0	18.5	－	0.0	25.2	－	52.0	55.7
	7月下旬	～45	～50	－	25.1	22.4	－	48.0	25.1	－	65.7	71.7
	8月上旬	～55	～60	－	21.6	21.6	－	167.0	43.9	－	12.3	69.5
	合計				104.4	95.8		278.0	147.1		188.4	321.5

各試験地の市町村で観測されているアメダス情報を利用した.
各品種の出穂期の年次間差は1～3日であり，出穂後日数は早い方の出穂期からの日数を示す.
平年値は1979～1990年に観測された数値の平均値を示す.

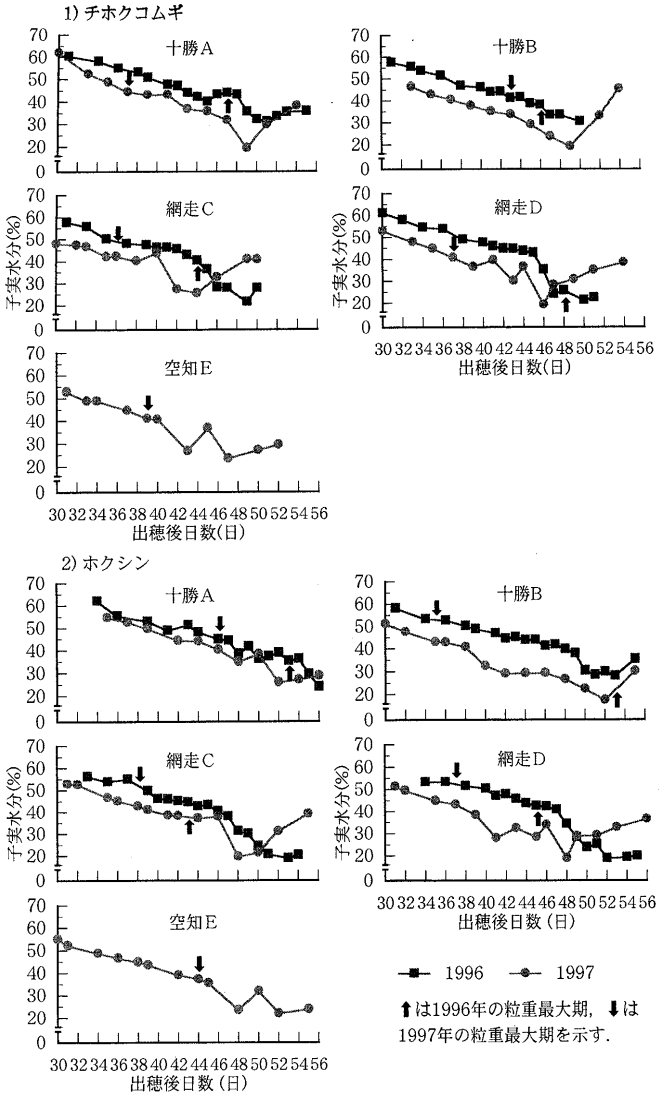
推察された．一方，同一年次でも地区により，あるいは同じ出穂期でも粒重最大期に差が認められており，気象条件だけではなく，栽培条件など他の要因の影響も考えられた.

2. 子実水分の推移

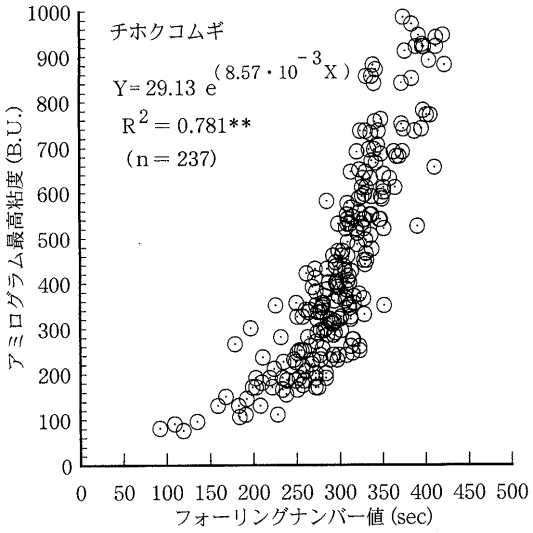
はじめに，40%以上の高水分であるコムギの子実水分を短時間に測定する方法を検討した．135℃，4時間乾燥法と一般的に用いられる105℃で22時間乾燥する方法（宮本ら 1986）を，子実水分の異なるコムギ17試料を用いて比較したところ，両者の差は0.2%とほとんど差はなかった．本法を用いると短時間で40%以上の高水分コムギの水分が測定できるので，翌日の収穫作業についての情報を必要とする生産現場では有効な方法である.

第2図に1996年および1997年のホクシンとチホクコムギの登熟後期における子実水分の推移を示した．子実水分の低下速度は地区により差が生じていたが，品種間には大きな差はなかった．1996年と1997年の2カ年とも，両品種において，子実水分は測定開始から40%前後までは低下速度が緩慢であり，1日あたりの水分減少率は1996年で1.1～1.3%，1997年で1.4～1.5%と少なかった．しかし，子実水分が40%以下になると水分の減少率は気象条件により大きく異なり，1997年のように晴天の日が続くと2日間で15～18%と大きく低下した地区があり，多くの地区では1日あたりの水分の減少は3～5%であった．一方，低温寡照が続いた1996年では，子実水分が40%以下になっても水分の減少は小さかった．特に，他の地区に比べ気温が低く，日照時間が少なかった十勝地区のチホクコムギは，試験期間中に子実水分が30%以下にはならなかった．1997年には試験期間後半の降雨により，いったん20%以下に低下した子実水分が約40%まで上昇する場合もみられた．以上のように，子実水分は40%前後が転換点となることが確認され，宮本ら（1986）および松崎・豊田（1997）の報告とよく一致した．子実水分が40%以下になるとその低下速度は年次により大きく変動し，収穫適期を判断するためにはこの時期から細かな水分測定が必

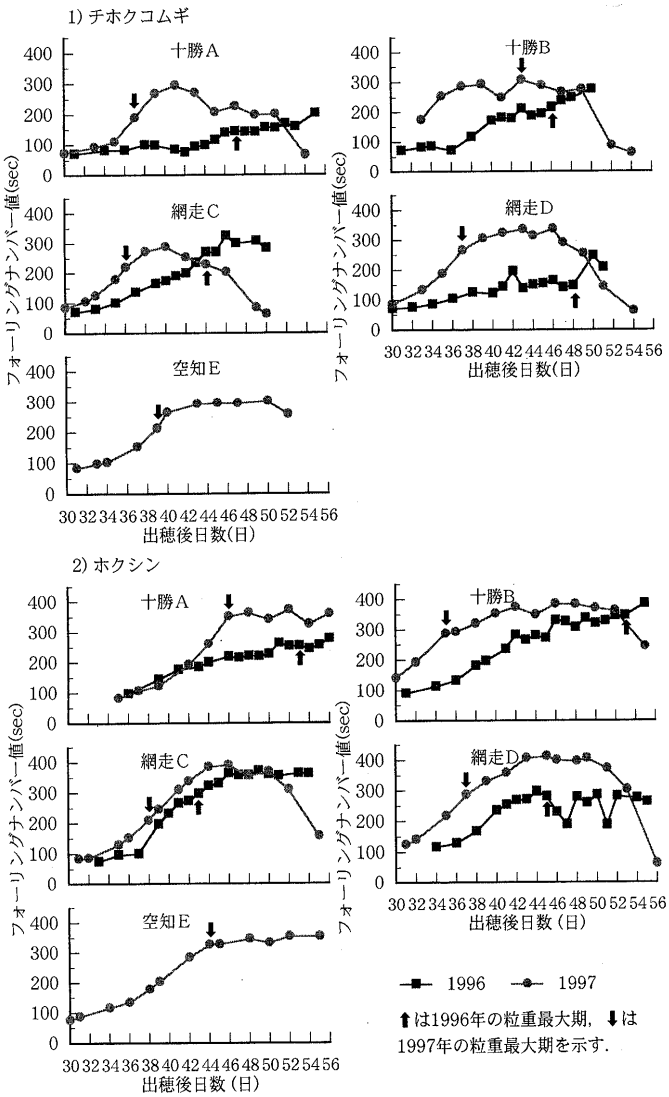
NII-Electronic Library Service



第2図　登熟後期における子実水分の推移.
粒重最大期とは，千粒重がはじめて粒重の最大値と1%水準で有意差がなくなる時点をいう.



第3図　フォーリングナンバー値とアミログラム最高粘度との関係.
**：決定係数 R^2 が1%水準で有意であることを示す.



第4図　登熟後期におけるフォーリングナンバー値の推移.
粒重最大期とは，千粒重がはじめて粒重の最大値と1%水準で有意差がなくなる時点をいう.

要である.

チホクコムギの粒重最大期の子実水分は十勝のB地区の35～38%と1996年の網走のD地区の26%を除き，他の地区では41～44%を示した．ホクシンの子実水分は1996年の十勝A地区と1997年の空知地区の36～37%を除き，40～45%を示す地区がほとんどであった.

3. FN値の推移

コムギの粘度測定には少量の試料で操作が簡便なFN法を用いた．FN値とアミログラム最高粘度との関係について，昭和62年から平成5年まで北海道内で生産されたチホクコムギ237試料を用いて実際に両法を比較したところ，$Y=29.13\,e^{0.00857\cdot X}$ の指数回帰式にあてはまり，$R^2=0.781^{**}$（**は有意水準1%）の決定係数が得られた（第3図）{Yはアミログラム最高粘度（B.U.），XはFN値(sec)}．この式から，FN値を300 secとするとアミログラム最高粘度は低アミロコムギの限界値である300 B.U.を超えて約380 B.U.となる．そこで，FN値が300 sec以

NII-Electronic Library Service

上であれば低アミロコムギの回避が可能と考え以下の解析を行った．なお，ホクシンについては本回帰に準ずるものとして扱った．

1996年と1997年のチホクコムギとホクシンの登熟後期におけるFN値の推移を第4図に示した．チホクコムギでは，1996年は登熟期間の低温寡照によりFN値の上昇速度が小さく，上昇時期も遅い傾向にあった．網走のC地区でFN値が300 secに達したが，他の地区では300 secに到達しなかった．一方，1997年は登熟期間の天候が比較的良好で，FN値は出穂後35～36日に200 secを超え，その後も上昇を続けて出穂後40～43日に最大値を示した．最大値は網走のD地区で300 secを超えて最も高かった．登熟期の後半には断続的な降雨により，いずれの地区でもFN値は低下した．ホクシンでは，1996年は十勝のA地区を除き，出穂後40日前後でFN値が200 secを超え，出穂後44～46日でほぼ最大を示し，それ以降は同程度で推移した．1997年は出穂後33～38日にFN値が200 secを超え，出穂後44～46日でほぼ最大となり，それ以降約1週間は300 sec以上を示した．しかし，十勝Aと空知地区を除く他の地区では後半の連続的な降雨により低下した．また，FN値が300 sec以上となった圃場では，300 secを超えてからチホクコムギは1～3日後，ホクシンは2～5日後に最大の時期に達していた．

子実水分とFN値との関係をみると，チホクコムギとこれより耐穂発芽が強いとされるホクシン（天野 1994）ともに一部の地区において，子実水分が30%以下になってもFN値が300 secに達しない場合がみられた．また，チホクコムギでは子実水分が30%以下になった時点でFN値が既に300 sec以下に低下し始めている場合も認められた．

FN値は両品種とも1997年に比べて1996年で低い傾向であった．その理由として1996年の登熟期の気象条件が低温多雨寡照であったためで，中津ら（1994）が報告したように，成熟期以前の低温多湿によって子実水分の低下は緩慢となり，澱粉分解酵素であるα-アミラーゼ活性が高く維持されて低アミロコムギが発生したと推察される．また，このような条件下での赤かび病の発生による登熟不良の影響も考えられる．1997年のチホクコムギはFN値が300 sec前後で最大に達した後に低下した．この理由は，登熟期後半の断続的な降雨によって子実中のα-アミラーゼ活性が増大したためと推察される（平野 1971，中津ら 1994，長内 1985）．

生理的成熟期にあたる粒重最大期のFN値は，チホクコムギでは十勝のB地区を除き150～270 secであり，一方，1996年の十勝B，1997年の十勝Aと空知地区を除いてホクシンでも210～290 secと上昇中の数値を示す事例が多くみられた．また，1997年の十勝Aおよび空知地区の粒重最大期のFN値は350 secとほぼ最大に到達した時点であったが，その時期はFN値が300 secを超えてからわずか1日後であった（第4図）．1996年の十勝のB地区ではこの時期のFN値は345 secと高い値を示したが，低温，日照不足など気象要因から登熟が遅れたことから，粒重の増加が遅れFN値の増加とは異なる傾向を示したと推察される．低アミロコムギの発生を避けて収穫するためには，その後の低下を見込してFN値が300 sec以上に達している必要がある．この時点では乾物生産がほぼ完了する粒重最大期（Clarke 1983，Housleyら 1982，松崎・豊田 1997，Scottら 1957）をすでに経過している．したがって，FN値が300 secを超えた時期であれば北海道のいずれの産地でもアミロ粘度が高い良質なコムギの収穫が可能であると判断された．

謝辞：本研究を取り進めるにあたり，圃場の設置や管理など種々ご配慮頂いた生産者ならびに小麦の採取などにご助力頂いた関係農協各位，種々ご指導いただいた北海道立農業試験場ならびに北海道の関係各位に厚く御礼申し上げます．本報告を取りまとめるにあたり，帯広畜産大学教授沢田壮兵博士，株式会社北海道グリーンバイオ研究所細胞研究部長新発田修治博士，財団法人北農会常務理事国井輝男氏には多大なご指導，ご助言をいただきました．記して謝意を表します．

引用文献

天野洋一 1994. 秋播小麦新品種「ホクシン」（小麦農林142号）．総合農業の新技術 8：44―49.

Clarke, J.M. 1983. Time of physiological maturity and post-physiological maturity drying rates in wheat. Crop Sci. 23：1203―1205.

Evans, L.T. and I.F. Wardlaw 1976. Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. Adv. Agron. 28：301―359.

平野寿助・吉田博哉・江口久夫 1969. 暖地における小麦の良質化栽培に関する研究．（第3報）収穫時期・乾燥剤散布および乾燥方法と品質との関係．中国農試報告 A17：113―126.

平野寿助 1971. 小麦登熟期の遭雨による品質低下とその機作に関する研究．中国農試報告 A20：27―78.

Housley, T.L., A.W. Kirleis, H.W. Ohm and F.L. Patterson 1982. Dry matter accumulation in soft red winter wheat seeds. Crop Sci. 22：290―294.

熊谷健・桑原達雄・入来規雄・田端聖司・山内富士雄 1986. 小麦粉の簡易品質検定法について．北海道農試研究資料 31：1―15.

松崎守夫・豊田政一 1997. コムギ品質の登熟にともなう推移．第1報 一粒重と子実含水量．日作紀 66：177―182.

宮本裕之・今友親・関口明 1986. 十勝地方における秋播小麦の子実水分の減少経過とその簡易測定法について．北農 53：38―43.

中津智史・市川信雄・平春枝・斉藤昌義・相馬暁 1989. 低アミロ小麦の二・三の検定法の比較．北農 56：17―33.

中津智史・市川信雄・大村邦男 1994. チホクコムギの成熟期前後における穂水分の変化とα-アミラーゼ活性の推移．道立農試集報 66：7―14.

野田和彦 1999. 地球環境の変動が資源植物に及ぼす影響．最近の不安定な天候とコムギ品質．環境技術 28：460―463.

NII-Electronic Library Service

農林水産技術会議事務局 1968. 小麦品質検定方法—小麦育種試験における—. 1—70.
長内俊一 1985. 道産小麦の安定生産条件<第2回> 3. 低アミロ問題と穂発芽抵抗性. 北農 52 : 1—19.
尾関幸男・山内富士雄 1988. フォーリングナンバーによる小麦の品質評価について. 北農 55 : 16—23.
Scott, G.E., E.G. Heyne and K.F. Finney 1957. Development of the hard red winter wheat kernel in relation to yield, test weight, kernel weight, moisture content and milling and baking quality. Agron. J. 49 : 509—513.
食糧庁管理部検査課 1988. 小麦のアミロをめぐる諸問題 (「アミロ問題懇談会」報告書). 1—228.
Takahashi, T., N. Tsuchihashi, T. Takaku and K. Nakaseko 1994. Grain filling mechanisms in spring wheat III. Effects of shadings on dry matter accumulation in grain and culm. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 313—319.
土屋俊雄 1982. 耐穂発芽性育種. 道立農試資料 15 : 138—145.

The Relationship between Grain Ripening and Falling Number in Winter Wheat Seeds : Hidetoshi IHORI* (*HOKUREN Agric. Res. Inst., Sapporo 060-0906, Japan*)

Abstract : This study was undertaken to estimate the optimum time to harvest the grains of winter wheat with high amylogram viscosity. In 1996 and 1997, three characteristics ; kernel weight, grain moisture content and falling number of two cultivars, Chihoku-komugi and Hokushin, were determined during the ripening stage. The samples were taken from five different field locations in Hokkaido. In both years, the time of maximum grain weight (T_{max}) , which indicates physiological maturity, varied with the weather conditions during the ripening stage. Grain moisture content decreased gradually to 40% at a similar rate in all cases, but the rate of decrease below 40%, decrement in moisture content varied with the field location and year (weather conditions). In 1996, grain viscosity started to increase late and slowly, the maximum falling number being less than 300 sec in many locations. In 1997, the viscosity started to increase earlier 32 to 34 days after heading. Hokushin had a higher falling number and kept the viscosity value of over 300 sec for a longer period than Chihoku-komugi. It was concluded that in order to avoid low amylogram viscosity, we have to harvest the grains when the falling number is over 300 sec. This is because at this stage, Tmax had already been reached.

Key words : Falling number, Grain moisture content, Kernel weights, Ripening, Time of maximum grain weight, Wheat.

NII-Electronic Library Service