

コムギの発育日数の変動要因の解析と生育期予測

—発育日数の実態と早生化—

江口久夫*・島田信二

(中国農業試験場)

要旨:コムギの生育期は品種・播種期・年次により変異し、品種間差と播種期間差は生育初期の播種～幼穂分化相の長さや幼穂分化期で大きく、後期ほど小さく、成熟期でもっとも小さかった。幼穂分化期以降の発育相の長さは、その発育相の開始期との間に高い負の相関関係が認められた。このことは播種期・幼穂分化期を早めても、開花期・成熟期が早まらないことと、同一の生育期でないと発育相の長さの品種間差が比較できないことを示しており、コムギの早生化を困難にしている原因と思われた。また、発育相の長さは平均気温と高い負の相関関係を示したが、他の気象要因とは、平均気温と相関があるときに相関が高い傾向があり、直接関係しているかは特定できなかった。気象要因を説明変数として、発育相の長さを予測する重回帰式を求めたが、年次により、計算方法により異なった式になり、生理的に意味のある予測式は得られなかった。早生化のための育種素材として出穂～開花相、開花～成熟相が短い品種を人工気象条件（ファイトトロン）で選抜した。出穂～開花相が短い品種は止葉展開～出穂期間が長い傾向があり、止葉展開～開花期間で標準品種より短い品種は認められなかった。開花～成熟相では *T. spelta* などが2～4日短く、早生化の育種素材として有望であった。

キーワード:気象要因, コムギ, 重回帰, 生育期予測, 成熟期, 発育相, 発育日数, 早生。

コムギの播種から出芽、幼穂分化、出穂、開花を経て成熟に至る発育過程を品種の生理生態的な特性に基づいて、環境条件から定量的に説明、予測しうる予測式を開発することは「作付体系、作業体系の作成」、「適品種、適作期の選定と地帯区分」、「凍霜害などの気象災害の予測」などに利用でき、実用性は高い。特に、海外の開発途上国（低緯度地帯）でコムギを新しく導入する場合に有効と思われる。本報告ではほ場条件における生育期と発育相の長さの実態と気象要因との関係について検討した。

また、発育日数に関連して、コムギの早生化は「梅雨害の回避」、「後作との作期競合の緩和」などのため、古くから強く要望されている課題である。わが国のコムギの早生品種は1936年に農林20号が育成された後、1975年にゴガツコムギ、1988年にフクワセコムギが育成されているが、その50年間に成熟期でみると4日程度の早生化しか達成されていない（橋本ら1966、江口ら1984）。このことはこの課題がいかに困難であるかを示すものと思われる。本報告ではこの早生化を困難にしている原因と対策についても検討した。

材料と方法

ほ場試験は農林水産省中国農業試験場（広島県福山市）の灰色低地土の転換畑ほ場において、農林61号、農林72号、ミクニコムギ、オマセコムギ、ゴガツコムギ、中国114号を供試し、1978年から1980年の2作期（1978～1980年試験）に11月12日より12月14日まで8日おきに5回播種し、また1980年から1982年の2作期（1980～1982年試験）に11月17日から3月19日まで1ヶ月おきに5回播種した。1区面積は3.15 m²、播種期を

大試験区とする2反復の分割区試験法により実施した。播種量は200粒/m²で条間30cmのドリル播、基肥は3要素各0.7 kg/a、追肥は窒素0.2 kg/aを節間伸長期に施用した（江口ら1984）。

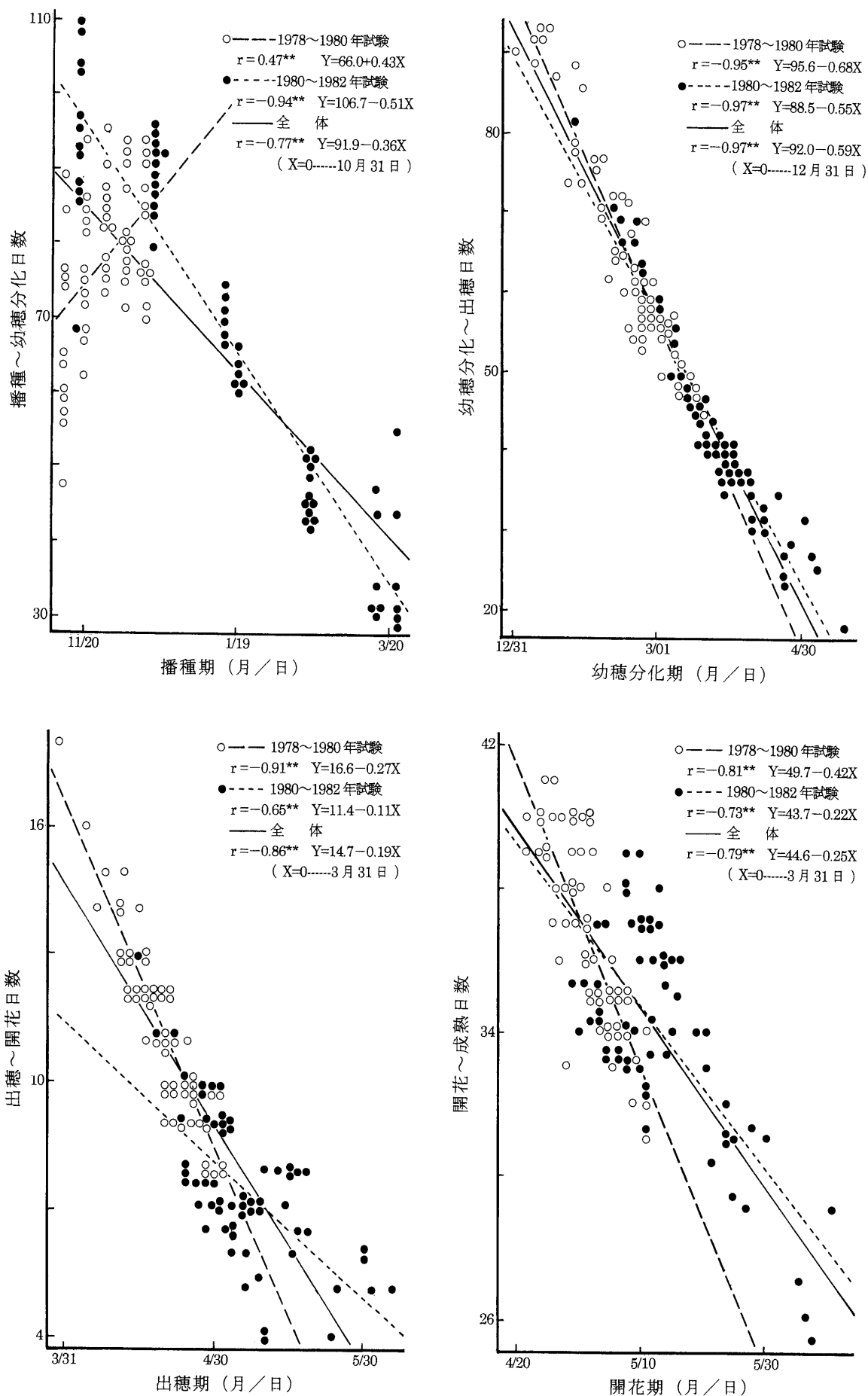
また、1976～1979年の3作期にコムギ属の異種コムギを含めてのべ254品種を供試し、1/5000 aワグナーポットに上記水田土を充填し、三要素成分を各0.3 g、苦土石灰1 gを施用、催芽種子6粒を播種し、戸外で生育させた。節間伸長期頃に窒素成分0.2 gを追肥し、その後10～20°Cと15～25°C（サインカーブの変温）、自然光のファイトトロンで調査終了まで生育させた。

出芽期、出穂期等はそれぞれ主茎の50%がその時期に達した日（ほ場試験）、または調査個体の平均値（ポット試験）とした。幼穂分化期は、予想される時期の前後に各試験区から5個体を1～10日間隔で抜き取り、解剖顕微鏡下でダブルリッチが明瞭に識別できるVII前期（稲村ら1955）あるいはstage 7（George 1982）に達した日を幼穂分化期とした。成熟期については、穂の上から数えて第4～8小穂の第1穎花5粒をとりだし水分含量を測定し、乾減率を2.3%/日とし、35%になる日を生理的な成熟期（千粒重が最大になる）として算出した。

分散分析、気象積算、回帰等の計算には農林研究計算センターの電算機（ACOS 930/20）を使用し、自作のプログラムにより解析した。重回帰は「多変量解析プログラム」（椎林ら1979）により解析した。自然日長の算出には市民薄明（太陽伏角6°）の式（岸田1986）を使用した。

試験結果

生育期と発育相の長さの品種・播種期・年次間差：幼穂分



第1図 各发育相の長さとその開始期の関係。

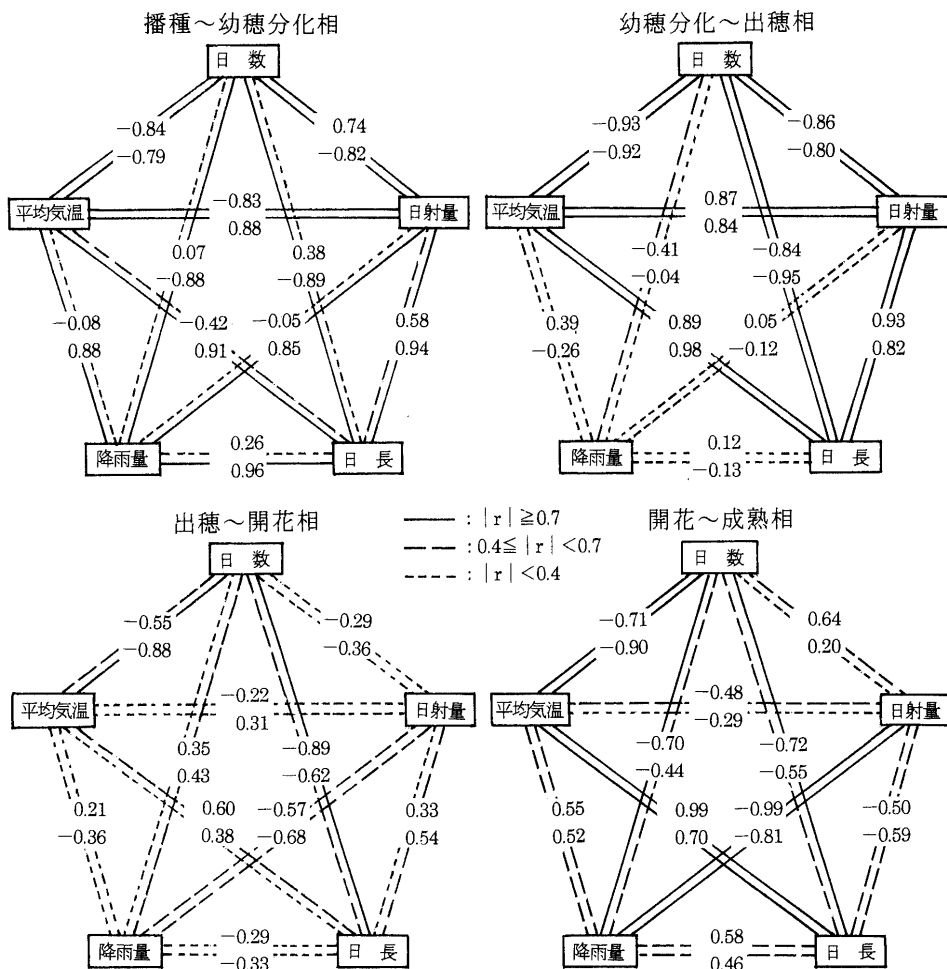
化期など生育期は品種、播種期、年次により変異し、ゴガツコムギなどの早生品種および早い播種期において早かった。しかし、品種と播種期、播種期と年次などに交互作用が認められ、品種の比較は単純ではなかった。また、品種間差と播種期間差は初期の生育期（幼穂分化期）と発育相（播種～幼穂分化日数）で大きく、後期になるほど変異は小さくなり、成熟期や開花～成熟日数でもっとも小さくなった（表省略）。

生育相の長さとその生育開始期の関係：各生育相の長さの変異が後期ほど小さくなることの原因が、その生育の開始期と関係があるものと考え、その関係を第1図に示した。播種～幼穂分化日数と播種期の関係は、標準期播種を中心とした1978～1980年の試験と春季まで播種した1980～1982年の試験とでは回帰関係が逆になった。全体としてみると11月下旬頃の播種で最も長く、前後の播種期で短縮するという関係であった。幼穂分化～出穂日数と幼穂分化期との関係は試験間差が小さく、幼穂分化期が遅いほど幼穂分化～出穂日数が短くなるという関係であった。出穂～開花相、開花～成熟相では回帰関係に試験間差が認められたが、幼穂分化～出穂相と同様に開始期が遅いほど

短縮するという負の回帰関係であった。1978～1980年試験の回帰式から、播種期を10日早めた場合の幼穂分化期以降の生育期を予測すると、幼穂分化期は14.3日早くなるが、出穂期は4.6日、開花期は3.4日、成熟期になると2.0日の促進にすぎなくなる。

これらの関係は、成熟期を早めることの難しさと、各発育相の長さの品種間差を比較する場合に、その開始期が異なると比較できないことを示している。この回帰からの偏差により各発育相が短い品種を選定すると、播種～幼穂分化相と幼穂分化～出穂相ではゴガツコムギと中国114号、出穂～開花相では農林61号、開花～成熟相では農林72号が短かった。

発育相の長さとの気象要因の関係：各発育相の長さとその開始期と負の相関関係にあることの原因が冬から春への気象要因の変化によるものと考え、各発育相の長さとその期間の主要な気象要因の平均値との相関関係を第2図に示した。平均気温はすべての発育相の長さに対し負の相関関係を示した。日射量、日長、降雨量も平均気温と同様に発育相の長さに対して負の相関関係を示す場合が多かったが、その場合は各要因と平均気温との間に正の相関関係が認め



第2図 発育相の長さとその期間の主要気象要因平均値の相互相関。
上側線：1978～1980年試験，下側線：1980～1982年試験。

第1表 播種～幼穂分化日数に対する気象要因平均値の重回帰。

| 試験年次 | 計算法 | 重相関係数 | 偏回帰係数 | | | | | | | 定数 |
|-------|-----|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|-------|---------|
| | | | 平均気温 | 最高気温 | 最低気温 | 日照時間 | 日射量 | 日長 | 降雨量 | |
| 1978 | 増減法 | 0.84** | -8.40** | | | | | | | 129.6** |
| ～1980 | 減増法 | 0.85** | -255.1 | 118.5 | 129.8 | 7.22 | | | | 140.7* |
| 1980 | 増減法 | 0.91** | | -13.7** | 17.2** | 13.9* | | -25.2** | -7.71 | 424.1** |
| ～1982 | 減増法 | 0.92** | 480.4** | -250.7* | -230.8 | 52.5** | -0.78** | | | 5.3 |
| 全体 | 増減法 | 0.86** | | -3.7** | | 20.0** | -0.33** | -6.81 | | 135.1** |
| | 減増法 | 0.86** | -3.47** | | | 22.7** | -0.47** | | | 56.8** |

**,*: 重相関係数ではF値が, 偏回帰係数および定数ではt値が1%, 5%水準で有意。回帰残差 df=57 (全体), 27 (試験別)。

第2表 出穂～開花, 開花～成熟日数の品種間差と同日数が短い品種。

| | 出穂～開花日数 | 止葉展開～開花日数 | 開花～成熟日数 |
|-----------------|------------------------------|-----------|------------------------------------|
| 平均 | 6.5 | 15.4 | 40.9 |
| lsd 0.05, 0.01 | 1.4, 1.9 | 1.4, 1.9 | 2.4, 3.1 |
| シラサギコムギ | 7.6 | 14.3 | 38.2 |
| 最短～最長 | 2.4～9.3 | 13.8～19.5 | 33.9～46.0 |
| 短い品種 | (-5)阿蘭 16号 | (-1)素麵小麦 | (-4)仏 62号 |
| (シラサギ コムギ-日) | Compactum 仏 13号 Aquila | | (-3)麗英 3号 (-2)73 F3 5 Khapli |

52品種を供試, 25～15°Cと20～10°Cファイトトロン条件の平均値。

られ, 発育相の長さに直接影響しているかどうかは明らかでなかった。

発育相の長さを予測する重回帰式を, その期間の気象要因平均値を説明変数として求めた。第1表に播種～幼穂分化相について求めた重相関係数・偏回帰係数を示した。重相関係数は第2図の単相関よりは高くなったが, 重回帰式は試験により, 計算法(増減法と減増法)により異なった。平均気温と最高気温のように相互相関の高い要因では相殺し合う関係が認められ, 得られた偏回帰係数の値から影響の大きい要因を特定することもできなかった。他の発育相についても, ほぼ同様であった(表省略)。気象要因相互間に相関が高い自然条件では, 重回帰により生理学的に意味のある予測式を作成するのは困難と思われた。

出穂～開花相, 開花～成熟相の短い品種: 異種コムギを含めてのべ254品種について, ファイトトロンの10～20°Cまたは15～25°C条件で比較し, 出穂～開花相と開花～成熟相の短い52品種を予備的に選抜した。その52品種を25～15°Cと20～10°Cの2条件で比較した結果を第2表に示した。品種と気温の交互作用が有意で, 品種間差は低温条件で拡大する傾向が認められたが, 順位には変動がなかったので平均値を示した。出穂～開花日数は阿蘭16号, Compactum, 仏13号などの *T. compactum* が著しく短い品種として認められた。しかし, これらの品種は止葉展開期から出穂までの期間が長く, 止葉展開期から開花までの日数でみると, 標準品種のシラサギコムギより有意に短い品種は認められなかった。開花～成熟日数が標準品種より長い品種は多数認められたが, 短い品種は少なく, 2～4日短い品種として仏62と Khapli の *T. Spelta*, 小粒種で

あるが麗英3号と73F35が選抜された。

考 察

幼穂分化期以降の発育相の長さが, それぞれの開始期と高い負の相関関係にあるため, それぞれの生育期を早めても成熟期が早まらない関係にあることを指摘した。幼穂分化期または茎立期と出穂期の関係は折坂・高橋(1985), 江口(1982), 吉田ら(1985)が, 出穂期と開花期または成熟期, 開花期と成熟期の関係は藤吉(1953), 池田ら(1959), 名取(1959), 橋本ら(1966), 江口(1982), 吉田ら(1985)が同様の関係を報告している。その原因が冬季の低温・短日から初夏の高温・長日への季節変動と, 各発育相の長さがその期間の平均気温と高い負の相関関係にあることによるもので, 折坂・高橋(1985)をはじめ, 上記の多くの報告が指摘している。

「各発育相の長さの短い育種素材を選定し, それらを組み合わせるにより早生化する」という考え方は吉田ら(1985)も提案している。ただし, 上記の回帰関係があるので, ほ場条件では同一の生育期の品種同士または上記の回帰関係でしか比較できない難しさがある。また, 著しく早い幼穂分化や節間伸長開始は幼穂凍死型の(北原1981, 時枝ら1958, 江口1982), 早期の出穂は不稔型の(戸田1972)凍霜害を受ける危険を増大させることも早生化を困難にしている。凍霜害を避けて早生化するためには出穂～開花相, 開花～成熟相の短い育種素材を探すのが有効である。本報告では異種コムギも含め多数品種を供試し, ファイトトロンの一定な気温条件下で選抜を行った。出穂～開花日数の短い品種は多数認められたが, 止葉展開～開花日数でみると短いものはなかった。この点からは出穂期

よりも Takahashi and Nakaseko (1993) のように止葉展開期を基準とした方がよいように思われた。また、開花～成熟日数が標準品種よりも2～4日短い品種として *T. spelta* などが認められた。開花から成熟期までの積算温度でみた品種間差は小さいという報告が多く (de Milliano and Keulen 1984, Saini and Dadwel 1986), 本試験で得られた2～4日の早生化は育種素材として重要と思われた。

謝辞: 本報告のとりまとめにあたり、元東北大学遺伝生態研究センター菅洋教授にご指導、助言をいただいた。また、試験の実施にあたっては元中国農業試験場広川文彦研究室長にご助言をいただいた。ここに深く感謝いたします。

引用文献

- de Milliano, W.A.J. and H. van Keulen 1984. Simple simulation models for agronomic research. In Villareal, R.L. and A.R. Klatt eds., Wheat for more tropical environments. UNDP/CIMMYT, Mexico. 286-290.
- 江口久夫 1982. 水田の高度利用 (2) ムギの早熟化技術および問題点—栽培技術について—。近畿作物・育種談話会報 27: 95-98.
- 江口久夫・島田信二・佐藤淳一・金尾忠志・広川文彦 1984. 冬期に播種した小麦の安定多収条件。中国農試報 A32: 35-54.
- 藤吉正記 1953. 小麦と裸ムギにおける秋播性程度および播種期と生育・収量との関係について—麦の播種期に関する基礎的研究—。九州農試彙報 1: 375-406.
- George, D.W. 1982. The growing point of fall-sown wheat: A useful measure of physiologic development. Crop Sci. 22: 235-239.
- 橋本隆・江口久夫・平野寿助 1966. 小麦早熟育種における交配親の選択について (第4報) 短期開花および短期成熟性の品種間差異とその検定方法の検討。中国農試報 A13: 87-110.
- 池田利良・東駿次・龍端悟・市島紀郎 1959. 暖地麦類の早熟化に関する研究 VIII 開花・授精に関する温度条件と出穂促進の限界について。東海近畿農研 10: 14-20.
- 稲村宏・鈴木幸三郎・野中舜二 1955. 麦類の幼穂分化過程の調査基準。農業改良技術資料 62: 1-16.
- 岸田恭允 1986. 近畿・中国地域における日長環境データブック。中国農試研究資料 16: 1-67.
- 北原操一 1981. ムギの作期に関する研究 第5報 コムギの早生化と凍霜害との関係。日作東北支部会報 24: 151-152.
- 名取利磨 1959. 豊前地帯における裸麦早生種の早播による出穂・成熟期と収量について。九農研 21: 79-82.
- 折坂光臣・高橋康利 1985. 岩手県南地方における麦類幼穂の発育過程—播種期の移動に伴う幼穂発育過程の差異—。日作東北支部会報 28: 82-83.
- Saini, A.D. and V.K. Dadwel 1986. Heat unit requirement during the period of grain growth in wheat and its application for adjusting sowing dates in different regions. Indian J. Agric. Sci. 56: 447-452.
- 椎林俊明・奈良誠・神山啓治・京谷英寿・加賀爪優・田中忠治・山越康行・斉藤滋隆・石川守 1979. MAP—多変量解析プログラム—。農林水産研究計算センター利用者マニュアル 5: 1-97.
- Takahashi, T. and K. Nakaseko 1993. The influence of sowing time on dry matter partitioning in spring wheat. Jpn. J. Crop Sci. 62: 88-94.
- 戸田正行 1972. 小麦冷害に関する研究 第9報 開花期前後の低温による稔実障害の実態調査。日作紀 41: 310-314.
- 時枝茂夫・和田士郎・河野正 1958. 麦の早熟化に関する研究 (第1報) 播種期繰上げによる早熟化。中国農研 9: 5-7.
- 吉田久・川口数美・神尾正義 1985. 生育期間の分割によるコムギの早熟化の評価。育種 35: 167-174.

Phenological Development of Wheat Cultivars in the Field and Screening for Early Maturing Traits: Hisao EGUCHI* and Shinji SHIMADA (Chugoku Natl. Agr. Exp. Stn., Fukuyama 721-8514, Japan)

Abstract: Early maturing which enables harvesting before the rainy season is a desirable trait for wheat, in Japan. The objective of this study was to assess the length of developmental phases in 6 wheat cultivars which were sown in a field at 20 planting date-year combinations. The time at each developmental stage varied with the cultivar, planting date, and year. The variation was larger in early stages (e.g., double ridge) and smaller in late stages (e.g., maturity). After the double ridge stage, the lengths of each developmental phase was negatively correlated with the time of the beginning of the phase. These negative correlations indicate that hastening of planting date and double ridge stage does not result in earlier maturity. These correlations also make it difficult to screen for the developmental phase lengths in the field condition. The length of each developmental phases was always negatively correlated with the mean temperature, but, we could not confirm which climatic factor directly influenced the phase length, because there were high correlations between the factors. Additional experiments were conducted under controlled environments (phytotron) to screen for the cultivars with shorter heading-to-maturity phase lengths. *T. spelta* cultivars (e.g., 'Khapli' and 'France-62') had significantly shorter anthesis-to-maturity phase length than the control cultivar 'Shirasagikomugi'. *T. compactum* cultivars had a shorter heading-to-anthesis phase length than the control cultivar, but the length from flag-leaf expansion to anthesis did not differ significantly among cultivars.

Key words: Climatic factors, Developmental phase, Double ridge, Early maturity, Maturity, Phenological development, Prediction, *Triticum* spp..