

岡山県のコムギ奨励品種‘ふくほのか’の 発育調査基準からみた茎立期の簡便な調査手順

大久保 和男・安藤 裕二

A Simple Procedure for Investigating the Jointing Stage Based on Survey Standard of Development in ‘Fukuhonoka,’
Recommended Wheat Variety in Okayama Prefecture

Kazuo Okubo and Yuji Ando

緒言

我が国の麦類栽培では、収量・品質が年次や栽培地域によって著しく低下することが問題であり、生育状況に応じたきめ細やかな栽培管理が必要とされている（松山ら，2022）。その基礎となる発育調査の基準に関しては、新品種の普及や栽培方法の変化にともない、これまでの調査基準（農業研究センター，1986a；1986b；1986c）では、発育ステージと外観の生育量がずれるなどして、適期作業に支障をきたすケースがみられるようになってきている（松山ら，2022）。また、海外では、麦類の生育を外観から判断する方法としてZadoksの成長スケール（Zadoks et al, 1974）が広く用いられている。Zadoksの成長スケール（以下、GS）とは、播種前の乾燥種子が発芽、出芽などの発育を経て完熟種子となり、二次休眠が覚醒するまでの生活環を、00から99までの2桁の数値で表す方法である（表1）。GSの判断基準の殆どは視認と観察によるため、調査が比較的容易な方法として国際的に認知されているが、我が国の生産現場にまで普及しているとは言いがたい。さらに、GSは我が国で用いられる発育段階や幼穂分化程度の基準（稲村ら，1955）との対応が明らかでなかった。

このような理由から、松山ら（2022）はコムギ・オオムギの生育状況に応じた細やかな栽培管理技術の開発に必要な発育調査基準を、主に研究者に向けて再整理している。その中で松山ら（2022）は、GSを稲村ら（1955）の幼穂分化程度の基準及び従来の発育調査基準、すなわち出芽期、分けつ期、二重隆起形成期、幼

穂形成期、頂端小穂形成期（コムギ）、穎花分化期（オオムギ）、茎立期、止葉抽出期、止葉展開期、穂孕期、出穂期、開花期、成熟期の発育段階と対応させるとともに、定義があいまいな用語については新たな定義を提唱してそれぞれの調査基準を明確に示している。さらに、松山らの報告（2022）では、北陸、北部関東、及び北部九州の各地域におけるコムギとオオムギの茎数及び葉齢の推移と発育段階の関係が事例として示されており、それらは麦類の栽培試験研究を遂行するうえで有用な情報となっている。しかし、松山ら（2022）の報告では、岡山県を含む中国地域の事例は示されておらず、岡山県の調査基準としての有効性が不明であった。

そこで本報告では、岡山県のコムギ奨励品種‘ふくほのか’について、本県での標準的な作期と栽培方法における発育程度とGSの関係を示し、今後の栽培試験研究の遂行上必要となる情報を提示するとともに、生産現場における栽培指針にも活用可能な指標を示すことを目的とした。

本稿をまとめるにあたり、岡山大学名誉教授加藤鎌司博士には、コムギの幼穂分化程度について御助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

材料及び方法

1. 供試品種及び栽培方法

岡山県のコムギ奨励品種‘ふくほのか’（播性I）を供試した。種子消毒として、乾燥種子に銅水和剤（商品名：Zボルドー、日本農薬（株））とトリフルミゾー

表1 Zadoksの成長スケールの概要

発育段階	Zadoksの成長スケール(GS)	発育段階	Zadoksの成長スケール(GS)
播種 から 発芽	00：乾燥種子	穂抽出期 ^W	51：穂の先端が見え始める
	01：吸水始め		53：穂の1/4が抽出
	03：膨張		55：穂の1/2が抽出
	05：種子根が伸長を始める		57：穂の3/4が抽出
	07：子葉鞘が抽出		59：穂首が抽出
幼苗期 ^Z	09：第1葉の先端が鞘葉の先に見える	開花期前後 ^W	61：開花始め
	10：GS09と同じである		65：半数の小花が開花
	11：第1葉展開		69：完全に開花
	12：第2葉展開		71：水で満ちる ^V
	13：第3葉展開		乳熟期
18：第8葉展開	75：乳熟中期，固形分が生じる		
分けつ期 ^Z	19：第9葉展開以降	脱水期	77：乳熟終期，固形分が多い
	20：主茎のみ		81：脱水初期
	21：主茎＋分けつ1本		85：脱水中期，軟らかい
	22：主茎＋分けつ2本		87：脱水後期，硬い
	23：主茎＋分けつ3本		成熟
24：主茎＋分けつ4本	92：爪でへこまない		
29：主茎＋分けつ9本以上	93：過乾燥		
節間伸長期 ^Z	30：疑茎(疑似稈) ^Y	94：過熟でワラが枯れて倒れる	
	31：1つの節を見ることができ ^X	95：種子休眠状態	
	32：2つの節を見ることができ	96：50%発芽(種子休眠覚醒中位)	
	36：6つの節を見ることができ	97：種子休眠覚醒	
	37：止葉の葉身が抽出を始める	98：二次休眠導入	
穂孕期	39：止葉展開	99：二次休眠覚醒	
	41：止葉葉鞘が伸びる		
	43：止葉葉鞘の膨張が始まる		
	45：止葉葉鞘の膨張が最大		
	47：止葉葉鞘が割れる		
	49：芒の先端が見える		

^ZGS10番代，GS20番代，GS30番代では一部が互いに重複する

^Y最上位展開葉の葉鞘が立っている状態

^X主茎長は2～3 cmと推定される

^W主茎の穂の状況，ただしGS59とGS69は全ての穂の状況

^V麦類では乳状である，乳熟初期

ル水和剤（商品名：トリフミン水和剤，石原バイオサイエンス（株））を，それぞれ種子重量の1%，0.5%湿粉衣した。ロータリで2022年11月15日に2回耕うんした岡山県農林水産総合センター農業研究所（赤磐市，以下，岡山農研）の試験圃場（精密圃場C2，面積10a，前作コムギ）に，種子消毒した‘ふくほのか’の種子を，リンクベルト式播種機（HS-650LH，（株）向井工

業）を用いて11月16日に条間28 cmで播種した。播種量はm²当たり約6 gとした。11月17日に除草剤ジフルフェニカン・フルフェナセット水和剤（商品名：リベーターフロアブル，バイエル・クロップサイエンス（株））の1250倍液をm²当たり100 ml土壌処理した。施肥については，基肥として出芽揃期（12月2日）に，くみあい複合燐加安44号を用いて，窒素，リン酸，カリを成分

量で m^2 当たり4.0 g, 4.9 g, 3.7 g, 分けつ肥として, 4.5 葉期 (2023年2月1日) に, くみあい複合燐加安44号を用いて, 窒素, リン酸, カリを成分量で m^2 当たり4.0 g, 4.9 g, 3.7 g, 穂肥として茎立期 (3月14日) に, くみあい尿素を用いて, 窒素を成分量で m^2 当たり3.0 gを, それぞれ表面施用した. 病害虫防除については, 開花期防除として2023年4月18日に, 殺菌剤チオファネートメチル水和剤 (商品名: トップジンM水和剤, 日本農薬 (株)) と殺虫剤エトフェンプロックス乳剤 (商品名: トレボン乳剤, クミアイ化学工業 (株)) をそれぞれ1000倍, 2000倍に調製した混合液を m^2 当たり100 ml散布した.

2. 発育調査

(1) 茎数, 葉齢及び草丈

出芽期は出芽個体の半数が出芽した日, 出穂期は全茎の40~50%が出穂した日, 開花期は全穂の40~50%が開花に達した日, 成熟期は蠟くらの固さに達した粒をつける穂が全穂数の80%以上に達した日とし (農業研究センター, 1986a; 松山ら, 2022), 達観で判定した.

試験圃場の対角線上に調査地点 (長さ1 m, 1条) を3か所設け, 2022年12月2日に苗立数 (出芽個体数) を, 2023年2月2日, 2月15日, 2月28日, 3月16日, 4月3日に茎数を, 4月24日に穂数を調査するとともに, 茎数調査地点と同じ播種条から連続する10個体を採取して葉齢と草丈を調査した.

(2) GS, 主茎長, 幼穂分化程度及び幼穂長

圃場中央の茎数調査地点 (1条, 長さ1 m) において, 2023年2月2日, 2月14日, 2月22日, 2月27日, 3月1日, 3月7日, 3月13日, 3月15日, 3月23日, 3月27日に, GS, 主茎長, 幼穂分化程度を以下の方法で調査した. 節間伸長の度合い (GS30~GS39) については, GS31 (立毛の状態ですべての節を視認できる) までは上記調査地点内の立毛での視認による. 調査地点と同じ播種条からそれぞれ連続する10個体を採取し, 実体顕微鏡 (SteREO Discovery. V8, Carl Zeiss社) 下で主茎を解剖し, 抽出中の葉身が止葉か否かを確認してGS37~GS39 (止葉抽出期) を捕捉した. また, 主茎頂の幼穂を観察して, 幼穂分化程度を稲村ら (1955) の基準により判定し, 幼穂長と主茎長を測定した. 幼穂を低真空走査電子顕微鏡 (Miniscope TM-1000, (株) 日立ハイテクノロジーズ) で適宜観察し, 幼穂分化過程の典型的な画像を取得した. なお, 3月13日は主茎長のみ調査とし, 幼穂分化程度と幼穂長は調査しなかった. 出穂始以降 (GS51~GS92) は表1に示した観察方法による.

(3) 気象データ

解析には岡山農研内の気象観測装置の測定値を用いた.

結果及び考察

1. 岡山県における‘ふくほのか’の発育経過

岡山農研において標準的な作期 (11月中旬播種) に標準的な施肥 (岡山県農林水産部, 2013) で栽培した‘ふくほのか’の茎数, 葉齢, 草丈の推移を, 発育段階,

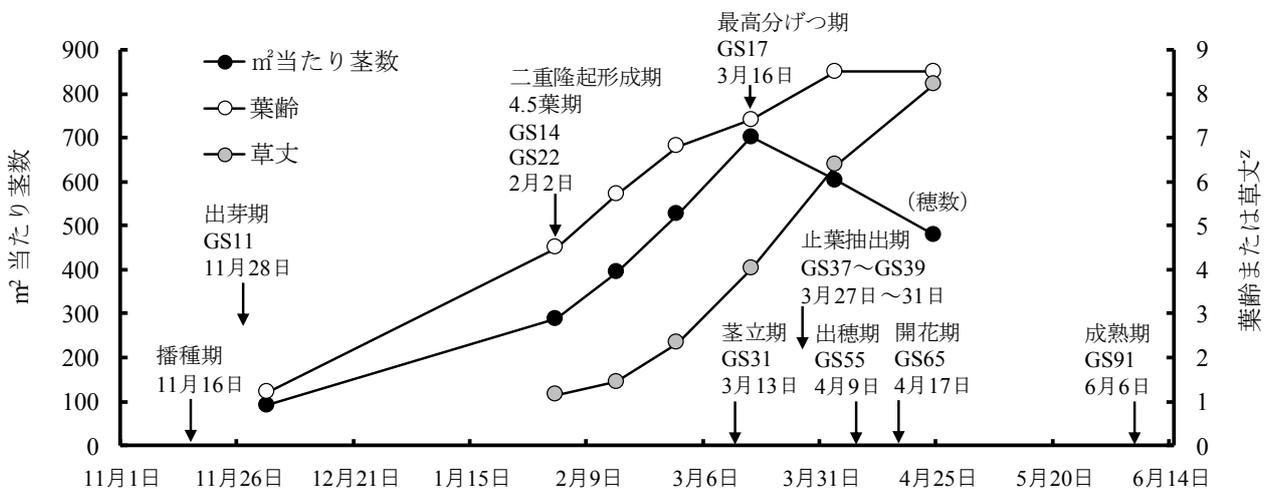


図1 岡山農研におけるコムギ品種‘ふくほのか’の標準的な栽培における発育経過
 ²草丈は目盛の数値に10 cmを乗じる

GS及びその暦日とともに図1に示した。岡山県の‘ふくほのか’のほかの最高分けつ期は3月中旬であり、最高分けつ期の葉齢は7.4であった。松山ら（2022）の示した北部関東の‘さとのそら’は葉齢7で最高分けつ期となっており、その暦日は2月6日頃である。また、北部九州の‘チクゴイズミ’と‘イワイノダイチ’では、葉齢6で最高分けつ期となっており、その暦日は12月25日から1月3日の間であり（松山ら、2022）、北部関東と北部九州の最高分けつ期は岡山県の‘ふくほのか’よりも1～2か月早い。岡山県の‘ふくほのか’は両地域に比べて播種日が10～11日遅かったことから、葉齢の進展が両地域よりも遅くなり、同伸葉同伸分けつ理論から、分けつの増え方も両地域に比べて遅かったと考えられた。草丈は2月2日から4月24日までの調査で、11 cmから82 cmまでの間で、シグモイド状の伸長経過を示した。節間伸長が開始される3月上旬頃から草丈の伸長は盛んになるとみられ、草丈の伸長最盛期は止葉抽出期頃であった。

岡山県の‘ふくほのか’において、播種から出芽期までの日数は12日であった。また、本県の麦類栽培指針（岡山県農林水産部、2013）で、分けつ肥を施用する日の基準としている4.5葉期（GS14）は2月2日であった。茎立期は、「ほぼ節間伸長の始期にあたる、主茎長が2 cmに達した時期」と定義されており（農業研究センター、1986a）、その暦日は3月13日頃で、観察によりGS31であることを確認した。止葉抽出始め（GS37）を確認したのは3月27日であった。止葉抽出期は、止葉の先端が抽出し始めた時（GS37）から止葉の葉身が完全に抽出、すなわち止葉が展開した時（GS39）までを指す期間である（松山ら、2022）。止葉の展開を確認したのは3月31日であったため、ここでは止葉抽出期を3月27日～31日と幅を持たせた。出穂期（GS55）は4月9日、開花期（GS65）は4月17日、成熟期（GS91）は6月6日であった。なお、図1で示した発育調査基準の暦日は当年の気温や栄養状態に影響され、年次によって前後する（松山ら、2022）ことに留意する必要がある。

2. 岡山県における‘ふくほのか’の幼穂分化過程と主茎長の推移

観察された幼穂分化過程の典型的な形状を図2に示す。図1にも示したとおり、4.5葉期（GS14）に該当する2月2日の稲村ら（1955）の幼穂分化基準による幼穂分化程度はⅥ期であり、二重隆起の形成が観察された。二重隆起の上側には小穂始原体、下側には苞始原体が観察された。幼穂長は0.6 mmであった（図2A）。2月14

日の幼穂分化程度はⅦ前期であり、小穂始原体の分化が幼穂の中央から上下に伸展し、二重隆起が幼穂に広く分布するのが観察された。幼穂長は0.8 mmであった（図2B）。2月22日の幼穂分化程度はⅦ後期であり、小穂始原体が丸みを帯びて、二重隆起が不明瞭になるのが観察された。幼穂長は0.9 mmであった（図2C）。2月27日の幼穂分化程度はⅧ期であり、側列の小穂始原体の分化は終わり、穂の中央部小穂に護穎始原体の突起が縦のシワとして見え始めるのが観察された。幼穂長は1.3 mmであった（図2D）。3月1日の幼穂分化程度はⅨ前期であり、1つの小穂が護穎、第1穎花、第2穎花の3段になるのが観察された。幼穂の先端に小穂が分化し始めているのが確認され、頂端小穂形成期とみなした。幼穂長は2.0 mmであった（図2E）。3月7日の幼穂分化程度はⅨ中期であり、幼穂中央部の小穂の第1穎花で外穎の内側に4つの突起、すなわち3つの雄ずいと1つの雌ずいの分化が観察された。幼穂長は3.0 mmであった（図2F）。3月15日の幼穂分化程度はⅩ期であり、芒の伸長が観察された（図2G）。幼穂長は8.6 mmであった。なお、3月13日は主茎長のための調査としたので、Ⅸ後期を捕捉することはできなかった。

主茎の幼穂分化程度と主茎長の推移を図3に示す。なお、幼穂分化程度は順序尺度（質的変数）だが、松山ら（2022）の結果と容易に対比できるように、便宜的な手段としてY軸上に等間隔で示した。

幼穂分化過程では、2月2日には二重隆起形成期（Ⅵ期）を迎え、3月1日に頂端小穂形成期（Ⅸ前期）を迎えた。これらは松山ら（2022）が示した北部関東の‘さとのそら’よりも前者では11日、後者では12日それぞれ遅かった。

主茎長は、2月上旬から3月上旬までの期間は10 mm未満で、徐々に伸長したが、3月中旬以降は急速に伸長した。茎立期は3月13日付近であった。茎立期の幼穂分化程度は実際には捕捉できなかったが、図3からⅨ後期と推測された。

3. 立毛における茎立期の調査手順

茎立期には、増収を目的とした追肥（穂肥）が行われることが多い（渡邊ら、2016;大久保、2022;大久保・安藤、2023）。しかし、茎立期の調査は解剖調査によるため手間がかかるので、生産現場で使える簡便な評価指標が必要である。松山ら（2022）が示したGSと発育段階との対応と同様に、本報告でも前述したとおり、‘ふくほのか’の茎立期がGS31に相当することが確認できた。GS31は、立毛で株元に1つの節を視認できる時期

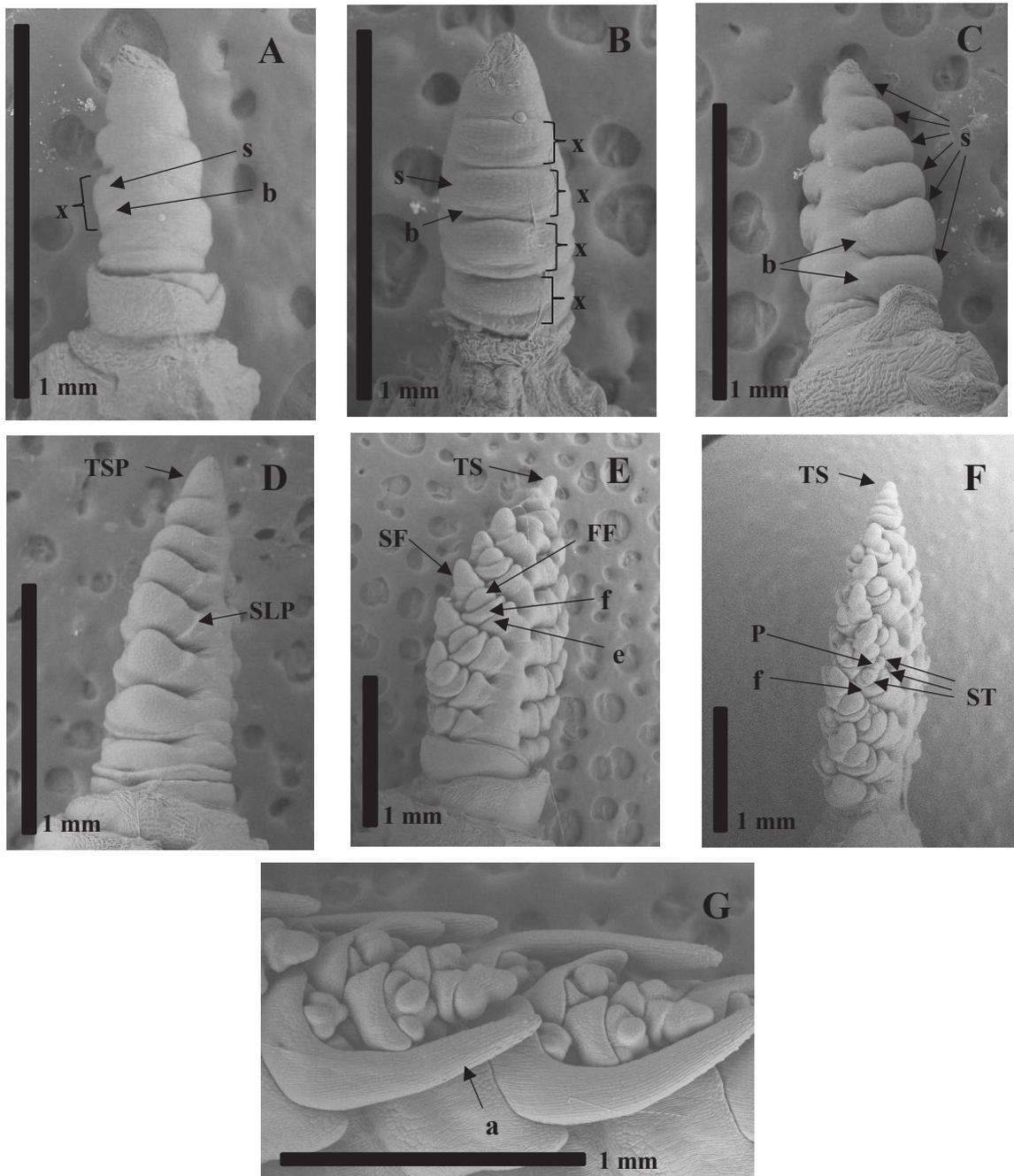


図2 ‘ふくほのか’の主茎幼穂の低真空走査電子顕微鏡画像
 A：Ⅵ期，B：Ⅶ前期，C：Ⅶ後期，D：Ⅷ期，E：Ⅸ前期，F：Ⅸ中期，
 G：Ⅹ期 スケールバーは1mmを表す
 x二重隆起，s小穂始原体，b苞始原体，TSP頂端の小穂始原体，
 SLP護穎始原体，TS頂端小穂，e護穎，FF第1穎花，SF第2穎花，
 f外穎，ST雄ずい，P雌ずい，a芒，小文字は稲村ら（1955）による略語

であり、草姿の外観から確認できる簡便な指標であるとともに、生産現場においては茎立期がGS31に相当するとしても実用上差し支えない（松山ら，2020）とされている。

一方，Tanio et al. (2016) は，東海地域で春播型3品種（‘ニシノカオリ’，‘あやひかり’，‘タマイズミ’）と秋播型2品種（‘イワイノダイチ’，‘さとのそら’）のコムギ5品種を用いて，2か年2作期の計4作期における幼穂分化程度と主茎長及び偽茎長（地際から最上位展開葉の葉耳までの長さ）の関係を解析した。その結果，日本の温暖地では，幼穂分化程度，主茎長及び偽茎長は互いに密接に関係しており，作期に関わらず，全ての品種で幼穂分化程度IX前期に節間伸長が開始し，その時の偽茎長が約5 cmであることを明らかにした。本報告で図3に示した‘ふくほのか’の幼穂分化程度と主茎長の結果は，Tanio et al. (2016) の示した幼穂分化程度と主茎長の関係と一致した。Tanio et al. (2016) は，立毛で確認できる偽茎長が5 cmになった時期が節間伸長開始の指標となることを指摘している。小麦調査基準第1版（農業研究センター，1986a）において，茎立期の定義は，前述した通り「ほぼ節間伸長の始期にあたる，主茎長が2 cmに達した時期」とされている。しかし，Tanio et al. (2016) の示したデータでは，節間伸長開始時期である偽茎長が5 cmの時の主茎長は0.5 cm～1.0 cmであることから，厳密に言えば節間伸長開始は

茎立期よりも早い時期にあたり，GSではGS30（偽茎，最上位展開葉の葉鞘が立っている状態）で節は視認できない）に相当すると考えられる。

これらを整理すると，立毛における茎立期を特定するための具体的な調査手順は，まず，Tanio et al. (2016) の方法により偽茎長の長さ（5 cm）から節間伸長開始時期（幼穂分化程度IX前期）を特定する。その後，IX前期と茎立期の間隔（図3）から推定される10日程度の期間を経て株元の観察を始めることで，GS31すなわち茎立期の特定が容易になる。

4. まとめ

以上のように，本報告では，岡山県のコムギ奨励品種‘ふくほのか’の標準的な栽培方法における発育程度とGSの関係を示した。また，生産現場における栽培指針にも活用可能な指標として，穂肥施用の基準日となる茎立期（GS31）の，立毛における簡便な調査手順を示すことができた。今後は，より有用と考えられる茎立期の予測方法に取組む必要がある。

コムギの茎立期予測に関しては，気温と日長を用いたシプレックスDVR法により，コムギ品種‘さとのそら’の茎立期予測が試みられている（茨城県農業総合センター農業研究所，2013；中園ら，2014）。さらに，茨城県農業総合センター農業研究所（2014）では，‘さとのそら’の茎立期を播種日からの積算気温及び出芽期か

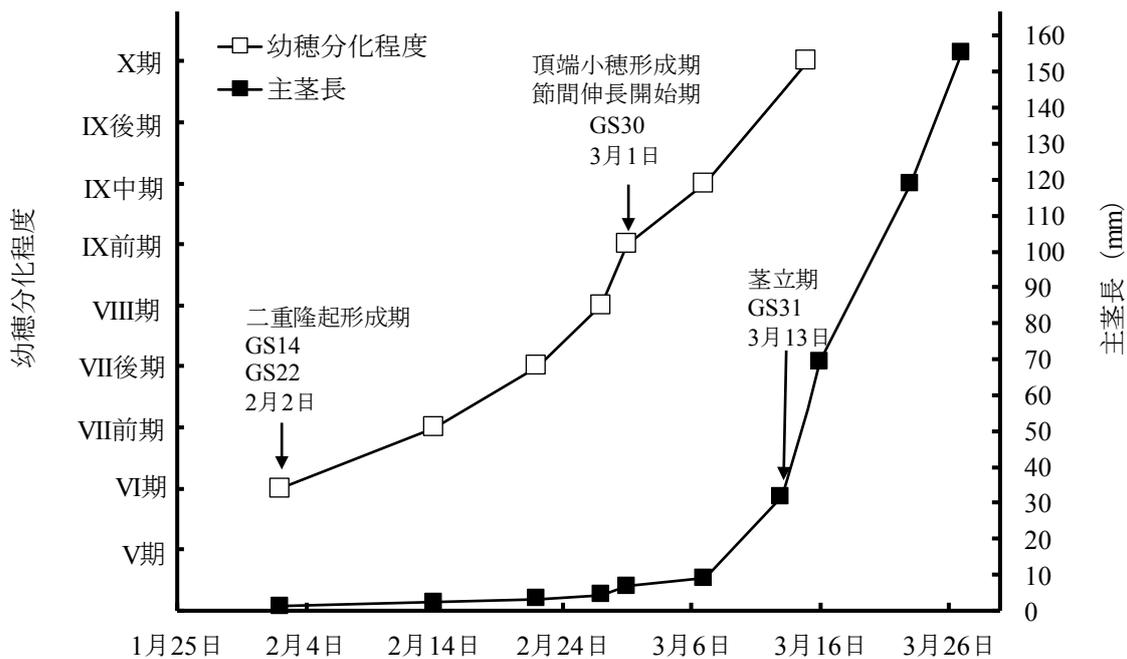


図3 ‘ふくほのか’の主茎幼穂分化程度と主茎長の推移

らの積算気温の2通りで予測するとともに、主茎長を測定して茎立期までに必要な残りの積算気温を算出することで精度の高い予測を実現している。しかし、DVR計算のためのパラメータは品種ごとに決定する必要がある(中園ら, 2014)。また、茨城県農業総合センター農業研究所(2014)による「さとのそら」の播種から茎立期までの積算気温は687.4°C、出芽期から茎立期までの積算気温は578.8°Cである。この積算気温を本報告の「ふくほのか」に適用したところ、岡山農研の気象データからは前者では3月21日、後者では3月22日であり、図1に示した茎立期の3月13日とはそれぞれ8日及び9日のずれが生じる。積算気温を用いた茎立期予測法もまた、品種ごとにデータを蓄積して予測式を構築する必要がある。

摘要

岡山県の奨励品種「ふくほのか」の標準的な栽培方法における発育段階、幼穂分化程度とZadoksの成長スケールの関係を示した。「ふくほのか」の幼穂分化程度と主茎長の関係は、従来の報告で示された幼穂分化程度と主茎長の関係と一致した。立毛の観察で簡便に調査が可能なZadoksの成長スケールのGS31は、「ふくほのか」でも茎立期に相当することを確認した。これらの結果から、生産現場において活用可能な指標として、穂肥施用時期の基準となる茎立期の、立毛における簡便な調査手順を示すことができた。

引用文献

茨城県農業総合センター農業研究所(2013) 適期に栽培管理を行うための小麦「さとのそら」の発育予測法. <https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/noken/seika/h24pdf/documents/f03.pdf> (2023.9検索)

茨城県農業総合センター農業研究所(2014) 小麦「さとのそら」の主稈長による茎立ち期、幼穂長による出穂期予測法. <https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/noken/seika/h25pdf/documents/f03.pdf> (2023.9検索)

稲村宏・鈴木幸三郎・野中舜二(1955) 大麦及び小麦の幼穂分化程度基準について. 関東東山農業試験場研究報告, 8: 75-91.

松山宏美・島崎由美・福嶋陽・渡邊和洋(2022) コムギ・オオムギの発育調査基準の再整理. 日作紀, 91: 76-87.

中園江・大野宏之・吉田ひろえ・佐々木華織・中川博視(2014) コムギの発育段階の推定モデル. 日作紀, 83: 249-259.

農業研究センター(1986a) 小麦調査基準 第1版. 農業研究センター, 茨城.

農業研究センター(1986b) 皮麦・裸麦(非醸造用二条大麦) 調査基準 第1版. 農業研究センター, 茨城.

農業研究センター(1986c) 醸造用大麦調査基準 第1版. 農業研究センター, 茨城.

岡山県農林水産部(2013) 麦類栽培指針, 麦種別栽培ポイント「ふくほのか」, 岡山の麦. 岡山県農林水産部, 岡山. pp. 58-62.

大久保和男(2022) 岡山県における小麦品種「ふくほのか」の後期重点型施肥栽培(予報). 日作中支集録, 59: 16-17.

大久保和男・安藤裕二(2023) 岡山県の小麦奨励品種「ふくほのか」の子実蛋白質含有率を向上させる後期重点施肥. 日本作物学会講演会要旨集, 256: 12.

Tanio, M., K. Tateishi, K. Nakazono, and K. Watanabe (2016) Pseudostem Length as an Indicator of the Start of Internode Elongation in Spring and Winter Wheat Cultivars. *Jpn. J. Farm Work Res.*, 51: 1-9.

渡邊和洋・中園江・中村大輔・西谷友寛・西村奈月・松島弘明・谷尾昌彦・江原宏(2016) 生育後期重点施肥がコムギの生育と収量に及ぼす影響. 日作紀, 85: 373-384.

Zadoks, J. C., T. T. Chang, and C. F. Konzak (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.*, 14: 415-421.

Summary

We showed relationships among growth, development and Zadoks growth scale (GS) of wheat cultivar 'Fukuhonoka' under a common cultivation method in Okayama Prefecture, Japan. The relationship between the apical development stage and stem length of 'Fukuhonoka' was consistent with previous reports. In Japan, jointing stage is defined as "the day when stem length reaches 2 cm," which is an indicator of the fertilizer application date. It is time-consuming to accurately determine the jointing stage because the young stem length must be measured with anatomical investigation. On the other hand, GS31 can be easily investigated by observing standing crops. In addition, GS31 corresponded to jointing stage of 'Fukuhonoka'. Our results in this study indicate a simple procedure for investigating the jointing of 'Fukuhonoka' by observing standing crops.