

パン用コムギ品種「せときらら」における茎数を指標とした 生育診断に基づく可変施肥法の検証

水田圭祐¹⁾・荒木英樹²⁾・高橋肇²⁾

(¹⁾ 鳥取大学大学院連合農学研究科, (²⁾ 山口大学大学院創成科学研究科)

要旨：生育診断とそれに基づく窒素の可変施肥は、コムギの高品質多収栽培に有効であるが、診断時期の生育量や診断指標、窒素の追肥量や施肥時期、収量や子実タンパク質含有率との関係についての知見は少ない。本研究では、穂肥重点施肥をベースに可変施肥を行うには、茎数の管理がとくに重要であると考え、少播種量区を設けることによって人為的に m^2 あたり茎数不足となった群落を作り、分けつ期の窒素追肥量を増やすことによって収量の減少を軽減できるかどうかを検証した。少播種量区は、苗立ち数が約 80本 m^{-2} と標準播種量区の約 120本 m^{-2} に比べて有意に少なかった。4葉期でも少播種量区は茎数が少なかったが、茎立ち開始期には分けつ肥を施用しなかった0-0-6-5区でも茎数 400本 m^{-2} 以上となった。基肥を施用しない穂肥重点施肥体系で栽培した少播種量区では、茎の有効化率が85%以上と高く、成熟期の穂数および収量がそれぞれ約 400本 m^{-2} および約 700g m^{-2} と、標準播種量区並みとなった。異なった栽培条件や品種でも検証する必要があるが、穂肥重点施肥では分けつ期に茎数を計り、それに応じて追肥量を決定する意義は薄く、むしろ苗立ち数 80本 m^{-2} 以上を確実に確保することが重要であると考えられた。

キーワード：可変施肥, 子実タンパク質含有率, 収量, 生育診断, パン用コムギ品種, 穂肥重点施肥。

日本のパン用コムギは生産量が少なく、さらなる生産拡大が求められているが、そのためには実需者が要求する品質の確保が必要である。農林水産省の基本計画では、国産コムギの生産量を180万tまで増加させることを目標としているが(農林水産省 2020a), 2018年産コムギの国内総生産量は約77万tと目標を下回っている(農林水産省 2020b)。その中でもパン用コムギは生産量が少なく、約13万tにとどまっている(農林水産省 2020c)。品質面でも、国産パン用品種の小麦粉は外麦製品と異なり、一つの産地の単品種のみを原料とした製品も多いため、需要拡大には生産量の確保だけでなく品質の高位安定化も重要な課題となっている。

パン用コムギの収量や品質を高めるには、窒素施肥が重要である。コムギの収量は、地上部の窒素蓄積量と高い正の相関関係があるため(Hitzら 2017), 窒素肥料を多く施用することによって高められると考えられる。しかし、収量とパン用コムギの品質評価において重要な子実タンパク質含有率にはトレードオフの関係があり、多収となった場合には子実タンパク質含有率が低下しやすくなる(岩渕ら 2011)。山口県で奨励品種となっている「せときらら」は、従来の西南暖地向けパン用コムギ品種に比べて収量が多くなりやすいため、子実タンパク質含有率が低くなりやすい(高田ら 2017)。子実タンパク質含有率は、出穂期以降の窒素追肥によって高まることから(高山ら 2004, 岩渕ら 2007, 島崎ら 2014, 石丸ら 2015), パン用コムギで多収と高品質を両立させるには、窒素を増肥することに加え、肥効期間を

適切に制御する必要がある。一方で、過剰な窒素の投入は、稈長や節間長を伸ばし、倒伏の危険性を高めることも報告されている(Pinthus 1973)。倒伏は、収量や作業性を低下させるため(Fischer and Stapper 1987), 多収を達成するためには、倒伏を防ぎつつ多くの窒素を施用する必要がある。

コムギの高品質多収栽培には、生育診断とそれに基づく窒素の可変施肥(以下「可変施肥」とする)が有効である可能性がある。水稻では、高品質米生産のために分光放射計測や画像診断を用いた可変施肥技術が研究されている(鳥山 2008)。例えば分光放射計によって測定される正規化植生指数(NDVI)は、窒素蓄積量やクロロフィル含量、 m^2 あたり初数との相関関係が報告されている(脇山 2005, 佐々木 2007)。コムギでも、近赤外光を用いることにより茎数が推定できること(Flowersら 2001)やNDVIおよびレーザー式センサーの出力値(S1値)で窒素蓄積量が推定できることから、これらの診断ツールが多収栽培に有効であることが報告されている(原ら 2015, 林 2015)。パン用コムギで可変施肥を活用するためには、診断時期の生育量や診断指標と、窒素の追肥量や施肥時期、収量や子実タンパク質含有率の関係をより明確に解明する必要があると考えられる。

コムギにおいて、穂肥重点施肥(水田ら 2017, 水田ら 2019)をベースに可変施肥を行うには、茎数の管理が重要になると考えられる。穂肥重点施肥は、窒素の吸収効率が低い基肥や分けつ肥(石丸ら 2016)の窒素施用量を抑え、その分を吸収率の高い穂肥窒素として施用する栽培方法である。穂肥重点施肥は、パン用コムギの高品質多収栽培に

第1表 2017/18年および2018/19年に栽培した「せときらら」における圃場ごとの播種量と窒素施肥時期、窒素施肥量。

処理区	A 圃での播種量 (g m ⁻²)	B 圃での播種量 (g m ⁻²)	窒素施肥量 (g m ⁻²)						
			基肥	分けつ肥	穂肥Ⅰ	穂肥	穂肥Ⅱ	開花期追肥	出穂前総窒素施肥量
2017/18 年									
0-3-6-4	3 又は 6	－	－	3	6	－	4	6	13
0-5-6-2	3	－	－	5	6	－	2	6	13
6-3-4-0	6	6	6	3	－	4	－	6	13
0-3-7-3	－	6 又は 9	－	3	7	－	3	6	13
0-5-5-3	6	6 又は 9	－	5	5	－	3	6	13
0-7-4-2	－	6 又は 9	－	7	4	－	2	6	13
2018/19 年									
5-3-3-0	3 又は 6	6 又は 9	5	3	－	3	－	6	11
0-0-6-5	3 又は 6	6 又は 9	－	－	6	－	5	6	11
0-2-6-3	3 又は 6	6 又は 9	－	2	6	－	3	6	11
0-4-5-2	3 又は 6	6 又は 9	－	4	5	－	2	6	11

2017/18年は、基肥をGS00、分けつ肥をGS15、穂肥ⅠをGS30、穂肥をGS32、穂肥ⅡをGS37に施用した。

2018/19年は、基肥をGS00、分けつ肥をGS14、穂肥ⅠをGS30、穂肥をGS31、穂肥ⅡをGS37に施用した。

GSは、Zadoksら(1974)の生育ステージを示す。2017/18年のA圃の播種量6 g m⁻²区は、GS30の生育量が多かったため、倒伏を避ける目的で0-5-6-2を0-5-5-3とした。

適した栽培方法であるが、茎数を増やすために施用する基肥や分けつ肥(和田2002)を省略するため、過湿土壌(小柳2008, Robertsonら2009)や生育初期の高温(田谷1993)によって苗立ち数や茎数が抑制されれば、収量形成でとくに重要な穂数(稲村ら2007)が少なくなり、収量が慣行的な施肥法に比べてより低下する危険性がある。

本研究では、穂肥重点施肥で栽培したパン用コムギ品種「せときらら」を対象に、苗立ち不良を想定して播種量を制限した群落を作り、苗立ち数が少なくなった場合でも分けつ期の窒素追肥量を多くすれば、茎数や穂数を回復させ、収量の低下程度を軽減できるかどうかを検証した。

材料と方法

試験は、2017/18年と2018/19年に山口大学農学部附属農場(北緯34度15分、東経131度47分)で栽培したパン用コムギ品種「せときらら」を対象に行った。試験圃場は、2014年以降水田転換していないA圃(水稲作から播種までの期間は2017/18年と2018/19年でそれぞれ37か月および49か月)と稲作直後のB圃を用いた。A圃とB圃は、1965年ごろに造成されたそれぞれ40aの隣接する圃場であり、A圃でコムギ作を開始した2014/15年までは水稲を連作していた。土壌は、いずれの圃場も灰色低地土で同じ土質である。A圃における2015/16年の理化学性は、水田ら(2019)に示した。いずれの圃場も排水性が悪く、とくに多雨年では収量水準が低下しやすい。播種は、2017/18年では11月7日、2018/19年では11月12日に4条播種機で行った。栽培は、1.5m幅の畝たて様式で、畝中央に4条ドリル播きとした。2017/18年では、播種前に土壌改良資材として苦土入り石灰を120 g m⁻²施用し、2018/19年ではミネラルGを100 g m⁻²施用した。

2017/18年の処理区は、A圃では播種量2水準(標準播種量、少播種量)と窒素の施肥時期4水準を組み合わせた5処理区を設け、B圃では播種量2水準(標準播種量、少播種量)と窒素の施肥時期4水準を組み合わせた7処理区を設けた。播種量は、A圃では標準播種量区で6 g m⁻²、少播種量区で3 g m⁻²とした。B圃では、過湿気味な土質により発芽不良が起こりやすいため、標準播種量区を9 g m⁻²、少播種量区を6 g m⁻²とした。窒素肥料は、第1表に示したように尿素で施用し、施用時期は、基肥を11月8日(GS00)、分けつ肥を1月16日(第5葉抽出期(GS15))、穂肥Ⅰを2月14日(節間伸長開始期(GS30))、穂肥を2月27日(第2伸長節間出現、伸長期(GS32))、基肥を施用した処理区のみ)、穂肥Ⅱを3月30日(止葉抽出期(GS37))とした。GSは、Zadoksら(1974)の生育ステージを示す。いずれの処理区も、開花期に窒素を6 g m⁻²となるよう尿素で施用した。処理区の配置は、4反復の乱塊法とした。

2018/19年でも、A圃およびB圃でそれぞれ播種量2水準(標準播種量、少播種量)と窒素の施肥時期4水準を組み合わせた8処理区を設けた。播種量も2017/18年と同様とした。窒素肥料は、第1表に示したように尿素で施用し、施用時期は、基肥を11月14日(GS00)、分けつ肥を1月17日(第4葉抽出期(GS14))、穂肥Ⅰを2月8日(GS30)、穂肥を2月27日(第1伸長節間出現、伸長期(GS31))、穂肥Ⅱを3月15日(GS37)とした。いずれの処理区も、開花期に窒素を6 g m⁻²となるよう尿素で施用した。処理区の配置は、4反復の乱塊法とした。

作土層の体積含水率は、土壌水分センサー(EC-5, Decagon Devices)を用いて計測した。センサーは、地表面から深さ10 cmおよび20 cmにそれぞれ2点ずつ水平に埋設、測定したが、A圃とB圃のいずれも同様に推移したた

第2表 2017/18年における水稲作から播種までの期間が異なる2圃場の播種量や分けつ期窒素追肥量を異にする「せときらら」の収量、収量構成要素、子実タンパク質含有率(GPC)。

圃場	播種量 (g m ⁻²)	窒素施肥 (g m ⁻²)	収量 (g m ⁻²)	全乾物重 (g m ⁻²)	収穫指数 (%)	穂数 (m ⁻²)	一穂 粒数	千粒重 (g)	GPC (%)
A 圃 (37 カ月)	3	0-3-6-4	546	1139	43.8 ^a	449 ^b	40.5 ^a	37.3	12.7 ^a
	3	0-5-6-2	556	1141	43.7 ^a	468 ^{ab}	41.1 ^a	37.9	12.5 ^a
	6	6-3-4-0	513	1161	40.6 ^b	586 ^a	31.9 ^b	36.3	10.4 ^b
	6	0-3-6-4	559	1214	41.9 ^{ab}	551 ^{ab}	36.5 ^{ab}	37.7	12.7 ^a
	6	0-5-5-3	537	1162	41.6 ^{ab}	555 ^{ab}	37.0 ^{ab}	36.5	12.6 ^a
B 圃 (1 カ月)	6	6-3-4-0	500	1003	42.6	481	30.1	41.6	11.5 ^b
	6	0-3-7-3	530	1022	44.7	448	33.8	41.9	12.6 ^a
	6	0-5-5-3	539	1088	42.6	463	31.0	41.1	12.5 ^a
	6	0-7-4-2	578	1138	43.9	486	33.7	41.1	12.6 ^a
	9	0-3-7-3	607	1183	44.4	529	33.4	42.3	12.7 ^a
	9	0-5-5-3	562	1150	42.7	528	33.8	40.8	12.4 ^a
	9	0-7-4-2	559	1151	43.0	538	33.1	38.9	12.6 ^a

「圃場」の括弧内の月数は、水稲作から播種までの期間を示す。収量および千粒重は、2.2 mm の篩でふるい、水分含水率を12.5%に補正した値を示す。異なる英小文字は、Tukey の検定において同一圃場内で有意差 ($P < 0.05$) があることを示す。

め、結果は省略した。

茎数の調査は、2017/18年ではGS15(1月16日)とGS30(2月19日)に行った。2018/19年では、GS10(苗立ち数, 11月28日)とGS14(1月15日), GS30(2月13日)に行った。茎数は、4条を条に沿って0.5 m 分計測し、調査面積(0.75 m²)で除することにより求めた。

成長解析のためのサンプリングは、2017/18年ではGS30(2月15日), GS55(4月11日, 穂揃い期)およびGS92(5月30日, 成熟期)に行った。2018/19年でも、GS30(2月4日), GS55(4月8日)およびGS92(5月31日)に行った。調査内容は、GAI(緑面積指数: 穂と稈の表面積および葉身向軸側面積の総和)とCGR(個体群成長速度), NAR(純同化率)および地上部窒素蓄積量とした。調査した個体は、4条を条に沿って0.5 m の範囲で地際から刈り取り、葉身と稈+葉鞘、穂に分け、それぞれ乾物重を測定した。GAIは、それぞれの部位の一部のサンプルを用いて乾物重あたり表面積を葉面積計(AAM-8, 林電工)で測定し、面積あたり乾物重を乗じて求めた。CGRとNARは、作物調査基準の成長解析法(広田2013)に従い求めた。

地上部窒素蓄積量は成長解析用のサンプルを用いて、部位ごとの窒素含有率をケルダール法(大山1990)とインドフェノール法(大山1990)で求め、部位ごとの面積当たり乾物重を乗じて求めた(水田ら2017)。

収量調査は、2017/18年では5月30日に行い、2018/19年では5月31日に行った。調査内容は、収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率とした。収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率の調査方法は、水田ら(2017)と同様とした。

気象データは、栽培場所と栽培期間が水田ら(2021)と同じであるため、概略の結果を示した。

統計処理は、2017/18年ではTukeyの多重比較を行った。

2018/19年では二元配置の分散分析を行い、有意差があった場合にはTukeyの多重比較を行った。

結 果

2017/18年の気象条件は、平年値に比べてGS30過ぎまでは低温傾向で積算降水量が150 mmと少なかったが、その後は降水量がやや多いものの気温が高く日照時間も長かった。2018/19年は、生育期間を通じて気温が高い暖冬年であり、GS30までの積算降水量が162 mmと少なく、GS55以降では積算降水量が平年値に比べて約40%も少なかった。

第2表は、2017/18年における収量、収量構成要素、子実タンパク質含有率(GPC)を示す。収量は、A圃とB圃のいずれも6-3-4-0区以外の処理区で約550 g m⁻²と6-3-4-0区に比べて高くなる傾向があった。全乾物重は処理による差はなく、A圃とB圃のいずれも約1100 g m⁻²であった。収穫指数は、A圃では播種量3 g m⁻²の0-3-6-4区と0-5-6-2区が播種量6 g m⁻²の6-3-4-0区に比べて有意に高かった。B圃では処理による差がなくいずれも約43%であった。

穂数は、A圃では播種量6 g m⁻²の6-3-4-0区が播種量3 g m⁻²の0-3-6-4区に比べて有意に多かった。0-5-6-2区も播種量6 g m⁻²区に比べると少なくなる傾向があったが、有意な差はなかった。B圃では処理による差がなく、約500本 m⁻²であった。一穂粒数は、A圃では播種量3 g m⁻²の0-3-6-4区と0-5-6-2区が播種量6 g m⁻²の6-3-4-0区に比べて有意に多かった。B圃では処理による差はなく、約33粒であった。千粒重は、いずれの圃場も処理による差はなく、A圃で約37 g、B圃で約42 gであった。GPCは、いずれの圃場も6-3-4-0区が約11%と他の処理区の約12.5%に比べて有意に低かった。

第3表には、2018/19年における収量、収量構成要素、

第3表 2018/19年における水稲作から播種までの期間が異なる2圃場の播種量や分けつ期窒素追肥量を異にする「せときらら」の収量、収量構成要素、子実タンパク質含有率 (GPC)。

圃場	播種量 (g m ⁻²)	窒素施肥 (g m ⁻²)	収量 (g m ⁻²)	全乾物重 (g m ⁻²)	収穫指数 (%)	穂数 (m ⁻²)	一穂粒数	千粒重 (g)	GPC (%)
A 圃 (49 カ月)	3	5-3-3-0	664	1372	42.4	390	42.5 ^{ab}	44.2	9.9 ^b
	3	0-0-6-5	681	1359	43.8	350	49.5 ^a	44.9	11.1 ^a
	3	0-2-6-3	743	1451	44.8	389	47.2 ^a	44.2	11.0 ^a
	3	0-4-5-2	689	1403	43.0	370	43.5 ^{ab}	44.4	10.6 ^{ab}
	6	5-3-3-0	670	1437	41.0	438	37.2 ^b	42.5	10.2 ^{ab}
	6	0-0-6-5	723	1383	45.8	386	47.1 ^a	43.9	10.3 ^{ab}
	6	0-2-6-3	722	1432	44.2	419	44.7 ^{ab}	43.4	10.7 ^{ab}
	6	0-4-5-2	752	1481	44.5	429	42.1 ^{ab}	43.7	11.0 ^a
分散分析		播種量	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		窒素施肥	ns	ns	ns	ns	**	ns	*
		交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B 圃 (1 カ月)	6	5-3-3-0	695	1376	44.2 ^{bc}	480	37.2 ^b	43.9	11.1
	6	0-0-6-5	781	1460	46.8 ^{ab}	453	47.1 ^a	44.3	11.2
	6	0-2-6-3	807	1490	47.4 ^a	469	44.7 ^{ab}	44.1	11.1
	6	0-4-5-2	777	1479	46.0 ^{ab}	479	42.1 ^{ab}	44.4	11.1
	9	5-3-3-0	733	1491	43.0 ^c	540	42.5 ^{ab}	43.0	11.3
	9	0-0-6-5	785	1450	47.3 ^a	473	49.5 ^a	44.0	11.1
	9	0-2-6-3	763	1429	46.7 ^{ab}	461	47.2 ^a	44.4	11.3
	9	0-4-5-2	770	1447	46.7 ^{ab}	509	43.5 ^{ab}	43.3	11.1
分散分析		播種量	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		窒素施肥	ns	ns	**	ns	*	ns	ns
		交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

「圃場」の括弧内の月数は、水稲作から播種までの期間を示す。収量および千粒重は、2.2 mm の篩でふるい、水分含水率を12.5%に補正した値を示す。*, ** は、分散分析においてそれぞれ5%および1%水準で有意差があることを示す。異なる英小文字は、Tukey の検定において同一圃場内で有意差 ($P < 0.05$) があることを示す。

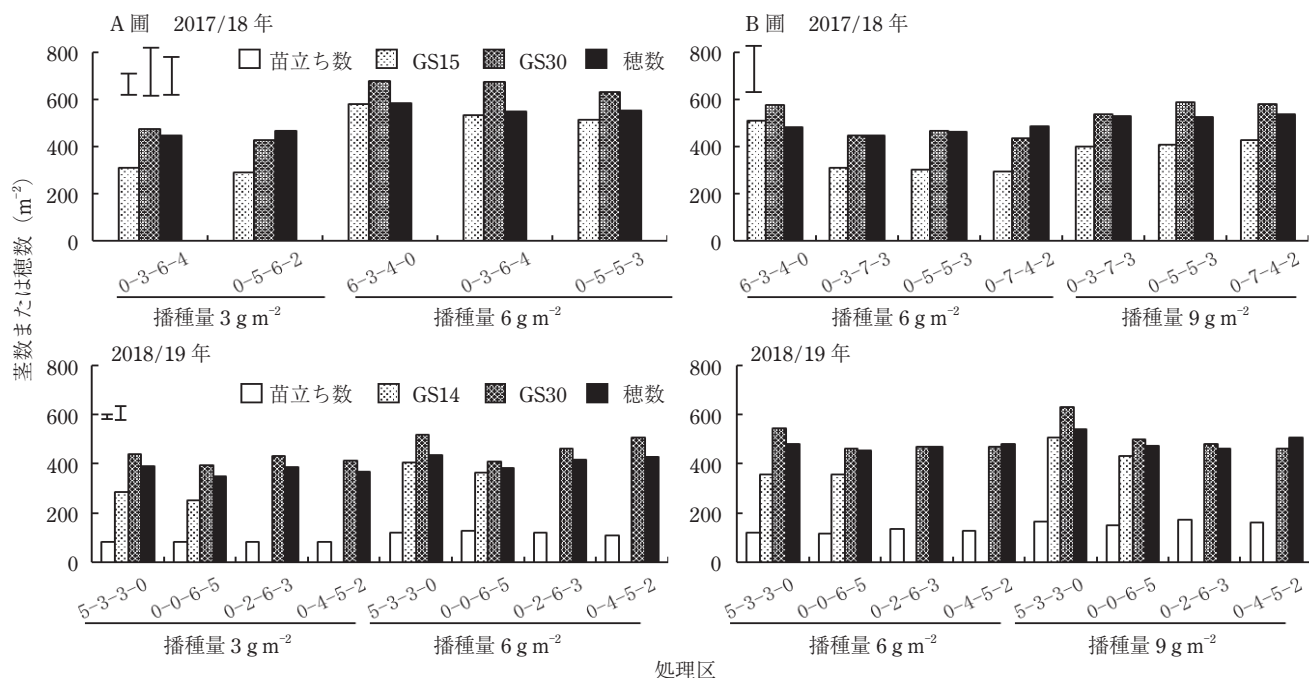
GPC を示した。収量は、A 圃と B 圃の穂肥重点施肥区 (5-3-3-0 区以外) でそれぞれ約 700 g m⁻² および約 750 g m⁻² と、5-3-3-0 区に比べて高くなる傾向があった。少播種量区の収量は標準播種量区と同程度であった。2018/19 年の収量は、2017/18 年やそれ以前の作期 (水田ら 2019) の水準に比べて顕著に高かった。全乾物重は処理による差はなく、いずれの圃場も約 1400 g m⁻² であった。収穫指数は、A 圃ではいずれの処理区も同程度であったが、B 圃ではいずれの播種量でも 5-3-3-0 区が 0-2-6-3 区に比べて有意に低かった。

穂数は、いずれの圃場も処理による差がなく、A 圃で約 400 本 m⁻²、B 圃で約 500 本 m⁻² であった。一穂粒数は、いずれの圃場でも 0-0-6-5 区が播種量 6 g m⁻² の 5-3-3-0 区に比べて有意に多かった。千粒重は、いずれの圃場も約 44 g であった。GPC は、A 圃では播種量 3 g m⁻² の 5-3-3-0 区が 0-0-6-5 区や 0-2-6-3 区に比べて有意に少なかった。B 圃ではいずれの処理区も約 11% であった。交互作用は、収量、収量構成要素、GPC のいずれもなかった。

第1図は、2017/18 年と 2018/19 年に栽培した「せときらら」の苗立ち数、4 葉期 (GS14) または 5 葉期 (GS15) と茎立ち開始期 (GS30) の茎数および成熟期の穂数を示す。

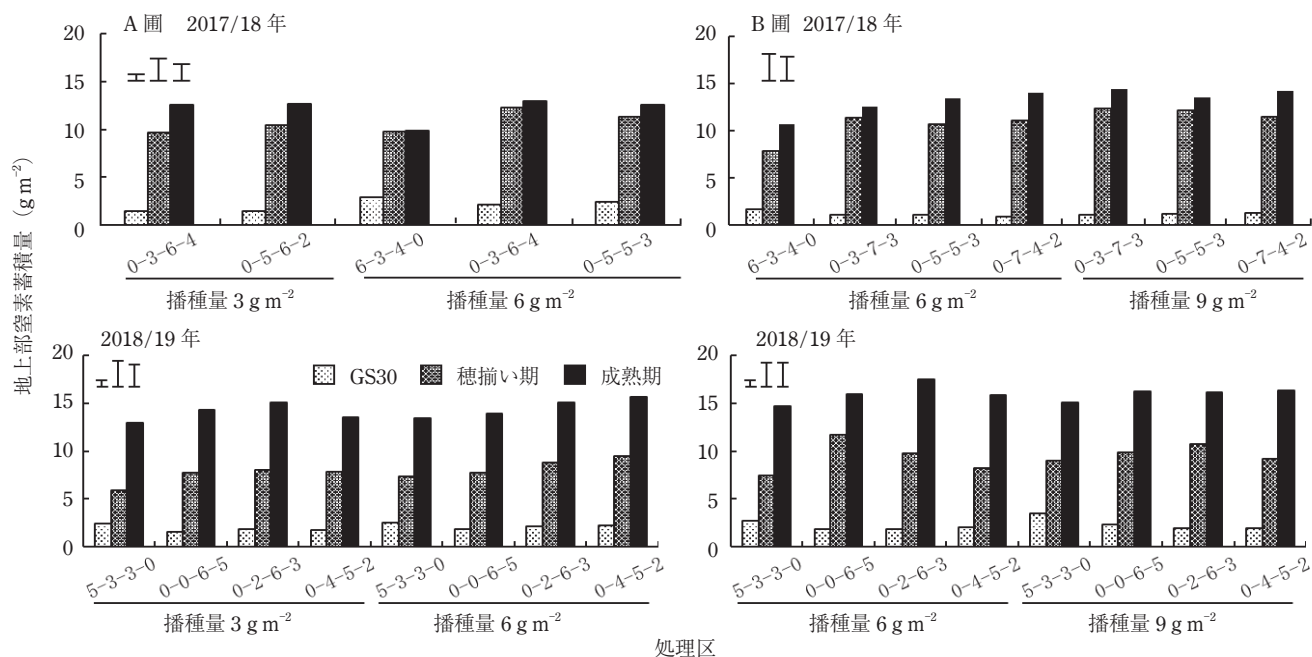
2017/18 年の A 圃では、GS15 の茎数が播種量 3 g m⁻² の区で約 300 本 m⁻² と播種量 6 g m⁻² 区の約 550 本 m⁻² に比べて有意に少なかった。GS30 でも播種量 3 g m⁻² の区が播種量 6 g m⁻² の区に比べて有意に少なかった。GS30 の茎数は、分けつ期窒素追肥量を多くしても増加しなかった。GS30 から成熟期 (穂数) にかけて、播種量 3 g m⁻² 区では無効化した茎がほとんどなく、播種量 6 g m⁻² 区ではいずれの窒素施肥区も約 100 本 m⁻² の茎が無効化した。成熟期の穂数は、播種量 6 g m⁻² 区が播種量 3 g m⁻² 区に比べて多くなった。B 圃では、GS15 の茎数が播種量 6 g m⁻² の 6-3-4-0 区で 509 本 m⁻² と、播種量 6 g m⁻² の他の窒素施肥区に比べて有意に多かった。播種量 9 g m⁻² 区は、いずれも約 400 本 m⁻² であった。GS30 では、いずれの播種量および分けつ期窒素追肥量でも約 500 本 m⁻² であった。GS30 から成熟期にかけて播種量 6 g m⁻² の 6-3-4-0 区と播種量 9 g m⁻² の 0-5-5-3 区および 0-7-4-2 区は約 50 本 m⁻² の茎が無効化した。成熟期の穂数は、いずれの播種量および分けつ期窒素追肥量でも約 500 本 m⁻² であった。

2018/19 年の A 圃では、播種量 3 g m⁻² 区の苗立ち数が約 80 本 m⁻² と播種量 6 g m⁻² 区の 120 本 m⁻² に比べて有意に少なかった。GS30 では、播種量 3 g m⁻² 区の茎数は、分



第1図 2017/18年と2018/19年に栽培した「せときらら」のA圃(左)およびB圃(右)における苗立ち数, 4葉期(GS14)または5葉期(GS15)と茎立ち開始期(GS30)の茎数および成熟期の穂数。

左上のバーは、圃場および生育ステージが同じ処理区間でTukeyの多重比較における5%水準のHonestly Significant Difference (HSD)を示す。



第2図 2017/18年と2018/19年に栽培した「せときらら」のA圃(左)およびB圃(右)における茎立ち開始期(GS30)と穂揃い期, 成熟期の地上部窒素蓄積量。

左上のバーは、圃場および生育ステージが同じ処理区間でTukeyの多重比較における5%水準のHonestly Significant Difference (HSD)を示す。

げつ期窒素追肥量にかかわらず約400本 m⁻²であった。B圃でも播種量6 g m⁻²区の苗立ち数は約120本 m⁻²であった。GS14以降の茎数の推移は、播種量とげつ期窒素追肥量のいずれの要因に関しても、2017/18年のB圃と同様であった。いずれの生育ステージでも、播種量と窒素施肥の間に

交互作用はなかった。

第2図には、2017/18年と2018/19年に栽培した「せときらら」の茎立ち開始期(GS30)と穂揃い期, 成熟期の地上部窒素蓄積量を示した。2017/18年のA圃では、GS30の地上部窒素蓄積量が播種量3 g m⁻²区で約1.4 g m⁻²と播

第4表 A圃で栽培した「せときらら」におけるGS30以降の個体群成長速度(CGR), 緑面積指数(GAI) および純同化率(NAR).

窒素施肥 (g m ⁻²)	播種量 (g m ⁻²)	CGR (g m ⁻² d ⁻¹)		GAI (m ² m ⁻²)		NAR (g m ⁻² d ⁻¹)
		GS30 – GS55	GS55 – GS92	GS30	GS55	GS30 – GS55
2017/18 年						
0-3-6-4	3	12.4	8.4	0.92	8.7	1.56
0-5-6-2	3	12.5	8.4	0.72	9.9	1.56
6-3-4-0	6	13.5	7.2	2.00	10.8	1.13
0-3-6-4	6	14.4	7.7	1.24	11.0	1.41
0-5-5-3	6	13.6	7.3	1.30	9.9	1.40
2018/19 年						
5-3-3-0	3	9.6	13.3	0.92	5.6	1.62
0-0-6-5	3	9.4	13.6	0.67	6.6	1.56
0-2-6-3	3	9.9	14.6	0.73	6.1	1.71
0-4-5-2	3	10.1	13.6	0.65	6.3	1.76
5-3-3-0	6	11.0	12.9	0.93	7.1	1.58
0-0-6-5	6	9.3	13.9	0.86	6.8	1.41
0-2-6-3	6	10.3	13.5	1.03	6.7	1.49
0-4-5-2	6	11.5	13.3	0.87	7.0	1.74

GS30 (茎立ち開始期) は, 2017/18 年と 2018/19 年でそれぞれ 2 月 15 日と 2 月 4 日, GS55 (穂揃い期) はそれぞれ 4 月 11 日と 4 月 8 日であった.

播種量 6 g m^{-2} 区の約 2.5 g m^{-2} に比べて有意に少なかった. GS30 の地上部窒素蓄積量は, いずれの分けつ期窒素追肥量でも同程度であった. 穂揃い期の地上部窒素蓄積量は, 播種量や分けつ期窒素追肥量に関係なく約 10 g m^{-2} であった. 成熟期の地上部窒素蓄積量は, 6-3-4-0 区が他の処理区に比べて約 25% 有意に少なかった. B 圃では, GS30 の窒素蓄積量が播種量や分けつ期窒素追肥量に関係なくいずれも約 1.2 g m^{-2} であった. 穂揃い期では, 播種量 6 g m^{-2} の 6-3-4-0 区が 7.9 g m^{-2} と他の処理区の約 11 g m^{-2} に比べて有意に少なかった. 成熟期でも 6-3-4-0 区は他の処理区に比べて有意に少なかった. 2018/19 年でも 2017/18 年と同様に, GS30 では 5-3-3-0 区が他の処理区に比べて有意に多いものの, 分けつ期窒素追肥量による差はなく, 穂揃い期以降では 5-3-3-0 区のような生育前期重点型施肥で有意に少なかった. いずれの生育ステージでも, 播種量と窒素施肥の間に交互作用はなかった.

第4表には, GS30 以降の個体群成長速度 (CGR), 緑面積指数 (GAI) および純同化率 (NAR) を示した. CGR は, 2017/18 年の GS30 から GS55 では分けつ期窒素追肥量による差はなかったが, 播種量 6 g m^{-2} 区が播種量 3 g m^{-2} 区に比べて $1.6 \text{ g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 高くなる傾向があった. GS55 から GS92 では, 播種量 3 g m^{-2} 区が播種量 6 g m^{-2} 区に比べて $0.9 \text{ g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 高くなる傾向があった. 2018/19 年では, いずれの生育ステージ間においても播種量や分けつ期窒素追肥量に関係なく同程度であった. GAI は, 2017/18 年の GS30 では基肥と分けつ肥を最も多く施用した 6-3-4-0 区が $2.00 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ と最も高かった. 播種量 3 g m^{-2} 区では, 播種量 6 g m^{-2} 区に比べて約 38% 低くなる傾向があった. GS55 では, 播種量や分けつ期窒素追肥量に関係なく同程度で

あった. 2018/19 年では, いずれの生育ステージにおいても播種量や分けつ期窒素追肥量に関係なく同程度であった. NAR は, 2017/18 年と 2018/19 年のいずれも播種量や分けつ期窒素追肥量に関係なく同程度であった. 交互作用は, CGR, GAI, NAR のいずれもなかった.

考 察

本研究では, 少播種量区を設けることによって人為的に m^2 あたり茎数不足となった群落を作り, 分けつ期の窒素追肥量を増やすことによって収量の減少を軽減できるかどうかを検証した. その結果, 「コムギを穂肥重点施肥で栽培する場合は, 分けつ期の茎数診断と分けつ期における窒素追肥の可変施肥を行うことよりは, むしろ苗立ち数を確保することが重要である」という結論に至った. 以下にこの結論について説明する.

穂肥重点施肥条件下では, 分けつ期窒素追肥量を増やしても, それが窒素吸収量や茎数, 葉面積を増やすようには作用しないことが明らかになった. 従来の生育前期重点型の施肥体系では, 茎数や穂数は基肥や分けつ肥の窒素施肥量を増肥することによって増加することが知られている (江口ら 1969, Tamaki ら 1999, 福嶋ら 2001, 竹内ら 2006). そのため本研究では, 苗立ち数が少なく茎数不足になった場合でも分けつ期の窒素追肥量を増やすことによって茎数が多くなり, 穂数を確保しやすくなることによって減収程度を小さくできると考えた. しかし, 穂肥重点施肥で育てたコムギ群落では, GS30 の茎数は, 茎立ち期までに低温が続いた 2017/18 年でも, 暖冬だった 2018/19 年でも, 分けつ期窒素追肥量を増加してもそれに応じて増加するわけではなかった (第1図). 成長量に目を向けると, 分けつ期

窒素追肥量を増加しても GS30 の地上部窒素蓄積量は茎数と同様に増加せず (第 2 図), GAI や CGR も高まらなかった (第 4 表). 分げつ肥の増肥によって茎数や穂数が多くなるとした先行研究は, 基肥を多く施用した場合 (江口ら 1969) やポット試験におけるものであり (Tamaki ら 1999), 圃場試験で穂肥重点施肥のように基肥を省略した場合では異なる結果となると考えられた. また, 本研究と同様に分げつ肥は茎数を増やさなかったこともこれまでに報告されており (土谷 2012), 分げつ肥の効果については今後より詳細な検証が必要であると考えられた.

穂肥重点施肥で栽培した少播種量区の「せときらら」は, 分げつ期窒素追肥量に関係なく標準播種量区の生育前期重点型施肥区で栽培したコムギよりも多収となった (第 2 表, 第 3 表). 茎数をみると, 基肥も分げつ肥も施用しない 2018/19 年の 0-0-6-5 区や, 分げつ期までの窒素施肥量が最少であった 2017/18 年の 0-3-6-4 区 (A 圃) や 0-3-7-3 区 (B 圃) でも, GS30 には茎数が 400 本 m^{-2} 以上となった (第 1 図). しかも, 少播種量区の穂肥重点施肥区では有効茎歩合が 85% 以上と極めて高く (第 1 図), 成熟期の穂数も最少でも 350 本 m^{-2} を確保することができた (第 3 表, 第 1 図). 本州以南のコムギ栽培では, 基肥と分げつ肥に出穂前総窒素施肥量の 60% 以上を施用する体系が一般的であり, 条件によっては最高茎数が 1200 本 m^{-2} となり, 無効茎が有効茎の 3 倍以上になることがある (土谷 2012). それに対し, 著者らがパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」(水田ら 2017) や「せときらら」(データ省略) で確認した結果, 穂肥重点施肥では 1 株当たりで主茎, 第 1 節分げつ, 第 2 節分げつ, 第 3 節分げつの 4 本が無効化することなくほぼ有効化し, さらに株や条件によっては鞘葉節分げつも有効化した. 本州以南の目標収量を仮に 500 g m^{-2} とすると, 必要な穂数は, 過去 3 作期における穂肥重点施肥で栽培した「せときらら」(水田ら 2019) から得られた千粒重約 39.9 g と一穂整粒数約 39.0 粒から計算して, 約 320 本 m^{-2} 以上と算出される. 本研究では, A 圃の少播種量区で苗立ち数が 80 本 m^{-2} 程度であったが (第 1 図), 穂数は 350 本 m^{-2} 以上となり, 収量が標準播種量区の 6-3-4-0 区や 5-3-2-0 区を上回ることが確認できた (第 2 表, 第 3 表, 第 1 図). Tanaka ら (2019) は, 穂数不足による収量低下は苗立ち数が 71 本 m^{-2} 未満であるときに起こることを報告しており, 苗立ち数がより少ない条件でも検討する必要があると考えられた.

本研究の結論に関しては, 気象や地力, 品種などが異なる条件でも検証する必要があると考える. 試験を行った 2017/18 年と 2018/19 年の降水量は, 播種直後から茎立ち開始期 (GS30) までの間にそれぞれ 150 mm と 162 mm と, その前の 3 作期 (水田ら 2019) の 340 mm , 338 mm , 459 mm に比べて少なかった. 麦類の分げつ発生数は, 土壌の過湿状態や嫌気条件によって減少することから (Sharma and Swarup 1988, Robertson ら 2009), 播種期から茎立ち開始期に多雨となる環境では, 分げつ期窒素追肥量に応じて

茎数が増加する, あるいは一次分げつの有効歩合が低下するなどといった本研究とは相反する結果になることも予想される. 地力についても同様に, 圃場の地力が著しく低い場合には, 穂肥重点施肥で栽培すると分げつの出現が抑制され, 窒素追肥量に応じて茎数が増加する可能性もある. なお, 本試験を行った圃場の土壌は粘土を多く含むため排水性が低く, 降水後の地下水位低下も遅く (データ省略), 地力も低い (水田ら 2019) といった麦作に向かない圃場であり, 通常の排水性や地力を備えた圃場であれば, これらは大きな問題とはならないと考えられる. 品種に関しては, パン用コムギ品種「せときらら」が従来の品種に比べて穂数が多くなりやすい多収品種であったこと (高田ら 2017) から, 分げつが出現あるいは有効化しにくい品種では, 本研究とは異なる結果となる可能性もある. 以上の考察を踏まえて, パン用コムギの可変施肥技術を実用化するためには, より多くの栽培条件でデータ蓄積が必要であると考えられる.

謝辞: 栽培試験の遂行にあたり, 協力いただいた山口大学農学部附属農場の長砂光治氏ならびに高田暁氏に感謝の意を表する.

引用文献

- 江口久夫・平野寿助・吉田博哉 1969. 暖地におけるコムギの良質化栽培に関する研究 (第 2 報) 3 要素施用量および窒素の施用時期・施用法と品質との関係. 中国農試研報 A17: 81-111.
- Fischer, A.R. and Stapper, M. 1987. Lodging effects on high-yielding crops of irrigated semidwarf wheat. *Field Crops Res.* 17: 245-258.
- Flowers, M., Weisz, R. and Heiniger, R. 2001. Remote sensing of winter wheat tiller density for early nitrogen application decisions. *Agron. J.* 93: 783-789.
- 福寛陽・楠田幸・古畑昌己 2001. 基肥の省略が早播きした秋播性コムギ「イワイノダイチ」の生育および収量に及ぼす影響. 日作九支報 67: 28-31.
- 原圭祐・須田達也・渡部敢 2015. センサベース可変施肥のコムギ生産における評価. 農業食料工学会誌 77: 485-493.
- 林邦広 2015. リアルタイム可変施肥を実現したレーザ式生育センサ. 農業食料工学会誌 77: 13-16.
- 広田雄二 2013. 日本作物学会九州支部会編, 作物調査基準 初版第 1 刷. 日本作物学会九州支部. 10.
- Hitz, K., Clark, A.J. and Sanford, D.A.V. 2017. Identifying nitrogen-use efficient soft red winter wheat lines in high and low nitrogen environments. *Field Crops Res.* 200: 1-9.
- 稲村達也・吉川茜・松本憲悟・池永幸子・井上博茂・山末祐二 2007. コムギ収量の圃場内変動をもたらし要因の解析と可変量管理の可能性. 日作紀 76: 189-197.
- 石丸知道・荒木雅登・荒木卓哉・山本富三 2015. 適正子実タンパク質含有率からみた中華めん用コムギ品種「ちくし W2 号」の穂揃期後の窒素追肥時期. 日作紀 84: 155-161.
- 石丸知道・荒木雅登・荒木卓哉・山本富三 2016. 中華めん用コムギ品種「ちくし W2 号」の子実タンパク質含有量における施肥窒素の利用効率と地力窒素の寄与率. 日作紀 85: 385-390.

- 岩渕哲也・田中浩平・松江勇次・松中仁・山口末次 2007. 開花期の窒素追肥がパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」と「ニシノカオリ」の製粉性、生地物の物性および製パン適性に及ぼす影響. 日作紀 76: 37-44.
- 岩渕哲也・浜地勇次・宮崎真行・内川修 2011. 近年の北部九州産コムギにおける子実タンパク質含有率低下の要因解析. 日作紀 80: 59-64.
- 水田圭祐・荒木英樹・中村和弘・松中仁・丹野研一・高橋肇 2017. パン用コムギ品種「ミナミノカオリ」における穂肥重点施肥が収量と子実タンパク質含有率におよぼす影響. 日作紀 86: 319-328.
- 水田圭祐・荒木英樹・高橋肇 2019. 穂肥重点施肥による多収パン用品種「せときらら」の高品質多収化. 日作紀 88: 98-107.
- 水田圭祐・荒木英樹・中村和弘・松中仁・高橋肇 2021. 肥効調節型肥料を用いた穂肥重点施肥がパン用コムギの収量と子実タンパク質含有率におよぼす影響. 日作紀 90: (印刷中).
- 農林水産省 2020a. 食料自給率の向上に向けた取り組み ウ 小麦. https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h23_h/trend/part1/chap1/c1_04.html (2020/2/25 閲覧).
- 農林水産省 2020b. 作物統計調査. 作況調査. 平成 30 年産小麦. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html (2020/2/25 閲覧).
- 農林水産省 2020c. 麦の需給と価格について. 麦の参考統計表. https://www.maff.go.jp/j/seisan/boueki/mugi_zyukyuu/ (2020/2/25 閲覧).
- 大山卓爾 1990. 植物栄養実験法編集委員会編, 植物栄養実験法 第 4 刷. 博友社, 東京. 第 V 章 窒素化合物分析法 174-177.
- 小柳敦史 2008. 茨城県稲敷市の大区画水田でみられた 2007 年産コムギにおける圃場内の生育ムラと土壌の凹凸及び土壌水分との関係 - 湿害の発生様相 -. 日作紀 77: 511-515.
- Pinthus, M.J. 1973. Lodging in wheat, barley and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. *Adv. Agron.* 25: 209-263.
- Robertson, D., Zhang, H., Palta, A. J., Colmer, T. and Turner, C. N. 2009. Waterlogging affects the growth, development of tillers, and yield of wheat through a severe, but transient, N deficiency. *Crop Pasture Sci.* 60: 578-586.
- 佐々木次郎 2007. 高品質・良食味米の生産に向けた生育情報の予測・診断技術への応用. *農業機械学会誌* 69: 12-16.
- Sharma, P.D. and Swarup, A. 1988. Effects of short-term flooding on growth, yield and mineral composition of wheat on sodic soil under field conditions. *Plant Soil* 107: 137-143.
- 島崎由美・渡邊好昭・松山宏美・平沢正 2014. 窒素追肥の時期がコムギ品種「ユメシホウ」の収量および子実タンパク質含有率に及ぼす影響. 日作紀 83: 25-31.
- 高田兼則・谷中美貴子・石川直幸・池田達哉・船附雅子 2017. 製パン性に優れ多収の硬質小麦新品種「せときらら」の育成. *西日本農研報* 17: 13-30.
- 高山敏之・長嶺敬・石川直幸・田谷省三 2004. コムギにおける出穂 10 日後追肥の効果. 日作紀 73: 157-162.
- 竹内実・近乗偉夫・吉良知彦 2006. 醤油醸造用硬質コムギの高タンパク質化へ向けた施肥法について. 日作九支報 72: 25-28.
- Tamaki, M., Ashraf, M., Imai, K. and Moss, N.D. 1999. Water and nitrogen effects on the growth and yield of spring wheat. *Environ. Control. Biol.* 37: 143-151.
- Tanaka, T.S.T., Kono, Y. and Matsui, T. 2019. Assessing the spatial variability of winter wheat yield in large-scale paddy fields of Japan using structural equation modelling. *Precis. Agric.* 19: 751-757.
- 田谷省三 1993. 暖地における早生コムギ品種の収量性に関する育種学的研究. *九州農試報告* 27: 333-398.
- 鳥山和伸 2008. 非破壊的手法による作物栄養診断の最前線 1. 水稲: リモートセンシングによる窒素栄養診断. *土肥誌* 80: 66-74.
- 土谷大輔 2012. 硬質小麦品種「ミナミノカオリ」の収量向上および子実タンパク質含有率制御技術. *長崎農林技セ研報* 3: 13-26.
- 和田道弘 2002. 日本作物学会編, 作物学事典 初版第 1 刷. 朝倉書店, 東京. 339.
- 脇山恭行 2005. 植生指数と水稲の初数の関係. *農業気象* 61: 61-67.
- Zadoks, C.J., Chang, T.T. and Konzak, F.C. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.

The Verification of Variable-Rate Fertilization in Response to the Tiller Number of a Wheat Cultivar for Bread “Setokirara” : Keisuke MIZUTA¹⁾, Hideki ARAKI²⁾ and Tadashi TAKAHASHI²⁾ (¹⁾*The United Grad. Sch. of Agricultural Sci., Tottori Univ.*; (²⁾*Grad. Sch. of Tech. for Innov., Yamaguchi Univ., Yamaguchi 753-8515, Japan*)

Abstract : The variable-rate fertilization (VRF) based on a diagnosis of crop growth would be effective for the enhancement of yield and quality of wheat. In this study, we hypothesized that control of the tiller number would be important for VRF in wheat grown through intensive nitrogen fertilization during stem elongation (INFDSE) and determined whether yield losses due to poor seedling establishment could be compensated by control of the amount of N top-dressed at tillering (GS14). The poor seedling establishment was reproduced by lowering the sowing density. At the lower sowing density, seedling density was approximately 80 stands per m² which was significantly lower than that at the normal sowing density which had approximately 120 stands per m². In GS14, the tiller number at the lower sowing density was also lower than that at the normal sowing density. Increase in the amount of N top-dressed at tillering, however, did not increase the tiller number; the tiller number at the initiation of stem elongation was approximately 400 per m² in all treatments. Even in plants grown by INFDSE, a ear number of more than 350 per m² could be obtained at the lower sowing density because more than 85% of the tillers formed an ear. As a result, yields of plants grown at the lower sowing density were identical to those of plants grown at the normal sowing density under INFDSE. This study confirmed that under INFDSE, although the tiller number could not be controlled by N top-dressing at tillering, a high yield can be derived at seedling density of more than 80 per m².

Key words : Diagnosis of crop growth, Grain protein content, Intensive nitrogen fertilization during stem elongation (INFDSE), Variable-rate fertilization, Wheat cultivar for bread, Yield.