

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

水田圭祐¹⁾・荒木英樹²⁾・中村和弘³⁾・松中仁³⁾・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, (³⁾ 農研機構九州沖縄農業研究センター)

要旨：穂肥重点施肥はパン用コムギの高品質多収栽培に適しているが、速効性肥料を用いた分施肥体系のため、追肥作業に時間や労力がかかることが課題となっている。本研究では、省力的に穂肥重点施肥の肥効を再現できる肥効調節型肥料の種類や施用時期を明らかにするため、熊本県と山口県でそれぞれ4作期および2作期にわたって検証した。熊本県で栽培した「ミナミノカオリ」の収量は、肥効調節型肥料の種類に関係なくいずれの作期も穂肥重点施肥区と同程度であった。子実タンパク質含有率は、2016/17年（2016年冬播種～2017年春収穫、以下同様）の全量基肥IB区と全量穂肥CDU区では低くなる傾向があったが、その他の作期ではいずれの肥効調節型肥料を用いても穂肥重点施肥区と同程度であった。成熟期の地上部窒素蓄積量は、いずれの作期でも茎立ち開始期に尿素とCDUを施用した穂肥尿素+CDU区と全量基肥LP30区が穂肥重点施肥区と同程度まで高まった。山口県で栽培した「せときらら」では、2017/18年の穂肥尿素+CDU区が穂肥重点施肥区と同等の収量および成熟期地上部窒素蓄積量となった。倒伏は2018/19年の熊本県における試験でのみ発生し、黄熟期の倒伏程度は全量穂肥CDU区が0.0と慣行分施肥区や全量基肥LP30区の2.6および2.3に比べて低かった。全量穂肥CDU区で倒伏程度が低かった原因は、慣行分施肥区や全量基肥LP30区に比べて稈長が16～76 mm短く、稈基部の節間長が8.4～23.6 mm短くなったためであった。茎立ち開始期に肥効調節型肥料および尿素を施用する全量穂肥施肥体系は、省力的なパン用コムギの高品質多収栽培に適した栽培方法であると考えられた。

キーワード：子実タンパク質含有率、多収、パン用コムギ、肥効調節型肥料、穂肥重点施肥。

パン・中華麺用コムギは、九州・山口地域において生産量が増えているが、反収が低いことが課題となっている。九州・山口地域における主要なパン用コムギ品種（くまきらり、さちかおり、せときらら、ちくしW2号、長崎W2号、ニシノカオリ、ミナミノカオリ）の総検査数量は、2009年では12,182 tであったが、2019年では29,208 tまで増加している（農林水産省2020a）。一方で、九州・山口地域における2019年産コムギの10 aあたり収量は、426 kg 10 a⁻¹と全国平均の484 kg 10 a⁻¹に比べて低い（農林水産省2020b）。そのため、生産者からは安定的に多収を達成できる栽培方法が求められている。

パン用コムギの栽培では、収量だけでなく子実タンパク質含有率も重要となる。パン用コムギは、品質評価のランク区分において子実タンパク質含有率11.5～14.0%が基準値として設定されており、実需者からは高子実タンパク質含有率のコムギが求められている。しかし、コムギの子実タンパク質含有率は、収量と負の相関関係があるため（岩渕ら2011）、パン用コムギの栽培では収量をも高めつつ子実タンパク質含有率を低下させない栽培方法が必要となる。

パン用コムギの高品質多収栽培には、穂肥重点施肥が有効である。水田ら（2017）は、パン用コムギ品種「ミナミノカオリ」を窒素の吸収効率が低い基肥と分けつ肥（石丸

ら2016）を省略し、その分窒素の吸収効率が低い穂肥を増肥した穂肥重点施肥で栽培することにより、収量をも高めつつ子実タンパク質含有率の低下を防ぐことができることを報告している。穂肥重点施肥のような生育後期重点施肥は、他のコムギ品種においても多収を達成しつつ子実タンパク質含有率の低下を防ぐことが報告されている（渡邊ら2016, 水田ら2019）。しかし、これらの窒素施肥法は、いずれも尿素などの速効性肥料を用いた分施肥体系であり、追肥作業に時間や労力が必要となる。追肥作業にかかる時間と労力は、肥効調節型肥料を用いることにより省力化できるため（田中ら2008）、肥効調節型肥料を用いて肥効を生育後期重点施肥と同様にできれば、パン用コムギの高品質多収に適した新たな施肥法となる可能性がある。

肥効調節型肥料の効果は、気象条件や土質によって異なる。肥効調節型肥料は、溶出速度や溶出量が土壌の種類に影響されることが報告されている（Nardiら2018）。穂肥重点施肥は、黒ボク土で排水性が高く肥沃なコムギ多収地帯である熊本県菊池郡大津町と、排水の悪い灰色低地土の山口県山口市のいずれでも高品質多収となったが（水田ら2017, 2019）、肥効調節型肥料を用いて穂肥重点施肥を再現しようとした場合、分施肥体系による穂肥重点施肥と異なった結果となる可能性がある。また、肥効調節型肥料の溶出

第1表 熊本県での試験における処理区ごとの窒素施肥時期と施肥量 (g m^{-2}).

処理区	総窒素 施肥量	施肥時期				
		基肥	分げつ肥	穂肥Ⅰ	穂肥	穂肥Ⅱ
2015/16 年						
慣行分施	10	4	3	－	3	－
穂肥重点施肥	10	－	－	5	－	5
全量基肥 IB	16	16	－	－	－	－
全量穂肥 CDU	16	－	－	16	－	－
全量基肥 LPS30	16	16	－	－	－	－
全量基肥 LP30+LPS30	16	16	－	－	－	－
2016/17 年						
慣行分施	10	4	3	－	3	－
穂肥重点施肥	10	－	－	5	－	5
穂肥尿素 +CDU	10	－	－	10	－	－
全量基肥 IB	10	10	－	－	－	－
全量分げつ肥 CDU	10	－	10	－	－	－
全量基肥 LP30	10	10	－	－	－	－
2017/18 年						
慣行分施	10	5	2	－	3	－
穂肥重点施肥	10	－	－	5	－	5
穂肥尿素 +CDU	10	－	－	10	－	－
全量基肥 IB	10	10	－	－	－	－
全量分げつ肥 CDU	10	－	10	－	－	－
全量基肥 LP30	10	10	－	－	－	－
2018/19 年						
慣行分施	10	5	2	－	3	－
穂肥重点施肥	10	－	－	5	－	5
穂肥尿素 +CDU	10	－	－	10	－	－
全量穂肥 CDU	10	－	－	10	－	－
全量基肥 LP30	10	10	－	－	－	－

分けつ肥, 穂肥 I, 穂肥, 穂肥 II はそれぞれ GS14, GS30, GS31, GS39 (Zadoks ら 1974) を目安に施肥した. 穂肥尿素 +CDU 区は, 穂肥 I として尿素とハイパー CDU をそれぞれ 5 g m^{-2} ずつ施用した.

速度は, 気温や土壌水分量に影響されることも知られているため (尾和・三井 1974, 藤澤ら 1998, Guertal 2009, 松谷・猪野 2017), 省力的かつ安定的に高品質多収を達成するためには, 気象条件や中耕等の培土管理の影響を受けにくい省力型穂肥重点施肥法を明らかにする必要がある.

本研究では, 分施体系の穂肥重点施肥と同等の収量および子実タンパク質含有率を省力的に達成できる肥効調節型肥料とその施用時期を明らかにするため, 熊本県と山口県でそれぞれ4作期および2作期にわたって検証した. 浦野・保科 (2012) は, 肥効調節型肥料を用いたコムギ栽培では稈長が伸びて倒伏の危険性を高めることを報告しているため, 本研究でも倒伏が生じた年次に稈長や節間長を詳細に調査し, 倒伏を助長しない省力型穂肥重点施肥法についても検討した.

材料と方法

試験は, 熊本県菊池郡大津町周辺の農家圃場 (北緯 32 度

51 分, 東経 130 度 52 分) と山口県山口市の山口大学農学部附属農場 (北緯 34 度 15 分, 東経 131 度 47 分) で行った.

熊本県での試験は, 2015/16 年 (2015 年冬播種~2016 年春収穫, 以下同様) から 2018/19 年の 4 作期にわたり, パン用コムギ品種「ミナミノカオリ」を対象に行った. 圃場は, 黒ボク土の水田転換畑で, 土壌の理化学性は水田ら (2017) に示した.

播種は, 2015/16 年では 12 月 1 日, 2016/17 年では 12 月 10 日, 2017/18 年では 12 月 4 日, 2018/19 年では 11 月 30 日に行った. 播種量は, いずれの作期も約 7 g m^{-2} とした. 播種作業は, いずれの作期も条間約 35 cm の 6 条ドリル播きとした. 熊本県の試験では, 慣行的な栽培方法に従って麦踏みを行ったが, 中耕と土入れは行わなかった.

処理区は, 2015/16 年では慣行分施肥区と穂肥重点施肥区, 全量基肥 IB 区, 全量穂肥 CDU 区, 全量基肥 LPS30 区, 全量基肥 LP30+LPS30 区を設けた. 窒素の施肥時期は, 第 1 表に示した. 施肥時期ごとの生育ステージは, 分けつ

肥がGS14 (1月21日), 穂肥ⅠがGS31 (2月25日), 穂肥がGS32 (3月8日), 穂肥ⅡがGS37 (4月2日)とした。GSは, Zadoksら (1974) の生育ステージを示す。慣行分施肥区と穂肥重点施肥区では, いずれの作期も尿素を土壌表面に施用した。肥効調節型肥料を用いた処理区では, 窒素施肥量を増やすことによって子実タンパク質含有率を向上させられる可能性が示唆されているため (村田ら 2017), 総窒素施肥量を慣行分施肥区や穂肥重点施肥区に比べて多くした。全量基肥IB区は, グッドIB (イソブチルアルデヒド縮合尿素, ジェイカムアグリ株式会社) を条間に施用し, 三角ホーで土壌と混和させた。全量穂肥CDU区は, ハイパーCDU細粒 (アセトアルデヒド縮合尿素, ジェイカムアグリ株式会社) を条間に施用し, 同様に土壌と混和させた。全量基肥LPS30区は, LPコートS30 (シグモイド型30日溶出被覆尿素, ジェイカムアグリ株式会社) を条間に施用し, 土壌と混和させた。全量基肥LP30+LPS30区は, LPコート30 (リニア型30日溶出タイプ被覆尿素, ジェイカムアグリ株式会社) とLPコートS30を2:1の割合で混ぜて条間に施用し, 土壌と混和させた。リンとカリは, 苦土重焼燐 (P_2O_5 :35%) と塩化カリ (K_2O :60%) を用い, 播種直前にリン成分とカリ成分でそれぞれ 8.0 g m^{-2} ずつ施用した。

2016/17年では, 慣行分施肥区と穂肥重点施肥区, 穂肥尿素+CDU区, 全量基肥IB区, 全量分けつ肥CDU区, 全量基肥LP30区を設けた。施肥時期ごとの生育ステージは, 分けつ肥がGS14 (1月26日), 穂肥ⅠがGS30 (2月22日), 穂肥がGS31 (3月4日), 穂肥ⅡがGS37 (4月3日)とした。穂肥尿素+CDU区は, 基肥と分けつ肥を施用せず, GS30に窒素成分で尿素とハイパーCDU細粒をそれぞれ 5 g m^{-2} ずつ土壌表面に施用した。全量基肥IB区は, グッドIBを条間に施用し, 土壌と混和させた。全量分けつ肥CDU区は, ハイパーCDU細粒を土壌表面に施用した。全量基肥LP30区は, LPコート30を条間に施用し, 土壌と混和させた。リンとカリは, これ以降の年次では, PK化成40号 (P_2O_5 :20%, K_2O :20%) を用い, 播種直前に成分でそれぞれ 10 g m^{-2} ずつ施用した。

2017/18年でも慣行分施肥区と穂肥重点施肥区, 穂肥尿素+CDU区, 全量基肥IB区, 全量分けつ肥CDU区, 全量基肥LP30区を設けた。施肥時期ごとの生育ステージは, 分けつ肥がGS14 (1月29日), 穂肥ⅠがGS30 (3月1日), 穂肥がGS31 (3月15日), 穂肥ⅡがGS39 (4月6日)とした。肥効調節型肥料の施用方法は, いずれも2016/17年と同様とした。

2018/19年では慣行分施肥区と穂肥重点施肥区, 穂肥尿素+CDU区, 全量穂肥CDU区, 全量基肥LP30区を設けた。施肥時期ごとの生育ステージは, 分けつ肥がGS14 (1月22日), 穂肥ⅠがGS30 (2月12日), 穂肥がGS32 (3月8日), 穂肥ⅡがGS41 (3月26日)とした。全量穂肥CDU区は, ハイパーCDUを土壌表面に施用した。

処理区の配置は, 2015/16年と2016/17年では4反復の乱塊法, 2017/18年では6反復の乱塊法, 2018/19年では5反復の乱塊法とした。2016/17年では, 最も東側に設置した反復で枯れ熟れ様登熟不良が発生したため, 4反復のうち3反復を解析した。試験区1区あたりの面積は, 2015/16年で 8.4 m^2 , 2016/17年で 9.0 m^2 , 2017/18年で 8.4 m^2 , 2018/19年で 21.0 m^2 とした。

山口県の試験では, 肥効調節型肥料を用いた体系で施肥の穂肥重点施肥と同水準の収量が得られるかどうか, および播種量を増やすことによって総窒素施肥量が削減できるかどうかを検証した。試験は2017/18年と2018/19年にパン用コムギ品種「せときらら」を対象に行った。圃場は灰色低地土の水田転換畑で, 土壌の理化学性は水田ら (2019) に示した。

播種は, 2017/18年では11月7日, 2018/19年では11月12日に行った。播種作業は, いずれの作期も 1.5 m 幅の畝たて様式とし, 条間約 30 cm の4条ドリル播きとした。山口県の試験では, 麦踏みや中耕, 土入れといった作業は行わなかった。

2017/18年の処理区は, 慣行分施肥区, 穂肥重点施肥区, 穂肥尿素+CDU区, 全量基肥LP30-13N区, 全量基肥LP30-10N区および全量基肥LP30-10N (無) 区を設けた。播種量と窒素施肥量は, 第2表に示した。山口県の試験でも慣行分施肥区と穂肥重点施肥区は, いずれの作期も尿素を土壌表面に施用した。全量基肥LP30-13N区では, 播種量 6 g m^{-2} で基肥に尿素とLP30をそれぞれ 3 g m^{-2} および 10 g m^{-2} ずつ播種直後に施用した。それらの肥料は条間に散布し, 三角ホーで土壌と混和した。これに対し, 全量基肥LP30-10N区は, 播種量を 9 g m^{-2} とし, LP30のみを 10 g m^{-2} 条間の土壌に混和した。穂肥尿素+CDU区は基肥窒素を施用せず, 尿素で分けつ肥を施用し, 穂肥Ⅰとして尿素とハイパーCDUをそれぞれ 6 g m^{-2} および 2 g m^{-2} ずつ土壌表面に施用した。いずれの処理区も開花期に窒素成分で 6 g m^{-2} となるよう尿素を施用したが, 一部の処理区内には開花期追肥を施用しない区も設けた (第2表)。施肥時期ごとの生育ステージは, 分けつ肥がGS15 (1月16日), 穂肥ⅠがGS30 (2月14日), 穂肥がGS32 (2月27日), 穂肥ⅡがGS37 (3月30日)とした。

2018/19年では, 慣行分施肥区と穂肥重点施肥区, 穂肥尿素+LPS30区, 全量基肥LPS30区, 全量基肥LPS40区を設けた。全量基肥LPS30区と全量基肥LPS40区は, それぞれLPコートS30またはLPコートS40を全量基肥として条間に施用し, 土壌と混和した。これらの処理区では, 播種量を 9 g m^{-2} と増やし, 基肥窒素施肥量 (出穂前総窒素施肥量) を 8 g m^{-2} と穂肥重点施肥区に比べて減らした。また, 2017/18年と同様にいずれの処理区も窒素成分で 6 g m^{-2} の開花期追肥を施用したが, 開花期追肥を施用しない全量基肥LPS30 (無) 区と全量基肥LPS40 (無) 区も設けた。穂肥尿素+LPS30区は基肥を施用せず, 分けつ肥を尿素で施用し, 穂肥Ⅰとし

第2表 山口県での試験における処理区ごとの播種量と窒素施肥時期、施肥量 (g m^{-2}).

処理区	播種量 (g m ⁻²)	総窒素 施肥量	施肥時期					開花期
			基肥	分げつ肥	穂肥Ⅰ	穂肥	穂肥Ⅱ	
2017/18 年								
慣行分施	6	19	6	3	—	4	—	6
穂肥重点施肥	6	19	—	3	6	—	4	6
穂肥尿素 +CDU	6	17	—	3	8	—	—	6
全量基肥 LP30-13N	6	19	13	—	—	—	—	6
全量基肥 LP30-10N	9	16	10	—	—	—	—	6
全量基肥 LP30-10N（無）	9	10	10	—	—	—	—	—
2018/19 年								
慣行分施	6	17	5	3	—	3	—	6
穂肥重点施肥	6	17	—	—	6	—	5	6
穂肥尿素 +LPS30	6	17	—	2	9	—	—	6
全量基肥 LPS30	9	14	8	—	—	—	—	6
全量基肥 LPS30（無）	9	8	8	—	—	—	—	—
全量基肥 LPS40	9	14	8	—	—	—	—	6
全量基肥 LPS40（無）	9	8	8	—	—	—	—	—

分けつ肥、穂肥 I、穂肥、穂肥 II はそれぞれ GS14、GS30、GS31、GS37 (Zadoks ら 1974) を目安に施肥した。穂肥尿素 + CDU 区は穂肥 I として尿素とハイパー CDU でそれぞれ 6 g m^{-2} および 2 g m^{-2} 施用した。穂肥尿素 + LPS30 区は、穂肥 I として尿素で 5 g m^{-2} と LP コート S30 で 4 g m^{-2} 施用した。

て尿素を 5 g m^{-2} と LP コート S30 を 4 g m^{-2} 土壌表面に施用した。施肥時期ごとの生育ステージは、分けつ肥が GS14 (1 月 17 日)、穂肥 I が GS30 (2 月 8 日)、穂肥が GS31 (2 月 27 日)、穂肥 II が GS37 (3 月 15 日) とした。

処理区の配置は、2017/18 年と 2018/19 年のいずれも 4 反復の乱塊法とした。試験区 1 区あたりの面積は、2017/18 年で 18.0 m^2 、2018/19 年で 12.0 m^2 とした。

収量調査は、熊本県の試験では 2016 年 5 月 30 日、2017 年 6 月 3 日、2018 年 6 月 3 日、2019 年 5 月 30 日に行った。山口県の試験では、2018 年 5 月 30 日と 2019 年 5 月 31 日に行った。調査内容は、収量と収量構成要素、子実タンパク質含有率とした。収量と収量構成要素、子実タンパク質含有率の調査方法は、いずれも水田ら (2017) と同様とした。熊本県における 2015/16 年の試験では、対照区として水田ら (2017) の慣行分施肥区および穂肥重点施肥区の収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率の値を用いた。

地上部窒素蓄積量は、熊本県の 2018/19 年作期における試験では穂揃い期と成熟期に調査し、他の作期ではいずれの試験地でも成熟期に調査した。成熟期における地上部窒素蓄積量の測定方法は、水田ら (2019) と同様とした。

倒伏の調査は、倒伏が生じた 2018/19 年の熊本県における試験で行った。調査対象は、茎立ち開始期以前に窒素を施用した慣行分施肥区と全量基肥 LP30 区、施用しなかった穂肥重点施肥区と全量穂肥 CDU 区とした。穂肥尿素 + CDU 区は、茎立ち開始期以前の窒素施用が穂肥重点施肥区および全量穂肥 CDU 区と同様であったため調査を省略した。倒伏に係する形質である稈長と節間長 (Pinthus 1973)、節間 1 cm あたり乾物重 (Zhang ら 2016) は、黄熟

期 (2019 年 5 月 17 日) に調査した。倒伏程度は、作物調査基準の成長解析法 (広田 2013) に従い調査した。サンプルは、欠株がなく生育が中庸な場所から 10 株以上を抜き取り、分けつを発生節位ごとに分けた後、それぞれ極端に長いものと短いものを除いた 8 本を対象とした。8 本の茎は、それぞれ最も基部に近い 3 mm 以上の伸長節間を第 1 節間とし、穂首節まで節間ごとに切り分けた。切り分けた節間は長さを測り、節間長とした。節間長を測ったサンプルは、70℃の乾燥機で 48 時間以上乾燥させた後、乾物重を量った。節間の乾物重を節間長で除することにより節間 1 cm あたり乾物重を求めた。

気象データは、熊本地方気象台および山口地方気象台の各栽培期間における値と平年値 (1981 年～2010 年の平均値) を使用した。

統計処理は、いずれの年次でも分散分析を行った後、Tukey の多重比較を行った。

結 果

第 3 表には、熊本県大津町の 2015/16 年から 2018/19 年までの 4 作期における主要な生育ステージごとの平均気温と積算降水量、積算日照時間を示した。2015/16 年は、平年値に比べて播種直後 (GS00) から茎立ち開始期 (GS30) の平均気温が 0.9°C 高く、積算降水量が 33% 多く、積算日照時間が 17% 短かった。GS30 から穂揃い期 (GS55) では、平均気温が 1.5°C 高く、積算降水量が 55% 少なく、積算日照時間が 12% 長かった。GS55 から成熟期 (GS92) では、平均気温が 1.2°C 高く、積算降水量が 41% 多く、積算日照時間は平年並みであった。2016/17 年は、平年値に比べて

第3表 熊本県大津町の2015/16年から2018/19年の4作期における主要な生育ステージごとの平均気温と積算降水量, 積算日照時間.

作期	生育ステージ	平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)	積算降水量 (mm)	積算日照時間 (時間)
2015/16 年	GS00~GS30	6.2 (+0.9)	236 (+58)	331 (-66)
	GS30~GS55	11.7 (+1.5)	94 (-117)	289 (+30)
	GS55~GS92	19.1 (+1.2)	363 (+106)	278 (+6)
2016/17 年	GS00~GS30	5.6 (+0.6)	231 (+76)	385 (+34)
	GS30~GS55	9.9 (-0.2)	194 (-17)	260 (+1)
	GS55~GS92	19.2 (+0.9)	201 (-87)	402 (+102)
2017/18 年	GS00~GS30	3.8 (-1.7)	130 (-59)	398 (-14)
	GS30~GS55	12.6 (+2.0)	209 (+9)	289 (+44)
	GS55~GS92	19.2 (+1.0)	383 (+96)	354 (+53)
2018/19 年	GS00~GS30	7.0 (+1.8)	139 (-7)	308 (-41)
	GS30~GS55	9.7 (+0.5)	216 (-6)	347 (+68)
	GS55~GS92	18.5 (+1.0)	137 (-142)	355 (+55)

GS は, Zadoks ら (1974) の生育ステージを示し, GS00 が播種直後, GS30 が茎立ち開始期, GS55 が穂揃い期, GS92 が成熟期を示す. 括弧内の数値は, 平年値との差を示す.

第4表 山口県山口市の2017/18年と2018/19年における主要な生育ステージごとの平均気温と積算降水量, 積算日照時間.

作期	生育ステージ	平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)	積算降水量 (mm)	積算日照時間 (時間)
2017/18 年	GS00~GS30	5.4 (-1.3)	150 (-70)	383 (-13)
	GS30~GS55	9.2 (+1.5)	286 (+28)	369 (+96)
	GS55~GS92	17.9 (+1.7)	331 (+18)	319 (+10)
2018/19 年	GS00~GS30	7.4 (+1.0)	162 (-33)	348 (-1)
	GS30~GS55	8.5 (+1.3)	218 (-25)	294 (+27)
	GS55~GS92	18.1 (+2.0)	218 (-151)	448 (+72)

括弧内の数値は, 平年値との差を示す.

GS00 から GS30 の平均気温が 0.6°C 高く, 積算降水量が 49% 多く, 積算日照時間が 10% 長かった. GS30 から GS55 では, 平均気温, 積算降水量, 日照時間のいずれも平年並みで, GS55 から GS92 では比較的天候がよく積算日照時間が 34% 長かった. 2017/18 年は, GS00 から GS30 の積算降水量が 31% 少なかったが, 平均気温が 1.7°C 低かった. GS30 から GS55 では, 一転して平均気温が 2.0°C 高くなり積算日照時間も 18% 長かった. GS55 から GS92 では, 積算降水量が 33% 多かったが, 気温も高く日照時間も長かった. 2018/19 年は, GS00 から GS30 の平均気温が平年値に比べて 1.8°C 高く, 積算降水量は平年並みであったが, 積算日照時間が 12% 短かった. GS30 から GS55 では, 気温と積算降水量が平年並みであったが, 積算日照時間が 24% 長かった. GS55 から GS92 では平均気温が高く, 積算降水量が 51% 少なく, 積算日照時間が 18% 長かった.

第4表には, 山口県山口市の2017/18年と2018/19年における主要な生育ステージごとの平均気温と積算降水量, 積算日照時間を示した. 2017/18 年は, 熊本県と同様に,

GS30 過ぎまでは低温傾向であったが, その後降水量はやや多いものの気温が高く日照時間も長かった. 2018/19 年も, 熊本県と同様に暖冬であり, GS50 以降の降水量が記録的に少なかった.

第5表には, 2015/16年から2018/19年の4作期に熊本県で栽培した「ミナミノカオリ」の収量, 収量構成要素および子実タンパク質含有率 (GPC) を示した. 収量は4作期とも処理による差はなかった. 全乾物重も2015/16年と2016/17年, 2018/19年では処理による有意な差はなかった. 2017/18年では, 全量分けつ肥 CDU 区が 1241 g m^{-2} と穂肥重点施肥区の 1449 g m^{-2} に比べて有意に軽かったが, その他の処理区はいずれも約 1300 g m^{-2} であった. 収穫指数は, 2015/16年と2016/17年, 2017/18年では処理による差はなかった. 2018/19年では, 全量基肥 LP30 区が 35.6% と穂肥重点施肥区, 穂肥尿素 + CDU 区および全量穂肥 CDU 区に比べて有意に低かった.

穂数は, 2015/16年と2016/17年, 2017/18年では処理による有意な差がなかった. 2018/19年では, 慣行分施肥区

第5表 2015/16年から2018/19年の4作期に熊本県大津町で栽培した「ミナミノカオリ」の収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率（GPC）.

処理区	収量 (g m ⁻²)	全乾物重 (g m ⁻²)	収穫指数 (%)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂粒数 (粒)	千粒重 (g)	GPC (%)
2015/16 年							
慣行分施肥	582	1278	39.9	531	36.7	35.6	12.5 ^a
穂肥重点施肥	607	1312	40.5	557	35.3	35.7	13.8 ^b
全量基肥 IB	577	1283	39.4	555	35.0	36.2	12.9 ^{ab}
全量穂肥 CDU	593	1208	43.0	537	36.0	35.0	13.7 ^{ab}
全量基肥 LPS30	556	1231	39.5	535	36.1	34.4	13.5 ^{ab}
全量基肥 LP30+LPS30	567	1293	38.2	547	34.8	34.1	13.9 ^b
2016/17 年							
慣行分施肥	697	1433	40.9	539	33.6	38.4	13.6
穂肥重点施肥	700	1389	42.3	553	37.1	37.2	13.5
穂肥尿素 +CDU	708	1443	41.1	579	34.3	37.8	14.0
全量基肥 IB	673	1390	40.7	550	35.9	37.2	10.2
全量分けつ肥 CDU	721	1433	42.4	557	36.3	35.5	10.5
全量基肥 LP30	709	1441	41.3	553	36.0	40.2	12.3
2017/18 年							
慣行分施肥	525	1310 ^{ab}	35.0	436	39.2	38.9	10.9
穂肥重点施肥	513	1449 ^a	31.0	452	38.4	37.9	11.6
穂肥尿素 +CDU	485	1310 ^{ab}	32.6	420	40.4	37.5	12.0
全量基肥 IB	478	1300 ^{ab}	32.2	416	36.9	38.7	11.1
全量分けつ肥 CDU	477	1241 ^b	31.8	403	36.1	37.8	11.5
全量基肥 LP30	491	1267 ^{ab}	33.8	411	37.0	39.2	11.9
2018/19 年							
慣行分施肥	560	1339	36.6 ^{ab}	452 ^c	36.9	37.7	9.3
穂肥重点施肥	568	1316	37.8 ^a	471 ^{bc}	33.8	39.4	10.3
穂肥尿素 +CDU	565	1313	37.6 ^a	510 ^{ab}	33.9	38.8	9.2
全量穂肥 CDU	595	1390	37.4 ^a	558 ^a	33.2	37.9	10.0
全量基肥 LP30	535	1314	35.6 ^b	457 ^c	39.7	36.7	10.7

収量と千粒重は、子実を2.2 mmの篩でふるった後、含水率を12.5%に補正した値を示した。異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。

と全量基肥 LP30 区がそれぞれ 452 本 m⁻² および 457 本 m⁻² と、穂肥尿素 +CDU 区と全量穂肥 CDU 区の 510 本 m⁻² および 558 本 m⁻² に比べて有意に少なかった。一穂粒数は、4 作期とも処理による有意な差はなかった。千粒重も 4 作期とも処理による有意な差はなかった。

GPC は、2015/16 年では穂肥重点施肥区と全量基肥 LP30+LPS30 区がそれぞれ 13.8% および 13.9% と、慣行分施肥区の 12.5% に比べて有意に高かった。2016/17 年では、有意な差はないものの全量基肥 IB 区と全量分けつ肥 CDU 区がそれぞれ 10.2% および 10.5% と他の処理区に比べて低くなる傾向があった。2017/18 年と 2018/19 年では、処理による有意な差はなかった。

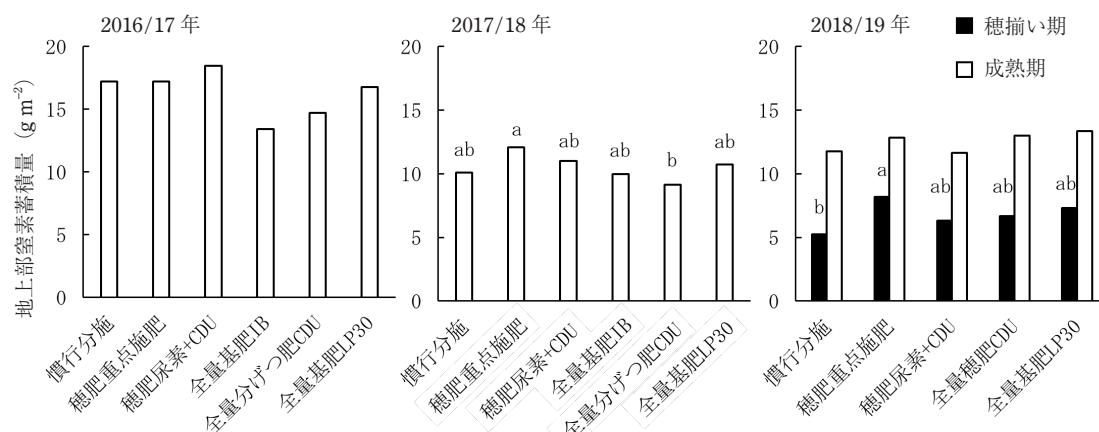
第6表に2017/18年と2018/19年に山口県山口市で栽培した「せときらら」の収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率（GPC）を示した。2017/18年の収量は、慣行分施肥区と穂肥尿素 +CDU 区、全量基肥 LP30-N13 区では

穂肥重点施肥区と同程度であったが、全量基肥 LP30-10N 区と全量基肥 LP30-10N(無)区は播種量を増量したものの、穂肥重点施肥区に比べて約14%低くなる傾向があった。2018/19年では、肥効調節型肥料を用いた処理区がいずれも穂肥重点施肥区の 723 g m⁻² に比べて有意に低かった。2017/18年の全乾物重は、慣行分施肥区と穂肥重点施肥区、穂肥尿素 +CDU 区でいずれも約 1200 g m⁻² であったが、全量基肥 LP30-13N 区と全量基肥 LP30-10N 区では、それぞれ 1071 g m⁻² および 1089 g m⁻² と穂肥重点施肥区に比べて11%軽くなる傾向があった。全量基肥 LP30-10N(無)区は、1037 g m⁻² と穂肥重点施肥区および穂肥尿素 +CDU 区に比べて有意に軽かった。2018/19年では、慣行分施肥区と穂肥重点施肥区、穂肥尿素 +LPS30 区のいずれも同程度であった。肥効調節型肥料を基肥に施用した処理区は、いずれも慣行分施肥区に比べて有意に軽かった。収穫指数は、2017/18年では40.4~43.9%で有意な差はなかった。

第6表 2017/18年と2018/19年に山口県山口市で栽培した「せときらら」の収量、収量構成要素および子実タンパク質含有率(GPC).

処理区	収量 (g m ⁻²)	全乾物重 (g m ⁻²)	収穫指数 (%)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂粒数 (粒)	千粒重 (g)	GPC (%)
2017/18 年							
慣行分施	513	1161 ^{ab}	40.6	586	31.9 ^b	36.3 ^b	10.4 ^b
穂肥重点施肥	559	1214 ^a	41.9	551	36.5 ^{ab}	37.7 ^{ab}	12.7 ^a
穂肥尿素 +CDU	569	1200 ^a	43.0	540	40.8 ^a	37.2 ^{ab}	10.9 ^b
全量基肥 LP30-13N	532	1071 ^{ab}	43.9	475	34.5 ^{ab}	39.4 ^a	12.2 ^a
全量基肥 LP30-10N	480	1089 ^{ab}	40.4	561	33.6 ^b	35.6 ^b	12.0 ^a
全量基肥 LP30-10N (無)	484	1037 ^b	41.7	517	33.3 ^b	36.9 ^{ab}	9.5 ^c
2018/19 年							
慣行分施	670 ^a	1437 ^a	41.0 ^b	436	37.2 ^b	42.5 ^b	10.2 ^b
穂肥重点施肥	723 ^a	1383 ^{ab}	45.8 ^a	385	47.1 ^a	43.9 ^{ab}	10.3 ^{ab}
穂肥尿素 +LPS30	599 ^b	1252 ^{abc}	41.9 ^b	372	38.7 ^b	44.8 ^a	10.2 ^b
全量基肥 LPS30	568 ^b	1186 ^{bc}	42.0 ^b	379	36.8 ^b	44.1 ^{ab}	10.5 ^{ab}
全量基肥 LPS30 (無)	561 ^b	1187 ^{bc}	41.4 ^b	392	36.4 ^b	42.1 ^{ab}	8.4 ^c
全量基肥 LPS40	512 ^b	1115 ^c	40.2 ^b	339	37.7 ^b	45.2 ^a	11.2 ^a
全量基肥 LPS40 (無)	522 ^b	1095 ^c	41.7 ^b	329	37.7 ^b	43.1 ^{ab}	9.5 ^{bc}

収量と千粒重は、子実を2.2 mmの篩でふるった後、含水率を12.5%に補正した値を示した。異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。



第1図 2016/17年から2018/19年の3作期に熊本県大津町で栽培した「ミナミノカオリ」の穂摘い期および成熟期における地上部窒素蓄積量。

異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。

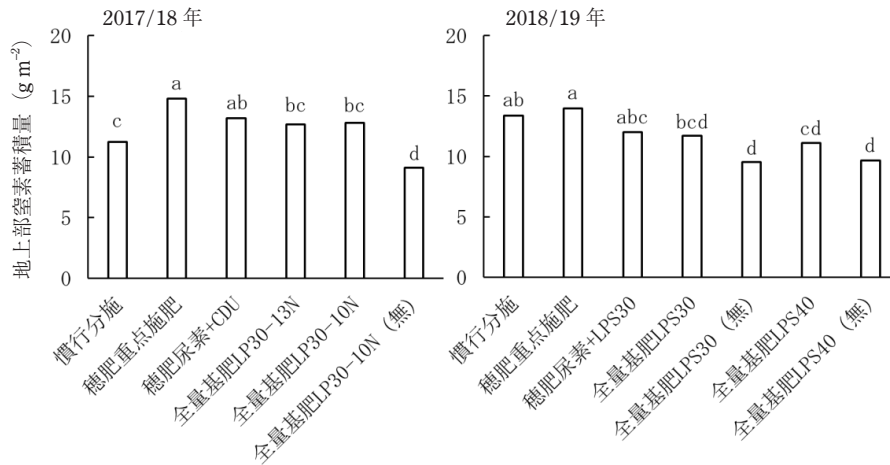
2018/19年では、穂肥重点施肥区が45.8%と他の処理区に比べて有意に高かった。

穂数は、いずれの作期も処理による有意な差はなかった。一穂粒数は、2017/18年の穂肥尿素+CDU区は40.8粒で穂肥重点施肥区や全量基肥LP30-13N区と有意な差はなかったが、慣行分施区および全量基肥LP30-10N(無)区に比べて有意に多かった。2018/19年では、穂肥重点施肥区が47.1粒と他の処理区より有意に多かった。千粒重は、2017/18年では全量基肥LP30-13N区が慣行分施区に比べて有意に重かった。2018/19年では、穂肥尿素+LPS30区と全量基肥LPS40区が約45gで、慣行分施区の42.5gに比べて有意に重かった。その他の処理区はいずれも約44g

であった。

GPCは、2017/18年では穂肥重点施肥区と全量基肥LP30-13N区、全量基肥LP30-10N区がいずれも12.0%以上と、慣行分施区や穂肥尿素+CDU区、全量基肥LP30-10N(無)区に比べて有意に高かった。全量基肥LP30-10N(無)区は9.5%と、全量基肥LP30-10N区に比べて2.5ポイント有意に低かった。2018/19年では、全量基肥LPS40区が11.2%と慣行分施区および穂肥尿素+LPS30区の10.2%に比べて有意に高かった。全量基肥LPS30(無)区とLPS40(無)区は、全量基肥LPS30区や全量基肥LPS40区に比べておよそ2.0ポイント有意に低かった。

第1図には、2016/17年から2018/19年の3作期に熊本



第2図 2017/18年と2018/19年に山口県山口市で栽培した「せときらら」の成熟期における地上部窒素蓄積量。
異なる英小文字が付された値は、Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。

県で栽培した「ミナミノカオリ」の穂揃い期および成熟期における地上部窒素蓄積量を示した。2016/17年では、成熟期の地上部窒素蓄積量は施肥区間で有意な差はなかった。その中で、穂肥尿素+CDU区と全量基肥LP30区は、穂肥重点施肥区と同程度であった。一方、全量基肥IB区と全量分けつ肥CDU区は、それぞれ13.4 g m⁻²および14.7 g m⁻²といずれも穂肥重点施肥区に比べて少ない傾向があった。2017/18年では、穂肥重点施肥区が12.1 g m⁻²と最も多く、次いで穂肥尿素+CDU区の11.0 g m⁻²、全量基肥LP30区の10.7 g m⁻²の順に多かった。全量分けつ肥CDU区は、9.1 g m⁻²と穂肥重点施肥区に比べて有意に少なかった。2018/19年では、穂揃い期の地上部窒素蓄積量は穂肥重点施肥区で8.2 g m⁻²と慣行分施肥区の5.2 g m⁻²に比べて有意に多かった。穂肥尿素+CDU区と全量穂肥CDU区、全量基肥LP30区では、いずれも約7 g m⁻²と穂肥重点施肥区に比べて少なく、慣行分施肥区に比べて多い傾向があった。成熟期の地上部窒素蓄積量は処理による有意な差はなく、同程度であった。

第2図は、2017/18年と2018/19年に山口県山口市で栽培した「せときらら」の成熟期における地上部窒素蓄積量を示す。2017/18年の成熟期における地上部窒素蓄積量は、穂肥重点施肥区で14.8 g m⁻²と慣行分施肥区の11.2 g m⁻²（総窒素施肥量はいずれも19 g m⁻²）に比べて有意に多かった。穂肥尿素+CDU区（総窒素施肥量17 g m⁻²）は慣行分施肥区に比べて有意に多かったが、穂肥重点施肥区に比べて1.6 g m⁻²少ない傾向があった。全量基肥LP30-13N区（総窒素施肥量19 g m⁻²）と全量基肥LP30-10N区（総窒素施肥量16 g m⁻²）はいずれも12.8 g m⁻²と、穂肥重点施肥区に比べて有意に少なかった。全量基肥LP30-10N（無）区は、9.1 g m⁻²と全量基肥LP30-10N区に比べて3.7 g m⁻²少なかった。

2018/19年でも、成熟期の地上部窒素蓄積量は穂肥重点

施肥区で14.0 g m⁻²と最も多かった。穂肥尿素+LPS30区の地上部窒素蓄積量は12.0 g m⁻²と、慣行分施肥区や穂肥重点施肥区に比べてやや少なかった（いずれも総窒素施肥量17 g m⁻²）。全量基肥LPS30区と全量基肥LPS40区（総窒素施肥量14 g m⁻²）は、それぞれ11.7 g m⁻²および11.1 g m⁻²といずれも穂肥重点施肥区に比べて有意に少なかった。全量基肥LPS30（無）区と全量基肥LPS40（無）区はそれぞれ9.5 g m⁻²および9.7 g m⁻²と、開花期を施用した処理区に比べてそれぞれ2.2 g m⁻²および1.4 g m⁻²少なかった。

第7表には、2018/19年に熊本県大津町で栽培した「ミナミノカオリ」の黄熟期（5月17日、GS81～83）における倒伏程度と稈長、節間長および節間1 cmあたり乾物重を示した。倒伏程度は、全量穂肥CDU区では0.0と慣行分施肥区や全量基肥LP30区の2.6および2.3に比べて低くなる傾向があった。全量穂肥CDU区は、主茎と分けつの稈長がいずれも慣行分施肥区に比べて短くなる傾向があった。全量穂肥CDU区の節間長は、主茎と分けつのいずれも第3節間以外で慣行分施肥区や穂肥重点施肥区に比べて短かった。第3節間長は、主茎と分けつのいずれも慣行分施肥区と同程度で、穂肥重点施肥区に比べて有意に短かった。節間1 cmあたり乾物重では、全量穂肥CDU区は慣行分施肥区に比べて主茎の第3節間と主茎第1節分けつの第2節間および第3節間で有意に軽かったが、その他の節間では同程度であった。全量基肥LP30区の稈長は、主茎と分けつのいずれも慣行分施肥区と同程度かやや長い傾向があった。節間長は、主茎の第2節間では慣行分施肥区に比べて有意に短かったが、その他の節間では慣行分施肥区と同程度かむしろ長くなる傾向があった。節間1 cmあたり乾物重は、全量穂肥CDU区と同様であった。第6節間まで伸長した稈の割合は、穂肥重点施肥区が11%と最も低く、全量基肥LP30区と慣行分施肥区でそれぞれ37%および29%と高かつ

第7表 2018/19年に熊本県大津町で栽培した「ミナミノカオリ」の黄熟期（5月17日，GS81～83）における倒伏程度と稈長，節間長および節間1 cmあたり乾物重。

発生節位	処理区	倒伏程度 (0～5)	稈長 (mm)	節間長 (mm)			節間1 cmあたり乾物重 (mg cm ⁻¹)		
				第1節間	第2節間	第3節間	第1節間	第2節間	第3節間
主茎	慣行分施	2.6	933	47.5 ^a	85.9 ^a	123 ^b	23.0	23.8	21.8 ^a
	穂肥重点施肥	0.8	913	43.2 ^a	84.4 ^{ab}	136 ^a	24.8	22.0	19.8 ^{ab}
	全量穂肥 CDU	0.0	914	27.5 ^b	77.5 ^b	122 ^b	23.4	22.3	19.4 ^b
	全量基肥 LP30	2.3	930	35.9 ^{ab}	76.7 ^b	119 ^b	22.8	22.6	19.7 ^b
主茎第1節分げつ	慣行分施		924	52.3	94.4 ^a	132 ^b	19.6	20.7 ^a	18.7 ^a
	穂肥重点施肥		901	48.3	95.7 ^a	145 ^a	20.2	18.5 ^{ab}	16.6 ^b
	全量穂肥 CDU		885	38.1	81.9 ^b	128 ^b	19.2	16.6 ^b	15.2 ^b
	全量基肥 LP30		912	50.7	91.2 ^{ab}	133 ^{ab}	16.5	17.2 ^b	15.6 ^b
主茎第2節分げつ	慣行分施		874	47.5 ^b	96.9 ^a	136 ^{ab}	16.6	17.4	15.9
	穂肥重点施肥		880	49.6 ^{ab}	96.6 ^a	143 ^a	18.6	18.4	16.4
	全量穂肥 CDU		841	35.3 ^c	84.6 ^b	125 ^b	14.8	15.4	14.5
	全量基肥 LP30		917	58.9 ^a	102.8 ^a	138 ^a	16.5	15.9	15.7

異なる英小文字が付された値は，Tukeyの多重比較において処理区間に5%水準で有意差があることを示す。穂肥尿素+CDU区は，茎立ち開始期以前の窒素施用が穂肥重点施肥区および全量穂肥 CDU区と同様であったため調査を省略した。

た（データ省略）。

考 察

本研究では，2015/16年から2018/19年の4作期および2017/18年と2018/19年の2作期において，それぞれパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」と「せときらら」で肥効調節型肥料を用いることにより，省力的に穂肥重点施肥と同等の収量および子実タンパク質含有率を達成できるか検証した。また，肥効調節型肥料を用いた穂肥重点施肥は，分施体系の穂肥重点施肥と同様に倒伏の危険性を抑えられるかも検証した。

LPコート30の全量基肥施用やハイパーCDUを用いた穂肥重点施肥は，「ミナミノカオリ」で省力的に多収・高子実タンパク質含有率を達成するために有効な栽培方法であると考えられた。本研究では，茎立ち期以降に窒素を重点的に効かせる穂肥重点施肥（渡邊ら2016，水田ら2017，2019）を省力的に再現するために肥効調節型肥料を用いたが，熊本県の圃場（黒ボク土）では，いずれの肥効調節型肥料を用いても穂肥重点施肥区と同等の収量となった（第5表）。子実タンパク質含有率は，2016/17年の全量基肥IB区と全量分げつ肥CDU区では穂肥重点施肥区に比べて低くなる傾向があったが，その他の作期では肥効調節型肥料の種類や施用時期に関係なく穂肥重点施肥区と同程度であった（第5表）。成熟期の地上部窒素蓄積量がいずれの作期でも穂肥重点施肥区と同程度となった処理区は，穂肥尿素+CDU区と全量基肥LP30区であった（第1図）。

「せときらら」では，2017/18年の穂肥尿素+CDU区と全量基肥LP30-13N区が，「ミナミノカオリ」の場合と同様に穂肥重点施肥区と同等の収量となった（第6表）。一方で，穂肥尿素+CDU区は，穂肥重点施肥区に比べて出穂前総

窒素施肥量が少なかったため成熟期の地上部窒素蓄積量がやや少なく（第2表，第2図），子実タンパク質含有率が低かった（第6表）。全量基肥LP30-13区も成熟期の地上部窒素蓄積量が穂肥重点施肥区に比べて有意に少なく（第2図），窒素の吸収効率が低いといわれる肥効調節型肥料（農林水産省2020c）を使う場合でも，速効性肥料を用いる場合と同量かそれ以上の開花期窒素追肥が必要であると考えられた。

「せときらら」では，肥効調節型肥料を基肥に用いた場合でも分施体系と同様に開花期の窒素追肥が必要であると考えられた。子実タンパク質含有率を高めるために有効な開花期前後の窒素追肥は（高山ら2004，岩渕ら2007，島崎ら2014，石丸ら2015），肥効調節型肥料を用いることによって省略できる可能性が示唆されているが（中司ら2010），本研究で肥効調節型肥料のみを施用し，開花期追肥を施用しなかった（無）区では（第2表），子実タンパク質含有率が1.7～2.5ポイント低かった（第6表）。「せときらら」は，子実タンパク質含有率が従来の西南暖地向けパン用コムギ品種に比べて低くなりやすいため（高田ら2017），肥効調節型肥料を用いた場合でも子実タンパク質含有率が低下しないよう配慮が必要であると考えられた。

「せときらら」では，播種量を増やしても肥効調節型肥料の総窒素施肥量を減らすことはできなかった。肥効調節型肥料は，窒素1 kgあたり単価が速効性肥料である尿素や硫酸に比べて高いため，実用性を考えれば施用量を極力減らす必要がある。本研究では，播種量を増やすことによって収量におよぼす影響の大きい穂数（稲村ら2007）を確保しやすくすれば，肥効調節型肥料の施用量を減らせると考えて播種量を増やした処理区を設けたが（第2表），いずれの作期も一穂粒数が少なかったため収量は低かった（第

6表)。窒素施肥量を減らした処理区では成熟期の地上部窒素蓄積量も穂肥重点施肥区に比べて少なかったことから(第2図)、肥効調節型肥料を用いた穂肥重点施肥では十分な量の窒素を投入する必要があると考えられた。

茎立ち時に肥効調節型肥料を追肥する施肥体系は、倒伏の危険性を低下させた。倒伏の危険性は、茎立ち期中の窒素追肥によって高まるが(倉井ら 1998, 土谷 2012)、茎立ち期前の生育量を抑えることによって軽減できると報告されている(Pinthus 1973, 水田ら 2019, Mizuta ら 2020)。本研究では、熊本県の試験の「ミナミノカオリ」の2018/19年でのみ倒伏が発生した。2018/19年で倒伏が発生した原因は、播種から茎立ち開始期までの気温が高く(第3表)、他の作期よりも過繁茂な群落になりやすかった(Pinthus 1973)ためであると考えられた。しかし、全量穂肥CDU区は、茎立ち開始期まで窒素を施用していないため、GS30のコムギによる土壌表面の被覆率が慣行分施肥区や全量基肥LP30区に比べて約30%も低く(データ省略)、茎立ち期前の生育量が抑えられていたため、分けつの稈長および節間長が慣行分施肥区や全量基肥LP30区に比べて短く、倒伏程度が低かった(第7表)。穂肥尿素+CDU区も茎立ち開始期以前に窒素を施用していなかったため、黄熟期の倒伏程度が0.0と低かった(データ省略)。肥効調節型肥料を基肥に全量施用する施肥体系では、茎立ち期前に過繁茂な群落となりやすいため、倒伏を防ぐためには茎立ち開始期に肥効調節型肥料や尿素を施肥する栽培体系が適していると考えられた。

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、肥料を提供いただいたジェイカムアグリ株式会社に感謝の意を表する。

引用文献

- 藤澤英司・小林新・羽生友治 1998. 被覆肥料の溶出速度に及ぼす土壌水分の影響. 土肥誌 69: 582-589.
- Guertal, A.E. 2009. Slow-release nitrogen fertilizers in vegetable production: a review. HortTechnology. 19: 16-19.
- 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.
- 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す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」の穂摘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.
- 倉井耕一・木村守・遠山明子 1998. 小麦の追肥による生育パターンの変化と追肥技術への応用. 栃木農試研報 47: 1-12.
- 松谷瑛・猪野雅哉 2017. 麦作期間中における緩効性肥料の溶出の予測方法. 石川県農林水産研究成果集報 19: 22.
- 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や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.
- Mizuta, K., Araki, H. and Takahashi, T. 2020. Shifting timing of intensive nitrogen topdressing later to the stem-elongation phase reduced lower internodes length and lodging risk of wheat. Plant Prod. Sci. 23: 427-435.
- 村田資治・内山亜希・池尻明彦・原田夏子 2017. パン用コムギ品種「せときらら」における被覆尿素肥料の穂肥同時施用による子実タンパク質含有率の向上. 日作紀 86: 382-387.
- 中司祐典・木村晃司・有吉真知子 2010. 緩効性肥料を利用した小麦「ニシノカオリ」における施肥の効率化. 山口農林総合技術センター研究報告 1: 56-70.
- Nardi, P., Neri, U., Dimatteo, G., Trinchera, A., Napoli, R., Farnia, R., Subbarao, V.G. and Benedetti, A. 2018. Nitrogen release from slow-release fertilizers in soils with different microbial activities. Pedosphere 28: 332-340.
- 農林水産省 2020a. 麦類の農産物検査結果. <http://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kensa/mugi/index.html> (2020/2/19 閲覧).
- 農林水産省 2020b. 令和元年産 4 麦の収穫量. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/index.html (2020/2/19 閲覧).
- 農林水産省 2020c. 新潟県における土づくりのすすめ方. 6-2 緩効性肥料の利用技術(肥効調節型肥料). https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/nii01.html (2020/4/14 閲覧).
- 尾和尚人・三井進午 1974. CDU, IB, M2U の加水分解について. 土肥誌. 45: 53-58.
- Pinthus, M.J. 1973. Lodging in wheat, barley and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. Adv. Agron. 25: 209-263.
- 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. 製パン性に優れた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.
- 田中浩平・宮崎真行・内川修 2008. 肥効調節型肥料を利用したコムギの省力追肥法. 日作九支報 74: 36-38.
- 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.
- 浦野光一郎・保科亨 2012. 肥効調節型肥料の全量基肥播種溝施用が小麦の生育, 収量および品質に及ぼす影響. 日作紀 81(別 2): 202-203.
- 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, C.J., Chang, T.T. and Konzak, F.C. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
- Zhang, W., Wu, L., Ding, Y., Weng, F., Wu, X., Li, G., Liu, Z., Tang, S., Ding, C. and Wang, S. 2016. Top-dressing nitrogen fertilizer rate contributes to decrease culm physical strength by reducing structural carbohydrate content in japonica rice. *J. Integrative Agric.* 15: 992-1004.

Effects of Intensive Nitrogen Fertilization During Stem Elongation by Controlled-release Fertilizers on Yield and Grain Protein Content of Wheat for Bread : Keisuke MIZUTA¹⁾, Hideki ARAKI²⁾, Kazuhiro NAKAMURA³⁾, Hitoshi MATSUNAKA³⁾ 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*; ³⁾*Natl. Agric. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, NARO*)

Abstract : A fertilizing system that reproduces “intensive nitrogen fertilization during stem elongation (INFDSE)” with controlled-release fertilizers (CRF) would be useful for wheat production aiming at high yield and quality, and low labor cost. In trials at Kumamoto prefecture, one-shot fertilizing with crotonylidenediurea (CDU), isobutylidenediurea (IBDU) and coated urea produced a yield similar to that obtained with INFDSE. One-shot basal fertilizing with IBDU and CDU at the 4th leaf stage in 2016/17 (sown in winter of 2016 and harvested in spring of 2017) produced a lower grain protein content than INFDSE although other treatments using CRF produced a similar grain protein content. In one-shot top-dressing with urea and CDU at the stem elongation stage (U+CDU_{SE}) and basal coated urea at basal (LP30), the aboveground nitrogen accumulation at maturity was as high as that obtained with INFDSE. In trials at Yamaguchi prefecture, yield and aboveground nitrogen accumulation at maturity in the U+CDU_{SE} were similar to the values obtained with INFDSE in 2017/18. In the trials at Kumamoto, lodging degree after anthesis was high in the LP30, although no lodging was observed in one-shot top-dressing with CDU at the stem elongation stage due to shorter stem and internodes. One-shot application such as U+CDU_{SE} may be as productive as INFDSE while lowering labor cost.

Key words : Controlled-release fertilizer, Grain protein content, High yield, Intensive nitrogen fertilization during stem elongation (INFDSE), Wheat for bread.
