

穂肥を増施した後期重点型施肥栽培による  
裸麦の多収化栽培技術の確立

(Establishment of a high yielding cultivation technique in barley by emphasis  
on later stage fertilization that increased topdressing at spike formation stage)

鎌田英一郎

(EIICHIRO KAMADA)

2016

## 目次

第1章	緒言	1
第2章	裸麦の収量および登熟生理に及ぼす穂肥窒素による後期重点施肥の影響	
	緒言	6
	材料および方法	7
	結果	9
	考察	13
	摘要	17
	図・表	18
第3章	穂肥窒素の増施および重点化による後期重点型施肥栽培が裸麦の分けつの有 効化に及ぼす影響	
	緒言	25
	材料および方法	26
	結果	29
	考察	32
	摘要	37
	図・表	38

第 4 章	穂肥窒素の増施が裸麦の登熟期間中の物質生産および窒素代謝に及ぼす影響	
	緒言-----	45
	材料および方法-----	46
	結果-----	49
	考察-----	50
	摘要-----	54
	図・表-----	55
第 5 章	総合考察-----	62
要旨	-----	66
Summary	-----	70
謝辞	-----	75
引用文献	-----	76
学会誌公表論文のリスト	-----	88

## 第1章 緒言

オオムギは、イネ科、オオムギ属 (*Hordeum*) に分類され、世界で最も古くから栽培されている作物の一つであり、条性と皮裸性により、六条皮麦、六条裸麦、二条皮麦、二条裸麦に分けられる (今井・平沢 2013)。裸麦は、主に麦味噌や焼酎の原料用として使用され、麦味噌では国内産裸麦の使用割合が 8 割超と高い (吉田 2011)。焼酎では国内産裸麦の使用割合が低く 1 割に満たないが、「国内産麦 100%使用」の表示のあるプレミアム化した商品が拡大し始め、今後の需要が期待されている。

裸麦は耐寒雪性が弱いためほとんどが近畿以西の西日本で栽培されている。とくに、瀬戸内海沿岸地域では降水量が少なく、冬温暖な気候であるため良質な裸麦の産地となっており、コムギと比較して成熟が早く、水田裏作麦として有利なことから栽培が盛んである (鳥生 1997)。裸麦の収穫量は、2014 年度では全国で 14500 トンであり、そのうち愛媛県が 4870 トンと最も多く、次いで大分県の 2940 トン、香川県の 2420 トンとなっている (農林水産省統計情報データベース <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu>)。

山口県では、戦前から裸麦を栽培しており、水田を利用した二毛作が行われていた (山口県 2008)。1960 年頃まで、押し麦や引き割り麦にして米に混ぜて飯に炊かれ、麦飯として食されており (山口県 2010)、戦時中は主食としても利用されていた。米の代替品として消費されていた 1960 年頃までは作付面積がおよそ 17000ha、生産量がおよそ 50000 トンであったが、現在では作付面積がおよそ 360ha、生産量がおよそ 600 トンと大きく減少している (作物統計山口県版 2010, 農林水産省統計情報データベース)。一方、2005 年産からは購入希望数量が販売予定数量を上回るミスマッチが生じており、裸麦のさらなる増産が

求められている（渡邊ら 2013）。山口県では、作付面積が増加しているものの、収量が安定せず、10aあたりの平均収量も196kgと全国平均の284kgと比較して低い（作物学統計山口県版 2010，農林水産省統計情報データベース）。現在でも水田の裏作としてコムギに次ぐ重要な作物となっているため、安定多収の栽培技術の確立が求められている。

裸麦は、穂揃期以降の地温が高いと登熟期間が短くなり、土壌水分が過乾状態であると粒重が低下することが報告されている（時枝ら 1955）。また、登熟期が高温条件で経過すると粒重が低下し、全炭水化物集積量、面積あたりの乾物重も低下することが報告されている（野田・木村 1956）。さらに、降水量が多い年は収量が少ない傾向が認められており（鳥生ら 1991）、とくに、出穂開花前後の雨量と収量との間に高い負の相関関係がみられることが報告されている（金川 1948）。二条オオムギでも、生育期間を通じて収量と降水量との間に負の相関関係が認められ、降水量が多いと穂数が減少することが報告されている（浜地・吉田 1989）。浜地・古庄（1989）は、過湿条件下での栽培試験により、過湿した区では2月中下旬以降、対照区に比べ草丈が低下し、根の健全性の判定に用いた白色根率が急激に低下することを報告している。また、分けつ期および節間伸長期の降雨は穂数を減少させ、登熟期間中の降雨は千粒重と負の相関関係にあることが報告されており（松江ら 2000）、大谷（2010）は5月中旬の降水量は千粒重と負の相関関係にあることを報告している。桐山・田谷（1975）は、二条オオムギと六条皮ムギにおいて、湛水処理により湿害を発生させた実験から、穂数が分けつ前半期間から伸長期間で大きく減少することを報告している。

一方、コムギにおいても、分けつ期から節間伸長期の間の降水量が穂数の決定に負に影

響していることが報告されている（石丸・波多江 1971b）。また、穂孕期以降の登熟期間に長雨が続くと千粒重が低下し、粗タンパク含量が増加することが報告されており（平野ら 1964）、登熟後半の多雨は千粒重を低下させることが報告されている（徳永 1959）。石丸・波多江（1971a）は、収量に対する構成要素の直接効果は穂数が最も大きいことを報告しており、最高分げつ茎数と穂数との間には高い相関関係が認められることも報告している。穂数は発芽から最高分げつ期までの降水量と負の相関関係が認められ、雨が多い年ほど穂数は減少する傾向にあることが報告されている（田谷ら 1981）。また、コムギの品質は登熟期間の降水量と負の相関関係がみられ、登熟後半になるほど高い相関関係がみられることが報告されており、収穫期の降雨においても品質が低下することが報告されている（中園ら 2008）。

このようにムギ類の収量は、生育期間を通じての気象条件、とくに降雨により穂数や千粒重が減少し低下しており、安定した収量を得るためにはこれら気象に応じた栽培方法を確立する必要がある。また、裸麦は栽培場所や年次によって、穂肥期以降に本来の草勢を失って収量が上がらない「春落ち症状」が見られることが知られており（<http://www.jeinou.com/benri/wheat/2010/12/201030.html>）、春落ち症状の改善も求められている。

山口県では、これまでに、裸麦の窒素施肥試験を実施しており、穂肥を増施すると穂数が増加し、収量が増加する傾向にあることが報告されている（前岡ら 2000）。コムギにおいても、播種量と施肥法の間を試験しており、追肥重点施肥によって収量が増加することを示している（角屋ら 1991）。とくに、角屋ら（1991）は、播種量が  $100 \text{ 粒 m}^{-2}$  では追肥

重点施肥や追肥増量施肥で収量が増加することを明らかにしており、中司・角屋（1992）も、同様の試験で、追肥重点施肥では有効茎歩合が高まり、収量が増加することを示している。

一方、裸麦の品質は、国の定める品質評価基準に照らし合わされA～Dまでの4段階でランク区分される。そのランク区分として大きく影響しているものに「硝子率」がある。裸麦は、主に味噌用や麦飯用の原料として用いられるが、「主食用裸麦」の評価項目には「精麦白度」や「硝子率」が含まれる（山口ら 2014）。硝子率は、その値が高くなると精麦白度が低下するため、裸麦の白度を重視する実需者がとくに重要視している項目である。そのため、山口県において、収量を増加させるとともに、硝子率を高めない多収化栽培技術の確立が求められる。

そこで本研究は、山口県における裸麦の多収化栽培技術の確立を目的とし、第2章では、穂肥を増施する後期重点型施肥栽培が裸麦の収量および収量構成要素にどのような影響を与えるか調査するとともに、登熟期間中の物質生産、窒素代謝や可溶性炭水化物の蓄積といった登熟生理に及ぼす影響について検討した。第3章では、この後期重点型施肥栽培を含む、穂肥の増施および重点化が分げつ数の増加や分げつの有効化にどのように影響したかといった穂数を増加させる機作について、分げつの発生節位、展開葉数と乾物重との関係から明らかにするとともに、分げつの有効化について乾物重と窒素含有率や糖含有率との関係から検討した。第4章では、後期重点型施肥栽培をはじめ、総窒素施肥量や基肥および穂肥の施肥量を変えた施肥体系が登熟期間中の物質生産や窒素代謝にどのような影響を及ぼすか、穂揃期から成熟期にかけて、止葉、第二葉、下位葉、稈、穂、子実といった器官別の窒素含有量および窒素含有率を明らかにするとともに、その推移を処理区や年次

において比較し，検討した．さらに第 5 章では，これら第 2 章から第 4 章までの解析結果を総括的に考察し，多収化栽培技術の確立に向けて総合考察とした．



## 第 2 章「裸麦の収量および登熟生理に及ぼす穂肥窒素による後期重点施肥の影響」

### 緒言

裸麦は、登熟期間中の高温や降雨といった気象条件下であっても安定した収量を確保できるよう栽培方法が検討されてきた。従来、裸麦の栽培では、全面全層播の省力性をいかにし、追肥による倒伏を回避するため原則として全量を基肥で施肥してきた（森ら 1994）。しかし、愛媛県では、裸麦は、基肥と分けつ肥と穂肥を分けた施肥体系で栽培すると、穂数を増加させて収量が増加することを明らかにした（村上ら 2003, 久保井・鳥生 1994）。また、分けつ肥や穂肥は、黄化症状を防止し、遅れ穂を減少させる効果があり（鳥生 1997）、粒数が増加して収量が増加することも報告されている（宮内・宇都宮 1970）。中鉢ら（1987）は、六条オオムギでは、後期重点の追肥法で栽培すると登熟期間の葉身窒素濃度が高く、光合成能力が高まり、千粒重が低下せず安定栽培につながることを示唆している。山口県でも、裸麦は基肥と分けつ肥と穂肥を組み合わせた施肥体系で栽培すると生育が安定することが報告されている（前岡ら 2000）。その際、初期の分けつを抑制的に栽培して、3月上旬の穂肥を増量することで穂数 500 本  $m^{-2}$  を確保している。

そこで、本研究では、裸麦品種トヨノカゼを用いて、2010/2011 年から 2012/2013 年の 3 作期において、穂数を増加し、登熟期間の光合成能力を高く保つことを期待して、穂肥を増施する後期重点施肥処理を行った。この後期重点施肥処理が収量や収量構成要素にどのような影響を及ぼすか調査し、登熟期間中の物質生産、窒素代謝や可溶性炭水化物の蓄積といった登熟生理に及ぼす影響についても検討した。

## 材料と方法

試験は、2010/2011年、2011/2012年および2012/2013年の3作期にわたり、山口県農林総合技術センター（山口県山口市）の水田転換畑（灰色低地土、水稻後）において、裸麦品種トヨノカゼを用いて窒素肥料の分施量を変える施肥処理を行い、子実収量や登熟生理に及ぼす影響を解析した。

施肥処理は、基肥2水準（4 g m<sup>-2</sup>、6 g m<sup>-2</sup>）と穂肥3水準（2 g m<sup>-2</sup>、4 g m<sup>-2</sup>、6 g m<sup>-2</sup>）とを組み合わせた5水準（4-2-2区、4-2-4区、4-2-6区、6-2-2区、6-2-4区）を設けた。4-2-2区は窒素成分で基肥4 g m<sup>-2</sup>、分けつ肥2 g m<sup>-2</sup>、穂肥2 g m<sup>-2</sup>を、4-2-4区は窒素成分で基肥4 g m<sup>-2</sup>、分けつ肥2 g m<sup>-2</sup>、穂肥4 g m<sup>-2</sup>を、4-2-6区は窒素成分で基肥4 g m<sup>-2</sup>、分けつ肥2 g m<sup>-2</sup>、穂肥6 g m<sup>-2</sup>を、6-2-2区は窒素成分で基肥6 g m<sup>-2</sup>、分けつ肥2 g m<sup>-2</sup>、穂肥2 g m<sup>-2</sup>を、6-2-4区は窒素成分で基肥6 g m<sup>-2</sup>、分けつ肥2 g m<sup>-2</sup>、穂肥4 g m<sup>-2</sup>を施用した。総窒素施肥量は、4-2-2区が8 g m<sup>-2</sup>、4-2-4区と6-2-2区が10 g m<sup>-2</sup>、4-2-6区と6-2-4区が12 g m<sup>-2</sup>である。基肥は燐加安44号（N：14%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：17%、K<sub>2</sub>O：13%）を用い、2010/2011年は11月25日、2011/2012年と2012/2013年は11月28日の播種期に施用し、分けつ肥は燐加安V550（N：15%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：5%、K<sub>2</sub>O：20%）を用い、2010/2011年と2012/2013年は1月31日、2011/2012年は1月30日に施用した。穂肥は燐加安V550（N：15%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：5%、K<sub>2</sub>O：20%）を用い、2010/2011年は3月10日、2011/2012年は2月28日、2012/2013年は3月5日に施用した。試験区は3反復乱塊法で配置した。

播種は、2010/2011年は11月25日、2011/2012年と2012/2013年は11月28日に行った。

播種方法は、3 作期とも、各処理区で 200 粒  $\text{m}^{-2}$  を畦幅 150 cm の 4 条のドリル播きとし、畦上で条間 20 cm, 40 cm, 20 cm の間隔に 4 条を配置した。

子実収量は収穫期に収量構成要素とともに調査し、登熟生理は登熟期間中にサンプリングを行い、器官別乾物重から成長解析するとともに窒素含有率と稈の糖含有率を調査することで解析した。サンプリングは、穂揃期、乳熟期、成熟期に行い、穂揃期は調査区の半分の穂が出そろったころ、乳熟期は穂揃期から 2 週間後とした。

子実収量は、収量調査区より 1.5 m $\times$ 3 m (4.5  $\text{m}^2$ ) を地際から刈取り、穂数を数えた後、風乾し、脱穀して得られた子実の重量を測定することにより求めた。全乾物重は、成熟期にサンプリング調査区から 0.75 m $\times$ 0.7 m (0.525  $\text{m}^2$ ) を地際から刈取り、110  $^{\circ}\text{C}$  で 30 分、70  $^{\circ}\text{C}$  で 48 時間以上通風乾燥させた全植物体の乾物重を測定して求めた。千粒重は、子実収量を調査した子実から無作為に千粒を取り出し、秤量して求めた。収穫指数は、子実収量を全乾物重で除することにより、一穂粒数は子実収量を穂数と千粒重で除することにより算出した。

器官別乾物重は、穂揃期、乳熟期、成熟期に成長解析調査区から 0.75 m $\times$ 0.7 m (0.525  $\text{m}^2$ ) を地際から刈取り、穂、止葉、第二葉、第三葉、下位葉、稈、無効茎、無効葉に分け、110  $^{\circ}\text{C}$  で 30 分、70  $^{\circ}\text{C}$  で 48 時間以上通風乾燥させた後に秤量した。葉身と穂は、乾燥させる前に自動葉面積計（林電工 AAM-8 型）にて表面積を測定して単位面積あたりの穂および葉面積指数（S&LAI）を算出した。なお、穂の表面積は自動面積計の計測値に円周率 3.14 を乗じて求めた。

個体群成長速度（CGR）は、穂揃期からその 2 週間後の乳熟期までと乳熟期から成熟期ま

での全乾物重の増加量をその期間の日数で除して算出した。成長解析では、CGR は平均 S&LAI と純同化率 (NAR) の積として評価した。平均 S&LAI は、例えば穂揃期 ( $t_1$ ) から乳熟期 ( $t_2$ ) までであれば、 $(S\&LAI(t_2) - S\&LAI(t_1)) / (\text{Log}_e S\&LAI(t_2) - \text{Log}_e S\&LAI(t_1))$  の式により算出した。なお、成熟期の S&LAI は、葉の緑色が完全に失われていたため、穂の表面積を持ってこれに代えた。

窒素含有率は、サンプリングした器官別の試料についてケルダール法 (大山 1990) ならびにインドフェノール法 (大山 1990) 用いて測定した。これら試料は、フードプロセッサ (ZOJIRUSHI BM-HS08-GS) で粉碎した後に分析に供試し、稈の試料についてはアンスロン硫酸法 (Yemm and Willis 1954) にて糖含有率も測定した。器官別の窒素含有率は、全乾物重と乗じて器官別窒素含有量の算出に用いた。

## 結果

第 2-1 表に裸麦品種トヨノカゼの子実収量、全乾物重、収穫指数、収量構成要素および子実タンパク質含有率の 5 処理区における 3 作期の平均値と 3 作期における 5 処理区の平均値とその交互作用を示した。子実収量は 4-2-6 区が全処理区と比較して 5%水準で最も多く、次いで 6-2-4 区と 6-2-2 区が多かった。2011/2012 年は 2010/2011 年と 2012/2013 年よりも 5%水準で有意に多かった。処理区と年次間に交互作用は認められなかった。全乾物重も、4-2-6 区が最も重く、次いで 6-2-4 区と 6-2-2 区が重かった。2011/2012 年は 2010/2011 年と 2012/2013 年よりも 5%水準で有意に多かった。処理区と年次間に交互作用は認められなかった。穂数は、4-2-6 区が全処理区と比較して 5%水準で最も多く、次いで 6-2-4 区と

6-2-2 区が多かった。2011/2012 年は 5%水準で最も多く、次いで 2010/2011 年が多かった。処理区と年次間に交互作用は認められなかった。一穂粒数は 4-2-2 区が最も少なく、2012/2013 年が最も多く、次いで 2010/2011 年が多かった。処理区と年次間に交互作用は認められなかった。千粒重は、処理区間に有意差は認められなかったが、2012/2013 年が最も重く、次いで 2011/2012 年が重かった。処理区と年次間に交互作用は認められなかった。子実タンパク質含有率は処理区間に有意な差は認められなかった。2012/2013 年が最も高く、次いで 2010/2011 年が高かった。処理区と年次間に交互作用は認められなかった。

第 2-2 表に 2010/2011 年と 2011/2012 年における裸麦品種トヨノカゼの穂揃期から乳熟期ならびに乳熟期から成熟期における CGR, S&LAI および NAR を示した。

穂揃期から乳熟期まででは、CGR は、2010/2011 年では、4-2-6 区が最も高く、次いで 6-2-4 区、4-2-2 区の順に高かった。2011/2012 年では、6-2-4 区が最も高く、次いで 4-2-6 区、4-2-2 区の順に高かった。S&LAI は、2010/2011 年で、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高く、次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-4 区と 6-2-2 区が高かった。2011/2012 年でも、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高く、次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-4 区と 6-2-2 区が高かった。NAR は、2010/2011 年で、総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-2 区が最も高く、次いで総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-6 区、6-2-4 区が高かった。2011/2012 年も同様に総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-2 区が最も高く、次いで、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-6 区、6-2-4 区が高かった。

乳熟期から成熟期まででは、CGR は、2010/2011 年で、4-2-6 区が最も高く、次いで 6-2-2 区、4-2-4 区の順に高かった。2011/2012 年でも同様に、4-2-6 区が最も高く、次いで 6-2-2

区, 4-2-4 区の順に高かった. S&LAI は, 2010/2011 年で, 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高く, 次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-4 区と 6-2-2 区が高かった. 2011/2012 年でも, 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高く, 次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  である 4-2-4 区と 6-2-2 区が高かった. NAR は, 2010/2011 年で, 6-2-2 区が最も高く, 次いで 4-2-4 区, 4-2-6 区が高かった. 2011/2012 年でも, 6-2-2 区が最も高く, 次いで 4-2-4 区, 4-2-6 区が高かった. なお, 両年次ともどの処理区においても倒伏は認められなかった.

第 2-1 図に 2010/2011 年, 2011/2012 年の裸麦品種トヨノカゼの器官別・部位別窒素含有量の推移を示した.

2010/2011 年では, 地上部全体では, 穂揃期で, 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高く, 次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区が高く, 総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区が最も低かった. 乳熟期でも, 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高く, 次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区が高く, 総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区が最も低かった. 成熟期では, 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区と 6-2-4 区, 総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-2 区が  $5.2 \text{ g m}^{-2}$  と最も高かった. 穂揃期から乳熟期まででは, 総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-2 区が, 地上部全体では増加せず, 葉身での含有量が減少した. 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区では, 無効茎での含有量が減少し, 稈での含有量が増加した. 乳熟期から成熟期まででは, 総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-2 区が, 地上部全体で最も大きく増加し, 同じく総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区が次いで大きく増加した.

2011/2012年では、地上部全体では穂揃期で、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区が最も高く、次いで同じく総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-4 区と総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区が高く、総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区が最も低かった。乳熟期では、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高く、次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区が高く、総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区が最も低かった。成熟期でも、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区が最も高く、総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区が最も低かった。穂揃期から乳熟期まででは、総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-2 区が、2010/2011年と同様、地上部全体で増加せず、稈、葉の含有量が減少した。総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区、総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-2 区と 4-2-4 区、総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区では稈での含有量が減少した。乳熟期から成熟期まででは、総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-2 区が地上部全体で最も大きく増加した。

第 2-2 図に 2010/2011 年、2011/2012 年における、裸麦品種トヨノカゼの穂、止葉および第二葉の窒素含有率の推移を示した。窒素含有率は、穂揃期、乳熟期および成熟期いずれも、止葉が最も高く、次いで第二葉、穂の順であった。止葉の窒素含有率は、穂揃期から乳熟期まで緩やかに減少し、乳熟期から成熟期にかけて大きく減少した。第二葉の窒素含有率は、穂揃期、乳熟期、成熟期と直線的に減少した。穂の窒素含有率も、穂揃期、乳熟期、成熟期と直線的に減少した。2010/2011 年では、6-2-2 区が乳熟期において止葉の窒素含有率が低く、第二葉の窒素含有率も低く推移した。また、2010/2011 年、2011/2012 年ともに、止葉、第二葉において 4-2-6 区が最も高く推移した。

第 2-3 図に 2010/2011 年、2011/2012 年における、裸麦品種トヨノカゼの稈の糖含有率の

推移を示した。2010/2011年，2011/2012年ともに全ての処理区で穂揃期から乳熟期にかけて増加し，乳熟期から成熟期にかけて減少した。稈の糖含有率は，2010/2011年において，穂揃期では4-2-2区が最も高く，4-2-6区が最も低かった。乳熟期では4-2-2区，6-2-2区が高く，4-2-6区が最も低かった。成熟期では，どの処理区もほぼ0%であった。また，2011/2012年において，穂揃期では6-2-2区が最も高く，4-2-6区が最も低かった。乳熟期では，4-2-2区が最も高く，次いで6-2-2区が高かった。成熟期では，どの処理区もほぼ0%であった。

#### 考察

本試験の結果，裸麦品種トヨノカゼでは，穂肥を6 g m<sup>-2</sup>まで増施した4-2-6区は，他の処理区に比べ穂数が多く，全乾物重が重かったことから子実収量が多かった（第2-1表）。裸麦において，穂肥は茎数を増加させ，全乾物重を増加させる効果があることが明らかにされている（瀬古・加藤 1979）。その施肥量を増やすことで穂数が増加し，増収することも報告されており，穂数の増加は，無効分げつが有効化したためと考えられている。辻田ら（2011），前岡ら（2000），久保井・鳥生（1994）も，裸麦で子実収量が穂肥を増施することで穂数が増加したために，増加したことを報告している。糸川ら（2004）は，二条オオムギにおいて，穂肥増施が穂数，一穂粒数，千粒重を増加し，整粒重が高まることで収量を増加することを報告している。服部ら（2007）は，六条オオムギにおいて，追肥の量が多くなるほど収量は高まると報告しており，これらの報告は本研究の結果とも一致した。

子実収量は，2011/2012年で穂数が多く千粒重が重いために多くなる傾向がみられた（第



2-1 表). 中村ら (2006) は, 六条オオムギにおいて, 登熟期に降雨の多い年には整粒重が低下することを報告し, 平野ら (1964) や徳永 (1959) も同様にコムギにおいて登熟期の降雨が, 収量や粒重を低下させたことを報告している. 2010/2011 年は乳熟期から成熟期にかけて 200 mm 近くの降水量があり, 2011/2012 年と比べて登熟期間の降水量が著しく多かった (第 2-4 図).

4-2-6 区は, 登熟期間を通じて S&LAI, NAR がともに高く, CGR が高かった (第 2-2 表) ために, 全乾物重が重く, 収量が多かった. 穂肥を  $6 \text{ g m}^{-2}$  まで増施すると, CGR が登熟期間を通じて 4-2-4 区よりも高く, 登熟前半から裸麦の生長を盛んにさせていた. 吉川・加藤 (1986) は, 裸麦において, 平均 LAI と平均 CGR が全乾物重および子実収量との間に有意な正の相関関係があり, 同じ施肥水準であれば, NAR を高めることで多収になることを報告している. コムギでは, 収量は登熟期間中の光合成量に大きく影響されており, 全乾物重, 子実重, 千粒重は登熟中期 (開花後 25 日) の止葉, 第 2 葉のクロロフィル含有率, 第 2, 第 3 葉の緑葉身面積と高い正の相関関係があることが示されている (豊田ら 1986). クロロフィル含有率は, 窒素含有率と高い正の相関関係があり, 植物体の窒素吸収が多いと葉中クロロフィル含量が高まる (建部ら 2006). 本研究において, 4-2-6 区は, 地上部全体の窒素含有量が穂揃期からすでに高く, 乳熟期までの吸収量も多かったことから成熟期でも高かった (第 2-1 図). 子実収量は, 窒素含有量が登熟期間を通じて高かったことから, NAR や CGR を高く保ち, 光合成能力が登熟後半まで維持できたために, 増加したと考えられた.

光合成産物は, 新たな葉や茎の形成に消費されない場合は体内に炭水化物として蓄積し, 呼吸に使用される (村田ら 1997). 4-2-6 区は, 稈の糖含有率が, とくに 2010/2011 年で,

他の処理区に比べ低く推移した（第 2-2 図）。

穂揃期から乳熟期まででは，総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区は， $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区に比べて NAR が低く，CGR が低かった（第 2-2 表）。この間，地上部全体では窒素含有量が増加せず，葉身の窒素含有量が減少した（第 2-1 図）。このように地上部では窒素が吸収されず，子実生長のための窒素が葉身から転流されたことで，光合成生産が一時的に低下したことが伺われた。二条オオムギにおいて，光合成速度は根の活性が低下して葉が老化し始めるとクロロフィル含量が低下して低下することが報告されている（田中丸 1990）。開花後 15 日間に乾物生産が高まるようにすることで登熟を大きく左右すると報告されており（荒川ら 1999），本研究のように登熟前半での NAR，CGR の低下は，乾物生産を大きく低下させ，収量を低下させるであろうと考えられる。しかしながら，乳熟期から成熟期まででは，総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区は，総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-4 区よりも NAR が高く，CGR が高かった（第 2-2 表）。地上部全体での窒素含有量も大きく増加し（第 2-1 図），登熟後半になって他の処理区よりも窒素を多く吸収していることが伺われた。

子実収量は全吸収窒素量と極めて高い相関関係があることで知られている（三枝ら 1985）。本研究でも，総窒素施肥量が多く，全吸収窒素量が多い区が，穂数が多く，子実収量が多かった（第 2-1 表，第 2-1 図）。成熟期における単位面積あたりの総粒数は，子実収量を左右する形質であるが，2011/2012 年では地上部全体の窒素吸収量とも高い正の相関関係がみられた（第 2-5 図）。2010/2011 年でも，総粒数が 7000 粒から 10000 粒を超えるまでは正の相関関係がみられたものの，総窒素施肥量が  $10 \text{ g m}^{-2}$  から  $12 \text{ g m}^{-2}$  へと増加し，総

粒数が 10000 粒から 15000 粒と増加しても地上部全体の窒素吸収量は大きく増加しなかった。このように、粒数が多くなる区ほど、年次によって窒素吸収量に違いがみられ、窒素吸収量が必ずしも単位面積あたりの粒数で示されるシンクの容量に左右されるわけではないようである。

以上、裸麦は基肥と穂肥の両方に増収の効果が認められ、とくに 4-2-6 区では穂数が増加し、最も増収することが明らかとなった。これは、無効分けつを有効化し、窒素吸収量が登熟前半から高く、登熟期間を通じて高い光合成能力を維持できたからと考えられる。一方、4-2-4 区が 6-2-2 区と比べて収量や収量構成要素に差がみられないことから、穂肥増加の効果というよりはむしろ、総窒素施肥量を  $10 \text{ g m}^{-2}$  から  $12 \text{ g m}^{-2}$  へと増加し、かつ後期重点型施肥した結果と考えられた。山口県では、裸麦の作付面積が拡大しており、更なる増産が求められている。これまでの慣行栽培は 6-2-2 区に相当するが、総窒素施肥量を増加させ後期重点施肥とした 4-2-6 区は、生育後半の光合成能力を高め、収量を向上したことから、新たな栽培技術の一つとして期待される。

## 摘要

山口県において裸麦の収量および登熟生理に及ぼす穂肥窒素による後期重点施肥の影響を調査した。2010/2011年から2012/2013年の3作期において、基肥－分けつ肥－穂肥を組み合わせた5水準の窒素施肥処理 ( $\text{g m}^{-2}$ )、4-2-2区、4-2-4区、4-2-6区、6-2-2区、6-2-4区を設け、収量と収量構成要素、個体群成長速度 (CGR)、穂および葉面積指数 (S&LAI)、純同化率 (NAR) といった成長パラメータ、子実、穂、葉身、茎といった植物器官の窒素含有量を測定した。収量は、3作期を通じて、総窒素施肥量が  $12 \text{ g m}^{-2}$  と多く後期重点施肥方法の4-2-6区で穂数が多く、全重が重かったことから、最も多かった。ただし、総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  では4-2-4区が6-2-2区よりも少なく、必ずしも後期重点施肥の効果があるとは言えなかった。CGRも、4-2-6区でS&LAIが高く、NARが高かったことから、最も高かった。全植物器官の総窒素含有量は、4-2-6区で穂揃期にすでに多く、登熟期間における地中からの吸収量も4-2-6区で最も多かった。総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の4-2-4区と6-2-2区は、総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の4-2-2区よりも登熟前期でNARが低かったためにCGRが低かった。葉の含有窒素は、登熟前期に子実へと再転流していた。登熟後期のCGRとNARは、4-2-4区と6-2-2区で最も高かった。

第2-1表 裸麦品種トヨノカゼの子実収量，全乾物重，収穫指数，収量構成要素および子実タンパク質含有率の5処理区における3作期の平均値と3作期における5処理区の平均値とその交互作用。

処理区 <sup>†</sup> /年次	子実収量 (g m <sup>-2</sup> )	全乾物重 (g m <sup>-2</sup> )	収穫指数 (%)	穂数 (m <sup>-2</sup> )	一穂粒数	千粒重 (g)	子実タンパク質 含有率 (%)
4-2-2 (8 g m <sup>-2</sup> )	259 a	519 a	50.3	243 a	37.1 a	29.3	8.70
4-2-4 (10 g m <sup>-2</sup> )	302 b	598 ab	50.8	275 ab	40.7 b	28.7	8.60
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	388 d	761 d	51.2	347 c	43.1 b	28.6	8.59
6-2-2 (10 g m <sup>-2</sup> )	324 bc	651 bc	49.8	291 b	39.8 ab	28.7	8.67
6-2-4 (12 g m <sup>-2</sup> )	350 c	698 cd	50.4	302 b	41.5 b	28.9	8.99
2010/2011年	302 a	585 a	51.6 b	282 b	42.7 b	26.4 a	8.76 ab
2011/2012年	350 b	742 b	47.2 a	361 c	33.2 a	29.2 b	8.13 a
2012/2013年	321 a	609 a	52.7 c	232 a	45.4 c	31.0 c	9.23 b
施肥×年次	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

数値に付した異なる英小文字は処理区は各年次，3反復の9個のデータを，年次は各処理区，3反復の15個のデータを用いてそれぞれTukeyの多重検定により処理区間に5%水準で有意差があることを示し，NSは有意差がないことを示す。

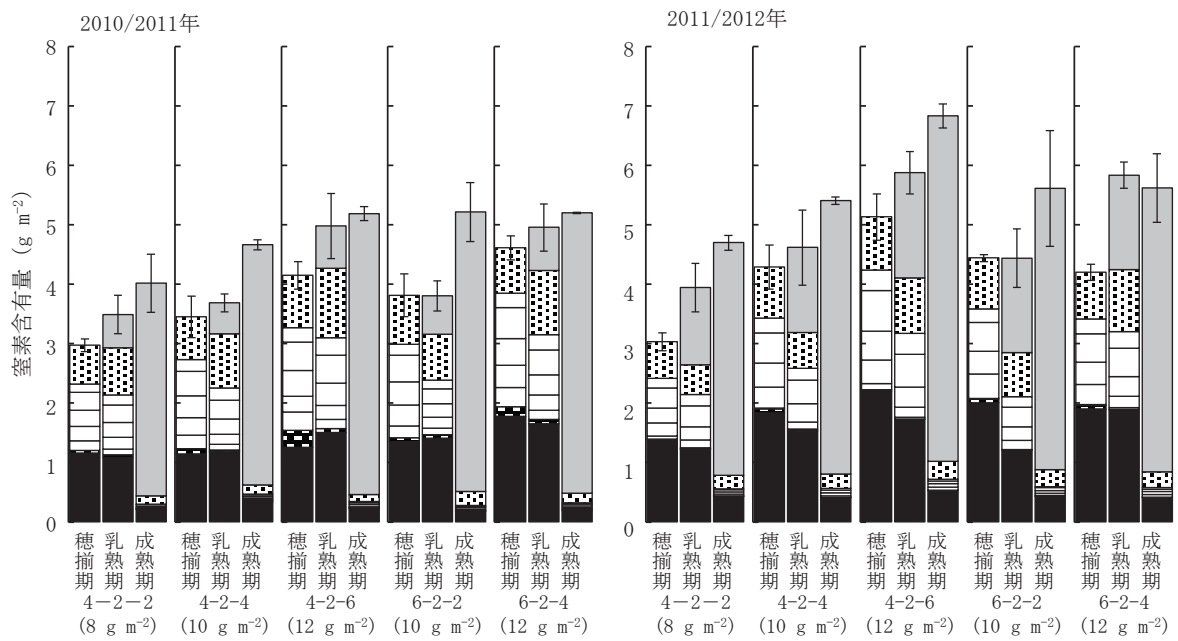
<sup>†</sup>：施肥処理は，基肥 - 分けつ肥 - 穂肥の順で窒素分量を，( ) は総窒素施肥量を示す。

第2-2表 2010/2011年と2011/2012年における裸麦品種トヨノカゼの穂揃期～乳熟期ならびに乳熟期～成熟期におけるCGR, S&LAIおよびNAR.

処理区	穂揃期～乳熟期			乳熟期～成熟期		
	CGR (g m <sup>-2</sup> 日 <sup>-1</sup> )	S&LAI <sup>†1</sup> (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	NAR (g m <sup>-2</sup> 日 <sup>-1</sup> )	CGR (g m <sup>-2</sup> 日 <sup>-1</sup> )	S&LAI <sup>†1</sup> (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	NAR (g m <sup>-2</sup> 日 <sup>-1</sup> )
2010/2011年	(4月18日～5月2日)			(5月2日～6月3日)		
4-2-2 ( 8 g m <sup>-2</sup> )	12.90	2.80	4.61	1.96	0.98	1.99
4-2-4 (10 g m <sup>-2</sup> )	8.87	2.85	3.12	4.81	1.00	4.81
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	14.41	3.50	4.11	6.39	1.41	4.53
6-2-2 (10 g m <sup>-2</sup> )	10.19	3.03	3.37	5.40	1.01	5.36
6-2-4 (12 g m <sup>-2</sup> )	13.76	3.56	3.86	2.39	1.30	1.84
2011/2012年	(4月17日～5月1日)			(5月1日～5月30日)		
4-2-2 ( 8 g m <sup>-2</sup> )	15.17	3.23	4.69	1.13	1.24	0.91
4-2-4 (10 g m <sup>-2</sup> )	14.28	4.07	3.50	2.73	1.41	1.93
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	19.53	5.22	3.74	3.82	1.86	2.06
6-2-2 (10 g m <sup>-2</sup> )	11.37	4.00	2.84	3.66	1.32	2.77
6-2-4 (12 g m <sup>-2</sup> )	21.78	5.10	4.27	-0.22	1.97	-0.11

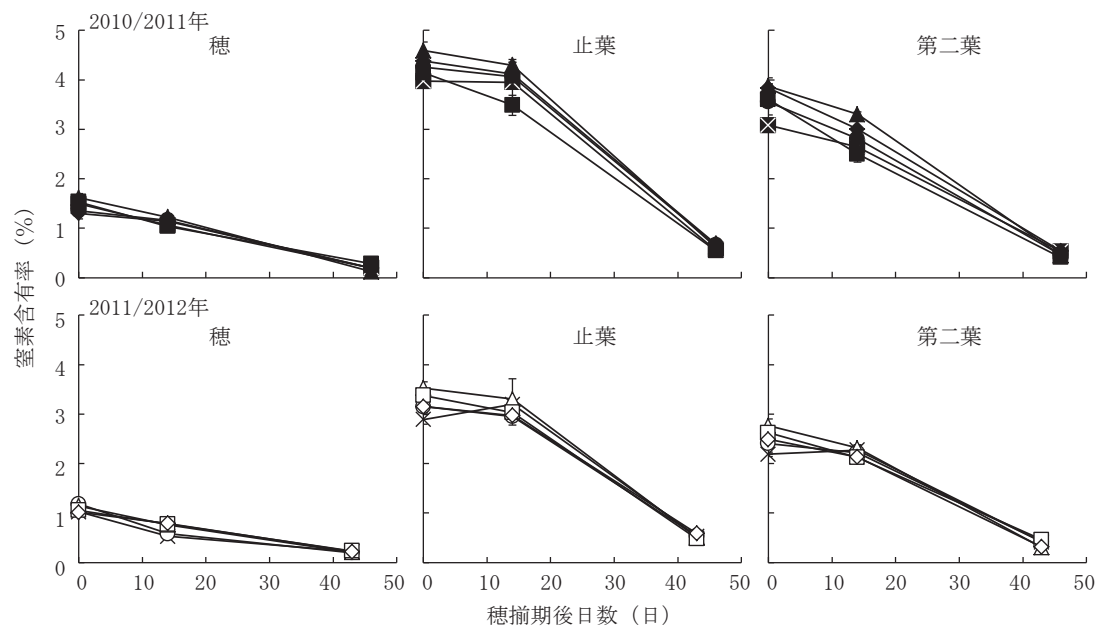
†1 : S&LAIは、穂と葉身を裸麦の主要な光合成器官と仮定してこれらの表面積指数を合計したものである。

†2 : 乳熟期～成熟期でのS&LAIは、成熟期のS&LAIを穂の表面積指数のみの値として計算したものである。



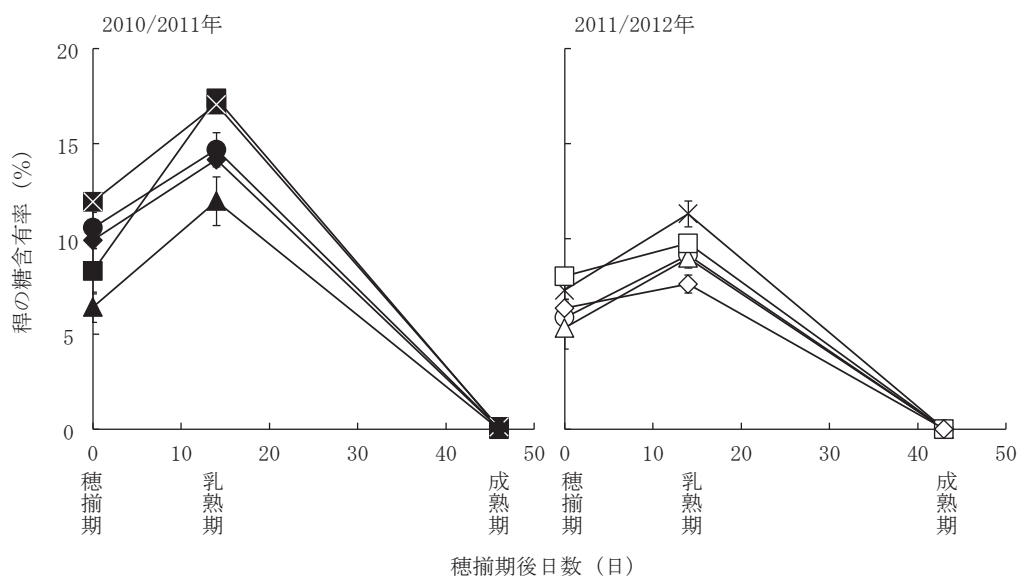
第2-1図 2010/2011年と2011/2012年の裸麦品種トノカゼの器官別・部位別窒素含有量の推移.

■ : 稈    ▨ : 無効茎    □ : 葉身 (上から, 止葉, 第二葉, 第三葉, 下位葉, 無効葉)    ● : 穂    ■ : 子実  
 図中の縦棒は標準誤差を示す.



第2-2図 裸麦品種トヨノカゼにおける穂揃期、乳熟期および成熟期の穂、止葉、第二葉の窒素含有率の推移. × 4-2-2 (8 g m<sup>-2</sup>) ○ 4-2-4 (10 g m<sup>-2</sup>) △ 4-2-6 (12 g m<sup>-2</sup>)  
□ 6-2-2 (10 g m<sup>-2</sup>) ◇ 6-2-4 (12 g m<sup>-2</sup>)  
黒塗りシンボルは2010/2011年を示し、白抜きシンボルは2011/2012年を示す.  
図中の縦棒は標準誤差を示す.

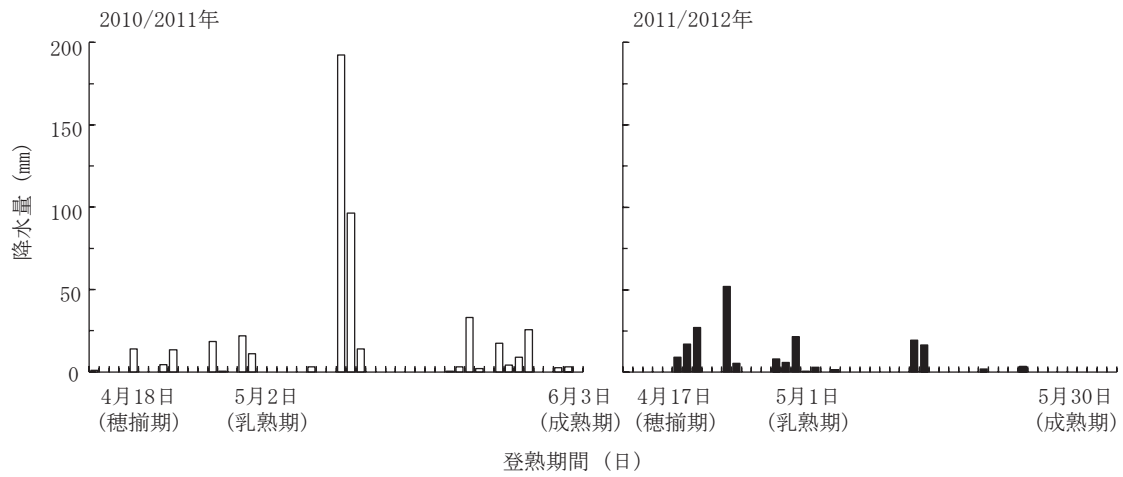




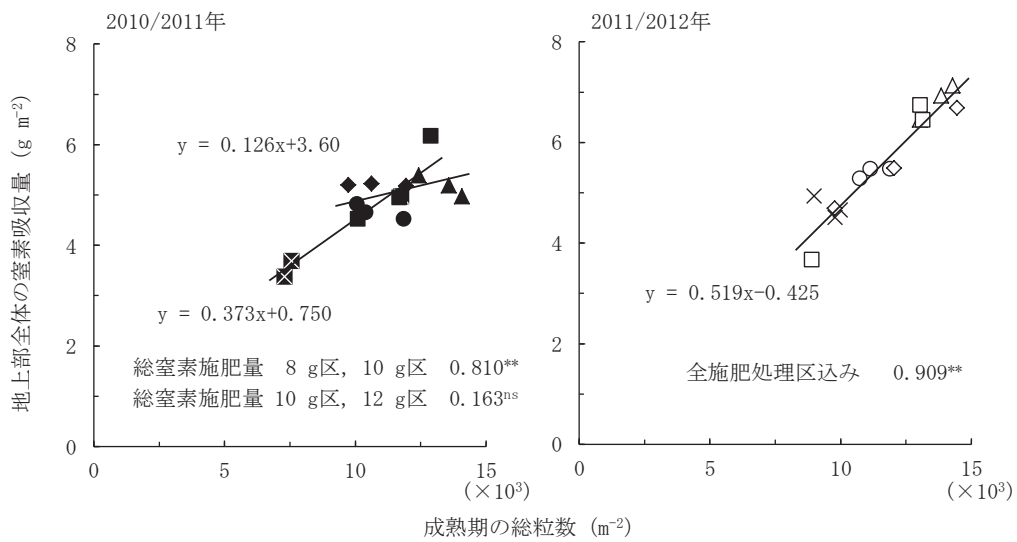
第2-3図 2010/2011年と2011/2012年における裸麦品種トヨノカゼの稈の糖含有率の推移 .

× 4-2-2 (8 g m<sup>-2</sup>)    ○ 4-2-4 (10 g m<sup>-2</sup>)    △ 4-2-6 (12 g m<sup>-2</sup>)  
□ 6-2-2 (10 g m<sup>-2</sup>)    ◇ 6-2-4 (12 g m<sup>-2</sup>)

黒塗りシンボルは2010/2011年を示し、白抜きシンボルは2011/2012年を示す。  
図中の縦棒は標準誤差を示す。



第2-4図 2010/2011年と2011/2012年における登熟期間の降水量.



第2-5図 2010/2011年と2011/2012年における裸麦品種トノカゼの成熟期での総粒数と地上部全体の窒素吸収量との関係。

× 4-2-2 (8  $\text{g m}^{-2}$ )      ○ 4-2-4 (10  $\text{g m}^{-2}$ )      △ 4-2-6 (12  $\text{g m}^{-2}$ )

□ 6-2-2 (10  $\text{g m}^{-2}$ )      ◇ 6-2-4 (12  $\text{g m}^{-2}$ )

黒塗りシンボルは2010/2011年を示し、白抜きシンボルは2011/2012年を示す。

### 第 3 章「穂肥窒素の増施および重点化による後期重点型施肥栽培が裸麦の分けつの有効化に及ぼす影響」

#### 緒言

裸麦では、穂肥の増施が分けつ数を増加し、分けつを有効化すると報告されている（瀬古・加藤 1979）。また、穂肥の増施にともなって穂数が増加することも報告されている（瀬古・加藤 1979, 前岡ら 2000, 辻田ら 2011）。コムギにおいても、穂肥の増施に伴って有効茎歩合が高まり、穂数が増加することが報告されている（竹内ら 2006, 土谷・下山 2011）。

ムギ類において、分けつは展開葉数に応じて規則的に発生するとする同伸葉同伸分けつの理論（片山 1951）に従って発生すると考えられている。コムギにおいて、分けつ数は、主茎の展開葉数が 6 葉前後の時期にピークを迎え、その後減少することが報告されている（李・山崎 1994）。分けつの出現率は低位節の 1 次分けつで高く、その有効化率も高いことで知られており（中條ら 1989, 福寫ら 2001, 小林ら 2004）、高位節や 2 次分けつでは出現率、有効化率ともに低いことが知られている。分けつの有効化および無効化については展開葉数や出葉速度との関係に着目した報告が多く、李・山崎（1994）は、分けつは出葉速度が主茎とほぼ同様に推移し、最終葉数も同伸葉・同伸分けつの理論値と比べ同様あるいは多くなれば有効化することを示している。また、コムギでは、出葉速度が主茎と同様の分けつは有効化することが報告されている（福寫ら 2001）一方で、出葉速度が低下する分けつや出現が遅れた分けつ、展開葉数 4 葉未満の幼小分けつなどは無効化することが報告されている（Davidson and Chevalier 1990, 李・山崎 1994, 福寫ら 2001）。

オオムギでは、分けつの主体は第 1 節や第 2 節といった低位節分けつであり、有効化率

は低位節ほど高いことが知られており（高田ら 1981, 阿部・鈴木 1987, 丹治 1997), 二条オオムギでは, 第 1 節から第 4 節の 1 次分げつおよび低位節の 2 次分げつの穂の出現率が高い（松村ら 1984). コムギでも第 1 節から第 3 節といった低位節の 1 次分げつは, 穂数や子実収量に占める割合も大きいことが報告されている（松村ら 1988).

鎌田ら（2014）は, 裸麦において, 穂肥の増施による穂数の増加が子実収量を増加させることを明らかにしてきたが, その穂数が増加する機作についてはまだ明らかになっていない. そこで, 本研究では穂肥を増施する後期重点型施肥栽培が分げつ数の増加や分げつの有効化にどのように影響したかというような穂数を増加させる機作について, 分げつの発生節位, 展開葉数と乾物重との関係から明らかにするとともに, 分げつの有効化について乾物重と窒素含有率や糖含有率との関係からも明らかにした.

## 材料と方法

試験は 2012/2013 年と 2013/2014 年の 2 作期にわたり, 山口県農林総合技術センター（山口県山口市）の水田転換畑（灰色低地土, 水稻跡）において, 裸麦品種トヨノカゼを用いて窒素肥料の分施量を異にする施肥処理を行い, 分げつの発生数や発生節位, 分げつの有効化に係る形質を調査した.

施肥処理は 2012/2013 年において, 基肥-分げつ肥-穂肥のうち基肥 2 水準（ $4 \text{ g m}^{-2}$ ,  $6 \text{ g m}^{-2}$ ）と穂肥 3 水準（ $2 \text{ g m}^{-2}$ ,  $4 \text{ g m}^{-2}$ ,  $6 \text{ g m}^{-2}$ ）とを組み合わせた 5 水準（4-2-2 区, 4-2-4 区, 4-2-6 区, 6-2-2 区, 6-2-4 区）を設けた. 6-2-2 区は総窒素施肥量を  $10 \text{ g m}^{-2}$  とする慣行施肥法であり, それに対して 4-2-6 区は, 穂肥を  $6 \text{ g m}^{-2}$ , 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  に増

施する後期重点型施肥法である。また、4-2-2 区は窒素成分で基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ 、分げつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ 、穂肥  $2 \text{ g m}^{-2}$  を、4-2-4 区は窒素成分で基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ 、分げつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ 、穂肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  を、6-2-4 区は窒素成分で基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$ 、分げつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ 、穂肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  を施用した。総窒素施肥量は、4-2-2 区が  $8 \text{ g m}^{-2}$ 、4-2-4 区と 6-2-2 区が  $10 \text{ g m}^{-2}$ 、4-2-6 区と 6-2-4 区が  $12 \text{ g m}^{-2}$  である。

2013/2014 年では基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ 、分げつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$  とし、穂肥を  $0 \text{ g m}^{-2}$ 、 $3 \text{ g m}^{-2}$ 、 $6 \text{ g m}^{-2}$  とした 3 水準（4-2-0 区、4-2-3 区、4-2-6 区）を設けた。

基肥は燐加安 44 号（N : 14%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  : 17%、 $\text{K}_2\text{O}$  : 13%）を用い、2012/2013 年は 11 月 28 日、2013/2014 年は 11 月 21 日の播種期に施用し、分げつ肥は、分げつ発生初期に、燐加安 V550（N : 15%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  : 5%、 $\text{K}_2\text{O}$  : 20%）を用い、2012/2013 年は 1 月 31 日、2013/2014 年は 1 月 29 日に施用した。穂肥は、幼穂形成期に、燐加安 V550（N : 15%、 $\text{P}_2\text{O}_5$  : 5%、 $\text{K}_2\text{O}$  : 20%）を用い、2012/2013 年は 3 月 5 日、2013/2014 年は 3 月 3 日に施用した。試験区は 2012/2013 年が 3 反復乱塊法、2013/2014 年が 4 反復乱塊法で配置した。

播種は 2012/2013 年が 11 月 28 日、2013/2014 年が 11 月 21 日に行った。播種方法は 2 作期ともすべての処理区で  $200 \text{ 粒 m}^{-2}$  を畦幅 150 cm の 4 条のドリル播きとし、畦上で条間 20 cm、40 cm、20 cm の間隔に 4 条を配置した。

2012/2013 年では、出芽数、最高茎数、穂数、分げつの発生位置、有効茎数、展開葉数および乾物重を調査した。出芽数は出芽調査区（4 条  $\times$  1 m）から出芽した個体数、最高茎数は出芽調査区の茎数を穂揃期まで調査して得た最高値とし、最高茎数を出芽数で除した値から 1（主茎）を引いた値を分げつの発生数とした。

穂数は出芽調査区で調査した最終穂数（最終的に子実が入らなかった小さい穂は除く）

を単位面積あたりに換算したものをを用い、穂数を最高茎数で除した値を有効茎歩合とした。

分けつの発生位置の調査はサンプリング個体により行った。サンプリングは分けつ発生時から穂揃期まで1週間間隔で7回行った。分けつ発生時は調査区の第1節分けつが50%出現した時期とし、穂揃期は調査区の50%が出穂した時期とした。調査個体は、1回目の調査(3月5日)において、各反復5個体、計15個体を根から掘り取り、生育が中庸な9個体を使用した。2回目の調査(3月11日)から6回目の調査(4月8日)まででは各反復6個体、計18個体を根から掘り取り生育が中庸な10個体を、7回目(4月17日)の調査では各反復10個体、計30個体全てを使用した。主茎の第1節から第4節までで、節位別に発生した1次分けつの有無を調査し、7回の調査で分けつが発生した個体数を全調査個体数で除した値を分けつ発生率とした。

有効茎数、展開葉数および乾物重の調査は、穂揃期にあたる7回目のサンプリング個体で行った。出穂しているかあるいは止葉が完全に展開して穂孕みの状態にあるものを有効茎とし、個体ごとに有効茎数を調査するとともに、主茎と分けつの展開葉数を調査した。サンプリングした個体は主茎の展開葉数、分けつの発生節位と展開葉数を調査した後、主茎と分けつとに分解し、110℃で30分、70℃で48時間以上通風乾燥後、乾物重を秤量した。

2013/2014年は穂揃期の調査を2012/2013年と同様に行うとともに、窒素含有率、糖含有率を調査した。サンプリングは4月16日に行い、各反復10個体、計40個体全てを使用した。有効分けつおよび無効分けつがともに存在する4-2-0区の第1節1次分けつと4-2-6区の第2節1次分けつを用い、フードプロセッサ(ZOJIRUSHI BM-HS08-GS)で粉砕した後、ケルダール法(大山1990)およびインドフェノール法(大山1990)により窒素含有

率を、アンスロン硫酸法 (Yemm and Willis 1954) により糖含有率を測定した。

## 結果

第 3-1 表に 2012/2013 年における裸麦品種トヨノカゼの分けつ発生数、最高茎数および有効茎歩合を示した。分けつ発生数は、4-2-6 区が 4-2-2 区より有意に多く、その他の処理区間には有意な差はみられなかったが、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区と 6-2-4 区、また基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$  を与えた 6-2-2 区が 4-2-2 区、4-2-4 区より多い傾向にあった。最高茎数は処理間に有意な差はみられなかったが、基肥に  $6 \text{ g m}^{-2}$  を与えた 6-2-2 区と 6-2-4 区が多く、次いで 4-2-6 区が多い傾向にあった。有効茎歩合は 4-2-6 区が全処理区の中で最も高く、4-2-4 区も同様に高かった。

第 3-2 表に 2012/2013 年における裸麦品種トヨノカゼの分けつ発生率と節位別分けつ発生率を示した。分けつ発生率は総窒素施肥量  $8 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-2 区が全処理区の中で最も低く、次いで総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区であり、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区と 6-2-4 区が最も高かった。節位別分けつ発生率は第 1 節では総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-6 区と 6-2-4 区が他の処理区と比較して有意に高かった。第 2 節では 6-2-4 区が全処理区の中で最も高く、次いで基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$  を与えた 6-2-2 区が高かった。第 3 節では 4-2-6 区が全処理区の中で最も高く、第 4 節でも 4-2-6 区が高かった。

第 3-1 図に 2012/2013 年の裸麦品種トヨノカゼの穂揃期における有効茎・無効茎別にみた主茎および分けつの展開葉数と乾物重との関係を示した。

主茎はいずれの処理区も展開葉数が 7 葉から 10 葉であり、全てが有効茎であった。また、



乾物重の平均値は、4-2-2 区が  $1692 \pm 382$  mg, 4-2-4 区が  $1821 \pm 408$  mg, 4-2-6 区が  $1978 \pm 369$  mg, 6-2-2 区が  $1668 \pm 458$  mg, 6-2-4 区が  $1715 \pm 326$  mg であり、これらの 95%以上が 1000 mg 以上であった。基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  区 (4-2-2 区, 4-2-4 区, 4-2-6 区), 基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$  区 (6-2-2 区, 6-2-4 区) ではともに穂肥を増施するほど重く、総窒素施肥量が等しい総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  区 (4-2-4 区, 6-2-2 区) および  $12 \text{ g m}^{-2}$  区 (4-2-6 区, 6-2-4 区) において、穂肥を増施した区で重い傾向にあった。

有効分げつはいずれの処理区も展開葉数が 5 葉から 7 葉で、乾物重の平均は 4-2-2 区が  $1122 \pm 417$  mg, 4-2-4 区が  $1005 \pm 503$  mg, 4-2-6 区が  $1210 \pm 478$  mg, 6-2-2 区が  $1128 \pm 427$  mg, 6-2-4 区が  $997 \pm 362$  mg であり、1000 mg 以下のものも多くみられた。総有効分げつ数は基肥  $4 \text{ m g}^{-2}$  区の 4-2-2 区が 16 本 (総分げつ数の 33%), 4-2-4 区が 18 本 (39%), 4-2-6 区が 21 本 (33%) と、6-2-2 区の 6 本 (17%), 6-2-4 区の 16 本 (29%) と比べて多い傾向がみられた。また、これら有効分げつのうち乾物重 1000 mg 以下の割合が、4-2-4 区が 56% (10 本) と高く、次いで 6-2-4 区が 50% (8 本), 4-2-2 区が 38% (6 本) であり、4-2-6 区が 29% (6 本), 6-2-2 区が 33% (2 本) と低かった。

一方、無効分げつはどの発生節位でも、その多くが展開葉数 4 葉以下、乾物重 200 mg 以下であった。ただし、展開葉数 4 葉以上 6 葉未満のものが基肥  $4 \text{ m g}^{-2}$  区の 4-2-2 区が 3 本 (総無効分げつ数の 9%), 4-2-4 区が 3 本 (11%), 4-2-6 区が 6 本 (14%) と、基肥  $6 \text{ m g}^{-2}$  区の 6-2-2 区が 2 本 (7%), 6-2-4 区が 1 本 (3%) に比べて多い傾向がみられた。また、このうち乾物重が 200 mg 以上のものが、穂肥が  $2 \text{ m g}^{-2}$  の 4-2-2 区と 6-2-2 区で 0 本であったのに対して、穂肥が  $6 \text{ m g}^{-2}$  の 4-2-6 区では 6 本と多い傾向がみられた。

第 3-2 図に 2013/2014 年の裸麦品種トヨノカゼの穂揃期における有効茎・無効茎別にみた主茎および分けつの展開葉数と乾物重との関係を示した。

主茎はいずれの処理区も展開葉数が 8 葉から 11 葉であり、全てが有効茎であった。乾物重の平均値は、4-2-0 区が  $1835 \pm 517$  mg, 4-2-3 区が  $2041 \pm 360$  mg, 4-2-6 区が  $2255 \pm 354$  mg であり、4-2-2 区のみで 1000 mg 以下のものが 8% (3 本) あった。

有効分けつはいずれの処理区も展開葉数が 6 葉から 8 葉であり、乾物重の平均値は、4-2-0 区が  $1429 \pm 575$  mg, 4-2-3 区が  $1496 \pm 416$  mg, 4-2-6 区が  $1534 \pm 472$  mg であった。総有効分けつ数は、4-2-0 区が 11 本 (11%), 4-2-3 区が 28 本 (32%), 4-2-6 区が 52 本 (45%) と穂肥を増施するほど多くなる傾向にあった。また、4-2-6 区では第 3 節や鞘葉節の 1 次分けつまでもがみられた一方で、4-2-0 区ではすべてが第 1 節の 1 次分けつであった。

無効分けつは、いずれの処理区も展開葉数 4 葉以下のものが多かったが、4 葉以上のものは 4-2-0 区が 16 本 (総無効分けつ数の 17%), 4-2-6 区が 12 本 (19%) と多く、4-2-3 区が 5 本 (8%) と少なかった。このうち乾物重が 200 mg 以上のものも、4-2-0 区で 12 本、4-2-6 区で 11 本と多く、4-2-3 区で 2 本と少なかった。4-2-0 区ではこのうち 10 本 (83%) が第 1 節の 1 次分けつであり、4-2-6 区では第 1 節 1 次分けつがわずかに 1 本 (9%) であった。

第 3-3 図に 2013/2014 年の裸麦品種トヨノカゼの穂揃期における 4-2-0 区の第 1 節 1 次分けつと 4-2-6 区の第 2 節 1 次分けつの乾物重と窒素含有率の関係を示した。穂揃期において、分けつの窒素含有率と乾物重との間に有意な相関関係は認められなかった。また、どちらの処理区、発生節位においても有効分けつと無効分けつにも明確な差はみられなか

った。窒素含有率は 4-2-0 区の第 1 節 1 次分げつが平均値  $0.55 \pm 0.14\%$ 、4-2-6 区の第 2 節 1 次分げつが平均値  $0.77 \pm 0.20\%$  であり、4-2-6 区は 4-2-0 区より 1%水準で有意に高く分布した。

第 3-4 図に 2013/2014 年の裸麦品種トヨノカゼの穂揃期における 4-2-0 区の第 1 節 1 次分げつと 4-2-6 区の第 2 節 1 次分げつの乾物重と糖含有率の関係を示した。穂揃期において、有効分げつについては分げつの乾物重と糖含有率との間に有意な相関関係は認められなかった。なお、有効分げつでは  $18.5 \pm 4.8\%$ であったのに対して無効分げつでは  $12.7 \pm 9.3\%$ であり、有効分げつでは 29%、34%の 2 点を除くと  $12.8\% \sim 23.3\%$ の範囲であったのに対して無効分げつでは  $2.1\% \sim 29.8\%$ の範囲に分布した。乾物重と糖含有率の間には、先の 2 点を除いた有効分げつでは有意な相関関係はみられず ( $r = -0.037$ )、無効分げつでは 0.1%水準で有意な正の相関関係がみられた ( $r = 0.8352^{***}$ )。無効分げつには乾物重 (X mg) に対する糖含有率 (Y%) の回帰式  $Y = 0.0507x - 0.6721$  が得られた。

## 考察

本試験の結果、分げつ発生率は、4-2-6 区が 4-2-4 区より高く、4-2-4 区が 4-2-2 区より高く、さらに 6-2-4 区が 6-2-2 区よりも高かった (第 3-2 表)。また、有効茎歩合は 4-2-6 区が 4-2-2 区よりも有意に高かった (第 3-1 表)。このように穂肥の増施は分げつを発生させた個体の割合を高め、分げつを有効化したことが明らかとなった。瀬古・加藤 (1979) は、裸麦において、穂肥を増施すると穂数が増加し、子実収量を増加させることを報告しており、前岡ら (2000) も、穂肥を増施すると穂数が増加することを示している。鎌田ら (2014)

は、裸麦において総窒素施肥量を増やし、かつ穂肥を増施する後期重点型施肥で栽培すると、穂数が増加し、子実収量が増加することを明らかにしてきた。また、穂肥の増施は、コムギにおいて、有効茎歩合を高め、穂数を増加させることが報告されている（土谷・下山 2011）。

分けつの有効化について、その機作を主茎と分けつの展開葉数および乾物重から解析した。その結果、有効分けつはいずれの処理区も展開葉数 5 葉以上 8 葉以下であり、1 本の乾物重が 1000 mg 以上ものが多かった（第 3-1 図、第 3-2 図）。

コムギの分けつは、その出葉速度が主茎よりも早く、最終葉数が同伸葉同伸分けつの理論（片山 1951）で考えられる理論値よりも大きくなれば有効化すると報告されている（李・山崎 1994、福嶋ら 2001）。また、有効化する分けつは出現の早い第 1 節や第 2 節といった低位節に多いことも報告されている（李・山崎 1994）。六条オオムギでは、出葉速度が早く、幼穂長 4 mm 時期に展開葉数 3.5 葉以上であれば有効化することも報告されている（高橋ら 1993）。本試験での主茎の展開葉数はほぼ 8 葉から 10 葉であり、分けつの展開葉数は同伸葉同伸分けつの理論で考えられる理論値よりも多く、有効分けつの多くが第 1 節からの 1 次分けつであった（第 3-1 図、第 3-2 図）。

2012/2013 年の試験では、基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  区で 4-2-2 区から穂肥を  $4 \text{ g m}^{-2}$  に増施すると（4-2-4 区）、低位節や高位節からの 1 次分けつの一部が有効化し、有効茎が増加したが、乾物重 500 mg 前後と軽いものも多かった（第 3-1 図）。穂肥をさらに  $6 \text{ g m}^{-2}$  と増施すると（4-2-6 区）、低位節の 1 次分けつは有効化せず無効分けつとなったものの、展開葉数が 5 葉前後で乾物重が 300 mg から 500 mg と

低位節の有効茎より重いものもみられた。基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$  では 6-2-2 区から 6-2-4 区へと穂肥を増施すると第 1 節や第 2 節の 1 次分げつが有効化したが、高位節の 1 次分げつは発生率が低く、発生しても展開葉数が少なく乾物重が軽く無効化した（第 3-1 図、第 3-2 表）。

2013/2014 年の試験でも、穂肥が  $0 \text{ g m}^{-2}$  では第 1 節の 1 次分げつにおいて展開葉数が 5 葉以上、1 本の乾物重が 500 mg 前後の無効分げつが多くみられ、 $3 \text{ g m}^{-2}$  と増施するとそれらの多くが有効化し、乾物重も増加した（第 3-2 図）。また、第 2 節の 1 次分げつでも有効化したものもあった。4-2-3 区では重い無効茎はみられず、さらに  $6 \text{ g m}^{-2}$  と増施した 4-2-6 区では、第 1 節や第 2 節の 1 次分げつが有効化し、第 2 節の 1 次分げつに乾物重 500 mg 前後の無効分げつもみられた。

このように穂肥の増施は、基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  区では低位節の 1 次分げつの乾物重を増加して有効化し、高位節でも分げつ発生率を高めて乾物重も増加させたものの、その多くは無効茎であった。一方、基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$  区では、高位節での分げつ発生率を高めなかったことから、高位節からの無効茎は少なく低位節の 1 次分げつのみが有効化した。同じ総窒素施肥量で比べてみると、穂肥を重点化した基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  区は基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$  区に比べて、有効茎、無効茎に関わらず展開葉数が 5 葉以上で乾物重が 500 mg 前後の低位節および高位節の分げつを増加させた。これらはいわゆる遅れ穂や重い無効分げつとなった（第 3-5 図）。

本研究では、分げつの有効化と分げつの窒素含有率や糖含有率との間にどのような関係があるかについても検討した。その結果、分げつの窒素含有率については 4-2-0 区の第 1 節 1 次分げつおよび 4-2-6 区の第 2 節 1 次分げつともに同じ処理区内においては有効茎と無効茎との間に差はなかった（第 3-3 図）。ただし、穂肥を増施した 4-2-6 区第 2 節 1 次分

げつは、有効茎、無効茎ともに 4-2-0 区の第 1 節 1 次分げつと比較して窒素含有率が高かった (第 3-3 図)。中條ら (1990) は、コムギにおいて、出穂分げつと不出穂分げつとの間では窒素含有率に差はみられないことを報告している。一方で、節間伸長期の全窒素含有量は出穂率と比例的な関係にあることが示されており (中條ら 1989)、深山ら (1989) は最高分げつ期における窒素保有量と有効茎歩合は高い相関関係にあることを示している。また、中條ら (1989) は、西日本早生コムギ品種において、出穂率は節間伸長期の乾物重増加量と正の相関関係があることを報告しており、分げつの有効化は窒素の含有率よりはむしろ窒素の含有に伴う分げつの同化産物蓄積と関係すると考えられる。

分げつの糖含有率も 4-2-0 区の第 1 節 1 次分げつおよび 4-2-6 区の第 2 節 1 次分げつともに有効茎と無効茎との間に差はみられなかった (第 3-4 図)。ただし、無効分げつだけについてみると、どちらの処理区も糖含有率と乾物重との間に有意な正の相関関係が認められ、糖含有率が高い無効分げつは展開葉数も多かった。穂が有効化し、開花、子実形成に至る分げつは糖含有率が 10~20% の範囲にある一方で、穂が無効化し、穂がシンクとして機能しなかった分げつは糖含有率が 20% 以上に増加し、無効化して枯死する過程にある小さい分げつで糖含有率が 10% 以下に低下したのかもしれない。また、糖含有率が 29%、34% であった有効分げつ 2 点は穂こそ形成されていたものの不稔であり、実際には無効分げつであったとも考えられる。

中條ら (1990) は、コムギにおいて、主茎または強大分げつの乾物重が著しく増加する時期は、弱小分げつから強大分げつへの光合成産物および窒素化合物の転流量が増加し、弱小分げつは生長量が衰え、不出穂に終わると述べている。Lauer and Simmons (1988) も、

オオムギにおいて、無効分げつは節間伸長初期の間、多くの光合成産物を主茎へと転流するが、有効分げつは主茎への転流がほとんどないことを報告している。分げつの有効化と無効化の決定時には、無効分げつから有効分げつへの物質の転流もあるようである。

以上のことから、裸麦品種トヨノカゼにおいて、穂肥を増施し重点化する後期重点型施肥は、窒素含有率が増加して光合成生産が高まり、同化産物蓄積が増加することで有効茎が増加したと考えられた。高位節において展開葉数5葉前後、乾物重500 mg前後の遅れ穂と呼ばれるような有効分げつと無効分げつの境界線にあるような分げつを多く発生させたものの、乾物重1000 mg以上の重く充実した有効分げつを有した個体数も多く、穂数を確保するために有効な施肥方法であると考えられた。

## 摘要

裸麦品種トヨノカゼは穂肥を増施すると穂数が増加し、子実収量が増加する。本研究では、穂肥の増施および穂肥の重点化がどのように穂数を増加させているかを明らかにするため、2012/2013年と2013/2014年の2作期において、トヨノカゼを用い分けつの発生数や発生節位、分けつの有効化に係る形質を調査した。施肥は基肥-分けつ肥-穂肥の分施とし、基肥と穂肥の量を異にした処理区を設けた。その結果、穂肥を増施すると分けつを発生させた個体の割合が高まり、高位節においてまでも分けつの発生率が高まった。一方、同じ総窒素施肥量のもと穂肥を重点化すると、高位節での発生率を高めた。有効分けつの展開葉数はどの処理区、発生節位においても5葉から8葉であり、1本の乾物重は主茎ではそのほとんどが1000 mg以上であった。分けつの糖含有率は有効分けつでは10~20%であったが、無効分けつでは乾物重の重いもので20%以上のものが、乾物重の軽いもので10%以下のものがあつた。穂肥を重点化した4-2-6区では第1節、第3節、第4節からの1次分けつ発生率が高く、第1節1次分けつの多くが有効化した。一方、基肥を重点化した6-2-4区と比べて、1本の乾物重が500 mg前後の軽い有効分けつが多くみられ、一方で重い無効分けつも多かった。穂肥を増施し重点化する後期重点型施肥では主茎に加えて有効分けつを2本以上有する個体が多く、本法が穂数を確保するために有効な施肥方法であると考えられた。



第3-1表 2012/2013年における裸麦品種トヨノカゼの分けつ発生数, 最高茎数および有効茎歩合.

処理区 <sup>†</sup>	分けつ発生数 (個体 <sup>-1</sup> )	最高茎数 (m <sup>-2</sup> )	有効茎歩合 (%)
4-2-2 (8 g m <sup>-2</sup> )	0.86 a	289 a	61.6 a
4-2-4 (10 g m <sup>-2</sup> )	0.98 ab	341 a	67.2 ab
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	1.43 b	381 a	74.4 b
6-2-2 (10 g m <sup>-2</sup> )	1.36 ab	402 a	57.4 a
6-2-4 (12 g m <sup>-2</sup> )	1.33 ab	403 a	60.3 a

数値に付した異なる英小文字はそれぞれTukeyの多重検定により5%水準で有意差があることを示す.

最高茎数は3月15日に観察された.

<sup>†</sup>: 施肥処理は, 基肥 - 分けつ肥 - 穂肥の順で窒素分量を, ( ) は総施肥量を示す.

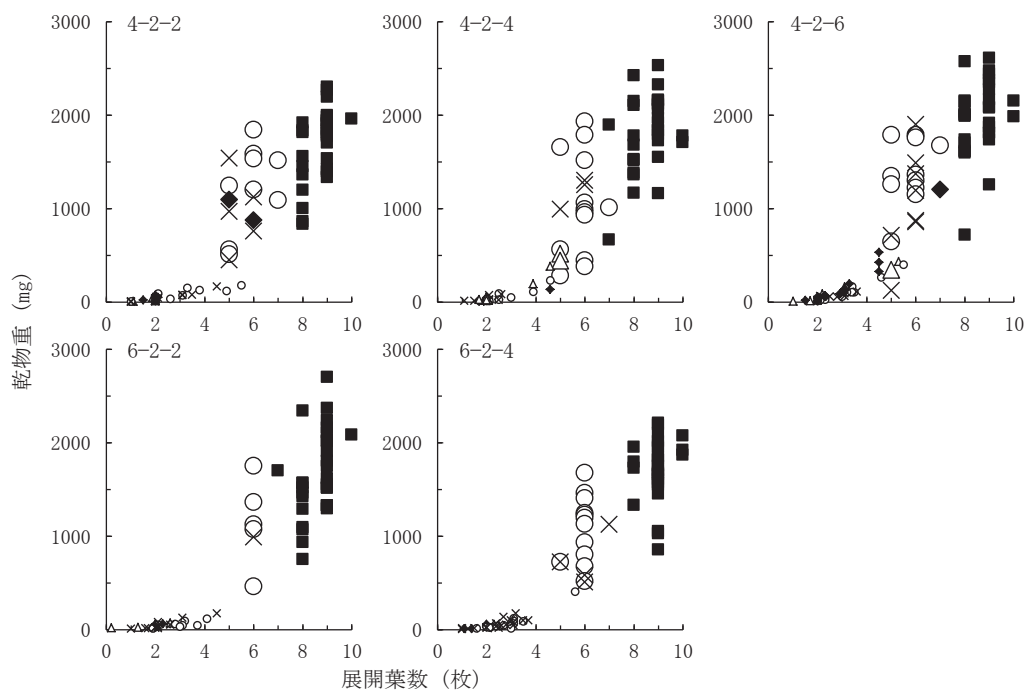
第3-2表 2012/2013年における裸麦品種トヨノカゼの分けつ発生率と節位別分けつ発生率.

処理区 <sup>†1</sup>	分けつ発生率 <sup>†2</sup>	節位別分けつ発生率 (分けつ出現個体数/全個体数)			
		第1節	第2節	第3節	第4節
4-2-2 (8 g m <sup>-2</sup> )	0.611 a	0.454 a	0.450 a	0.200 a	0.044 a
4-2-4 (10 g m <sup>-2</sup> )	0.743 b	0.503 ab	0.528 ab	0.275 a	0.289 c
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	0.884 c	0.683 c	0.511 ab	0.533 b	0.311 c
6-2-2 (10 g m <sup>-2</sup> )	0.749 b	0.567 b	0.622 b	0.208 a	0.078 a
6-2-4 (12 g m <sup>-2</sup> )	0.903 c	0.762 c	0.767 c	0.275 a	0.189 b

各節位の値は、それぞれの分けつごとに発生した時期から最終調査時までの調査時ごとの発生率を反復とした。最終調査は4/17に行い、第1節は3/5からの7反復、第2節は3/11からの6反復、第3節は3/26からの4反復、第4節は4/2からの3反復であり、それぞれにTukeyの多重検定を行い、処理区間に5%水準で有意差のあるものに異なる英小文字を与えた。

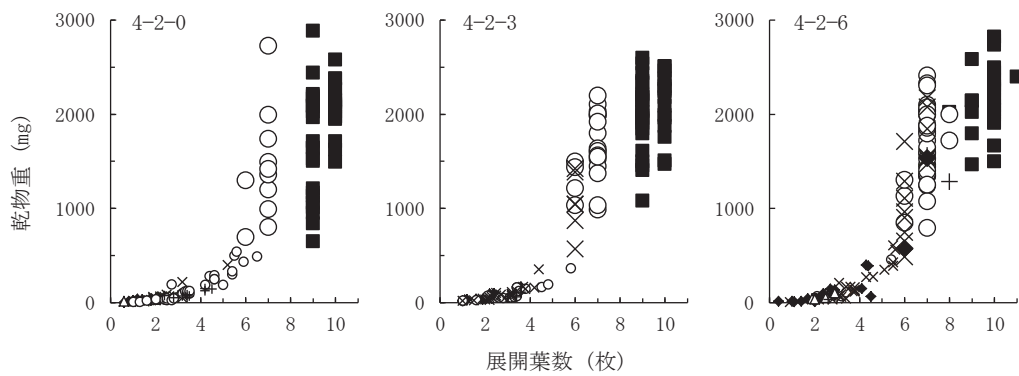
†1：施肥処理は、基肥 - 分けつ肥 - 穂肥の順で窒素分量を、( ) は総施肥量を示す。

†2：「分けつ発生率」は全個体のうち分けつが発生した個体の割合を示す。



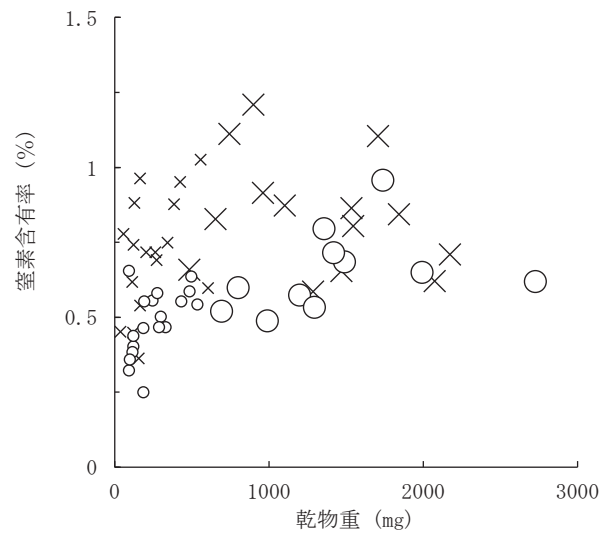
第3-1図 裸麦品種トヨノカゼの2012/2013年の穂揃期における有効茎・無効茎別にみた主茎および分げつの展開葉数と乾物重との関係。

大きいシンボルは有効茎を、小さいシンボルは無効茎を示し、■は主茎、○は第1節1次分げつ、×は第2節1次分げつ、◆は第3節1次分げつ、△は第4節1次分げつ、▲は第5節1次分げつ、—は第1節2次分げつを示す。



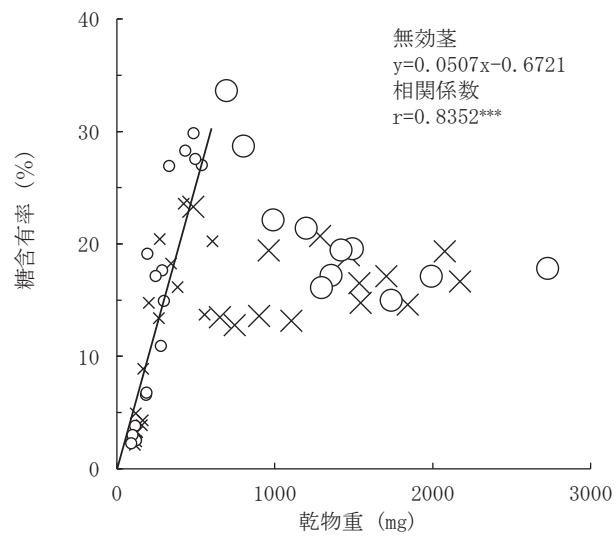
第3-2図 裸麦品種トヨノカゼの2013/2014年の穂揃期における有効茎・無効茎別にみた主茎および分けつの展開葉数と乾物重との関係.

大きいシンボルは有効茎を，小さいシンボルは無効茎を示し，■は主茎，○は第1節1次分けつ，×は第2節1次分けつ，◆は第3節1次分けつ，△は第4節1次分けつ，+は鞘葉節1次分けつを示す.



第3-3図 裸麦品種トヨノカゼの2013/2014年の穂揃期における4-2-0区第1節1次分けつおよび4-2-6区第2節1次分けつの乾物重と窒素含有率との関係。

大きいシンボルは有効茎を、小さいシンボルは無効茎を示し、○は4-2-0区第1節1次分けつを、×は4-2-6区第2節1次分けつを示す。

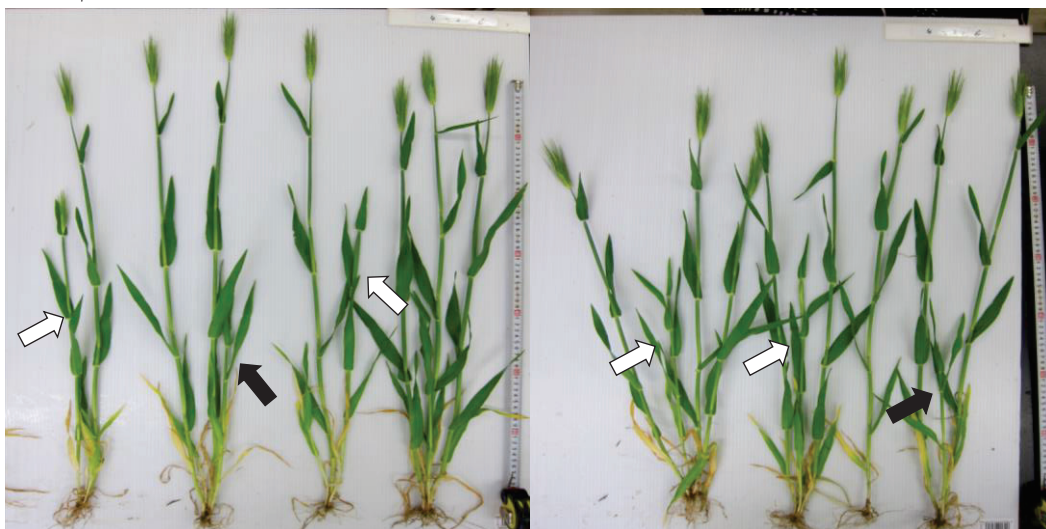


第3-4図 裸麦品種トヨノカゼの2013/2014年の穂揃期における4-2-0区第1節1次分げつおよび4-2-6区第2節1次分げつの乾物重と糖含有率との関係。

大きいシンボルは有効茎を，小さいシンボルは無効茎を示し，○は4-2-0区第1節1次分げつを，×は4-2-6区第2節1次分げつを示す。

\*\*\*は0.1%水準で有意な相関があることを示す。

4-2-6区



第3-5図 裸麦品種トヨノカゼの穂揃期における有効茎と無効茎の様子.  
白矢印は乾物重が軽い有効茎を, 黒矢印は無効茎を示す.

## 第 4 章「穂肥窒素の増施が裸麦の登熟期間中の物質生産および窒素代謝に及ぼす影響」

### 緒言

裸麦は生育前半の高温多雨や登熟期間の降雨により湿害や枯れ熟れ症状が発生し、収量が低下することが報告されている（鳥生ら 1991）. 金川（1948）も裸麦の収量は 4 月の降水量と負の相関関係があることを報告している. 二条オオムギでも、収量は生育期間の降水量と負の相関関係にあり、降水量が多いと穂数が減少する傾向にあることも報告されている（浜地・吉田 1989）. コムギにおいても、発芽から最高分けつ期までの降水量と穂数との間に負の相関関係がみられ（田谷ら 1981）、出穂期後 30 日以降の降雨は千粒重と負の相関関係にもある（徳永 1959）. このように、いずれのムギも西日本ではとくに雨によりたびたび穂数が減少する.

裸麦の収量は、収量構成要素のうち穂数の寄与率が高く、追肥（穂肥）したり、施肥量を増施したりすることで、穂数や一穂粒数を増加させて増収する（津森 1992）. 森ら（1994）も裸麦の収量は基肥+追肥の分施肥体系が、とくに 3 月上旬に追肥することが全量基肥施肥と比べて増加することを報告している. 鎌田ら（2014）も穂肥の増施による後期重点型施肥が穂数を増加させ、子実収量を増加させることを明らかにしてきた.

Kichey ら（2007）は、コムギにおいて、子実収量は施肥の多少に関わらず開花前に茎葉で吸収した窒素が開花後に子実へと転流した量と正の相関があることを報告しており、その量は多肥栽培で多いことを報告している. またコムギでは子実収量と窒素吸収量との間に有意な正の相関関係があることが報告されており（佐藤ら 2011）、オオムギでも子実収



量と窒素吸収量との間に極めて高い正の相関関係があることが報告されている（三枝ら 1985）。Marinaccio ら（2015）は、オオムギにおいて、収量や品質は登熟期間中の群落の緑色が濃いほど高いことを報告しており、葉の老化の遅延は登熟期間を伸ばし、収量、全乾物重および千粒重を増加させることを示している。中鉢ら（1987）も、コムギにおいて、減数分裂期または穂揃期追肥により千粒重が増加することを報告しており、穂揃期の葉身窒素濃度が減数分裂期よりも 0.2% 高ければ千粒重が低下しないことを明らかにしている。一方、裸麦は減数分裂期や穂揃期といった生育後半の追肥により硝子率が高まることが報告されている（柳原ら 1991）。硝子率は総施肥窒素量との間に高い正の相関関係があり（箕田ら 2010）、原麦タンパク質含有率との間にも正の相関関係があることが報告されている（辻田ら 2014）。

施肥した窒素が穂揃期にどのくらい植物体に吸収され、登熟期間を通じてどのように子実へと転流するか、施肥窒素と植物体の窒素代謝の関係を明らかにできれば、硝子率の発生を予測・抑制でき、多収かつ品質を低下させない施肥体系を確立できるであろう。そこで、本研究では、裸麦において、穂肥を増施する後期重点型施肥栽培をはじめ、総窒素施肥量や基肥および穂肥の施肥量を変えた施肥体系が登熟期間中の物質生産や窒素代謝にどのような影響を及ぼすか、穂揃期から成熟期にかけて、止葉、第二葉、下位葉、稈、穂、子実といった器官別の窒素含有量および窒素含有率を明らかにするとともに、その推移を処理区や年次において比較し、検討した。

## 材料と方法

試験は 2012/2013 年と 2013/2014 年の 2 作期にわたり, 山口県農林総合技術センター (山口県山口市) の水田転換畑 (灰色低地土, 水稲跡) おいて, 裸麦品種トヨノカゼを用いて窒素肥料の基肥および穂肥の量を異にする施肥処理を行い, 登熟期間中の物質生産および窒素代謝について調査するとともに, 子実収量を調査した.

施肥処理は 2012/2013 年において, 基肥-分けつ肥-穂肥のうち基肥 2 水準 ( $4 \text{ g m}^{-2}$ ,  $6 \text{ g m}^{-2}$ ) と穂肥 3 水準 ( $2 \text{ g m}^{-2}$ ,  $4 \text{ g m}^{-2}$ ,  $6 \text{ g m}^{-2}$ ) とを組み合わせた 5 水準 (4-2-2 区, 4-2-4 区, 4-2-6 区, 6-2-2 区, 6-2-4 区) を設けた. 6-2-2 区は総窒素施肥量を  $10 \text{ g m}^{-2}$  とする慣行施肥法であり, それに対して 4-2-6 区は穂肥を  $6 \text{ g m}^{-2}$ , 総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  に増施する後期重点型施肥法である. また, 4-2-2 区は窒素成分で基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ , 分けつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ , 穂肥  $2 \text{ g m}^{-2}$  を, 4-2-4 区は窒素成分で基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ , 分けつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ , 穂肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  を, 6-2-4 区は窒素成分で基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$ , 分けつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ , 穂肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  を施用した. 総窒素施肥量は, 4-2-2 区が  $8 \text{ g m}^{-2}$ , 4-2-4 区と 6-2-2 区が  $10 \text{ g m}^{-2}$ , 4-2-6 区と 6-2-4 区が  $12 \text{ g m}^{-2}$  である. 2013/2014 年では基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ , 分けつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$  とし, 穂肥を  $0 \text{ g m}^{-2}$ ,  $3 \text{ g m}^{-2}$ ,  $6 \text{ g m}^{-2}$  とした 3 水準 (4-2-0 区, 4-2-3 区, 4-2-6 区) を設けた. 4-2-0 区は窒素成分で基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ , 分けつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ , 穂肥  $0 \text{ g m}^{-2}$  を, 4-2-3 区は窒素成分で基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$ , 分けつ肥  $2 \text{ g m}^{-2}$ , 穂肥  $3 \text{ g m}^{-2}$  を施用した. 総窒素施肥量は, 4-2-0 区が  $6 \text{ g m}^{-2}$ , 4-2-3 区が  $9 \text{ g m}^{-2}$  である.

基肥は磷加安 44 号 (N : 14%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  : 17%,  $\text{K}_2\text{O}$  : 13%) を用い 2012/2013 年は 11 月 28 日, 2013/2014 年は 11 月 21 日の播種期に施用し, 分けつ肥は分けつ開始初期に磷加安 V550 (N : 15%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  : 5%,  $\text{K}_2\text{O}$  : 20%) を用い 2012/2013 年は 1 月 31 日, 2013/2014 年は 1 月 29

日に施用した。穂肥は幼穂形成期に燐加安 V550 を用い 2012/2013 年は 3 月 5 日, 2013/2014 年は 3 月 3 日に施用した。試験区は 2012/2013 年が 3 反復乱塊法, 2013/2014 年が 4 反復乱塊法で配置した。播種は 2012/2013 年が 11 月 28 日, 2013/2014 年が 11 月 21 日に行った。播種方法は 2 作期ともすべての処理区で 200 粒  $m^{-2}$  を畦幅 150 cm の 4 条のドリル播きとし, 畦上で条間 20 cm, 40 cm, 20 cm の間隔に 4 条, 各処理区 2 畦の計 8 条を配置した。

調査は 2012/2013 年では穂揃期と穂揃期後 2 週目から 1 週間間隔で成熟期まで, 2013/2014 年では穂揃期から 1 週間間隔で穂揃期後 5 週目までと成熟期に, 両年次とも計 7 回行い, 器官別 (止葉, 第二葉, 下位葉, 稈, 穂) 乾物重, 稈中の糖含有率, 器官別窒素含有率ならびに硝子率を調査した。調査個体は各プロットの 8 条のうち 3 条目と 4 条目からそれぞれ 15 本の計 30 本を地際から刈取り, 生育が中庸な 20 本を選抜し, 器官別に分解後, 110°C で 30 分, 70°C で 48 時間以上通風乾燥させ, 乾物重を秤量した。子実は穂から取り出し, 乾物重を秤量した。稈の乾物重は穂の乾物重から子実の乾物重を引いたものとした。なお, 穂揃期後 1 週目の子実は, 各処理区 1 反復のみ穂から取り出し秤量した。子実収量は収量調査区の 2 畦 8 条のうち 3 条目, 4 条目, 5 条目, 6 条目の中央 4 条について, 1.5 m $\times$ 0.7 m (1.05  $m^2$ ) を地際から刈取り, 110 °C で 30 分, 70 °C で 48 時間以上通風乾燥させ, 脱穀して得られた子実の重量を測定することにより求めた。器官別窒素含有率はサンプリングした各器官をフードプロセッサ (ZOJIRUSHI BM-HS08-GS) で粉碎した後に, ケルダール法 (大山 1990) およびインドフェノール法 (大山 1990) により, 稈の糖含有率はアンスロン硫酸法 (Yemm and Willis 1954) により測定した。器官別窒素含有量は, 器官別窒素含有率をそれぞれの乾物重と乗じて算出した。硝子率は, 2012/2013 年では原麦 100 粒を切断し硝

子率判別器（ケット社製 RN-840）を用いて測定した。2013/2014 年では原麦 50 粒を穀粒横断器（グローベッカー式）を用いて切断後、目視により判別し 1 反復 2 回測定した。

## 結果

第 4-1 図に 2012/2013 年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別に穂揃期から成熟期における有効茎 1 本あたりの乾物重の推移を示した。地上部全体ではいずれの処理区も穂揃期から穂揃期後 4 週目にかけて増加し、その後は大きく増減しなかった。器官別乾物重もいずれの処理区も同様に推移した。子実は穂揃期後 2 週目から成熟期にかけて増加した。稈中の糖含有量は穂揃期後 3 週目にかけて増加し、その後減少した。

第 4-2 図に 2013/2014 年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別に穂揃期から成熟期における有効茎 1 本あたりの乾物重の推移を示した。地上部全体ではいずれの処理区も穂揃期から穂揃期後 4 週目にかけて増加したが、その後は大きく増減しなかった。これは 2012/2013 年と同様の傾向を示したが、有効茎 1 本あたりでは 2013/2014 年がいずれの処理区も 2012/2013 年と比べて軽かった。器官別乾物重もいずれの処理区も同様に推移した。子実は穂揃期から穂揃期後 5 週目にかけて増加した。稈中の糖含有量は穂揃期後 2 週目から 3 週目にかけて増加し、その後減少した。

第 4-3 図に 2012/2013 年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別に穂揃期から成熟期における有効茎 1 本あたりの窒素含有量の推移を示した。地上部全体ではいずれの処理区も穂揃期から穂揃期後 4 週目にかけて、一時減少する時期がみられるものの、大きな増減はなく、穂揃期後 4 週目以降いずれの処理区も大きく増加した。成熟期では処理区間に有意

な差はみられなかった。器官別の窒素含有量もいずれの処理区も同様に推移した。子実では穂揃期後 2 週目から成熟期にかけて常に増加した。稈と葉身、稈は穂揃期で最大であり、穂揃期後 2 週目から 6 週目にかけて減少した。

第 4-4 図に 2013/2014 年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別に穂揃期から成熟期における有効茎 1 本あたりの窒素含有量の推移を示した。地上部全体では穂揃期から成熟期にかけていずれの処理区も大きな増減はみられなかった。穂揃期の窒素含有量は穂肥を増施した 4-2-3 区と 4-2-6 区が 4-2-0 区と比較して有意に多く、4-2-6 区は穂揃期後 3 週目において全処理区の中で最も多かった。器官別の窒素含有量はいずれの処理区も同様に推移した。子実では穂揃期後 5 週目にかけて常に増加した。稈と葉身、稈は穂揃期で最大であり、その後成熟期にかけて減少した。2013/2014 年ではいずれの器官も登熟期間を通じて 2012/2013 年より少なく、地上部全体は登熟後半で増加しなかった。

第 4-1 表に 2012/2013 年および 2013/2014 年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別に子実収量、硝子率を示し、2010/2011 年から 2013/2014 年における処理区別に子実タンパク質含有率を示した。子実収量は 2012/2013 年、2013/2014 年とも 4-2-6 区が  $364 \text{ g m}^{-2}$ 、 $359 \text{ g m}^{-2}$  と他処理区よりも多く、年次間で差はみられなかった。硝子率は、2012/2013 年では処理区間に有意な差はみられず、2013/2014 年では 4-2-6 区が他処理区より有意に高かった。

第 4-2 表に 2010/2011 年から 2013/2014 年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別に子実タンパク質含有率を示した。子実タンパク質含有率はいずれの年次も処理区に有意な差はみられなかった。

## 考察

本研究の結果、登熟期間における有効茎 1 本あたりの乾物重および窒素含有量は 2012/2013 年、2013/2014 年ともに、全体、稈および葉身と稈、子実のいずれも処理区間で同様に推移していた。そこで、2012/2013 年では 5 処理区を、2013/2014 年では 3 処理区を平均し、それぞれの推移を年次間で比較してみた（第 4-5 図）。その結果、乾物重は、地上部全体では 2012/2013 年、2013/2014 年ともに穂揃期後 4 週目にかけて増加し、その後は増減しなかった。稈および葉身と稈では穂揃期後 3 週目まで増加し、4 週目以降減少したが、その減少程度は 2012/2013 年で大きかった。子実では 2012/2013 年では穂揃期後 2 週目から成熟期まで増加したが、2013/2014 年では穂揃期後 2 週目から 5 週目にかけて増加し、その後は一定であった。露崎・洞内（2000）は、コムギの乾物重が開花期から開花期後 3 週目にかけて増加し、その後一定となることを報告しており、さらに茎の乾物重が開花期後 3 週目にかけて増加することも報告している。ムギ類は光合成産物を稈・葉鞘に蓄積することが知られており、光合成産物は、コムギにおいて、開花期後 3 週目にかけて上位の節間に蓄積され、その後子実へと再分配される（露崎 2001）。Gallagher ら（1976）は、コムギにおいて、子実重は直線的に増加するものの、登熟末期では増加せず、一定となることを示している。

コムギにおいて子実収量は開花期の乾物重と正の相関があることが報告されており（Papakosta and Gagianas 1991）、オオムギにおいても開花期の乾物重と正の相関があることが報告されている（Voltas ら 1997）。しかし、オオムギでは開花期前に蓄積する同化産物の子実への貢献がコムギよりも小さいことも報告されている（Bidinger ら 1977）。開花

後においても、粒重は開花後およそ 2 週間の物質生産の低下や光環境によって減少することも報告されている (荒川ら 1996)。本試験では、穂揃期後 4 週目にかけて物質生産を行い、その後茎葉に蓄積した光合成産物を子実へと転流させており、2012/2013 年では穂揃期の乾物重が重く、登熟前半では物質生産量も多かったため、成熟期に至るまで光合成産物を十分に子実へと転流させることができたため、千粒重が重くなったのであろう (第 4-1 表)。

本試験において有効茎 1 本あたりの窒素含有量は 2013/2014 年では穂揃期から成熟期にかけて増減しなかったが、2012/2013 年では穂揃期後 4 週目以降、成熟期にかけて大きく増加した (第 4-5 図)。子実では、2013/2014 年では穂揃期から穂揃期後 5 週目にかけて増加し、その後増減しなかったが、2012/2013 年では穂揃期後 5 週目以降さらに増加した。2012/2013 年は穂揃期後 4 週目以降、栄養器官からの転流だけでなく地中からも窒素を吸収しており、植物体による登熟後半の窒素吸収が年次によって異なっていた。

Przulj and Momcilovic (2003) は、オオムギにおいて、開花期までの乾物重と窒素含有量に正の相関があることを報告しており、Jamieson and Semenov (2000) は、子実の窒素は登熟開始時期の植物内の窒素供給量によって決定されることを示している。また、オオムギにおいて、ほぼすべての窒素が開花期までに蓄積されることが報告されている (Przulj and Momcilovic 2003)。このように植物体中の窒素は、開花期までの吸収量が注目されてきた。本試験でも 2013/2014 年では穂揃期から成熟期までの窒素吸収量はわずかに  $0.5 \text{ mg本}^{-1}$  であったが、2012/2013 年では  $9.0 \text{ mg本}^{-1}$  もあった。この差  $8.5 \text{ mg本}^{-1}$  は成熟期における子実の窒素含有量で 2012/2013 年の  $23.5 \text{ mg本}^{-1}$  と 2013/2014 年の  $10.3 \text{ mg本}^{-1}$  と

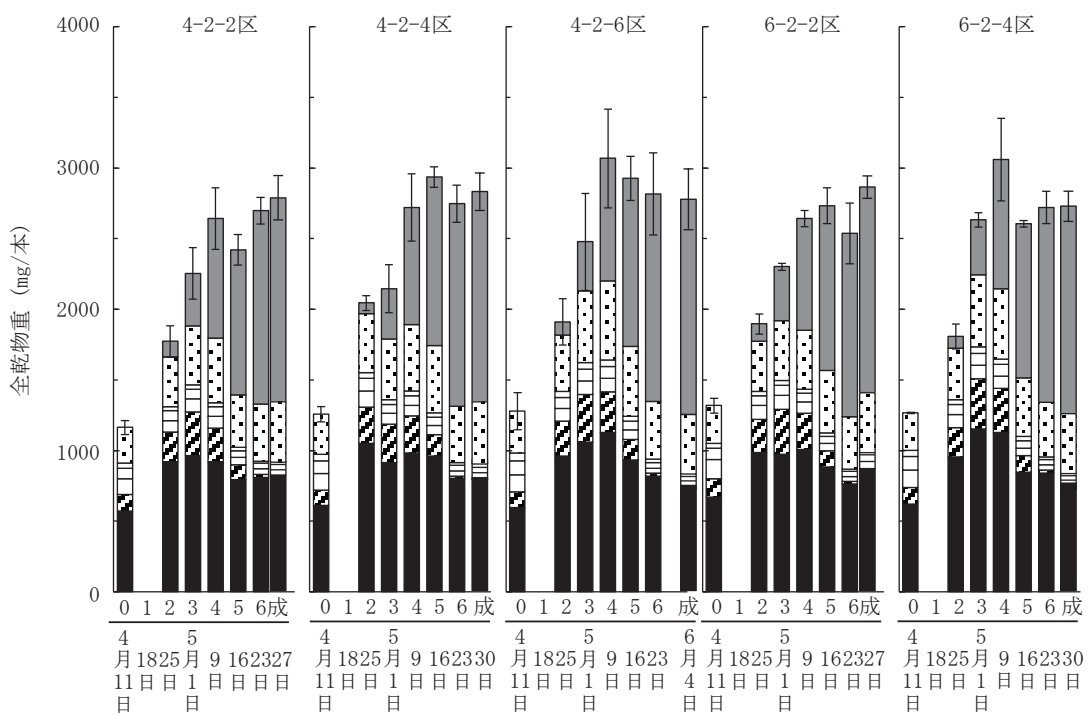
の差  $13.2 \text{ mg本}^{-1}$  の 68% を説明した (第 4-5 図).

子実の窒素含有率は、どちらの年次も穂揃期後 2 週目で高く、その後 4 週目にかけて減少した (第 4-5 図). それ以降、2012/2013 年では再び増加したが、2013/2014 年では成熟期まで一定であった. 辻田ら (2014) は、原麦タンパク質含有率と硝子率との間に正の相関関係がみられることを報告しており、Anderson (1985) は追肥窒素量を増加させると硝子粒が増加することを報告している. 2012/2013 年のように子実の窒素含有率が高まると硝子率を高め、品質を低下させてしまうようにも思えるが、両年次とも子実の窒素含有率に処理区間には有意な差がみられなかった. 穂肥を増施し重点化した 4-2-6 区は子実タンパク質含有率を高めることなく、収量を向上させることができたが、硝子率は年次によって 50% を超える年もあり、施肥量と子実タンパク質含有率および硝子率との関係は今後検討していく必要がある.



## 摘要

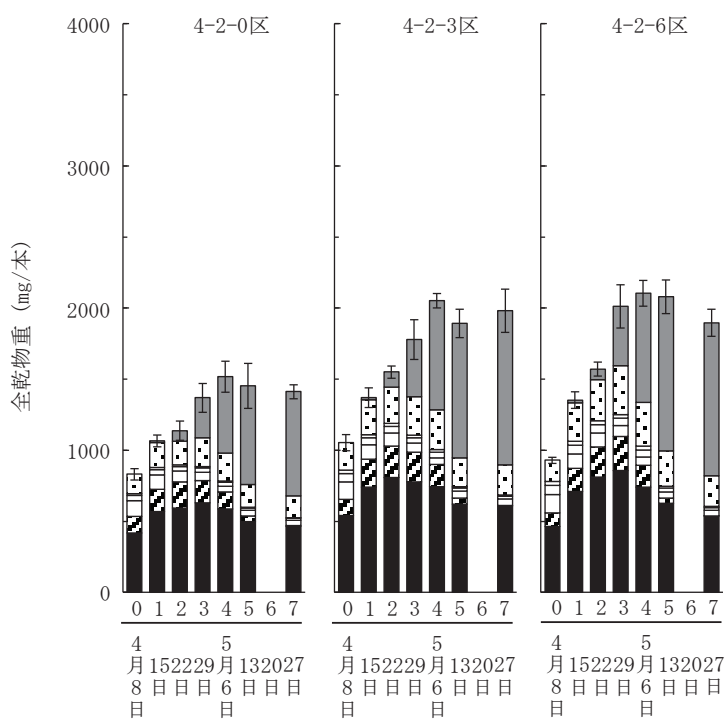
裸麦品種トヨノカゼを用い，登熟期間における器官別の乾物重ならびに窒素含有量の推移を調査した．試験は 2012/2013 年と 2013/2014 年に行い，施肥処理区は基肥-分けつ肥-穂肥の分施肥で 2012/2013 年は 5 処理区，2013/2014 年は 3 処理区を設けた．有効茎 1 本あたりの器官別乾物重および窒素含有量は 2012/2013 年，2013/2014 年ともにいずれの処理区も同様に推移した．乾物重は地上部全体では両年次とも穂揃期後 4 週目にかけて増加し，子実は 2012/2013 年では穂揃期後 2 週目から成熟期にかけて，2013/2014 年では穂揃期後 2 週目から 5 週目にかけて増加した．窒素含有量は，地上部全体は 2013/2014 年では登熟期間を通じて増加しなかったのに対して，2012/2013 年では穂揃期後 4 週目から成熟期まで増加した．子実では 2013/2014 年では穂揃期後 5 週目以降は増加しなかったのに対して，2012/2013 年では穂揃期後 5 週目以降もさらに増加した．このことから 2012/2013 年では登熟後期において，栄養器官からの転流だけでなく地中からの吸収によっても子実で増加したことがうかがわれた．物質生産や窒素代謝はとくに登熟後半の子実において窒素の吸収のしかたが年次によって異なった．一方，子実のタンパク質含有率は 2012/2013 年，2013/2014 年ともに処理区間に有意な差はなく，後期重点型施肥栽培は多収化できた一方で，子実タンパク質含有率を高めることはなかった．



第4-1図 2012/2013年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別の穂揃期から成熟期における有効茎1本あたりの乾物重の推移。

■ : 稈    ▨ : 稈中の糖    □ : 葉身    ▩ : 稈    ◼ : 子実

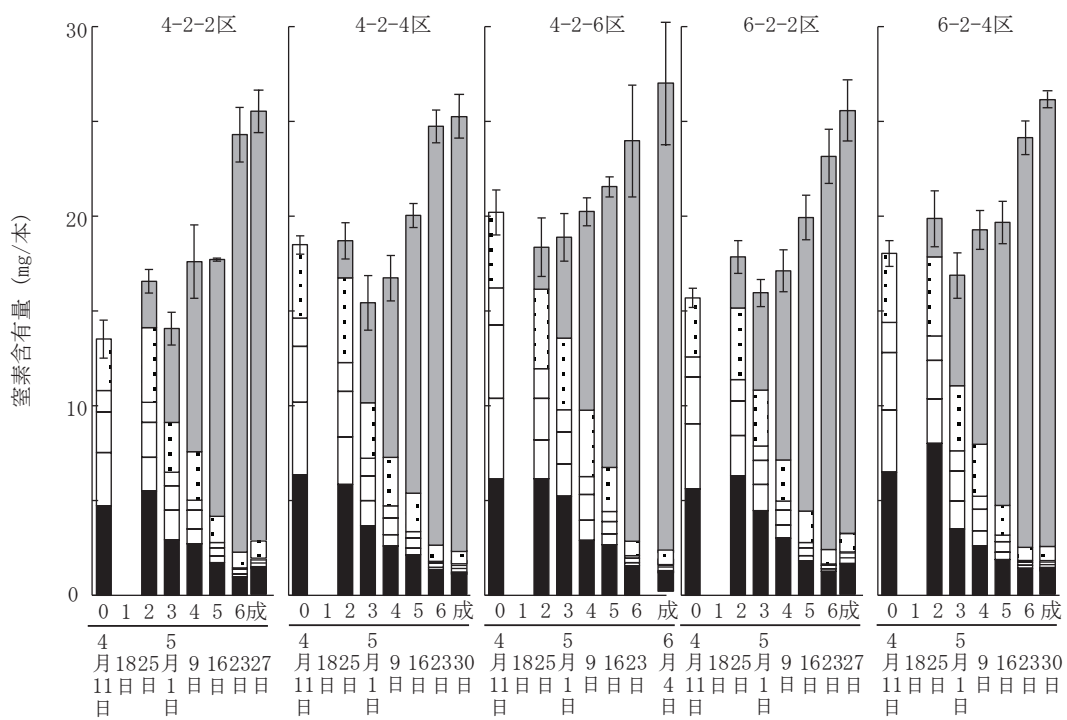
図中のエラーバーは標準誤差を示す。



第4-2図 2013/2014年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別の穂揃期から成熟期における有効茎1本あたりの乾物重の推移。

■ : 子実 □ : 稈 □ : 葉身 ▨ : 稈中の糖 ■ : 稈

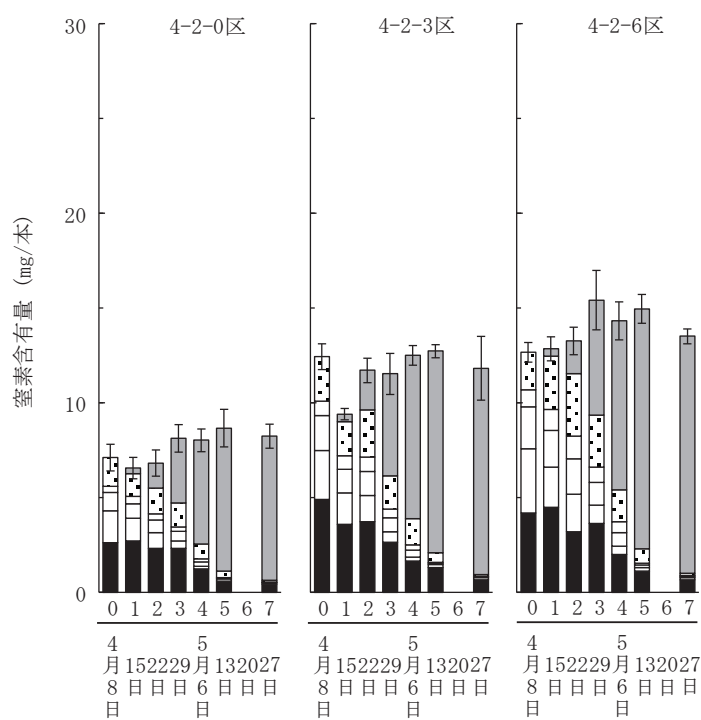
図中のエラーバーは標準誤差を示す。



第4-3図 2012/2013年における裸麦品種トノカゼの処理区別の穂揃期から成熟期における有効茎1本あたりの窒素含有量の推移。

■ : 稈 □ : 葉身 ▨ : 稃 ◻ : 子実

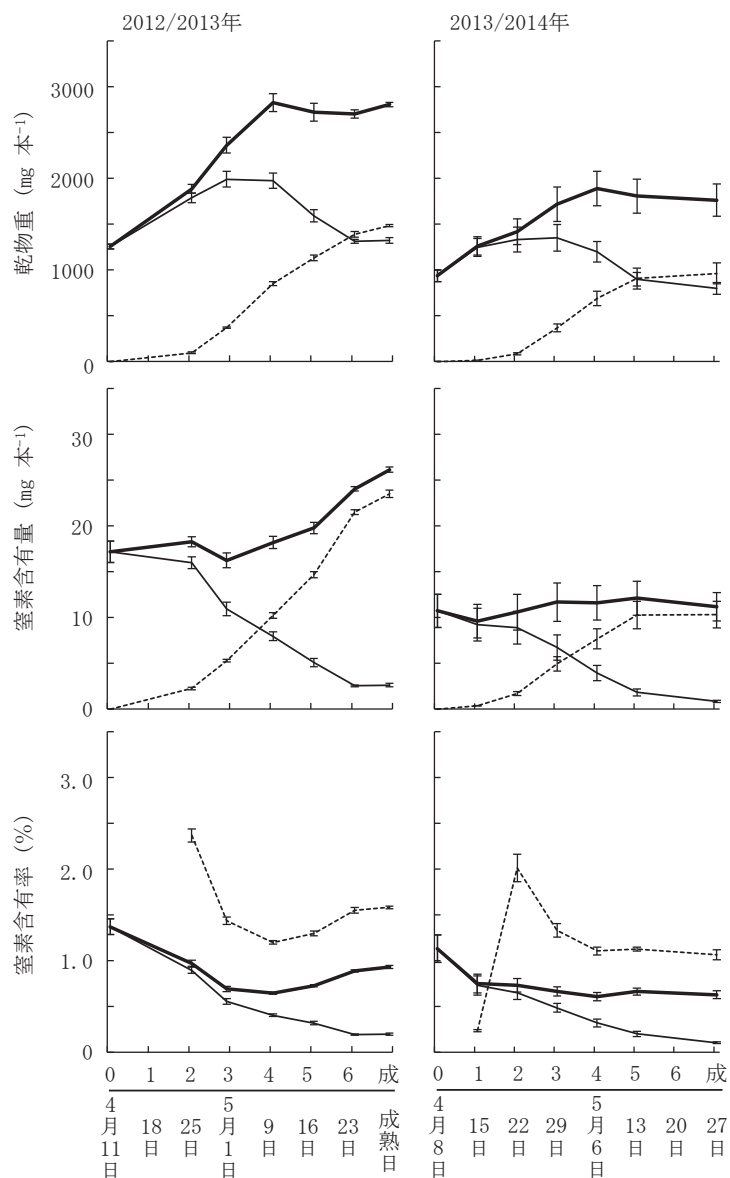
図中のエラーバーは標準誤差を示す。



第4-4図 2013/2014年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別の穂揃期から成熟期における有効茎1本あたりの窒素含有量の推移。

■ : 穂 □ : 葉身 ▨ : 子実 ▩ : 稈

図中のエラーバーは標準誤差を示す。



第4-5図 2012/2013年および2013/2014年の裸麦品種トノカゼの穂揃期から成熟期における有効茎1本あたりの乾物重, 窒素含有量および窒素含有率の推移.

太線が全体を, 細線が穂および葉身と稈を, 破線が子実の推移を示し, 図中のエラーバーは標準誤差を示す.

第4-1表 2012/2013年および2013/2014年における裸麦品種トヨノカゼの処理区別の子実収量と硝子率.

処理区 <sup>†</sup> /年次	子実 収量 (g m <sup>-2</sup> )	硝子率 (%)
2012/2013年		
4-2-2 (8 g m <sup>-2</sup> )	231 a	51.9
4-2-4 (10 g m <sup>-2</sup> )	273 ab	37.7
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	364 b	51.9
6-2-2 (10 g m <sup>-2</sup> )	279 ab	59.0
6-2-4 (12 g m <sup>-2</sup> )	303 ab	37.7
2013/2014年		
4-2-0 (6 g m <sup>-2</sup> )	234 a	26.3 a
4-2-3 (9 g m <sup>-2</sup> )	274 ab	33.8 a
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	359 b	68.1 b

数値に付した異なる英小文字はTukeyの多重検定により、それぞれの年次において、処理区間に5%水準で有意差があることを示す.

†：施肥処理は、基肥 - 分けつ肥 - 穂肥の順で窒素成分量を、( ) は総窒素施肥量を示す.

第4-2表 2010/2011年から2013/2014年における処理区別の子実タンパク質含有率.

処理区 <sup>†</sup>	子実タンパク質含有率 (%)			
	2010 /2011年	2011 /2012年	2012 /2013年	2013 /2014年
4-2-2 (8 g m <sup>-2</sup> )	8.73	8.11	9.26	
4-2-4 (10 g m <sup>-2</sup> )	8.53	8.18	9.08	
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )	7.74	8.40	9.44	
6-2-2 (10 g m <sup>-2</sup> )	9.00	8.04	8.97	
6-2-4 (12 g m <sup>-2</sup> )	9.61	7.95	9.41	
4-2-0 (6 g m <sup>-2</sup> )				6.08
4-2-3 (9 g m <sup>-2</sup> )				5.76
4-2-6 (12 g m <sup>-2</sup> )				6.81

数値に付した異なる英小文字はTukeyの多重検定により、それぞれの年次において、処理区間に5%水準で有意差があることを示す.

<sup>†</sup>：施肥処理は、基肥 - 分けつ肥 - 穂肥の順で窒素分量を、( ) は総施肥量を示す.



## 第5章 総合考察

裸麦は3月の穂肥期以降、草勢を失って収量が落ちる「春落ち症状」が見られることが問題視されており、生育後半の生育量を確保することが必要とされている。本研究は、裸麦の多収化栽培技術を確立するため、3月上旬に施用する穂肥の増施による後期重点型施肥栽培を行い、子実収量や収量構成要素、登熟期間中の物質生産や窒素代謝にどのような影響を及ぼすか明らかにしたものである。

本試験の結果、子実収量は、穂肥を増施した4-2-6区が、他の処理区と比較して穂数が最も多かったことから、最も多かった(第2-1表)。これまでも裸麦において、子実収量は穂肥の増施により穂数が増加し、増加することが報告されており(辻田ら2011, 前岡ら2000, 久保井・鳥生1994)、本研究はこれら結果と一致した。一方で、総窒素施肥量 $10\text{ g m}^{-2}$ で後期重点型の4-2-4区は、同じ総窒素施肥量 $10\text{ g m}^{-2}$ の6-2-2区と比較して、有意な差はみられず、必ずしも後期重点型の増収効果がみられたわけではなかった。このことから、総窒素施肥量を $12\text{ g m}^{-2}$ と多く施用し、かつ後期重点型施肥にすることで、穂数の増加により、子実収量が増加することが示唆された。また、処理区と年次に交互作用がみられなかったことから、穂肥の増施による後期重点型施肥栽培は安定して多収化できる栽培方法であることも示唆された。

子実収量は、2011/2012年が2010/2011年よりも穂数が多く千粒重が重いためにも多くなる傾向がみられた(第2-1表)。中村ら(2006)は、オオムギにおいて、登熟期に降雨の多い年には整粒重が低下することを報告し、平野ら(1964)や徳永(1959)も同様にコムギに

において登熟期の降雨が収量や粒重を低下させることを報告している。2010/2011年では登熟期間中におよそ200mmの降水量があり（第2-4図）、2012/2013年より著しく多く、千粒重が低下したと考えられた。

4-2-6区は、CGRが穂揃期から乳熟期にかけて高く、乳熟期から成熟期にかけても高かった（第2-2表）。これは、どちらの期間もS&LAI、NARともに高かったためであった。同じ総窒素施肥量 $12\text{ g m}^{-2}$ の6-2-4区では、CGRが乳熟期から成熟期において低かったことから、穂肥を増施すると登熟後半まで高い光合成能力を維持し、物質生産を行っていたと考えられた。一方、4-2-4区では、CGRが穂揃期から乳熟期、乳熟期から成熟期のどちらも、6-2-2区と同様であった。このことから、総窒素施肥量 $12\text{ g m}^{-2}$ と多く施用し、かつ後期重点施肥にすることで、登熟期間を通じて高い物質生産を行うことができると示唆された。

三枝ら（1985）は、子実収量は全吸収窒素量と極めて高い相関関係があることを報告している。本試験でも、総窒素施肥量が多く、全吸収窒素量が多い区で、穂数が多く、子実収量が多かった（第2-1表、第2-1図）。成熟期における単位面積あたりの総粒数は、地上部全体の窒素吸収量とも高い正の相関関係がみられたものの、2010/2011年では10000粒から15000粒と増加しても地上部全体の窒素吸収量は大きく増加しなかった（第2-5図）。

次の試験では、穂肥の増施および重点化がどのように穂数を増加させているかその機作を調査した（第3章）。その結果、穂肥を増施すると、基肥 $4\text{ g m}^{-2}$ 区では、分けつ発生率が増加し、有効茎歩合が高くなったが、基肥 $6\text{ g m}^{-2}$ 区では、分けつ発生率および有効茎歩合は処理間に有意な差がみられなかった（第3-1表）。一方で、同じ総窒素施肥量のもと、穂肥を重点化すると有効茎歩合が高まった。穂肥を増施し、かつ重点化した4-2-6区は、

第1節分げつの発生率が高く、第3節や第4節といった高位節も高かった（第3-2表）。有効化する分げつは出現の早い第1節や第2節といった低位節に多いことが報告されていることから（李・山崎 1994）、4-2-6区は第1節分げつが多く有効化したものと考えられる。そこで、分げつの有効化について、その機作を主茎と分げつの展開葉数および乾物重の関係から解析した。有効分げつはいずれの処理区も、展開葉数5葉以上8葉以下であり、その多くが乾物重1000 mg以上であった（第2-1図、第2-2図）。李・山崎（1994）、福嶌ら（2001）は、有効化する分げつは、コムギにおいて、最終葉数が同伸葉同伸分げつの理論（片山 1951）で考えられる理論値よりも多くなれば有効化すると報告している。本試験での主茎の展開葉数はほぼ8葉から10葉であり、分げつの展開葉数は同伸葉同伸分げつの理論で考えられる理論値よりも多く、有効分げつの多くが第1節からの1次分げつであった（第2-1図、第2-2図）。

基肥4 g m<sup>-2</sup>区では、穂肥を増施すると、低位節の1次分げつの乾物重が増加して有効化した。一方、高位節でも分げつの発生率が高まり乾物重を増加させたが、その多くが無効茎となった。また、有効茎、無効茎に関わらず、展開葉数が5葉以上で1本の乾物重が500 mg前後の低位節および高位節の分げつを多く発生させており、これらは遅れ穂や重い無効分げつとなった（第3-4図）。穂肥を増施し、重点化する後期重点型施肥栽培は、無効茎や遅れ穂の発生が考えられるものの、乾物重1000 mg以上の重く充実した低位節と、一部の高位節の有効分げつを有する個体数が多いため、穂数が増加したことが示唆された。

裸麦において、硝子率は、減数分裂期や穂揃期といった生育後半の追肥により高まることが報告されており（柳原ら 1991）、硝子率が高まると品質をも低下させてしまう。硝子

率は原麦タンパク質含有率との間に正の相関関係があることが報告されており（辻田 2014），穂肥を増施する後期重点型施肥栽培は，子実タンパク質含有率を増加させ，品質を低下させることが懸念される．本試験の結果，子実収量は 4-2-6 区が 2012/2013 年，2013/2014 年ともに多い傾向にあったものの（第 4-1 表），子実タンパク質含有率は試験した 4 作期全てにおいて処理区間に有意な差はみられなかった（第 4-2 表）．また，有効茎 1 本あたりの器官別窒素含有量も穂揃期から成熟期において，いずれの処理区も同様に推移した（第 4-3 図，第 4-4 図）．一方で，子実の窒素含有量は，2013/2014 年では穂揃期から穂揃期後 5 週目にかけて増加し，その後増加しなかったが，2012/2013 年では穂揃期後 5 週目以降さらに増加した．2012/2013 年では穂揃期後 4 週目以降，栄養器官からの転流だけでなく，地中からも窒素を吸収していることが推察され，登熟後半の窒素吸収が年次によって異なっていた．

以上のことから，穂肥を増施した後期重点型施肥栽培は，登熟期間を通じて高い物質生産を行い，多収化できた一方で，子実タンパク質含有率を高めない栽培方法であることが明らかとなった．

登熟期間中の窒素の吸収の仕方は年次によって異なっていたため，今後さらに年次を重ねて試験し，気温や降水量といった気象状況や生育状況を年次間で比較することで，どのような条件で植物体が登熟後半で窒素を吸収するかを明らかにすることが望まれる．

## 論文摘要

裸麦は、山口県において、主に麦味噌や焼酎の原料用として使用され、コムギに次ぐ裏作物となっている。近年、実需者からの需要が高まり、更なる増産が求められているが、その生産量は低く、収量は全国平均を下回っている。低収の要因として、3月の穂肥期以降に草勢が失われる「春落ち症状」が考えられており、近年の温暖・多雨化により、しばしば穂数の減少により低収となることも報告されている。一方、裸麦において、穂肥の増施は穂数を増加させ、収量を増加させることが多く報告されていることから、穂肥を増施する後期重点型施肥栽培により低収を改善できると考えられる。本研究では、山口県において、裸麦の多収化栽培技術を確立するため、穂肥の増施による後期重点型施肥栽培を行い、裸麦の収量および収量構成要素、登熟期間中の物質生産や窒素代謝を調査し、その有効性を明らかにすることを目的とした。

子実収量は、後期重点型施肥栽培の 4-2-6 区が他の処理区に比べ穂数が多かったことから、最も多かった。しかし総窒素施肥量  $10 \text{ g m}^{-2}$  の 4-2-4 区と 6-2-2 区では必ずしも後期重点型施肥で増加せず、総窒素施肥量を  $12 \text{ g m}^{-2}$  と増施し、かつ後期重点型施肥栽培にすることで、穂数が増加し、子実収量を増加させることが示唆された。4-2-6 区は CGR が穂揃期から乳熟期、乳熟期から成熟期のどちらの期間においても、S&LAI、NAR がともに高かったことから高かった。一方、同じ総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  の 6-2-4 区は CGR が穂揃期から乳熟期では高かったものの、乳熟期から成熟期では低下した。4-2-6 区は、地上部全体の窒素含有量が穂揃期からすでに高く、乳熟期までの吸収量も多かったことから成熟期でも高かった。以上から、穂肥を増施した後期重点型施肥栽培は、穂数が増加し、増収することが

示唆された。これは、窒素吸収量が登熟前半から高く、登熟期間を通じて高い光合成能力を維持できたからと考えられるが、4-2-4区が6-2-2区よりも収量が少ないことから、穂肥増加の効果というよりはむしろ、総窒素施肥量を  $10 \text{ g m}^{-2}$  から  $12 \text{ g m}^{-2}$  へと増加し、かつ穂肥を増施した結果と考えられた。成熟期における単位面積あたりの総粒数は、2011/2012年では地上部全体の窒素吸収量とも高い正の相関関係がみられた。2010/2011年でも総粒数が10000粒を超えたあたりまで正の相関関係がみられたものの、総粒数10000粒から15000粒と増加しても地上部全体の窒素吸収量は大きく増加しなかった。このように粒数が多くなる区ほど、年次によって窒素吸収量に違いがみられ、窒素吸収量が必ずしも単位面積あたりの粒数で示されるシンクの容量に左右されるわけではないと推察された。

穂肥の増施した後期重点型施肥栽培は穂数が増加し収量が増加した。そこで、穂肥の増施が分げつ数の増加や分げつの有効化にどのように影響したか、穂数を増加させる機作について、分げつの発生節位、展開葉数と乾物重の関係から検討した。分げつの発生率は基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  区、 $6 \text{ g m}^{-2}$  区ともに穂肥を増施するほど高かった。また、総窒素施肥量  $12 \text{ g m}^{-2}$  と多く施用すると、第1節の分げつ発生率を高め、かつ後期重点型施肥にすると第3節や第4節といった高位節の分げつ発生率を高めた。有効茎歩合は、4-2-6区が最も高く、次いで4-2-4区であった。このように穂肥の増施は分げつを発生させた個体の割合を高め、分げつの多くを有効化したことが示された。有効分げつは、いずれの処理区も展開葉数5葉以上8葉以下であり、その多くが乾物重1000mg以上であった。基肥  $4 \text{ g m}^{-2}$  の区では、穂肥を増施すると、低位節の1次分げつや高位節からの1次分げつの一部を有効化し、有効茎が増加した。4-2-6区では、低位節の1次分げつの乾物重が増加し、高位節の1次分げつ

は有効化せずに無効分げつとなったものの、展開葉数が5葉前後で1本の乾物重が300 mgから500 mgと低位節の有効茎より重いものもみられた。このように、穂肥の増施は低位節の1次分げつの乾物重を増加して有効化し、高位節でも分げつ発生率を高めて乾物重も増加させたものの、その多くを無効茎とした。一方、基肥  $6 \text{ g m}^{-2}$  では、高位節での分げつ発生率を高めなかったことから、高位節からの無効茎は少なく、低位節の1次分げつのみが有効化した。本試験では、分げつの有効化と分げつの窒素含有率および糖含有率との間にはどのような関係があるかについても解析した。分げつの窒素含有率は、穂肥を増施した4-2-6区の第2節1次分げつは有効茎、無効茎ともに4-2-0区の第1節1次分げつと比較して高かった。分げつの糖含有率は同じ処理区内の有効茎と無効茎との間に差はみられなかったが、無効分げつのみについてみると、どちらの処理区も糖含有率と乾物重との間に有意な正の相関関係が認められ、糖含有率が高い無効分げつは展開葉数も多かった。穂が有効化し、開花、子実形成に至る分げつは糖含有率が10~20%の範囲にあった。以上のことから、穂肥を増施する後期重点型施肥栽培は、窒素含有率が増加して光合成生産が高まり、同化産物蓄積が増加することで有効茎が増加したと考えられた。展開葉数5葉前後、乾物重500 mg前後の遅れ穂と呼ばれるような有効分げつと無効分げつの境界線にあるような分げつを多く発生させたものの、1本の乾物重が1000 mg以上の重く充実した有効分げつを有した個体数も多かった。

一方、裸麦の品質は、生育後半の追肥により硝子率が高まり、低下することが報告されており、穂肥を増施する後期重点型施肥栽培は裸麦の品質を低下させると考えられる。硝子率は子実タンパク質含有率と正の相関関係があることから、施肥した窒素が穂揃期にど

のくらい植物体に吸収され、登熟期間を通じてどのように子実へと転流するか、子実収量と収量構成要素を調査するとともに、登熟期間中の止葉や第二葉、下位葉、稈、穂および子実の器官別乾物重と窒素含有率を調査し、その推移を比較・検討した。有効茎 1 本あたりの窒素含有量は、2012/2013 年、2013/2014 年とも、穂揃期から成熟期にかけていずれの処理区間も同様に推移した。しかし、2013/2014 年では穂揃期から成熟期にかけて増減しなかったが、2012/2013 年では穂揃期後 4 週目以降、成熟期にかけて大きく増加した。子実では、2013/2014 年では穂揃期から穂揃期後 5 週目にかけて増加し、その後増減しなかったが、2012/2013 年では穂揃期後 5 週目以降さらに増加した。2012/2013 年は穂揃期後 4 週目以降、栄養器官からの転流だけでなく地中からの吸収によって子実で増加したことが推察され、植物体による登熟後半の窒素吸収が年次によって異なっていた。子実の窒素含有率は、どちらの年次も穂揃期後 2 週目で高く、その後 4 週目にかけて減少した。

以上本研究の結果、穂肥を増施した後期重点型施肥栽培は、登熟期間を通じて高い光合成能力を維持し、物質生産を行っており、穂数を増加させ子実収量を増加させる有効な施肥方法であることが明らかとなった。また、植物体の窒素代謝は年次によって差がみられるものの処理区間に有意な差はなく、多収化栽培できる一方で、子実タンパク質含有率を高めない栽培方法であることも明らかとなった。



## Summary

In Yamaguchi Prefecture, barley has been used for miso and shochu is secondly off-season crop following wheat. Recently it is high demand by users and need to produce increasingly. But barley production is low. And also its grain yield is lower than national average. As a factor of low yielding, its growth was weakening after top dressing at spike formation stage (SFS) in March, what is called Haruochi. In addition, previous study has showed that its yield has tended to decrease to decrease a spike number by warming and increasing of amount of precipitation. On the other hand, another study has shown that grain yield is increased increasing spike number in order to increasing top dressing at SFS. Thus, we considered that increasing the amount of topdressing at SFS might improve low grain yield in barley. In this study, we conducted to cultivate with increasing of top dressing at SFS and investigated grain yield, yield components, dry matter production and nitrogen metabolism to establish the stability and high yielding growth skill. And the objectives present study was to clarify the effect of increasing the amount of topdressing at SFS.

First, we investigated effect of increasing the amount of topdressing at SFS on grain yield and yield components and considered dry matter production by using growth analysis in ripening period. Grain yield and spike number were the highest in the 4-2-6, increasing the amount of topdressing at SFS. However, emphasizing topdressing a later stage did not give grain yield a positive effect when total N was  $10 \text{ g m}^{-2}$ , because the grain yield was lower in the 4-2-4 than in the 6-2-2. Therefore, it was suggested that grain yield increased by increasing spike number in case of increasing the amount of topdressing at SFS in barley when total N was  $12 \text{ g m}^{-2}$ . CGR, S&LAI and NAR were

also the highest in the 4-2-6 during ripening period. CGR was high from full heading time to milky stage in the 6-2-4 (total N was  $12 \text{ gm}^{-2}$ ), but was low from milky stage to maturity. The N content of whole plant was already highest at the full heading stage in the 4-2-6, and the N uptakes during the grain filling period were also highest in the 4-2-6. We guessed that increasing topdressing at SFS was increased grain yield as photosynthetic ability brought high N contents through ripening period could maintained and the spikes were full. Although grain number per unit area highly correlated with the N contents of plant on the ground in 2012/2013, when grain number increased from 10000 to 15000 in 2011/2012, N contents of plant on the ground did not increase. Thus, N contents, especially in treatments having the many number of grain numbers, varied by seasons.

Second, we investigated the number of emerged tillers, the nodal position of the emerged tillers and the characters concerned with productivity of tillers in order to clarify how the topdressing at SFS increases the spike number. The more topdressing at SFS increased, the more emerged tillers rate increased both basal dressing of  $4 \text{ g m}^{-2}$  and  $6 \text{ g m}^{-2}$ . Total N amount  $12 \text{ g m}^{-2}$  increased the number of individual with emerging primary tillers at the 1st nodal position. Increasing topdressing at SFS increased the number of individual with emerging primary tillers at the 1st, 3rd and 4th nodal position. The percentage productive culms was the highest in the 4-2-6, secondly the 4-2-4. Thus, it was suggested that increasing topdressing at SFS increased emerged tillers rate of the number of individual and these were became productive tillers.

We analyzed the mechanism of becoming productive tillers by investigating the dry weight and leaf expanding of main stem and tillers. The productive tillers expanded 5 - 8 leaves among the all

treatments and its weight was more than 1000 mg. The basal dressing  $4 \text{ g m}^{-2}$  plots increased the productive tiller by increasing top dressing at SFS, since the primary tiller at low and a part of high nodal position became productive tillers. In the 4-2-6, productive tillers at low nodal position weight increased. The tillers at high nodal position became the non - productive tillers expanded about 5 leaves and its weight was 300 - 500 mg. A part of these was heavier than productive tillers. While the basal dressing  $6 \text{ g m}^{-2}$  plots increased only the primary tiller at low nodal position because the tillers at high nodal position did not emerged, in addition to little non - productive tillers at high nodal position. We investigated how relationship between productive tillers and nitrogen (N) content or water soluble carbohydrate content. N content of primary tillers at the second nodal position in the 4-2-6 was higher than one of the first nodal position in the 4-2-0. The water soluble carbohydrate content of tillers did not differ between productive and non - productive tillers. But only the non - productive tiller showed significant positively correlation between the water soluble carbohydrate of tillers and dry weight, and the non - productive tillers was high water soluble carbohydrate content of tillers also expanded many leaves. The water soluble carbohydrate content of the productive tillers which grain was growing ranged from 10% to 20%. Therefore, we suggested that increasing topdressing at SFS enhanced the photosynthetic ability by increasing the N contents and productive tillers increased by increasing accumulation of assimilation product. And it was emerged tillers that expanded about 5 leaves and its weight was about 500mg, what is called late emerging head, which was the border between productive tiller and non - productive tiller. And it increased a number of individual that had productive tillers that its dry weight was heavier more than 1000 mg.

Finally, fertilizing top dressing at later stage in growth period became low quality by increasing steely grain rate in naked barley. On this account, we are worried that increasing topdressing at SFS was decreased its quality. As the steely grain was showed positively correlation with grain protein contents, if we could find that how many the amount of nitrogen that was fertilized the field did the plant uptake of N and translocate to grain, we would estimate the steely grain emergence. Thus, we investigated the amount of N contents of each organs, flag leaf, second leaf, lower leaf, stem, chaff and grain, during ripening period, and we would clarify the nitrogen metabolism in naked barley by comparing among the seasons or treatments. Changes in amount of N contents of each part per a productive stem were similar among the treatments for both seasons. Amount of N contents in total above ground increased from four weeks after full heading time (FHT) to maturity in 2012/2013, while it did not increase throughout grain filling period in 2013/2014. In grain, amount of N content increased throughout grain filling period in 2012/2013, while it did not increase from five weeks after FHT to maturity. Therefore it was indicated that the amount of N content in grain did not only came from remobilization from vegetative organs but also from absorption from soil during grain filling period. There were different for two seasons how the grain absorbed amount of N during later grain filling period, while there were not different among treatments. Grain N content increased to two weeks after FHT, and it decreased to four weeks after FHT both seasons. After that, in 2012/2013, it increased to maturity. As Grain N content increased, steely grain increased and more quality became low. However, in this study, grain protein content was not significantly difference among the treatments for both seasons.

The over all results of the present study revealed that increasing topdressing at SFS was effective fertilization method which kept maintaining high photosynthetic ability during ripening period, assimilated many dry matter productions and increased grain yield by increasing spike number. Moreover N metabolism was not significantly different among treatments. Therefore it was clarified the increasing topdressing at later stage method which was not only high - yielding culture but also was not increased grain protein content.

## 謝辞

本論文を学位論文として提出するにあたり，山口大学農学部教授，高橋肇博士には，本研究のテーマ設定から，実験計画，データの解析手法，論文のとりまとめから研究者としての考え方まで，終始，懇切丁寧なご指導・ご鞭撻を賜りました．心より深く感謝申し上げます．また，山口大学農学部准教授荒木英樹博士，同助教丹野研一博士から研究遂行にあたり多くの貴重なご指導，ご助言を賜りました．心より感謝申し上げます．

また，圃場試験の遂行にあたり，裸麦の栽培管理を始め，多くのご支援，ご協力をいただきました山口県農林総合技術センターの池尻明彦氏，金子和彦氏，松永雅志氏，山口県庁農林水産部の中司祐典氏，内山亜希氏，山口県農業大学校の前岡庸介氏に深く感謝申し上げますとともに，山口県農林総合技術センターの事務・技術部各位にも厚く御礼申し上げます．さらに，圃場管理およびデータ収集にあたっては同研究室の金岡夏美氏，内田早耶香氏ならびに後輩諸氏にご協力いただきました．ここに記して厚く感謝申し上げます．

## 引用文献

阿部吉克・鈴木武 1987. 麦類の生育診断手法に関する研究. 東北農業研究 40: 107-108.

Anderson, W.K. 1985. Grain yield responses of barley and durum wheat to split nitrogen applications under rainfed conditions in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 12: 191-202.

荒川明・中川博視・堀江武 1996. 二条オオムギの生育・収量の気象的予測モデルの開発. 日作紀 65 (別2): 178-179.

荒川明・中川博視・堀江武 1999. 二条オオムギのシンク・ソース関係からみた登熟性の解析. 日作紀 68: 561-569.

Bidinger, F., Musgrave, R.B. and Fischer, R.A. 1977. Contribution of stored pre-anthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature* 270: 431-433.

中鉢富夫・水多昭雄・沼倉正二・加藤精一・柳原元一 1987. ナトリオオムギの施肥法と収量・千粒重の関係. 東北農業研究 40: 115-116.

中條博良・紅谷文夫・三本弘乗 1989. 西日本早生コムギ品種における分けつの消長. 日作紀 58: 611-616.

中條博良・藤田明彦・三本弘乗 1990. コムギにおける分けつの消長と乾物重および窒素吸収. 日作紀 59: 245-252.

Davidson, D. J. and Chevalier, P. M. 1990. Preanthesis tiller mortality in spring wheat. Crop Sci. 30: 832-836.

福嶋陽・楠田宰・古畑昌巳 2001. 暖地における早播きした秋播性コムギ「イワイノダイチ」の分けつの発育. 日作紀 70: 173-178.

Gallagher, J. N., Biscoe, P. V. and Hunter, B. 1976. Effects of drought on grain growth. Nature 264: 541-542.

浜地勇次・吉田智彦 1989. 暖地のビール麦の収量と気象条件の關係の統計的解析. 日作紀 58: 1-6.

浜地勇次・古庄雅彦 1989. ビール大麦の過湿条件下での根の障害および分布. 日作九支報 56: 82-85.



服部誠・佐藤徹・田村隆夫・市川岳史・田村良浩 2007. 越冬後追肥が大麥「ファイバースノウ」の品質及び収量に与える影響. 北陸作報 42: 93-96.

平野寿助・後藤虎男・江口昭彦・橋本隆・海妻矩彦 1964. 登熟期間の降雨がコムギの品質に及ぼす影響. II. 長雨被害小麦の品質について. 日作紀 33: 151-155.

今井勝・平沢正 2013. 作物学. 文英堂出版, 東京. 1-300.

石丸治登・波多江政光 1971a. 九州地域における小麦の作況判定方法に関する解析研究 第1報 収量推定に関する解析. 日作九支報 35: 94-96.

石丸治登・波多江政光 1971b. 九州地域における小麦の作況判定方法に関する解析研究 第2報 穂数および稔実粒数推定に関する解析. 日作九支報 36: 67-69.

Jamieson, P.D. and Semenov, M.A. 2000. Modelling nitrogen redistribution in wheat. Field Crops Res. 68: 21-29.

角屋正治・中司祐典・小林行高・村山英樹 1991. 小麦の新奨励品種「ダイチノミノリ」の特性について. 山口農試研報 43: 11-18.

鎌田英一郎・池尻明彦・高橋肇・前岡庸介・内山亜希・金子和彦・中司祐典・金岡夏美・  
荒木英樹・丹野研一 2014. 裸麦の収量および登熟生理に及ぼす穂肥窒素による後期重点施  
肥の影響. 日作紀 83: 1-8.

金川修造 1948. 宮崎県における麦作と気象. 九州農業研究 2: 8-9.

片山佃 1951. 稲・麦の分蘖研究. 養賢堂, 東京. 1-177.

Kichey, T., Hirel, B., Heumez, E., Dubois, F. and Le Gouis, J. 2007. In winter wheat  
(*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain  
correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Res.*  
102: 22-32.

桐山毅・田谷省三 1975. 麦類の生育時期と湿害について. 九州農業研究 37: 77-78.

久保井健・鳥生誠二 1994. 裸麦イチバンボシの施肥法と生育及び収量との関係. 日作物学  
会 四国支部紀事 31: 36-37.

糸川晃伸・谷口義則・山口昌宏・渡邊修孝・山口恵美子・関和孝博・加藤常夫 2004. ビー

ル大麦への追肥が収量と麦芽品質に及ぼす影響. 栃木農試報 53: 27-34.

小林洋介・豊田正範・内田尚宏・馬原良卓・門田修二・楠谷彰人 2004. 栽植密度によるコムギ分げつの出現時期と枯死時期の変動. 日作四国支報 41: 14-15.

Lauer, J.G. and Simmons, S.R. 1988. Photoassimilate partitioning by tillers and individual tiller leaves in field-grown spring barley. Crop Sci. 28: 279-282.

李建民・山崎耕宇 1994. コムギにおける分げつの生育に関する研究. 日作紀 63: 460-466.

前岡庸介・小林行高・中司祐典・羽嶋正恭・森岡徹文 2000. 「イチバンボン」の適正な冬期の生育と栽培管理技術. 山口農試研報 51: 21-27.

Marinaccio, F., Reyneri, A. and Blandino, M. 2015. Enhancing grain yield and quality of winter barley through agronomic strategies to prolong canopy greenness. Field Crops Res. 170: 109-118.

松江勇次・山口修・佐藤大和・馬場孝秀・古庄雅彦・尾形武文・福島裕助 2000. 1998 年における北部九州の麦類不作の要因解析とその技術対策. 日作紀 69: 102-109.

松村修・波多江政光・岐部利幸 1984. 二条大麦品種における分けつ別の穂の発生と収量について. 日作紀 53(別2): 42-43.

松村修・北川壽・下坪訓次 1988. 小麦品種における分けつ別収量について. 日作九支報 55: 66-68.

箕田豊尚・重松統・柳澤貴司・長嶺敬・戸倉一泰・加藤徹 2010. 二条裸麦新品種「ユメサキボシ」に適する播種時期, 播種量, 施肥量および踏圧回数. 埼玉農総研研報 10: 37-47.

深山政治・勝木田博人・斉藤健二 1989. コムギの生育時期別最適窒素保有量と出穂以降の窒素吸収について. 土肥誌 60: 106-115.

宮内直利・宇都宮隆 1970. 麦の全面全層播栽培法確立に関する研究. 愛媛農試報 10: 1-10.

森芳史・藤田究・多田伸司・石井清文・井之川育篤・吉田一史 1994. 香川県における裸麦の新奨励品種「イチバンボシ」について. 香川農試報 45: 11-19.

村上優浩・宮下武則・大山興央・山田千津子・森芳史・西村恵 2003. 裸麦「マンテンボシ」の収量と品質に及ぼす施肥法と施肥量の影響. 香川農試報 56: 19-24.

村田孝雄・保坂優子・平野貢・黒田栄喜 1997. 水稻あきたこまちの登熟期における葉身および茎の炭水化物代謝. 日作紀 66: 221-228.

中村恵美子・伊藤誠治・林恵子・馬場孝秀 2006. 北陸地域における精麦用オオムギの収量性と精麦品質における年次変動の品種間差. 日作紀 75: 318-326.

中司祐典・角屋正治 1992. 良質小麦生産のための栽培改善と暖冬対策. 日作中支集録 33: 40-41.

中園江・井上君夫・大野浩之・大原源二 2008. 小麦登熟期の降雨の年次変動と品質への影響. 日作紀 77 (別2): 218-219.

野田健児・木村俊彦 1956. 暖地における裸麦の登熟温度に就いての一考察. 九州作物談話会報 10: 51-54.

大谷和彦 2010. 栃木県における水稻や麦類の品質安定化に関する研究. 栃木農試研報 64: 29-36.

大山卓爾 1990. 植物栄養実験法. 博友社, 東京. 1-488.

Papakosta, D.K. and Gagianas, A.A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agron. J* 83: 864-870.

Przulj, N. and Momcilovic, V. 2003. Dry matter and nitrogen accumulation and use in spring barley. *Plant Soil Environ.* 49: 36-47.

三枝正彦・庄子貞雄・後藤純 1985. 黒ボク土下層の酸性と大麦への窒素分施効果. *土肥要旨集* 31: 154.

作物統計山口県版 2010. 平成 21 年産作物統計 (山口県版). 山口県農林統計協会, 山口県. 11-12.

佐藤三佳子・五十嵐俊成・櫻井道彦・奥村正敏・鈴木和織・柳原哲司 2011. 穂揃期の生育診断による春まきコムギの子実タンパク質含有率の推定. *日作紀* 80: 90-95.

瀬古秀文・加藤一郎 1979. 裸麦の全面全層播栽培法に関する研究. *四国農試報* 33: 51-80.

高田寛之・吉田智彦・南潤一・川口數美 1981. 麦類の分けつ体系からみた収量成立要因. *日*

作紀 50(別 2)： 33-34.

高橋渉・川口祐男・南山恵 1993. 大麦における生育診断・予測法 第2報 生葉数による大麦の穂数予測. 北陸作報 28: 52-54.

建部雅子・岡崎圭毅・唐澤敏彦・渡辺治郎・大下泰生・辻博之 2006. パン用秋まきコムギ「キタノカオリ」に対する葉色診断と施肥対応. 日本土壤肥料学雑誌 77: 293-298.

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.

田中丸重美 1990. オオムギ葉の光合成速度におよぼす浸水処理の影響. 日作紀 59 (別 2) : 79-80.

丹治克男 1997. 大麦の分けつ乾物重と有効化. 東北農業研究 50: 91-92.

田谷省三・荒木均・野中舜二 1981. コムギ「農林 61 号」の収量および諸特性に及ぼす気象条件の影響. 日作九支報 48: 15-18.

時枝茂夫・和田士郎・原田茂 1955. 裸麥の成熟に及ぼす地温並びに土壤水分の影響につい

て. 作物学研究収録 1 : 8-9.

徳永初彦 1959. コムギの登熟に及ぼす生育末期の気象条件について. 日作九支報 35 : 94-96.

鳥生誠二・住吉俊治・久保井健 1991. 愛媛県における最近の麦の不作原因. 日作四国支部紀事 28 : 79-85.

鳥生誠二 1997. 愛媛県における裸麦作の現状と問題点. 日作紀 66 (別2) : 385-390.

豊田政一・藤田正男・和田道宏・吉田泰二・江口久夫 1986. 小麦品種の葉色と収量性. 日作関東支報 1 : 61-62.

土谷大輔・下山伸幸 2011. 硬質コムギ品種「ミナミノカオリ」の栽培法が収量に及ぼす影響. 日作九支報 77 : 31-34.

辻田泉・山口憲一・木村浩 2011. はだか麦の晩期栽培における窒素施用法が収量と品質に与える影響. 日作四国支報 48 : 62-63.

辻田泉・木村浩・山口憲一 2014. はだか麦の早播栽培における播種量と基肥窒素量が生育



と収量・品質に与える影響. 愛媛県農林水産研究報告 6: 27-33.

津森重邦 1992. 讃岐の麦-はだか麦の栽培改善 (2). 農及園 67: 683-688.

露崎浩・洞内淳男 2000. コムギ生殖成長期の各節間および各葉鞘における物質分配. 日作東北支部報 43: 51-53.

露崎浩 2001. コムギにおける各節間から子実への物質再分配. 日作東北支部報 44: 69-70.

Voltas, J., Romagosa, I. and Araus, J.L. 1997. Grain size and nitrogen accumulation in sink-reduced barley under Mediterranean conditions. Field Crops Res. 52: 117-126.

渡邊好昭・藤田雅也・柳沢貴司 2013. 麦の高品質多収技術-品種・加工適性と栽培-. 農山漁村文化協会, 東京. 1-259.

山口県 2008. 山口県史資料編民俗 2 暮らしと環境, 山口県. 1-832.

山口県 2010. 山口県史民俗編, 山口県. 1-961.

山口憲一・松長崇・辻田泉・池内浩樹・水口聡・兼頭明宏 2014. はだか麦新品種 ‘ハルヒメボシ’ の施肥体系の検討. 愛媛県農林水産研究報告 6: 22-26.

柳原元一・星川清親・飯沼千史 1991. 六條オオムギのガラス質粒発生におよぼす追肥量および追肥時期の影響. 日作東北支部報 34: 45-46.

Yemm, E. W., and A. J. Willis 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical journal* 57: 508-514.

吉田行郷 2011. 国内産大麦・はだか麦の需要変動に対する産地の課題-大麦の国際価格高騰による影響をふまえて-. 月刊食料と安全 9: 26-31.

吉川亮・加藤一郎 1986. 生長解析法による裸麦物質生産の解析. 日作紀 55 (別 2): 125-126.

## 学会誌公表論文のリスト

### 第2章

題目：裸麦の収量および登熟生理に及ぼす穂肥窒素による後期重点施肥の影響

著者名：鎌田英一郎，池尻明彦，高橋肇，前岡庸介，内山亜希，金子和彦，中司祐典，金

岡夏美，荒木英樹，丹野研一

学術雑誌名 巻・号・項：日本作物学会紀事，第83巻・第1号・1-8項

### 第3章

題目：穂肥窒素の増施および重点化による後期重点型施肥栽培が裸麦の分けつの有効化に

及ぼす影響

著者名：鎌田英一郎，高橋肇，池尻明彦，内山亜希，金子和彦，松永雅志，内田早耶香，

荒木英樹，丹野研一

学術雑誌名 巻・号・項：日本作物学会紀事，第85巻・第1号・16-22項