

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

鎌田英一郎¹⁾・池尻明彦²⁾・高橋肇¹⁾・前岡庸介²⁾・内山亜希²⁾・金子和彦²⁾・中司祐典²⁾・
金岡夏美¹⁾・荒木英樹¹⁾・丹野研一¹⁾

(¹⁾ 山口大学農学部, (²⁾ 山口県農林総合技術センター)

要旨: 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 年と 2011/2012 年に基肥－分げつ肥－穂肥を組み合わせた 5 水準の窒素施肥処理 (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、両年次とも総窒素施肥量が 12 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 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、両年次とも 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 g m^{-2} の 4-2-4 区と 6-2-2 区は、総窒素施肥量 8 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。

キーワード: 収量、収量構成要素、成長解析、窒素施肥、トヨノカゼ、裸麦、穂肥。

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つ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、基肥と分げ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 (久保井・鳥生 1994, 村上ら 2003)。また、分げつ肥や穂肥は、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、オオムギは、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、基肥と分げ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、初期の分げ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 年および 2011/2012 年の 2 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 年と 2011/2012 年の 2 作期にわたり、山口県農林総合技術センターにおいて、裸麦品種トヨノカゼを用いて窒素肥料の分施量をか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^{-2} , 6 g m^{-2}) と穂肥 3 水準 (2 g m^{-2} , 4 g m^{-2} , 6 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。4-2-2 区は窒素成分で基肥 4 g m^{-2} 、分げつ肥 2 g m^{-2} 、穂肥 2 g m^{-2} を、4-2-4 区は窒素成分で基肥 4 g m^{-2} 、分げつ肥 2 g m^{-2} 、穂肥 4 g m^{-2} を、4-2-6 区は窒素成分で基肥 4 g m^{-2} 、分げつ肥 2 g m^{-2} 、穂肥 6 g m^{-2} を、6-2-2 区は窒素成分で基肥 6 g m^{-2} 、分げつ肥 2 g m^{-2} 、穂肥 2 g m^{-2} を、6-2-4 区は窒素成分で基肥 6 g m^{-2} 、分げつ肥 2 g m^{-2} 、穂肥 4 g m^{-2} を施用した。総窒素施肥量は、4-2-2 区が 8 g m^{-2} 、4-2-4 区と 6-2-2 区が 10 g m^{-2} 、4-2-6 区と 6-2-4 区が 12 g m^{-2} である。基肥は燐加安 44 号 (N:14%, P:17%, K:13%) を用い、2010/2011 年は 11 月 25 日、2011/2012 年は 11 月 28 日の播種期に施用し、分げつ肥は燐加安 V550 (N:15%, P:5%, K:20%) を用い、2010/2011 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:5%, K:20%) を用い、2010/2011 年は 3 月 10 日、2011/2012 年は 2 月 28 日に施用した。試験区は 3 反復乱塊法で配置した。

2013 年 6 月 17 日受理。連絡責任者：高橋肇 〒753-8515 山口県山口市吉田 1677-1

TEL 083-933-5840, FAX 083-933-5840, tadashit@yamaguchi-u.ac.jp

本研究は新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業委託事業「多角的アプローチによる加工需要にマッチするはだか麦新栽培体系の確立」(課題番号 22058) によつた。

第1表 2010/2011年と2011/2012年における裸麦品種トヨノカゼの子実収量, 全乾物重, 収穫指数および収量構成要素.

| 処理区 [†] | 子実収量 (g m ⁻²) | 全乾物重 (g m ⁻²) | 収穫指数 (%) | 穂数 (m ⁻²) | 一穂 粒数 | 千粒重 (g) | 子実タンパク 含有率 (%) |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|--------------------------|----------|------------|-------------------|
| 2010/2011年 | | | | | | | |
| 4-2-2 (8 g m ⁻²) | 245 a | 572 ab | 42.9 | 238 a | 38.2 | 27.1 | 8.54 |
| 4-2-4 (10 g m ⁻²) | 272 ab | 604 ab | 44.9 | 258 ab | 40.9 | 25.8 | 8.41 |
| 4-2-6 (12 g m ⁻²) | 358 c | 833 c | 43.0 | 342 b | 40.1 | 26.1 | 7.76 |
| 6-2-2 (10 g m ⁻²) | 311 abc | 714 bc | 43.5 | 284 ab | 41.8 | 26.2 | 8.70 |
| 6-2-4 (12 g m ⁻²) | 327 bc | 742 bc | 44.0 | 286 ab | 42.8 | 26.7 | 9.34 |
| 2011/2012年 | | | | | | | |
| 4-2-2 (8 g m ⁻²) | 299 | 600 | 49.9 | 313 | 29.7 | 29.4 | 7.94 |
| 4-2-4 (10 g m ⁻²) | 333 | 690 | 48.2 | 338 | 31.3 | 29.1 | 7.65 |
| 4-2-6 (12 g m ⁻²) | 400 | 853 | 46.9 | 417 | 32.2 | 29.4 | 7.80 |
| 6-2-2 (10 g m ⁻²) | 341 | 717 | 48.2 | 357 | 30.7 | 28.9 | 7.63 |
| 6-2-4 (12 g m ⁻²) | 377 | 745 | 51.7 | 380 | 33.4 | 29.1 | 7.54 |

数値に付した異なる英小文字は 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す. 英小文字がないものは ns.

[†]: 施肥処理は, 元肥-分げつ肥-穂肥の順で窒素分量を, () は総窒素施肥量を示す.

播種は, 2010/2011 年は 11 月 25 日, 2011/2012 年は 11 月 28 日に行った. 播種方法は, 2010/2011 年, 2011/2012 年とも, 各処理区で 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ところ, 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 × 3 m (4.5 m²) 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 × 0.7 m (0.525 m²) を地際から刈取り, 110℃で 30 分, 70℃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 × 0.7 m (0.525 m²) 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℃で 30 分, 70℃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と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 (t₁) から乳熟期 (t₂) までであれば, (S & LAI (t₂) - S & LAI (t₁)) / (Log_e S & LAI (t₂) - Log_e S & LAI (t₁)) 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) を用いて測定した. 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1表は, 2010/2011年と2011/2012年における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含有率を示した. 子実収量は, 2010/2011年では, 4-2-6区が最も多く, 6-2-2区と6-2-4区も同様に多かった. 2011/2012年でも, 4-2-6区が最も多く, 4-2-4区, 6-2-2区および6-2-4区も同様に多い傾向であった. 全乾物重は, 2010/2011年では, 4-2-6区が最も重く, 6-2-4区も同様に重かった. 2011/2012年でも, 4-2-6区が最も重く, 4-2-4区, 6-2-2区および6-2-4区も同様に重い傾向であった. 穂数は, 2010/2011年では, 4-2-6区が最も多く, 6-2-2区と6-2-4区も同様に多かった. 2011/2012年では, 4-2-6区が最も多く, 4-2-4区, 6-2-2区および6-2-4区も同様に多い傾向であった. 一穂粒数, 千粒重および子実タンパク含有率は, 2010/2011年,

第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 ($\text{g m}^{-2} \text{日}^{-1}$) | S & LAI ^{†1} ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) | NAR ($\text{g m}^{-2} \text{日}^{-1}$) | CGR ($\text{g m}^{-2} \text{日}^{-1}$) | S & LAI ^{†2} ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) | NAR ($\text{g m}^{-2} \text{日}^{-1}$) |
| 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^{-2}) | 12.90 | 2.80 | 4.61 | 1.96 | 0.98 | 1.99 |
| 4-2-4 (10 g m^{-2}) | 8.87 | 2.85 | 3.12 | 4.81 | 1.00 | 4.81 |
| 4-2-6 (12 g m^{-2}) | 14.41 | 3.50 | 4.11 | 6.39 | 1.41 | 4.53 |
| 6-2-2 (10 g m^{-2}) | 10.19 | 3.03 | 3.37 | 5.40 | 1.01 | 5.36 |
| 6-2-4 (12 g m^{-2}) | 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^{-2}) | 15.17 | 3.23 | 4.69 | 1.13 | 1.24 | 0.91 |
| 4-2-4 (10 g m^{-2}) | 14.28 | 4.07 | 3.50 | 2.73 | 1.41 | 1.93 |
| 4-2-6 (12 g m^{-2}) | 19.53 | 5.22 | 3.74 | 3.82 | 1.86 | 2.06 |
| 6-2-2 (10 g m^{-2}) | 11.37 | 4.00 | 2.84 | 3.66 | 1.32 | 2.77 |
| 6-2-4 (12 g m^{-2}) | 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。

2011/2012年ともに、処理区間に有意差は認められなかった。

第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 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 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 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 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 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 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 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 g m^{-2} である4-2-6区、6-2-4区が高かった。

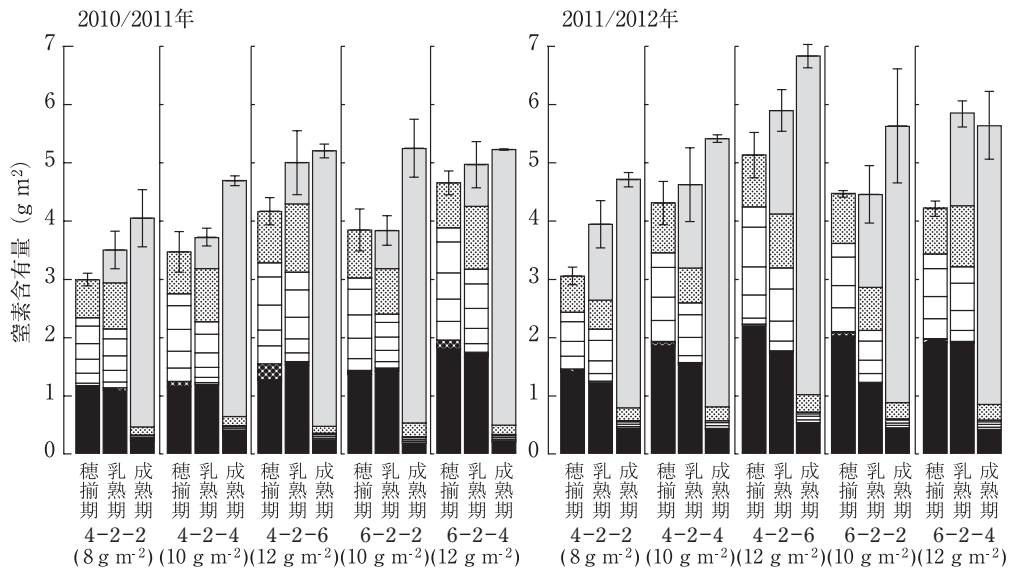
乳熟期から成熟期まででは、CGRは、2010/2011年で、4-2-6区が最も高く、次いで6-2-2区、4-2-4区の順に高かった。2011/2012年でも同様に、4-2-6区が最も高く、次いで6-2-2区、4-2-4区の順に高かった。S & LAIは、2010/2011年で、総窒素施肥量12 g m^{-2} である4-2-6区と6-2-4区が最も高く、次いで総窒素施肥量10 g m^{-2} である4-2-4区と6-2-2区が高かった。2011/2012年でも、総窒素施肥量12 g m^{-2} である4-2-6区と6-2-4区が最も高く、次いで総窒素施肥量10 g m^{-2} である4-2-4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 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 g m^{-2} の4-2-4区と6-2-2区が高く、総窒素施肥量8 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 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 g m^{-2} の4-2-4区と6-2-2区が高く、総窒素施肥量8 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 g m^{-2} の4-2-6区と6-2-4区、総窒素施肥量10 g m^{-2} の6-2-2区が5.2 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 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 g m^{-2} の4-2-6区では、無効茎での含有量が減少し、秆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 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 g m^{-2} の4-2-4区が次いで大きく増加した。

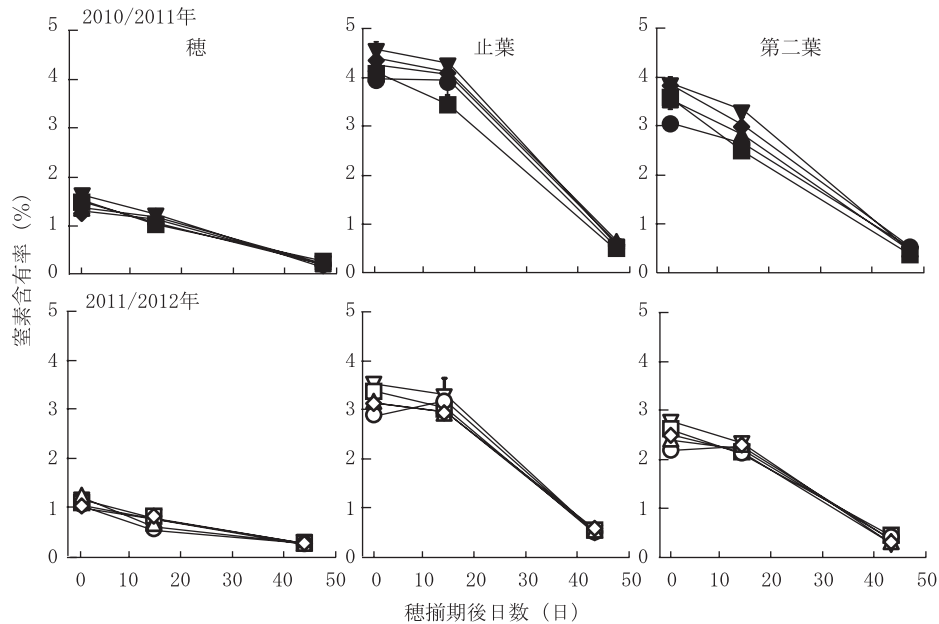
2011/2012年では、地上部全体では穂揃期で、総窒素施肥量12 g m^{-2} の4-2-6区が最も高く、次いで同じく総窒素施肥量12 g m^{-2} の6-2-4区と総窒素施肥量10 g m^{-2} の4-2-4区と6-2-2区が高く、総窒素施肥量8 g m^{-2} の4-2-2区が最も低かった。乳熟期では、総窒素施肥量12 g m^{-2} の4-2-6区と6-2-4区が最も高く、次いで総窒素施肥量10 g m^{-2} の4-2-4区と6-2-2区が高く、総窒素施肥量8 g m^{-2} の4-2-2区が最も低かった。成熟期でも、総窒素施肥量12 g m^{-2} の4-2-6区が最も高く、総窒素施肥量8 g m^{-2}



第1図 2010/2011年と2011/2012年における裸麦品種トヨノカゼの器官別・部位別窒素含有量の推移。

■：穂 ▨：無効茎 □：葉身（上から、止葉、第二葉、下位葉、無効葉）
 ▨：穂 ▨：子実

図中の縦棒は標準誤差を示す。



第2図 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⁻²) ▲△ 4-2-4 (10 g m⁻²) ▼▽ 4-2-6 (12 g m⁻²)
 ■□ 6-2-2 (10 g m⁻²) ◆◇ 6-2-4 (12 g m⁻²)

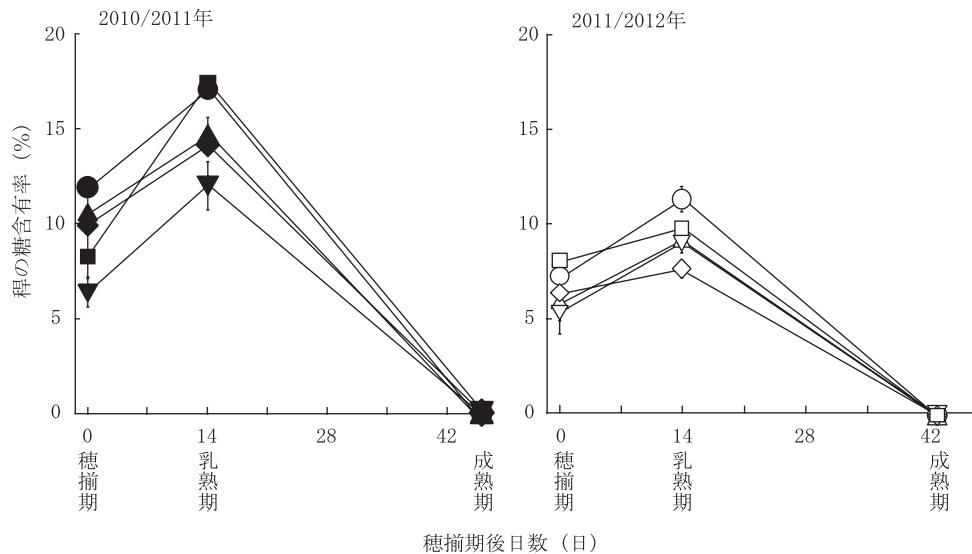
黒塗りシンボルは2010/2011年を示し、白抜きシンボルは2011/2012年を示す。

図中の縦棒は標準誤差を示す。

の4-2-2区が最も低かった。穂揃期から乳熟期までは、総窒素施肥量 10 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 g m⁻² の4-2-6区、総窒素施肥量 10 g m⁻² の6-2-2区と4-2-4区、総窒素施肥量 8 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は、総窒素施肥量 10 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



第3図 2010/2011年と2011/2012年における裸麦品種トヨノカゼの穂の糖含有率の推移。

●○ 4-2-2 (8 g m⁻²) ▲△ 4-2-4 (10 g m⁻²) ▼▽ 4-2-6 (12 g m⁻²)
 ■□ 6-2-2 (10 g m⁻²) ◆◇ 6-2-4 (12 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。

図中の縦棒は標準誤差を示す。

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3図に、2010/2011年、2011/2012年における、裸麦品種トヨノカゼの穂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。穂の糖含有率は、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。

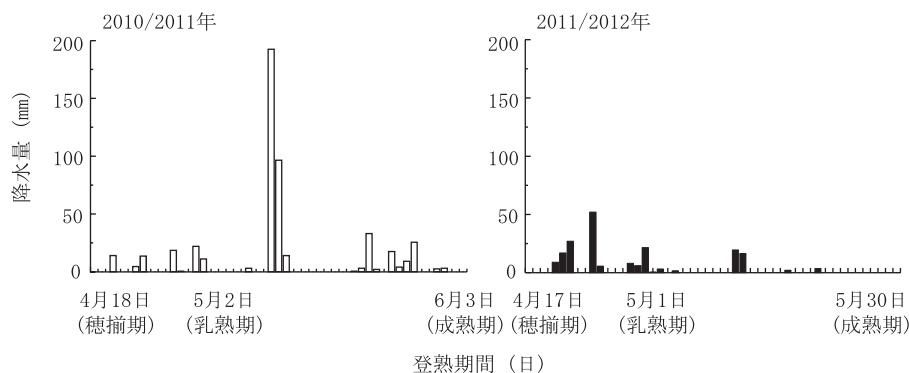
考 察

本試験の結果、裸麦品種トヨノカゼでは、穂肥を6 g m⁻²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・

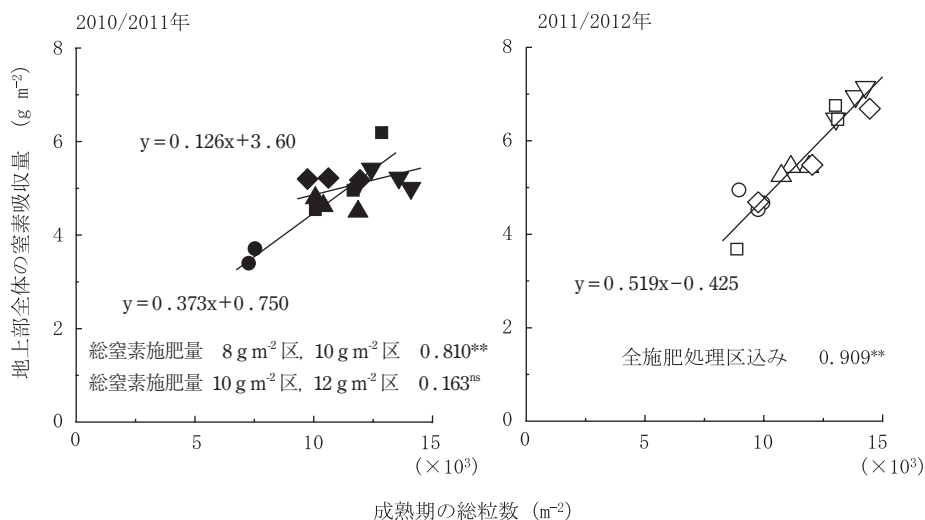
加藤 1979)。その施肥量を増やすことで穂数が増加し、増収することも報告されており、穂数の増加は、無効分げつが有効化したためと考えられている。久保井・鳥生(1994)、前岡ら(2000)、辻田ら(2011)も、裸麦で子実収量が穂肥を増施することで穂数が増加したために、増加したことを報告している。糸川ら(2004)は、ビール大麦において、穂肥増施が穂数、一穂粒数、千粒重を増加し、整粒重が高まることで収量を増加することを報告している。服部ら(2007)は、オオムギにおいて、追肥の量が多くなるほど収量は高まると報告しており、これらの報告は、本研究の結果とも一致した。

子実収量は、2011/2012年が2010/2011年よりも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、徳永(1959)や平野ら(1964)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年に比べて登熟期間の降水量が著しく多かった(第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表)ために、全乾物重が重く、収量が多かった。穂肥を6 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。



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



第5図 2010/2011年と2011/2012年における裸麦品種トヨ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 g m⁻²) ▲△ 4-2-4 (10 g m⁻²) ▼▽ 4-2-6 (12 g m⁻²)
 ■□ 6-2-2 (10 g m⁻²) ◆◇ 6-2-4 (12 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.

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也多かったことから成熟期でも高かった（第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図）。

穂揃期から乳熟期まででは、総窒素施肥量10 g m⁻²の4-2-4区と6-2-2区は、8 g m⁻²の4-2-2区に比べてNARが低く、CGRが低かった（第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。光合成速度は、オオムギでは、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）。二条オオムギも、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 g m⁻²の4-2-4区と6-2-2区は、総窒素施肥量12 g m⁻²の6-2-4区よりもNARが高く、CGRが高かった（第2表）。地上部全体での

窒素含有量も大きく増加し(第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1表, 第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 g m^{-2} から 12 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見られ, 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区は穂数が増加し, 増収する可能性が示唆された。これは, 無効分げつを有効化し, 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が, 4-2-4区が6-2-2区よりも穂数が少なく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 g m^{-2} から 12 g m^{-2} へと増加した結果と考えられる。この4-2-6区の増収の可能性については, 今後さらに検討を続けたい。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。

引用文献

- 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.
- 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.
- 服部誠・佐藤徹・田村隆夫・市川岳史・田村良浩 2007. 越冬後追肥が大麦「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.
- 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.
- 前岡庸介・小林行高・中司祐典・羽嶋正恭・森岡徹文 2000. イチバンボシ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.
- 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・大山興典・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.
- 大山卓爾 1990. 植物栄養実験法. 博友社, 東京. 1-488.
- 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肥効果. 土肥要旨集 31: 154.
- 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.
- 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. 日本土壤肥科学雑誌 77: 293-298.
- 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.
- 徳永初彦 1959. コムギの登熟におよぼす生育末期の気象条件について. 日作紀九州支報 14: 28-30.
- 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.
- 辻田泉・山口憲一・木村浩 2011. はだか麦の晩播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.
- Yemm, E.W., and Willis A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. Biochemical journal 57: 508-514.
- 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.

Effect of Topdressing Nitrogen Fertilizer at Spike Formation Stage on Yield and Ripening Physiology of Naked Barley : Eiichiro KAMADA¹⁾, Akihiko IKEJIRI²⁾, Tadashi TAKAHASHI¹⁾, Yousuke MAEOKA²⁾, Aki UCHIYAMA²⁾, Kazuhiko KANEKO²⁾, Masamichi NAKATSUKASA²⁾, Natsumi KANEOKA¹⁾, Hideki ARAKI¹⁾ and Ken-Ichi TANNO¹⁾ (¹⁾*Fac. of Agr., Yamaguchi Univ.* ²⁾*Yamaguchi Pref. Agriculture and Forestry General Technology Center*)

Abstract : We examined the effect of nitrogen (N) topdressing at the spike formation stage on yield and ripening physiology of the naked barley in Yamaguchi. N dressing was applied as basal dressing (4 or 6 g m⁻²) –topdressing at tillering stage (2 g m⁻²) –topdressing at spike formation stage (2, 4 or 6 g m⁻²) in five combinations (4-2-2, 4-2-4, 4-2-6, 6-2-2 and 6-2-4 g m⁻²) with a total N of 8, 10 or 12 g m⁻² in two seasons, 2010 / 2011 and 2011 / 2012. Yield and its components, crop growth rate (CGR), spike and leaf area index (S & LAI), net assimilation rate (NAR), and N contents of grains, spikes, leaves and stems were measured. Grain yield, spike number and biomass production were the highest in the 4-2-6 g m⁻² plot (total 12 g m⁻² N) in both seasons. However, topdressing at a later stage did not have a positive effect on grain yield when total N was 10 g m⁻², because the grain yields were lower in the 4-2-4 g m⁻² plot than in the 6-2-2 g m⁻² plot. CGR, S&LAI and NAR were also the highest in the 4-2-6 g m⁻² plot. The N content of whole plant was already highest at the full heading stage in the 4-2-6 g m⁻² plot, and the N uptakes during the grain filling period was also highest in the 4-2-6 g m⁻² plot in both seasons. CGR in the early grain filling period was lower in the 4-2-4 and 6-2-2 g m⁻² plots (total 10 g m⁻² N) than in the 4-2-2 g m⁻² plot, (total 8 g m⁻² N) due to lower NAR.

Key words : Growth analysis, Naked-barley, Nitrogen fertilization, Topdressing at spike formation stage, Toyonokaze, Yield, Yield components.
