

第1章 緒 論

第1節 コムギの種類とその用途

コムギは世界の三大穀物の一つであり、その栽培の歴史は古代メソポタミアに遡る。現在もっとも多く作付されている普通系コムギ (*Triticum aestivum* L.) は、約一万年前に栽培化され、8500～8000 年前にはヨーロッパに伝播し、4000～3000 年前にはシルクロードを伝わって中国西域へと広がったと考えられており (佐藤・加藤 2010)、日本でも弥生時代、紀元前 200 年頃の遺跡からコムギ種子が発掘されている。日本のコムギは、平安時代末期以降、水田裏作による栽培が始まり、鎌倉時代以降、その栽培は飛躍的に広がった (吉田 2001, 佐藤・加藤 2010)。現在でも、主要な主食作物として全国各地で栽培されている。

コムギが広く各地で栽培されている要因の一つとして、幼穂形成に必要な低温期間が品種により分化していることが挙げられる。元来、コムギは二年生作物であり、秋に播種、春に出穂・開花し、初夏に成熟期を迎える「秋まき栽培」が主流である。そのため、幼穂形成が寒さの厳しい冬期間に行われると、寒さにより枯死してしまう可能性があることから、一定期間の低温に遭遇しないと幼穂を形成しないよう改変が進んできた。わが国では古くからこの幼穂形成に必要な低温 (0～2℃) 日数の長短を播性という概念でとらえ、低温が必要ない (幼穂形成に必要な低温が 0 日) ものを播性 I、発芽後に長期間 (49 日以上) 低温が必要なものを播性 VII とした 7 階級に分類されている (榎本 1929, 柿崎・鈴木 1937)。北海道・東北などの寒冷地では、冬の気象条件が厳しいため「きたほなみ」、「ホクシン」といった播性の高い (播性 IV～VII, 秋まきコムギ) 品種が栽培され、比較的温暖な関東以西の西南暖地では「農林 61 号」などの播性の低い (播性 I～III, 春まきコムギ) 品種が栽培されている。一方、北海道では、「春よ恋」「はるきらり」などの、播性の低いコムギ品種を融雪後の春に播種し、夏に収穫する「春まき栽培」も行われている。

コムギは日本全国で栽培されているにも関わらず、その自給率はカロリーベース、生産額ベースともに 9%に過ぎない (農林水産省 2010)。コムギは、1960～1963 年には国内消費量の 34%を自給できていたが、1960 年代に頻発した冬損や雨害の多発に加え、麦価に対する政策の変更、高度成長による労働力不足等によ

り 1972 年には 5.3%と激減した (吉田 2001)。以降、海外からの輸入に依存する構造が続いている。ただし、コムギ全体の自給率は低いものの、用途別で見るとその自給率は大きく異なっている。コムギは、粉のタンパク質の量や質により、強力・準強力、中力、薄力に分けられる (長尾 1998) が、このうち、中力に分類される日本めん用 (うどん用) に使われるコムギについては、年間消費量 127 万 t のうち 60%は国内で生産されている。強いタンパク質を持つ強力・準強力のパン用小麦粉は、年間消費量 160 万 t のうち、その自給率はわずか 1%である (小田・勝田 2010)。コムギの輸入価格は、近年、気象の不安定化や投機マネーの流入などにより世界的にコムギ価格が高騰しており、また、国内においても食の安全・安心に対する関心が高まっていることから、コムギの自給率向上、特にパン用コムギの生産増が期待されている。

第2節 製パン性と種子貯蔵タンパク質の質と量

パン用コムギで最も重要視される項目の一つが、種子貯蔵タンパク質である。種子貯蔵タンパク質には 70～80 種類以上あることが分かっているが、そのうち製パン性に大きな影響を及ぼすのは、パンの焼成時に支柱の役割を果たすグルテンである。このグルテンは、弾性に優れたグルテニンとよく粘る性質を持ったグリアジンからなっており、この 2 つをこね合わせることで粘弾性に優れたグルテンが形成される (長尾 1998)。このうちグルテニンには、分子量の違いにより高分子グルテニン・サブユニット (80～160kDa)、低分子グルテニン・サブユニット (30～46 kDa) に分類され、これらのサブユニット構成により製パン性に差がつくことが明らかにされている (Payne ら 1989, Tabiki ら 2006, 池田 2010)。特に高分子量グルテニン・サブユニットの 5+10 (*GluD1-d*) は生地を強める効果が高く、製パン性を高めるのに重要な働きをしていることが確認されている (Payne ら 1981, 1987)。この高分子量グルテニン・サブユニット 5+10 は、近年のパン用コムギ品種「春よ恋」や「はるきらり」にも導入されている (吉村 2010)。同一品種では、タンパク質含有率が多いほどパン体積が大きくなることから、これらの品種のタンパク質含有率の向上は、国産コムギの品質向上の観点からもより良い効果が期

待できるといえる。加えて、タンパク質含有率は、水田・畑作経営所得安定対策によるコムギの品質評価ランク区分の評価項目の一つであるため、設定された基準値の範囲（パン用コムギの場合の基準値は 11.5～14.0 %）にする必要がある（北海道米麦改良協会 2004）。

第 3 節 春まきパン用コムギの品種と栽培法研究の経緯

パン用コムギの生産量は 2009 年産で約 67 万 t であるが、その約 60%は北海道で生産されている（農林水産省 2009）。北海道におけるパン用コムギの栽培は、1871 年に開拓史がアメリカ合衆国からコムギ種子を導入したことに始まる。以降、開拓期から第二次世界大戦まで、「札幌春小麦」（1905 年）、「マーチン 8 号」（1919 年）、「赤皮赤 1 号」、「ドーソン 1 号」（ともに 1923 年）、「農林 3 号」（1930 年）、「農林 8 号」（1933 年）、「農林 29 号」（1938 年）等の品種が栽培された（三分一 1998）。戦後、1961 年に道立農試北見支場（現 地方独立行政法人北海道立総合研究センター農業研究本部北見農業試験場）の農林省大麦育種指定試験地が、コムギ育種に課題変更となり、育種目標がパン用硬質コムギとされたこと、また、1981 年にはそれまでパン配合用及び強力めん用であったのが、日本めん用に変更されたことから、以降の北海道では、日本めん用品種は秋まきコムギ品種による秋まき栽培、パン用品種は春まきコムギ品種による春まき栽培が主流となった（北見農業試験場 2008）。

1965 年に、春まきパン用コムギ「ハルヒカリ」が北見農業試験場で育成された（北海道農政部 1965）。この品種は、製パン性に優れただけでなく、赤さび病抵抗性に優れ、また、強力小麦の銘柄指定を受けたため、価格的に有利に取り扱われた。そのため、一時は 9000ha を越える作付けがあったが、長稈で倒伏し、生産が安定しなかった（ホクレン農産部 2000、北見農業試験場 2008）。1986 年に、「ハルヒカリ」よりもパン用としての品質は劣るが短稈で耐倒伏性に優れる「ハルユタカ」（尾関ら 1988）が育成された。しかし、穂発芽に対する耐性が弱く、コムギ赤かび病にも弱いという欠点があった。そのため、登熟期間中に降雨が続いた 1995 年以降は、穂発芽と赤かび病が著しく発生し、パン用コムギ反収・生産量ともに低下した（北見農業試験場 2008）。2001 年から作付けが開始されたホクレン農業総合研究所育成の「春よ恋」は、「ハルユタカ」よりも収量・品質、穂発芽耐性、赤かび病

抵抗性が優れていたことから、現在の春まきパン用コムギの基幹品種となっている（大山ら 2002、柳沢・田引 2002、北海道米麦改良協会 2004）。さらに、2007 年にはパン用コムギ「はるきらり」が北海道優良品種となった（北海道農政部 2007b）。「はるきらり」は、「春よ恋」と比較し、赤かび病菌 *Fusarium graminearum* 等により産生されるかび毒、デオキシニバレノールの汚染が少なく、穂発芽を起こしにくいという長所を持つことから、「はるきらり」を導入することで、パン用コムギの安定生産に寄与できると考えられている（中道ら 2011）。

このように春まきパン用コムギは、新しい品種が開発されるたびに、各種障害耐性を向上させてきた。しかし、品種の能力は向上しているにもかかわらず、春まきパン用コムギの栽培面積は平成 21 年で 8500ha と全道のコムギ作付面積のわずか 7%に過ぎない（北海道農政事務所 2009）。作付けが伸びない要因として、秋まきコムギに比べ単位面積あたりの収量水準が低いことや、年次により収量や品質が一定していないこと等が挙げられる。この問題を解決するためには、新しい品種の開発だけでなく、多収で良品質な産物を安定して生産できるような栽培技術を構築する必要がある。

春まきパン用コムギの栽培技術を検討する場合、基肥窒素量と耐倒伏性、成熟期におけるタンパク質含有率の確保の 2 点が重要な検討項目となる。

基肥窒素は、増肥することで収量が向上するが、多すぎると過剰な窒素吸収を引き起こし、倒伏を発生させる要因となる。「ハルヒカリ」等の長稈品種が主流だった 1980 年代半ばまでは、倒伏防止のために畦幅 50～60cm の広幅栽培が主流であった。しかし、すでに倒伏さえ生じなければ密条播ほど多収であることが示されていた（北海道農政部 1961、Vogel ら 1963、高橋・後藤 1984）ことから、1986 年に短稈品種「ハルユタカ」が普及すると、密植栽培が主流となった。また、窒素施肥量も、多肥により軟弱となり倒伏しやすい「ハルヒカリ」では 3～6g^m⁻²であったが（北海道農政部 1984）、「ハルユタカ」では多肥にも耐えることから、目標収量 350～450 g^m⁻²の時の窒素施肥は 10 g^m⁻²とされた（北海道農政部 1987）。ただし、その際にも、窒素施肥量は土壌の窒素肥沃度および気象条件によって影響を受けるため、窒素肥沃度と倒伏の危険性を考慮し、減肥あるいは増肥が必要とされている。「春よ恋」は、「ハルユタカ」と同じ短稈品種であるが、耐倒伏性は「ハルユタカ」よりも劣る。そのため、「春

よ恋」の倒伏発生開始時の窒素含量が 15 g m^{-2} であったことから、成熟期にこの値を超えないよう洪積土と火山性土で 9 g m^{-2} 、沖積土で 6 g m^{-2} 、泥炭土 3 g m^{-2} と、土壌分類別に基肥窒素量が定められている（大山ら 2002）。

タンパク質含有率は吸収した窒素含量と収量、タンパク質含有率には密接な関係があり、一定の窒素含量の範囲では、収量とタンパク質含有率には負の関係が認められる（Matsunaka ら 1997, 渡辺 2001）。そのため、窒素施肥量に対して想定以上の多収となった場合、相対的にタンパク質含有率は低下する。適切なタンパク質含有率を確保するためには、目標とする成熟期窒素含量や収量に対応した適切な窒素施肥を行う必要がある。主に日本めん用として使用される秋まきコムギ「ホクシン」では、タンパク質含有率を確保するために必要な収量と成熟期窒素含量が明らかになっており、そこから窒素施肥量が算出されている。例えば、日本めん用として必要なタンパク質含有率 10 % を目標とした場合、収量 540 g m^{-2} の時に目標とされる成熟期窒素含量は $12 \sim 13 \text{ g m}^{-2}$ であり、必要な窒素施肥量は土性や土壌中の熱水抽出性窒素の多少に応じて、 $4 \sim 12 \text{ g m}^{-2}$ である（渡辺 2001）。しかし、春まきコムギでは、その指針は示されていない。

さらに秋まきコムギでは、生育途中でも生育の大小に応じて適切な窒素施肥を決定できるように植物体の生育・栄養診断が用いられる事例がある。児玉（1993）は、秋田県で「キタカミコムギ」を用いた栄養診断を策定している。この診断法では、まず幼穂 5 mm 期あるいは幼穂 10 mm 期に、草丈、茎数および完全展開葉の葉色値の調査を行う。次に、草丈と茎数を掛けあわせた値を生育量、生育量に完全展開葉の葉色値を掛け合わせた値を栄養診断値とし、その値により窒素追肥の要否および量を決定するものである。また、倉井ら（1998）は、栃木県の「農林 61 号」と「バンドウワセ」について、検討を行っている。それによると、「農林 61 号」は、茎立 20 日後の、「草丈×茎数」、「草丈×葉色値」および「茎数×葉色値」の値から、「バンドウワセ」は、茎立期の葉色値と「草丈×葉色値」の値から、窒素追肥の要否を決定している。

特に品質制御の側面から、穂揃期あるいは開花期の葉色値を用いて、直接タンパク質含有率の高低を推測し、窒素追肥の要否判定を行う方法も試みられてきた（Matsunaka ら 1997, 佐藤 2000, Lopez-Bellido ら 2004, 佐藤ら 2005, Arregui ら 2006, 建部ら 2006b）。

これらは、調査時期の測定葉葉色値が、植物体あるいは測定葉の窒素含有率を反映していること、さらに、測定時期の窒素含有率が、タンパク質含有率と高い正の相関関係があることを利用した方法である。佐藤（2000）は、埼玉県の「農林 61 号」では、6 葉期の植物体の窒素含有率が $4.8 \times 10^{-2} \text{ kg kg}^{-1}$ 以上（葉緑素計値で 49 以上）でタンパク質含有率 9.5 % 以上を確保できるとし、値がこれ以下の場合は窒素追肥を推奨している。北海道の秋まきコムギでは、「チホクコムギ」（Matsunaka ら 1997）、「ホクシン」（北海道農政部 1999）、「きたもえ」（佐藤ら 2005）、「キタノカオリ」（建部ら 2006b）など、葉色値からタンパク質含有率の高低を判断し、追肥要否を判断する基準が各品種について設けられている。しかし、生育診断に関するこれらの知見は秋まきコムギで得られたものであり、作型、品種の異なる春まきコムギにはそのまま応用することができない。

上記のような推定により、タンパク質含有率が低いと診断された場合には、更なる窒素追肥を行うことで、タンパク質含有率を向上させる必要がある。開花期以降の後期追肥の効果は秋まきコムギで多く報告されており、その主な効果は、タンパク質含有率の向上であり、さらに、千粒重や収量が増加する事例もある（Gooding and Davies 1992, 渡辺・下野 1992, Woolfolk ら 2002, 高山ら 2004, 建部ら 2006a, 岩淵ら 2007）。そのため、後期追肥は、タンパク質含有率の向上手段として有効とされ、タンパク質含有率が低くなると予想される場合に実施することが推奨されている（渡辺ら 1994, 佐藤ら 2005, 建部ら 2006b）。一方で、春まきコムギについても、Bly and Woodard（2003）や奥村（2004）が、開花期以降の葉面散布を行った報告があり、秋まきコムギと同様に、タンパク質含有率が増加している。したがって、適正な後期追肥は、タンパク質含有率を適正化させることが可能と考えられる。ただし、過剰な後期追肥は、逆にタンパク質含有率を高めすぎ、基準値の上限を超過させる要因となる可能性があることから、前もって後期追肥の効果と効果の変動要因について正確に把握する必要がある。

近年、新しいパン用コムギ品種の育成が盛んに行われ、前述した「春よ恋」、「はるきらり」以外にも、「ゆきちから」、「キタノカオリ」、「ミナミノカオリ」、「ユメシホウ」等、多くのパン用コムギが開発されている（吉川ら 2003, 田引ら 2003, 九州沖縄農研 2004, 乙部ら 2008）。これに伴い新しいコムギ品種を導入する地域が増加していると考えられる。新品

種の導入にあたっては、各地域の栽培環境に応じて、その品種の特性にあった肥培管理を行うことが重要である。例えば、秋まき栽培の日本めん用コムギ「きたほなみ」は、従来の基幹品種である「ホクシン」と比べ、110%程度多収となる。多収ではあるが、穂数が多くなりやすく倒伏を生じる原因となる可能性があるため、「ホクシン」よりも播種量を減らし、播種期を遅らせることで茎数の増えすぎを抑えるよう指導されている（須田ら 2007）。2007 年に開発され、北海道内で普及が進められている「はるきらり」は「春よ恋」よりも多収だが、タンパク質含有率は低い傾向がある（北海道農政部 2007b, 中道ら 2011）。一方で、「はるきらり」の耐倒伏性は「春よ恋」よりも強いことから、基肥窒素量の増肥により、収量やタンパク質含有率の向上を図れると考えられるが、具体的な数値は明らかにされていない。さらに、生育後期の窒素追肥によるタンパク質含有率向上効果について検討が必要である。

第 4 節 本研究の目的

以上のことから、わが国の春まきパン用コムギの生産量の向上と品質の安定化のためには、秋まきコムギ同様に栽培技術を高度化させる必要がある。そこで、本研究では、まず、北海道北部地域において、現在の基幹品種である「春よ恋」を用いて、タンパク質含有率管理技術を構築した。次に、「春よ恋」で得られた知見を踏まえ、異なる品種や栽培環境でも多収かつ安定したタンパク質含有率となるような栽培法について検討した。以下の項目について試験を行い、それぞれの結果を第 2 章、第 3 章および第 4 章で論述した。

- 1) 春まきコムギの生育診断
- 2) 栽培技術の高度化による品質安定化手法の開発
- 3) 品種の生育特性に応じた栽培指針の構築

第 5 章ではこれら一連の試験結果から、春まきパン用コムギに対し効果的な栽培方法を検討し今後の課題と展望について論議した。

第2章 春まきコムギの生育診断

第1節 穂揃期における生育診断技術の開発

国産コムギは2000年度から民間流通へと移行し、品質評価基準にしたがって価格差が設定される品質取引が行われることとなった。これを受けて、パン用コムギのタンパク質含有率について、品質評価基準値が設定された（北海道米麦改良協会2004）。品質評価基準の基準値は11.5～14.0%であり、この基準値を外れると、ランク区分が低下し農家収入の減少を招く恐れがある。

タンパク質含有率はコムギの品質上、重要な項目である。そのため、秋まきコムギでは、従来から生育途中の葉色診断によりタンパク質含有率の制御が行われている（渡辺ら1994, Matsunakaら1997, 佐藤2000, 佐藤ら2005, 建部ら2006b）。一方、春まきコムギではパン用の品質を左右するタンパク含有率を制御するための診断技術は確立されていない。

そこで本節では、北海道のパン用春まきコムギ作付面積の約3割を占める北海道北部地域において、現在の主要なパン用春まきコムギ品種である「春よ恋」の穂揃期の生育診断によるタンパク質含有率推定法について検討した。まず、成熟期のタンパク質含有率と植物体窒素含量、および収量との関係を精査し、次いで、各形質と穂揃期形態との関係を明らかにし、タンパク質含有率の推定法を確立した。

材料と方法

試験は北海道立上川農業試験場（北海道上川郡比布町、以下、上川農試）の圃場（普通畑、沖積土）と、士別市農家の圃場（転作畑、沖積土）で2003～2006年の4ヵ年、および美瑛町農家の圃場（普通畑、洪積土）で2003～2005年の3ヵ年、それぞれ実施した。供試品種はいずれも「春よ恋」である。播種期、前作および供試土壌の化学性は第2-1表に示した。試験は、3反復（士別市および美瑛町は2反復）で行い、1区9.6m²で、畦長4.0m、畦幅30cm、畦数8畦の条播とし、収穫面積は4畦分の4.8m²で行った。播種量は340粒/m²とした。窒素肥料には硫酸を用いた。多様な窒素栄養条件を作出するため、基肥窒素施肥量を0, 6, 9, 12, 15 g/m²の合計5水準とした。ただし、2005年と2006年の上川農試ではさらに18 g/m²を設置し、2006年の上川農試および士別市では6 g/m²を設置していない。窒素以外の施肥は各区共通とし、P₂O₅およびK₂Oは各々16.2 g/m²および10.8 g/m²を単肥（重過リン酸石灰および硫酸カリ）で基肥として施用した。

生育および収量調査は、「小麦調査基準 第1版」（農業研究センター1986）に準拠した。穂揃期の葉色値の測定は、葉緑素計SPAD502（ミノルタ社製）を用い、止葉直下葉（展開第2葉）の葉身中央部を、中肋を避けて1区20葉を測定して平均値を求めた。タンパ

第2-1表 供試圃場の前作物、播種期と土壌化学性。

試験場所	土壌型	試験年次 (年)	前作物	播種期 (月日)	pH (H ₂ O)	有効態 リン酸 (mg kg ⁻¹)	交換性塩基 (mg kg ⁻¹)			熱水抽出 性窒素 (mg kg ⁻¹)
							K ₂ O	MgO	CaO	
上川農試	褐色 低地土	2003-4	アズキ	4.18,4.18	6.0	277	301	399	1827	43
		2005-6	アズキ	4.27,5.4	5.2	329	429	493	2727	29
美瑛町	褐色 森林土	2003	テンサイ	4.18	5.4	200	218	142	637	30
		2004	アズキ	4.16	5.8	167	264	203	711	43
		2005	バレイショ	4.26	5.5	285	270	186	817	37
士別市	褐色 低地土	2003	テンサイ	4.25	5.6	439	369	294	1201	49
		2004	ニンジン	4.25	5.9	439	519	535	1497	64
		2005-6	ニンジン,ダイズ	4.27,5.8	5.8	529	585	626	2972	69

土壌調査は2003年の美瑛町(深さ0～17cm)、士別市(同0～14cm)を除き、深さ0～20 cmで行った。

ク質含有率は、原粒のままインフラテック 1241 グレイアナライザー（フォス・ジャパン株式会社）で測定し、13.5 %水分換算（農林水産技術会議事務局 1968）で示した。なお、用いた検量線のタンパク質含有率のタンパク係数は5.7とした（農林水産技術会議事務局 1968）。穂揃期の植物体地上部の窒素濃度および窒素含量は、乾燥後粉碎したものをケルダール法により測定した。成熟期窒素含量の算出は佐藤・土屋（2002）の方法で行った。なお、2003年は穂揃期の調査を行わなかった。統計解析は、統計解析ソフト J M P Ver. 7.0.1（S A S Institute Inc.）を用いて行った。

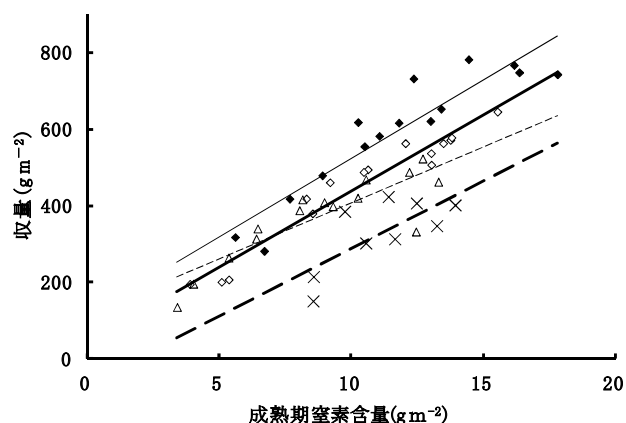
結 果

1. 成熟期窒素含量と収量およびタンパク質含有率との関係

第 2-1 図および第 2-2 図に、試験年次別の植物体成熟期窒素含量（以下、成熟期窒素含量）と収量およびタンパク質含有率との関係を示した。窒素含量は 3.9~20.8 g m^{-2} 、収量は 111~782 g m^{-2} の大きな変異があった。窒素含量と収量には、各年次で有意な

正の相関関係が認められたが、年次により同一窒素含量であっても収量は異なった。また、タンパク質含有率も 8.7~14.4 %に広く分布していた。窒素含量とタンパク質含有率には、2003 年を除き有意な正の相関関係が認められたが、収量と同様に、年次により同一窒素含量であってもタンパク質含有率は異なった。

そこで、第 2-3 図に、年次を込みにした成熟期における植物体の窒素含量と、収量およびタンパク質含有率との関係を示した。全データでは、収量とタンパク質含有率には有意な相関関係が認められなかった。窒素含量を一定の水準毎に区分し、再度この両者の関係を検討した。区分の幅は、既往の報告（渡辺ら 2001）と同様に、2 g m^{-2} 毎とした。その結果、8 g m^{-2} 以上 14 g m^{-2} 未満の窒素含量では、タンパク質含有率と収量の間にはきわめて高い負の相関関係が認められた。すなわち、成熟期の窒素含量が 8 g m^{-2} 以上 10 g m^{-2} 未満では $r = -0.937$ ($P < 0.01$)、10 g m^{-2} 以上 12 g m^{-2} 未満では $r = -0.871$ ($P < 0.01$)、さらに 12 g m^{-2} 以上 14 g m^{-2} 未満では $r = -0.882$ ($P < 0.01$) であった。



第2-1図 各調査年次における成熟期窒素含量と収量の関係。

◆:2003年, ◇:2004年, △:2005年, ×:2006年。

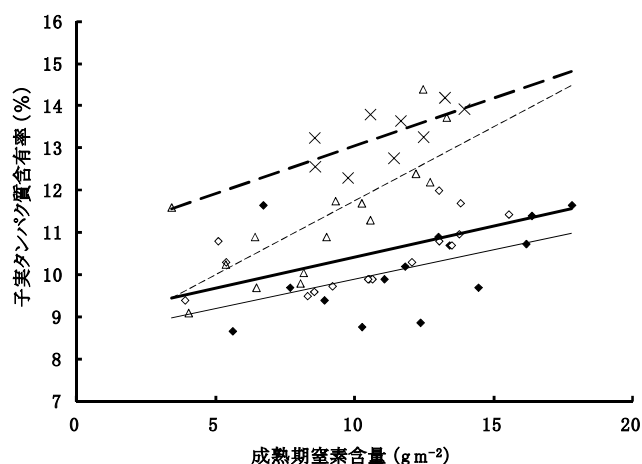
実線(—):2003年。回帰式 $y = 40.927x + 114.1$, $r = 0.926^{**}$, ($n = 15$)。

太線(—):2004年。回帰式 $y = 39.612x + 41.8$, $r = 0.971^{**}$, ($n = 15$)。

実線破線(---):2005年。回帰式 $y = 29.346x + 113.3$, $r = 0.862^{**}$, ($n = 15$)。

太線破線(- -):2006年。回帰式 $y = 35.226x - 64.2$, $r = 0.731^*$, ($n = 9$)。

*, ** ; 5 %, 1 %水準でそれぞれ有意。



第2-2図 各調査年次における成熟期窒素含量と子実タンパク質含有率の関係 ($n=54$)。

◆:2003年, ◇:2004年, △:2005年, ×:2006年。

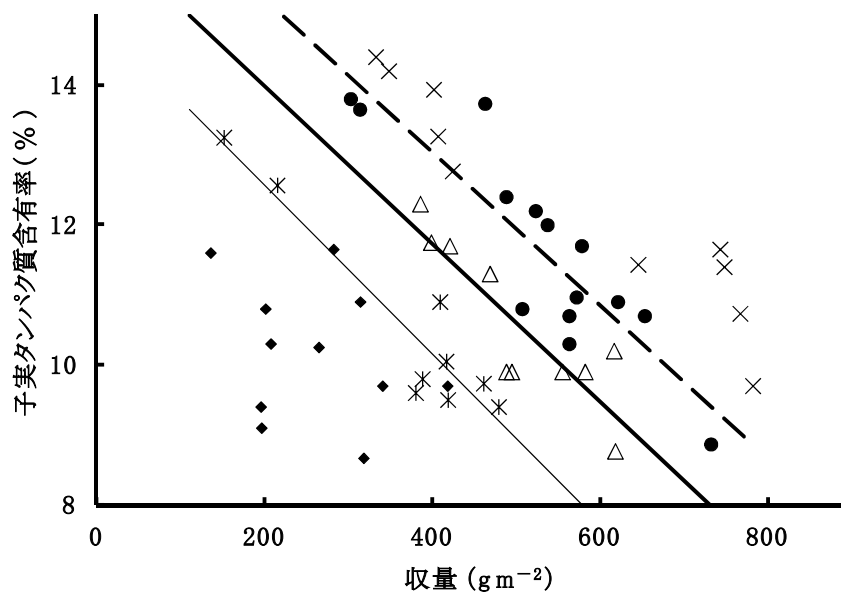
実線(—):2003年。回帰式 $y = 0.140x + 8.51$, $r = 0.501$, ($n = 15$)。

太線(—):2004年。回帰式 $y = 0.147x + 8.94$, $r = 0.645^*$, ($n = 15$)。

実線破線(---):2005年。回帰式 $y = 0.348x + 8.26$, $r = 0.750^{**}$, ($n = 15$)。

太線破線(- -):2006年。回帰式 $y = 0.226x + 10.79$, $r = 0.670^*$, ($n = 9$)。

*, ** ; 5 %, 1 %水準でそれぞれ有意。



第2-3図 全年次の成熟期における窒素含量水準別の収量と子実タンパク質含有率の関係.

◆: 8 g m^{-2} 未満, *: $8-10 \text{ g m}^{-2}$, Δ : $10-12 \text{ g m}^{-2}$, ●: $12-14 \text{ g m}^{-2}$, ×: 14 g m^{-2} より大.

実線(—): $8-10 \text{ g m}^{-2}$. 回帰式 $y = -0.012x + 14.98$, $r = -0.937^{**}$, ($n = 9$).

太線(—): $10-12 \text{ g m}^{-2}$. 回帰式 $y = -0.011x + 16.22$, $r = -0.871^{**}$, ($n = 11$).

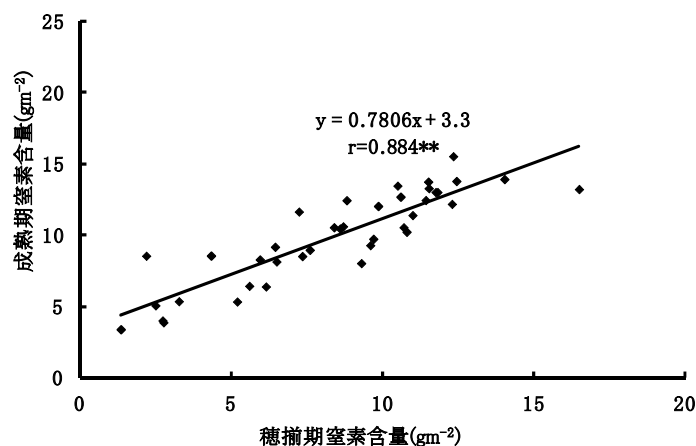
破線(- -): $12-14 \text{ g m}^{-2}$. 回帰式 $y = -0.011x + 17.42$, $r = -0.882^{**}$, ($n = 13$).

** ; 1 %水準で有意.

2. 成熟期の窒素含量, 収量, タンパク質含有率の予測

穂揃期の生育(草丈, 展開第2葉葉色値, 穂数, それらの積, および窒素含量)と成熟期の窒素含量, 収量およびタンパク質含有率との関連を検討した(第2-4図, 第2-2表). 成熟期窒素含量と穂揃期窒素含量の間には, 高い相関関係($r = 0.884$, $P < 0.01$)が認められ, 穂揃期窒素含量と「穂揃期の草丈と展開第2葉葉色値の積(以下「草丈×葉色値」)」の間にも同

様に高い相関関係($r = 0.878$, $P < 0.01$)が認められた. そのため, 成熟期窒素含量と「草丈×葉色値」の間にも高い相関関係が得られた($r = 0.837$, $P < 0.01$). 収量との関係では, 「草丈×葉色値」に更に「穂数」を乗じた値(以下「草丈×葉色値×穂数」との間で, もっとも高い相関関係が得られた($r = 0.825$, $P < 0.01$). 一方, タンパク質含有率と高い相関関係を示す穂揃期形質の組み合わせはなかった.



第2-4図 全年次における穂揃期窒素含量と成熟期窒素含量の関係($n=39$).

** ; 1 %水準で有意.

第2-2表 穂揃期の調査形質と成熟期の収量, 子実タンパク質含有率および窒素含量との関係 (2003~2006年).

項目	n	草丈	展開第2葉葉色値	穂数	草丈× 展開第2葉葉色値	草丈×穂数	草丈×展開第2葉 葉色値×穂数
穂揃期窒素含量 (g m^{-2})	40	0.769**	0.771**	0.421**	0.878**	0.594	0.695**
収量 (g m^{-2})	55	0.716**	0.733**	0.656**	0.805**	0.758**	0.825**
タンパク質含有率 (%)	55	0.088	0.103	-0.327*	0.119	-0.216	-0.146
成熟期窒素含量 (g m^{-2})	54	0.785**	0.679**	0.345*	0.837**	0.532**	0.624**

*, ** ; 5 %, 1 %水準でそれぞれ有意.

成熟期の窒素含量と「草丈×葉色値」および収量と「草丈×葉色値×穂数」の関係を、それぞれ第2-5図および第2-6図に示した. 第2-5図において、ムギキモグリバエの多発生により主茎が著しく食害された試験区 (2006年士別市) と、登熟期間中期の降雨により倒伏角度 90° で全面的な倒伏を生じた試験区 (2006年の上川農試の9, 12, 15, 18 g m^{-2} 区) を別プロット (○印) で示した. これらの区 (計8区) は、明らかに回帰直線から外れていた. そのため、第2-5図の回帰式および以降の図と回帰式からはこれらの区を除いた. 第2-6図では、「草丈×葉色値×穂数」の桁数が大きくなることから、便宜上10000で除算した値で示した. 第2-5図の窒素含量における「草丈×葉色値」に対する回帰直線からの標準誤差 (Se) は $\pm 1.75 \text{ g m}^{-2}$, 同様に第2-6図の収量においては、 $Se = \pm 99.2 \text{ g m}^{-2}$ であった.

穂揃期の展開第2葉葉色値とタンパク質含有率の間には、有意な相関が認められなかった (第2-2表). この2形質について図示すると、いずれの年次も、葉色値が35より高い場合には正の相関が認められた (第2-7図, 2003年: $r = 0.660$, $P < 0.05$, $n = 12$. 2004年: $r = 0.616$, $P < 0.05$, $n = 12$. 2005年: $r = 0.558$, $P < 0.05$, $n = 14$. 2006年: $r = 0.654$, ns. $n = 7$). しかし、葉色値が35以下を含むと無相関となった (2003年: $r = 0.244$, ns. $n = 15$. 2004年: $r = 0.421$, ns. $n = 15$. 2005年: $r = 0.133$, ns. $n = 16$. 2006年: $r = 0.485$, ns. $n = 8$). ただし、葉色値35以上に限った場合でも、年次により葉色値が指示するタンパク質含有率が異なっていた.

葉色値に影響する穂揃期の植物体地上部窒素濃度 (以下、穂揃期窒素濃度) とタンパク質含有率との間では、各年次で比較的高い有意な相関関係が得られ (2004年 $r = 0.736$ ($P < 0.01$), 2005年 $r = 0.621$ ($P < 0.01$), 2006年 $r = 0.843$ ($P < 0.01$)), 全体年での相関も高かった ($r = 0.768$, $P < 0.01$). また、穂揃期窒素濃度と展開第2葉葉色値の間には、有

意な正の曲線関係が認められた (第2-8図). ただし、葉色値40、穂揃期窒素濃度1.7%以上では、穂揃期窒素濃度の上昇に伴い、葉色値も同様に高くなったが、逆に、穂揃期窒素濃度が低い場合、傾きは小さくなった.

3. 重回帰による成熟期タンパク質含有率の予測

穂揃期の形質からタンパク質含有率を直接予測できないか検討するために、重回帰分析を行った.

(1) 穂揃期の草丈、展開第2葉葉色値、穂数の3つの形質が独立変数と見なせるかどうか確認するために、それぞれの形質に対し相関係数、および2形質以外の影響を取り除いた偏相関係数を算出した (第2-3表, 第2-4表). また、これら3形質に対して、それぞれ重回帰分析を行った. おのおのに対する重回帰式は以下のとおりであった.

(草丈) = $1.0452 \times (\text{展開第2葉葉色値}) + 0.02178 \times (\text{穂数}) + 17.7962$ (重相関係数 0.7014)

(穂数) = $4.0865 \times (\text{展開第2葉葉色値}) + 6.3136 \times (\text{草丈}) - 121.115$ (重相関係数 0.5378)

(展開第2葉葉色値) = $0.2835 \times (\text{草丈}) + 0.0038 \times (\text{穂数}) + 18.3632$ (重相関係数 0.6482)

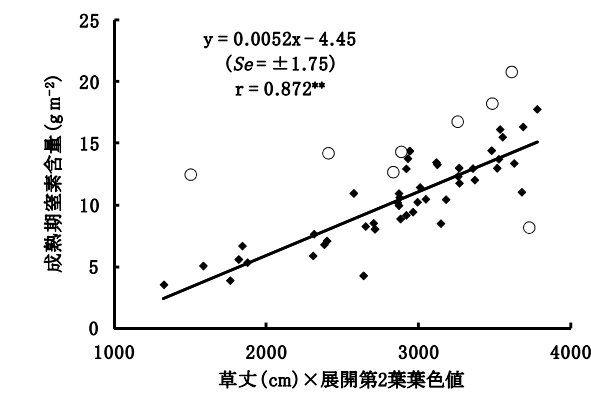
「草丈」および「展開第2葉葉色値」の間の相関係数および偏相関係数がやや高く、それらの重相関係数も高かった. このことから、少なくとも「草丈と展開第2葉葉色値」間で多重共線性が発生していると判断し、以降の重回帰分析は、「草丈と穂数」、「穂数と展開第2葉葉色値」の2組合せで行った.

(2) 目的変数をタンパク質含有率とした時の重回帰分析を「草丈と穂数」、「草丈と展開第2葉葉色値」について行った.

説明変数を「草丈と穂数」、「草丈と展開第2葉葉色値」にした場合の重回帰式は以下の通りであった. (タンパク質含有率) = $0.00457 \times (\text{草丈}) - 0.00061 \times (\text{穂数}) + 10.703$ (重相関係数 0.0552)

$$(\text{タンパク質含有率}) = 0.0493 \times (\text{葉色値}) - 0.00115 \times (\text{穂数}) + 9.3124 \quad (\text{重相関係数 } 0.2011)$$

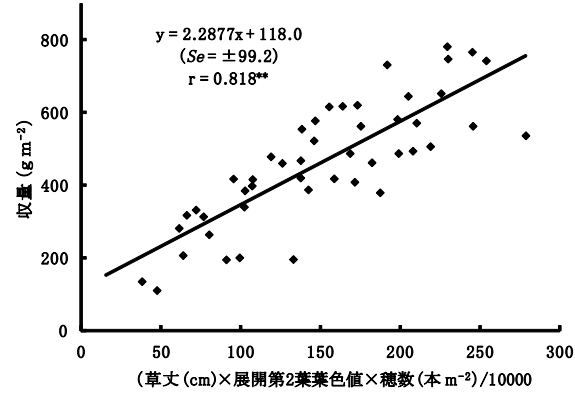
また、各形質に重み付けした重回帰分析結果は、重相関係数のみ第2-5表に示した。いずれの重回帰分析においても、重相関係数は非常に低かった。



第2-5図 全年次における穂揃期の「草丈×展開第2葉葉色値」と成熟期窒素含量の関係。
○:2006年士別市、上川農試の虫害、倒伏区 (n = 8)。回帰式からは除いた。

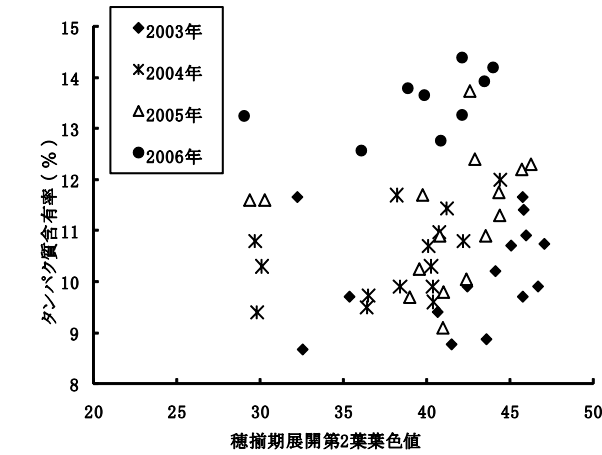
◆:上記以外の全試験区 (n = 46)。

** ; 1 %水準で有意。

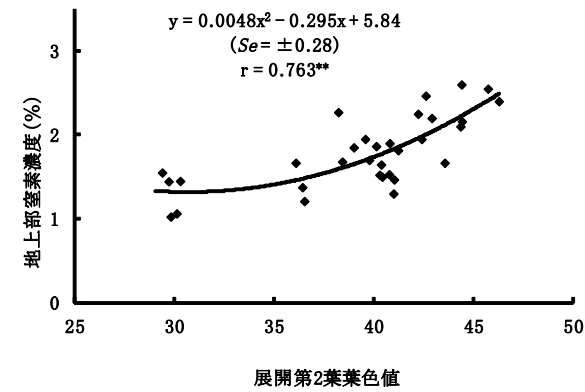


第2-6図 全年次における穂揃期の「草丈×展開第2葉葉色値×穂数」と収量の関係 (n = 47)。

** ; 1 %水準で有意。



第2-7図 穂揃期の展開第2葉葉色値と成熟期の子実タンパク質含有率の関係。



第2-8図 全年次における穂揃期の植物体地上部窒素濃度と展開第2葉葉色値の関係 (n = 32)。

** ; 1 %水準で有意。

第2-3表 穂揃期の調査形質同士の相関係数(2003～2006年)。

形質	草丈	展開第2葉葉色値	穂数
草丈	1		
展開第2葉葉色値	0.4195	1	
穂数	0.6411	0.5272	1

第2-4表 穂揃期の調査形質同士の偏相関係数(2003～2006年)

形質	草丈	展開第2葉葉色値	穂数
草丈		0.5444	0.3707
展開第2葉葉色値	0.5444		0.1250
穂数	0.3707	0.125	

第2-5表 穂揃期の調査形質同士の重相関係数(2003～2006年).

説明変数	重み	重相関係数
草丈と穂数	草丈	0.0622
	穂数	0.0362
穂数と展開第2葉葉色値	穂数	0.1974
	葉色値	0.2063

考 察

パン用コムギの場合、タンパク質含有率のランク区分基準における基準値は11.5～14.0 %であり、この範囲内に収める必要がある。本報告では、まず、成熟期窒素含量、収量、タンパク質含有率の関係を明確にし、目標とするタンパク質含有率を得るために必要な窒素含量と収量の関係を明らかにした。第2-3図に示したとおり、成熟期窒素含量を 2 g m^{-2} 毎に区切った場合、タンパク質含有率と収量との間には高い負の相関が認められた。これは、子実に蓄積するタンパク質の量は吸収される窒素量によってほぼ決定される(建部ら 2006a) ため、窒素含量の変異が小さい場合には、収量の増加に伴い、相対的にタンパク質含有率が低下することによると推察される。同様の結果が秋まきコムギでも報告されている(渡辺 2001, 佐藤ら 2008)。したがって、第2-3図に示した結果から、穂揃期に成熟期窒素含量と収量の2点が推測できれば、タンパク質含有率を予測できることを示唆している。なお、重回帰分析により、穂揃期の3つの形質からタンパク質含有率の直接予測が可能か検討したものの、どの分析結果でも、重相関係数は非常に低かった。そのため、タンパク質含有率予測のための推定式としては使用できないと結論づけられた。

次に、穂揃期の3つの形質(草丈、穂数、展開第2葉葉色値)から、成熟期窒素含量、収量、タンパク質含有率の予測が可能か検討を行った。成熟期窒素含量と穂揃期の展開第2葉葉色値に草丈を乗じた値(「草丈×葉色値」)は、いずれも穂揃期窒素含量との相関が高く、成熟期窒素含量と「草丈×葉色値」との相関も高かった(第2-2表, 第2-4図, 第2-5図)。成熟期窒素含量は、穂揃期の草丈および葉色値のデータを用いて比較的高い精度で推定できると考えられた。ただし、ムギキモグリバエによる虫害や倒伏の認められた試験区は、回帰直線から大きく外れていた(第2-5図)。

ムギキモグリバエによる虫害は遅れ穂や未出穂茎を増加させ(中尾ら 2007)、一方、著しい倒伏は養分の転流を阻害し、登熟不良を引き起こす。したがって、これらの試験区の登熟条件は通常の生育とは異なっていたため、上記で示した方法から成熟期窒素含量を推定することが難しかったと考えられる。

収量は、「草丈×葉色値」に穂数を乗じた値との相関が高かった(第2-2表)。しかし、回帰直線の標準誤差が $\pm 99.2 \text{ g m}^{-2}$ であり(第2-6図)、収量の推定には誤差が大きいと判断された。収量は出穂以降の登熟環境に大きく作用され(Triboi and Triboi-Blondel 2002, 井上ら 2005)、より遅い時期に予測するほうが精度は高まる(Le Bailら 2005)。精度の高い予測を行うには、本試験で調査した穂揃期では時期が早かったと思われる。しかし、営農集団等における実用場面を想定した場合、穂揃期でも収量の高低をある程度予測することが可能である。すなわち、地区や圃場の収量水準は、品種や栽培法の転換や障害の発生がない限り、著しく変動することは少ない。したがって、第2-1図、あるいは第2-6図を基にしながら、前年までの収量実績、播種期の早晩や前作等の栽培条件を検討することによって、穂揃期における収量予測の精度を高めることができると考えられる。

タンパク質含有率は、穂揃期に高い相関関係を示す形質はなかった(第2-2表)。そのため、秋まきコムギで行われている方法、すなわち、穂揃期あるいは開花期の葉色値を用いて直接タンパク質含有率の高低を推測する方法は、適応できなかった。既往の報告(Matsunakaら 1997, Lopez-Bellidoら 2004)と同様に、タンパク質含有率と穂揃期窒素濃度、および穂揃期の葉色値と穂揃期窒素濃度の間にはそれぞれ有意な相関が認められた(第2-8図)が、穂揃期窒素濃度が1.7 %以下と1.7 %以上の時で、穂揃期窒素濃度と葉色値の対応関係が異なったことから、葉色値と子

実タンパク質に有意な相関関係が認められなかったものと考えられる。

本試験と同様に、パン用秋まきコムギ「キタノカオリ」において、登熟期間が長くなり、特に多収となった年に、穂揃期の葉色値が例年と同じであったのにタンパク質含有率が低くなり、葉色値からタンパク質含有率が推定できなかったことが報告されている(建部ら 2006a)。このことは、第 2-7 図からも明らかとなっており、葉色値が同一であっても、生育環境、特に登熟条件により、葉色値とタンパク質含有率の関係が変動することを示している。今回供試したパン用春まきコムギ「春よ恋」の場合、登熟日数は 34 日(2005 年上川農試、窒素施肥量 9 g m^{-2} 区)～48 日(2003 年美瑛町、窒素施肥量 9 g m^{-2} 区)と最大で 14 日の開きがあった(データ未掲)。したがって、本試験では年次や場所によって登熟環境が大きく変動したことも、葉色値のみによるタンパク質含有率の推定を困難にした要因と考えられる。

上記の結果に基づき、パン用春まきコムギ「春よ恋」について、穂揃期の草丈、展開第 2 葉葉色値および穂数の値からタンパク質含有率適正化のための穂揃期の生育診断法を次の通り策定した。まず、「草丈×葉色値」から成熟期窒素含量を推定する(第 2-5 図)。次に、「草丈×葉色値×穂数」から収量を予測し(第 2-6 図)、昨年までの収量実績や当年の播種期・出穂期も勘案して収量補正を行い、最後に、収量と窒素含量との関係からタンパク質含有率を推定する(第 2-3 図)。タンパク質含有率が適正な範囲に達しない場合には、窒素追肥を行う。ただし、成熟期の窒素含量が 8 g m^{-2} 未満と少ない場合には、収量とタンパク質含有率の間に有意な相関関係は認められなかった(第 2-6 図。 $r = -0.286$, ns)。したがって、本法の適用には、正常な生育で、かつ、成熟期窒素含量 8 g m^{-2} 以上 14 g m^{-2} 未満の範囲であることが必要である。

第2節 タンパク質含有率推定に適した測定葉位、測定時期の検討

秋まきコムギにおいては、開花期の展開第2葉葉色値から子実タンパク質含有率を直接推定する方法が開発されている。しかし、前節で示したとおり、春まきパン用コムギ「春よ恋」では穂揃期の展開第2葉葉色値と子実タンパク質含有率には全く相関がなく、秋まきコムギで使われている方法は適応できなかった（第2-2表、第2-7図）。ただし、葉色による生育診断は、展開第2葉だけでなく展開第1葉（止葉）を用いた事例や、穂揃期よりも遅い時期に調査を行う事例がある（Lopez-Bellidoら2004、建部ら2006b）が、前節では、穂揃期の展開第2葉についての調査であった。また、葉色値のみによる推定は、草丈や穂数といった他の調査項目を用いるより、明らかに簡便である。

本節では、葉色値によるタンパク質含有率の推定法について、対象とする葉位を増やすとともに穂揃期で生育、特に葉色に差を生じさせるために、時期別に被覆処理を行うことで葉色値の異なる生育状況を作成し、より詳細に検討した。また、これまでの葉色値を用いた生育診断は、測定葉の葉身窒素濃度と葉色値に高い相関関係が得られることを前提としている（Matsunakaら1997、建部2009a、2009b）が、前節では、穂揃期植物体窒素濃度と葉色値の関係は調査したもの、測定葉の葉身窒素濃度との関係は調査していなかった。そのため、測定葉の葉身窒素濃度と葉色値の関係についても検討を加えた。

材料と方法

試験は北海道立上川農業試験場（北海道上川郡比布町、以下、上川農試）の圃場（普通畑、沖積土）で2008年に実施した。供試品種は「春よ恋」である。播種は4月15日に行った。前作はダイズである。試験は、2反復で行い、1区9.6m²で、畦長4.0m、畦幅60cm、畦数4畦の条播とし、播種量は340粒/m²とした。基肥施肥量は窒素9g/m²、リン酸16.2g/m²、カリウム10.8g/m²とした。穂揃期で生育、特に葉色に差を生じさせるために、時期別に被覆処理を行った。被覆資材は、不織布（パオパオ80）を2重にして用い、薬剤防除の時のみ開閉を行った。被覆処理期間および各試験区の出穂期、開花期、成熟期は、第2-6表に示した。生育および収量調査は、「小麦調査基準 第1版」（農業研究センター1986）に準拠した。各部位の窒素濃度および窒素吸収量は、1区あたり0.3m²を6月18日（出穂期～出穂揃期）、6月25日（開花期～開花揃期）、7月9日（登熟中期）、7月25日（成熟期）、8月1日（収穫時）の5回サンプリングし、それらを秤、展開第1葉（止葉）、展開第2葉（止葉直下1葉）、展開第3葉（止葉直下2葉）、展開第4葉（止葉直下3葉）に分け、乾燥後粉碎したものを全自動元素分析装置 vario EL III（ドイツ・エレメンタル社）により窒素濃度を測定した。窒素吸収量は、測定された窒素濃度に乾物重を乗じて算出した。タンパク質含有率は、測定された原粒の窒素濃度にタンパク質換算係数5.7を乗じて算出した。葉色値の測定は、葉緑素計 SPAD502（ミノルタ社製）を用い、止葉と止葉直下葉（展開第2葉）の葉身中央部を、6月18日、6月25日、7月9日の3回、中肋を避けて1区20葉を測定した平均値を各区の値として使用した。

第2-6表 被覆処理期間と生育期節（2008年、2反復の平均）。

処理	被覆時期	被覆時期		出穂期 (月日)	開花期 (月日)	成熟期 (月日)
		開始	終了			
無処理	被覆処理なし	—	—	6月18日	6月25日	7月29日
処理1	出芽期から止葉期まで	4月25日	6月5日	6月12日	6月21日	7月26日
処理2	出芽期から幼穂形成期まで	4月25日	5月19日	6月14日	6月23日	7月26日
処理3	幼穂形成期から止葉期まで	5月26日	6月5日	6月17日	6月25日	7月27日

結 果

穂揃期に葉色値に差が生じるよう播種後の各時期に被覆処理を行った結果、6月18日展開第1葉の最大値と最小値の間には6.3、同様に7月9日展開第2葉で21.1の差異が認められ（第2-7表）、測定時期、葉位で葉色値に大きな変異のあることが分かった。成熟期の子実タンパク質含有率は、10.6～13.3%に分布していた（第2-9図、第2-10図）。

稈および葉位別の登熟期間における窒素濃度の推移を第2-11図に示す。各葉位の窒素濃度は、最上位葉である展開第1葉でも最も高く、葉位が低下するにつれ低くなった。登熟が進むにつれ、いずれの部位も窒素濃度は低下し、7月25日以降は全ての葉位で窒素濃度が2.0%を下回り、葉位間の差は判然としなくなった。稈の窒素濃度は登熟期間を通して葉身の窒素濃度より低く、6月18日で1.5%、7月9日以降は1%以下となった。

成熟期子実窒素濃度と各測定日の部位別窒素濃度との相関係数を第2-8表に示す。展開第1葉、展開第2葉はいずれの測定日においても有意な正の相関が得られ、登熟後半の7月25日にもっとも高くなった。一方、展開第3葉、展開第4葉でも6月18日の展開第3葉、7月2日の展開第4葉を除き、有意な相関は得られたが、測定日により有意とならなかった。稈の

窒素濃度は7月9日を除き有意な相関は得られず、また、葉身窒素濃度と異なり負の相関であった。

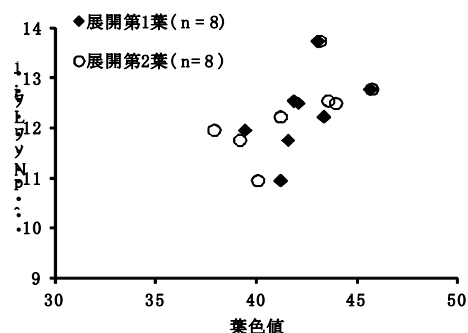
展開第1葉、展開第2葉について、6月18日、6月25日、7月9日の3測定日の葉色値と成熟期の子実タンパク質含有率の関係を調査した（第2-9図、第2-10図）。6月18日の測定では、展開第1葉と展開第2葉の葉色値はほぼ同じ分布を示し、タンパク質含有率10.8～13.7%を指示する葉色値は40～45であった

（展開第1葉； $r = 0.509$, ns, 展開第2葉； $r = 0.641$, ns）。6月25日の測定では、展開第2葉の葉色値が比較的高い相関を示し、タンパク質含有率10.8～13.7%を指示する葉色値は32～43と幅広く分布した（ $r = 0.511$, ns）。6月25日、7月9日の測定では、展開第1葉の葉色値とタンパク質含有率に明確な関係は得られなかった（6月25日； $r = 0.490$, ns, 7月9日； $r = 0.271$, ns）。

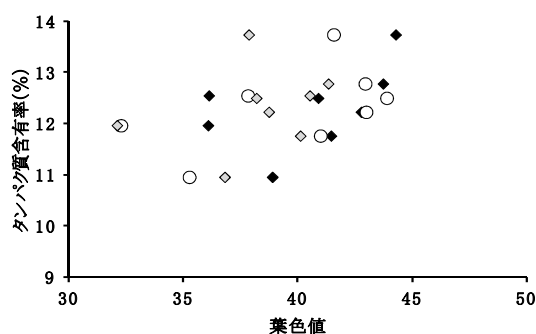
登熟期間中の展開第1葉と展開第2葉の葉色値と葉身窒素濃度との関係を調査した（第2-12図）。登熟が進むにつれ、葉身窒素濃度と葉色値は低下し、全体では $y = 0.0021x^2 - 0.0277x + 1.369$ （ $r = 870$, $P < 0.01$ ）の2次式の近似曲線が得られ、高い相関を示した。窒素濃度2.0%以上のみを検討した場合では、 $y = 0.1146x - 0.97$ （ $r = 0.761$, $P < 0.01$ ）の回帰直線が得られた。

第2-7表 各測定時期、葉位における葉色値の分布(2008年)。

測定月日	展開第1葉			展開第2葉		
	最大値	最小値	平均 (n = 8)	最大値	最小値	平均 (n = 8)
6月18日	45.7	39.4	42.3	45.7	37.9	41.8
6月25日	44.3	36.1	40.5	43.9	32.3	39.7
7月9日	41.3	32.1	38.2	31.8	10.7	23.0

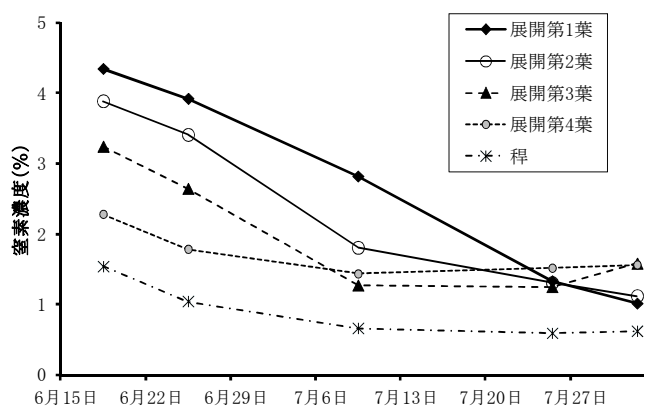


第2-9図 6月18日の葉色値と成熟期の子実タンパク質含有率(2008)。

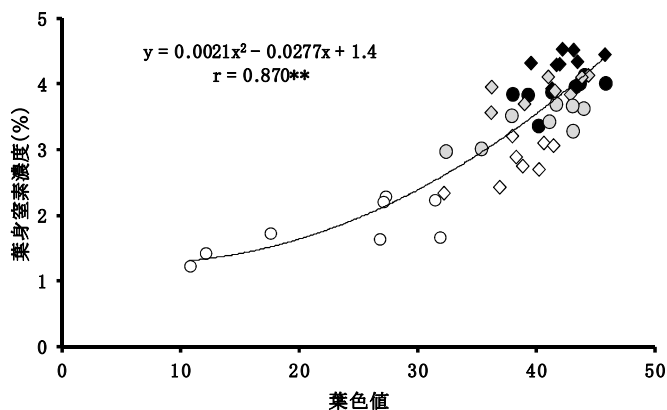


◆6月25日:展開第1葉(n=8) ○6月25日:展開第2葉(n=8)
◇7月9日:展開第1葉(n=8)

第2-10図 6月25日、7月9日の葉色値と成熟期の子実タンパク質含有率(2008)。



第2-11図 各部位毎の登熟期間における窒素濃度の推移(2008年)。



◆6月18日:展開第1葉 ●6月18日:展開第2葉 ◇6月25日:展開第1葉
○6月25日:展開第2葉 ◇7月9日:展開第1葉 ○7月9日:展開第2葉

第2-12図 登熟期間中の展開第1葉と展開第2葉葉色値と葉身窒素濃度(2008年, n = 48). **; 1%水準で有意。

表2-8 成熟期子実窒素濃度と各測定日における部位別窒素濃度の相関係数(2008年)。

測定日 調査部位	6月18日	6月25日	7月9日	7月25日
展開第1葉	0.854 **	0.749 *	0.845 **	0.937 **
展開第2葉	0.753 *	0.790 *	0.788 *	0.938 **
展開第3葉	0.695 ns	0.722 *	0.870 *	0.778 *
展開第4葉	0.839 **	0.785 *	0.711 *	0.697 ns
稈	-0.656 ns	-0.601 ns	-0.708 *	-0.636 ns

注: 全てn=8.

考 察

タンパク質含有率の予測に適した測定時期を設定するため、各測定時期の部位別窒素濃度を調査した(第2-11図)。葉身は窒素濃度2.0%までは、登熟が進むにつれて大きく低下したが、2.0%を下回るとそれ以上大きな低下はみられなくなった。これは、各葉身から穂への転流がほぼ終了したためと考えられる。また、葉身窒素濃度が2.0%以下になると、葉色値も30以下ときわめて低い値となる場合が多かった(第2-12図)。葉色値30は、肉眼でも明らかに黄化していると判断できる値であり、生葉とは言えない(佐藤・鈴木 2006)。したがって、測定時期は、測定葉の窒素濃度が2.0%以下にならない時期が適当である。

次に、タンパク質含有率の予測に適した測定部位を設定するために、成熟期子実窒素濃度と各測定日にお

ける部位別窒素濃度の相関係数を調査した(第2-8表)。展開第1葉および第2葉の窒素濃度と成熟期子実窒素濃度の相関係数は常に有意であった一方、展開第3葉は6月25日、展開第4葉は6月18日のみ有意であった。展開第3葉や第4葉といった下位葉は上位葉よりも早く黄化することに加え、コムギうどんこ病やさび病は下位葉から罹患する。これら病害に対する薬剤防除は、穂および止葉を含む上位2葉の発病を抑えることが目的である(木俣 2009)ため、下位葉は罹病している可能性がある。したがって、下位葉は穂揃期における安定した測定葉位ではなく、既往の知見と同様、展開第1葉あるいは展開第2葉が葉色診断にもっとも適している葉位であると考えられた。

そこで、展開第1葉と展開第2葉について、葉身窒素濃度が2.0%を超えた測定日について、葉色値とタンパク質含有率の関係を検討した(第2-9図、第2-10

図)．いずれも明確な関係は得られなかったものの、測定した時期、葉位の中では、6月18日の展開第1葉、展開第2葉、6月25日の展開第2葉で比較的高い相関が得られた．しかし、6月18日の測定では、タンパク質含有率の高低に関わらず、葉色値は40～45という狭い範囲に密集しており、葉色値からタンパク質含有率を推定することは困難であった．一方、6月25日の測定では、タンパク質含有率の高低に従って葉色値が幅広く分布していた．6月18日は前節で調査を行った穂揃期にほぼ一致し、6月25日は開花期～開花揃期にあたる．したがって、既往の知見と同様に、春まきコムギにおいても、タンパク質含有率の測定には開花期～開花揃期の展開第2葉が適している可能性が高い．

前節では、穂揃期植物体窒素濃度と葉色値の関係は調査したものの、測定葉の葉身窒素濃度との関係は調査していなかった．そのため、本節で葉身窒素濃度と葉色値の関係について調査した(第2-12図)．葉身窒素濃度と葉色値は、登熟が進むにつれ低下し、ほぼ転流が終了していると考えられる葉身窒素濃度2.0%を下回ると、葉色値の変異は葉身窒素濃度と独立となった．したがって、春まきコムギ「春よ恋」においても、葉身窒素濃度と葉色値には、直線関係が成立し、葉色による生育診断の前提を満たすといえる．なお、イネにおいては葉色値と葉身窒素濃度との関係は、生育時期によりその回帰式が異なるが、幼穂形成期以降、

あるいは出穂期以降は安定することが明らかとなっている(北川ら1987, Takebe and Yoneyama 1989)．本節の測定は全て出穂期以降の調査であることから、葉色値と葉身窒素濃度との関係は、調査時期によらず、一定であると判断した．

以上のことから、春まきコムギ「春よ恋」の葉色値によるタンパク質含有率推定法を検討するためには、測定葉位は前節と同じ展開第2葉が適していたが、調査時期は穂揃期よりも開花期～開花揃期がより適していることが明らかとなった．また、葉身窒素濃度2.0%以下では、転流がほぼ終了しており、生育診断には不適であった．特に穂揃期の時点で上位葉の葉身窒素濃度2.0%以下、あるいは肉眼でも葉身が黄化していると判断されるような生育は、正常とは言えない．このような生育の場合、葉色値を用いた生育診断は不適である．

前節第2-7図で示した穂揃期の展開第2葉葉色値とタンパク質含有率の関係では、葉色値35以下は、それ以外と明らかに異なる傾向であった．本節の試験結果から、低い葉色値は生育診断に不適な区であり、除外して検討すべきであった可能性があることが明らかとなった．また、第2-8図では、年次が異なるとタンパク質含有率の指示値が異なった．この点については、測定時期が穂揃期と早かったためか、登熟期間等の環境変異によるものか不明であり、さらに年次を重ねた検討が必要である．

第3章 栽培技術の高度化による品質安定化手法の開発

前節において、子実中のタンパク質含有率を推定する方法について検討を行った。推定により、タンパク質含有率が低いと診断された場合、更なる窒素追肥を行う必要がある。適正な追肥はタンパク質含有率を適正化するが、追肥量が少ないと十分な効果が得られない恐れがある。逆に、過剰な追肥は、タンパク質含有率を高めすぎ、基準値の上限（14.0%）を超過させる要因となる可能性がある。

そこで、本節では追肥の効果と効果の変動要因の把握を目的に試験を行った。すなわち、わが国におけるパン用春まきコムギの主産地である北海道北部地域（北海道上川支庁管内）3地点で栽培された基幹品種「春よ恋」における開花期以降の後期追肥、特に硫安土壌施用と尿素葉面散布が、収量やタンパク質含有率に及ぼす効果を精査し、さらに窒素施肥条件や生育条件の違いがそれらに与える影響について検証した。

材料と方法

1. 試験区の構成と耕種概要

試験は、北海道立上川農業試験場（北海道上川郡比布町）圃場（普通畑、褐色低地土。以下、上川農試とする）、士別市農家圃場（転作畑、褐色森林土。以下、士別市とする）、および上川郡美瑛町農家圃場（普通畑、褐色低地土。以下、美瑛町とする）において、以下に示す2試験を実施した。いずれの試験も、供試品種は「春よ恋」である。播種期、前作および供試土壌の化学性は第2-1表に示す。試験区は、畦長4.0m、畦幅30cm、畦数8畦、条播で、1区9.6m²、収穫面積は4畦分の4.8m²で行った。播種量は340粒m⁻²とした。窒素以外の施肥は各区共通とし、P₂O₅およびK₂Oは各々16.2g m⁻²、10.8g m⁻²を基肥として、それぞれ単肥（重過リン酸石灰および硫酸カリ）で施用した。窒素肥料は、硫安を用いた。

（1）基肥窒素施肥量と尿素葉面散布効果

試験は上川農試、士別市で2004～2006年の3か年、美瑛町で2004～2005年の2か年実施した。多様な窒素影響条件を作出するため、基肥窒素施肥量を6, 9, 12, 15g m⁻²の合計4段階とした。それらの試験区に対し、開花期から1週間毎に3回の尿素葉面散布（1

回につき窒素成分で0.92g m⁻²、計2.76g m⁻²）を施用した。主区を基肥窒素量、副区を葉面散布の有無の分割区法3反復（士別市および美瑛町は同2反復、ただし、2004年士別市の6, 12g m⁻²は反復なし）で行った。

（2）硫安土壌施用および尿素葉面散布の回数、時期

尿素葉面散布と効果の比較を行うために、開花期の硫安土壌施用（窒素成分で3g m⁻²、基肥窒素施肥量は9g m⁻²）区を設けた。硫安土壌施用についての試験は、上川農試で2004～2005年の2か年実施した。

次に、尿素葉面散布の回数を2回に減らした試験区を設け、その効果について検討した。試験は上川農試、士別市、美瑛町の3箇所でも2003年と2004年の2か年行った。基肥窒素施肥量は、2003年は6, 9, 12g m⁻²の合計3段階、2004年は9g m⁻²とした。それらの試験区に対し、開花期から1週間毎に2回の尿素葉面散布（1回につき窒素成分で0.92g m⁻²、計1.84g m⁻²）を施用した。主区を基肥窒素量、副区を葉面散布の有無の分割区法3反復（士別市および美瑛町は同2反復、ただし、2004年士別市の6, 12g m⁻²は反復なし）で行った。

尿素葉面散布時期による収量性・品質への効果を検討するため、基肥窒素施肥量を当該圃場の標準施肥量である9g m⁻²に固定し、異なった時期に葉面散布を行った。上川農試で2004～2006年の3か年、士別市・美瑛町で2005年に行った。葉面散布回数は3回とし、散布時期は、開花期、開花期から7日後、開花期から14日後の試験区（0-14区）と、開花期から7日後、開花期から14日後、開花期から21日後の試験区（7-21区）の2処理設定した。

2. 調査、分析方法

生育および収量調査は、特記した項目以外は「小麦調査基準 第1版」（農業研究センター 1986）に準拠した。なお、容積重はリットル升で測定したリットル重とした。倒伏程度は、倒伏角度（°）と試験区の倒伏面積割合を遠観で調査し、その掛け合わせた値により判定した。すなわち、倒伏程度の判定基準は0；無（指数0）、1～1000；微（指数1）、1001～3000；少

(指数 2), 3001~5000 ; 中 (指数 3), 5001~7000 ; 多 (指数 4), 7001~9000 ; 甚 (指数 5) の 6 段階に設定した (例, 倒伏角度 60° $\times$ 倒伏面積割合 $60\% = 3600$). タンパク質含有率の分析は, 原粒のまま近赤外分析装置 (インフラテック 1241 グレインアナライザー, フォス・ジャパン社製) で測定し, 13.5%水分換算 (農林水産技術会議事務局 1968) で示した. なお, 用いた検量線のタンパク質含有率のタンパク係数は 5.7 を用いた (農林水産技術会議事務局 1968). 最小有意差 {LSD (5%)} の計算は成書によった (Little and Hills 1978).

結 果

1. 基肥窒素施肥量と尿素葉面散布効果

(1) 各試験年次・試験地の生育および尿素葉面散布効果

2004 年 (第 2-1 表, 第 3-1 表) は, 試験を行った 3 か年のうち, 播種期がもっとも早く, 4 月 16 日 (美瑛町) ~ 4 月 25 日 (士別市) であった. そのため, 播種期~成熟期までの生育日数が 98 日 (士別市) ~105 日 (美瑛町) 間と長くなり, 収量も 380 g m^{-2} (士別市 6 g m^{-2} 区) ~ 645 g m^{-2} (上川農試 15 g m^{-2} 区) ともっとも高くなった. 尿素葉面散布を行わなかった区 (以下無散布区) のタンパク質含有率は 9.6% (士別市 6 g m^{-2} 区) ~11.4% (上川農試 15 g m^{-2} 区) であった.

2005 年 (第 2-1 表, 第 3-2 表) は, 播種期が 2004 年と比べやや遅く, 4 月 26 日 (美瑛町) ~ 27 日 (上川農試, 士別市) であった. 生育日数は 92 日間 (上川農試) ~105 日間 (美瑛町) と, 2004 年よりやや短く, さらに, 初期生育時期である 5 月が低温に経過したため, 生育量が小さくなり, 稈長も 2004 年に比べて上川農試, 士別市では 13~14 cm, 美瑛町では 5 cm 短くなった. そのため, 収量は 265 g m^{-2} (士別市 6 g m^{-2} 区) ~ 523 g m^{-2} (美瑛町 15 g m^{-2} 区) と 2004 年より低かった. 無散布区のタンパク質含有率は 9.7% (上川農試 6 g m^{-2} 区, 美瑛町 6 g m^{-2} 区) ~12.4% (上川農試 15 g m^{-2} 区) であった.

2006 年 (第 2-1 表, 第 3-3 表) の播種期は, 試験年次 3 か年中もっとも遅く, 5 月 4 日 (上川農試) と 5 月 8 日 (士別市) であった. しかし生育は良好で, 稈

長は 2004 年と同程度の長さとなった. 上川農試では, 登熟中期にあたる 7 月 18 日および 19 日にスコール状の降雨に見舞われ, 全試験区で倒伏程度が多 (指数 4) 以上の著しい倒伏が発生した. 士別市ではムギキモグリバエの発生被害による穂数の減少が生じた. そのため, 収量は 303 g m^{-2} (士別市 9 g m^{-2} 区) ~ 407 g m^{-2} (上川農試 12 g m^{-2} 区) と, 2004 年, 2005 年よりも低かった. 無散布区のタンパク質含有率は 12.8% (上川農試 6 g m^{-2} 区) ~13.9% (上川農試 15 g m^{-2} 区) であった. なお, 士別市では 7 月第 1 半月以降, 圃場全面で上位葉全面に及ぶ著しい黄化症状を呈した.

基肥窒素量が増加するにつれ, 2004 年と 2005 年の試験では有意に収量とタンパク質含有率が増加した. タンパク質含有率は, 基肥窒素量を 3 g m^{-2} 増やすことで 2004 年は平均 0.5 %, 2005 年は平均 0.8 % 増加した. 2006 年は, 収量の増加は認められなかったが, タンパク質含有率は基肥窒素量 3 g m^{-2} 増やすことで, 0.4~0.5 % 増加した.

開花期以降 3 回の尿素葉面散布により, 2004 年の上川農試と美瑛町, 2005 年は全試験地で, タンパク質含有率が有意に増加した. また, 有意差は認められなかったものの, 2004 年の士別市でもタンパク質含有率は増加した. その効果は基肥窒素量を 3 g m^{-2} 増加させるよりも高かった. 千粒重は, 2004 年の上川農試と士別市で有意差が認められ, その他の試験地でも増加傾向を示した. 収量もやや増加する傾向を示したが, 有意差が認められたのは 2004 年美瑛町のみであった. 成熟期は無散布区と比較して, 2004 年美瑛町の 9 g m^{-2} 区, 12 g m^{-2} 区, 2004 年士別市の 9 g m^{-2} 区で 1 日, 2005 年美瑛町 9 g m^{-2} 区で 2 日遅れた. 倒伏は, 葉面散布区で倒伏程度が 0.5~1.0 程度増加する場合があった. 稈長, 穂数は 2005 年美瑛町で有意差が認められたが, その要因は判然としなかった. リットル重に影響は認められなかった. 2006 年は, 葉面散布により, タンパク質含有率は上川農試で有意に増加したが, 士別市では認められなかった. 稈長, 穂数, 収量, リットル重のいずれにも影響はなかった.

第3-1表 尿素葉面散布の有無が生育および収量特性に及ぼす影響 (2004年).

試験場 所	基肥 量(g m ⁻²)	処理 ¹⁾	成熟期 (月 日)	稈長 (cm)	穂数 (m ⁻²)	倒伏 (0-5)	収量 (g m ⁻²)	リットル 重 (g L ⁻²)	千粒 重 (g)	タンパク 質含有率 (%)
上川農 試	6	なし	7/28	90	352	0.0	461	823	40.8	9.7
	6	散布	7/28	91	419	0.0	501	827	42.2	11.2
	9	なし	7/29	95	434	0.0	562	821	40.4	10.3
	9	散布	7/28	94	503	0.0	597	826	41.6	11.4
	12	なし	7/29	94	457	1.0	572	820	38.9	11.0
	12	散布	7/29	94	502	2.0	614	819	40.6	12.2
	15	なし	7/30	95	396	0.7	645	815	40.2	11.4
	15	散布	7/30	93	412	1.7	594	818	41.4	12.8
分散分析		基肥	—	ns	ns	—	**	*	*	*
		葉面散布	—	ns	ns	—	ns	ns	*	**
		交互作用	—	ns	ns	—	ns	ns	ns	ns
		LSD(5%)	—	ns	ns	—	69	11	1.9	1.0
美瑛町	6	なし	7/29	86	362	0.0	418	810	38.4	9.8
	6	散布	7/29	86	392	0.0	453	818	40.3	11.3
	9	なし	7/29	85	485	0.0	495	813	37.8	9.9
	9	散布	7/30	90	398	0.0	536	812	38.6	11.6
	12	なし	7/30	90	512	0.0	563	813	38.8	10.7
	12	散布	7/31	89	442	0.0	583	813	38.8	12.3
分散分析		基肥	—	ns	ns	—	**	ns	ns	**
		葉面散布	—	ns	ns	—	*	ns	ns	**
		交互作用	—	ns	ns	—	ns	ns	ns	ns
		LSD(5%)	—	ns	ns	—	37	ns	ns	0.4
士別市	6 ²⁾	なし	8/1	85	333	0.0	380	829	37.5	9.6
	6 ²⁾	散布	8/1	86	320	0.0	437	832	40.7	11.2
	9	なし	7/31	85	357	0.0	488	832	38.7	9.9
	9	散布	8/1	81	335	0.0	472	834	42.0	11.9
	12 ²⁾	なし	8/1	85	377	1.0	507	829	39.8	10.8
	12 ²⁾	散布	8/1	87	343	2.0	523	830	42.1	12.3
分散分析		基肥	—	—	—	—	—	—	—	—
		葉面散布	—	ns	ns	—	ns	ns	**	ns
		交互作用	—	—	—	—	—	—	—	—
		LSD(5%)	—	ns	ns	—	ns	ns	0.1	ns

1) 散布は、開花期から1週間毎に3回の尿素葉面散布 (1回につき窒素成分で0.92 g m⁻²) を施用したこと, なしは無散布を示す. *, **は分散分析の結果, それぞれ1%, 5%水準で有意差があり, nsは有意差はないことを示す. 2) は反復のないデータであることを示す.

第3-2表 尿素葉面散布の有無が生育および収量特性に及ぼす影響 (2005年).

試験場所	基肥量(g m ⁻²)	処理 ¹⁾	成熟期(月日)	稈長(cm)	穂数(m ⁻²)	倒伏(0-5)	収量(g m ⁻²)	リットル重(g L ⁻²)	千粒重(g)	タンパク質含有率(%)
上川農試	6	なし	7/27	79	453	0.0	388	825	40.6	9.7
	6	散布	7/27	78	373	0.2	389	822	42.5	11.1
	9	なし	7/28	79	408	0.3	409	821	39.9	10.9
	9	散布	7/28	82	465	0.8	465	820	42.1	11.9
	12	なし	7/27	79	432	1.2	421	816	40.3	11.9
	12	散布	7/27	80	454	1.0	457	814	42.4	12.9
	15	なし	7/29	83	448	2.0	488	815	39.1	12.4
	15	散布	7/29	82	428	2.0	476	810	42.7	13.5
分散分析		基肥	—	ns	ns	—	**	ns	ns	**
		葉面散布	—	ns	ns	—	ns	ns	ns	**
		交互作用	—	ns	ns	—	ns	ns	ns	ns
		LSD(5%)	—	ns	ns	—	72	ns	ns	0.6
美瑛町	6	なし	8/7	79	412	0.0	341	815	43.5	9.7
	6	散布	8/6	82	387	0.0	375	817	45.0	11.4
	9	なし	8/5	82	457	0.0	417	812	41.2	10.1
	9	散布	8/7	84	415	0.0	444	817	42.9	11.6
	12	なし	8/8	87	508	1.5	469	808	43.9	11.3
	12	散布	8/8	87	444	2.0	489	806	44.2	12.5
	15	なし	8/9	87	450	5.0	523	805	43.3	12.2
	15	散布	8/8	88	494	5.0	512	800	43.5	13.4
分散分析		基肥	—	ns	ns	—	*	*	ns	**
		葉面散布	—	*	*	—	ns	ns	ns	**
		交互作用	—	ns	*	—	ns	ns	*	ns
		LSD(5%)	—	12	124	—	80	9	2.4	0.7
士別市	6	なし	8/4	70	278	0.0	265	806	42.8	10.3
	6	散布	8/4	72	324	0.0	295	808	39.7	11.5
	9	なし	8/5	71	289	0.0	314	804	38.9	10.9
	9	散布	8/5	72	287	0.0	358	805	39.7	12.0
	12	なし	8/6	78	364	0.3	399	809	44.6	11.8
	12	散布	8/6	75	355	0.3	404	802	44.4	12.3
	15	なし	8/6	73	397	0.8	386	799	40.7	12.3
	15	散布	8/6	72	323	0.5	345	800	41.6	13.2
分散分析		基肥	—	ns	ns	—	**	**	ns	**
		葉面散布	—	ns	ns	—	ns	ns	ns	**
		交互作用	—	ns	ns	—	*	*	ns	ns
		LSD(5%)	—	ns	ns	—	28	3	ns	0.5

1) 散布は、開花期から1週間毎に3回の尿素葉面散布(1回につき窒素成分で0.92 g m⁻²)を施用したこと、なしは無散布を示す. *, **は分散分析の結果、それぞれ1%, 5%水準で有意差があり、nsは有意差はないことを示す.

第3-3表 尿素葉面散布の有無が生育および収量特性に及ぼす影響 (2006年).

試験場所	基肥量(g m ⁻²)	処理 ¹⁾	成熟期(月日)	稈長(cm)	穂数(m ⁻²)	倒伏(0-5)	収量(g m ⁻²)	リットル重(g L ⁻²)	千粒重(g)	タンパク質含有率(%)
上川農試	9	なし	8/7	95	385	4.3	424	777	38.6	12.8
	9	散布	8/7	97	372	3.3	409	779	39.4	13.7
	12	なし	8/8	96	399	5.0	407	766	37.1	13.3
	12	散布	8/8	95	458	5.0	385	760	37.7	14.2
	15	なし	8/9	96	435	5.0	402	758	37.5	13.9
	15	散布	8/9	99	449	5.0	358	749	35.6	14.7
分散分析			基肥	—	ns	—	ns	*	*	**
			葉面散布	—	ns	—	ns	ns	ns	**
			交互作用	—	ns	—	ns	ns	*	ns
			LSD(5%)	—	ns	—	ns	8	1.5	0.6
士別市 ²⁾	9	なし	8/8	86	300	0.0	303	766	41.2	13.8
	9	散布	8/9	85	300	0.0	312	765	41.3	13.6
	分散分析		葉面散布	—	ns	—	ns	ns	ns	ns
			LSD(5%)	—	ns	—	ns	ns	ns	ns

1) 散布は、開花期から1週間毎に3回の尿素葉面散布 (1回につき窒素成分で0.92 g m⁻²) を施用したこと、なしは無散布を示す. *, **は分散分析の結果、それぞれ1%、5%水準で有意差があり、nsは有意差はないことを示す. 2) 試験圃場全体で、上位葉全面に及ぼ著しい黄化症状の発生が認められた.

第3-4表 開花期硫安土壌施用が生育および収量へ及ぼす影響.

年次(年)	処理	収量(g m ⁻²)	千粒重(g)	タンパク質含有率(%)
2004	なし	562±43	40.4±0.4	10.3±0.6
	硫安施用	580±34	41.0±0.2	11.3±0.3
2005	なし	409±30	39.9±0.5	10.9±0.1
	硫安施用	451±20	40.4±1.8	11.0±0.0

上川農試のデータである. なしは硫安無施用、硫安施用は開花期の硫安土壌施用 (窒素成分で3 g m⁻²) したことを示す. 平均値±標準誤差である (n = 3). いずれの試験場所、年次においても収量、千粒重、タンパク質含有率は処理間に有意差なし.

第3-5表 尿素葉面散布2回処理がタンパク質含有率へ及ぼす影響.

年次	処理	上川農試			美瑛町			士別市		
		6gm ⁻² 2)	9gm ⁻²	12gm ⁻²	6gm ⁻²	9gm ⁻²	12gm ⁻²	6gm ⁻²	9gm ⁻²	12gm ⁻²
2003	なし	8.8	8.9	9.7	9.9	10.7	11.4	9.4	9.9	10.2
	2回散布	9.2	9.4	10.2	10.7	11.0	11.7	10.3	10.5	10.8
	分散分析	ns	**	**	*	ns	ns	ns	ns	ns
2004	なし	—	10.3	—	—	9.9	—	—	9.9	—
	2回散布	—	10.7	—	—	10.9	—	—	11.3	—
	分散分析	—	ns	—	—	**	—	—	*	—

1) 2回散布は、開花期から1週間毎に2回の尿素葉面散布 (1回につき窒素成分で0.92 g m⁻²) を施用したこと、なしは無散布を示す. *, **は分散分析の結果、それぞれ1%、5%水準で有意差があり、nsは有意差はないことを示す.

2) 施用した基肥窒素量を示す.

第3-6表 尿素有葉面散布時期の違いが生育および収量へ及ぼす影響.

試験場所	年次	葉面散布	収量 (g m^{-2})	千粒重 (g)	タンパク質含有率 (%)
上川農試	2004	0-14区	597 $\pm$ 21	41.6 $\pm$ 0.2	11.4 $\pm$ 0.5
		7-21区	593 $\pm$ 31	40.5 $\pm$ 0.0	11.6 $\pm$ 0.2
	2005	0-14区	465 $\pm$ 13	42.1 $\pm$ 0.4	11.9 $\pm$ 1.1
		7-21区	466 $\pm$ 29	40.4 $\pm$ 0.9	11.9 $\pm$ 1.1
	2006	0-14区	409 $\pm$ 44	39.4 $\pm$ 1.0	13.7 $\pm$ 0.4
		7-21区	409 $\pm$ 39	38.2 $\pm$ 1.0	13.9 $\pm$ 0.4
美瑛町	2005	0-14区	444 $\pm$ 2	42.9 $\pm$ 3.1	11.6 $\pm$ 0.1
		7-21区	427 $\pm$ 37	41.9 $\pm$ 2.8	11.6 $\pm$ 0.1
士別市	2005	0-14区	358 $\pm$ 18	39.7 $\pm$ 0.5	12.0 $\pm$ 0.0
		7-21区	332 $\pm$ 10	39.1 $\pm$ 2.3	12.1 $\pm$ 0.2

0-14区は開花期, 開花期から7日後, 開花期から14日後に, 7-21区は, 開花期から7日後, 開花期から14日後, 開花期から21日後に尿素葉面散布を行った区を示す. 平均値 $\pm$ 標準誤差である(上川農試 $n=3$, 美瑛町・士別市 $n=2$). いずれの試験場所, 年次においても収量, 千粒重, タンパク質含有率は処理間に有意差なし.

略).

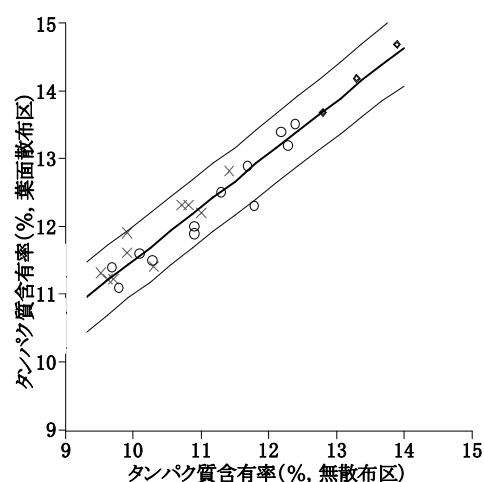
無散布区での倒伏程度多(指数4)以上の発生は, 2005年美瑛町 15 g m^{-2} 区, 2006年上川農試の全試験区で認められた. これらの試験区では, 尿素葉面散布によりタンパク質含有率は増加したものの, 倒伏が生じなかった区で認められたような, 千粒重や収量の明らかな増加傾向は, 2006年上川農試 9 g m^{-2} 区を除き認められなかった. ただし, 2006年上川農試 9 g m^{-2} 区の散布区での倒伏程度は3.3であった. また, 2006年士別市の試験区では, 上位葉の全面黄化や, 葉の中央部に枯死症状が発生した. これらの試験区では, 葉面散布を行っても, タンパク質含有率や千粒重の増加は認められなかった. そのため, 以降, 黄化症状発生区については, データ解析から除外した.

(2) タンパク質含有率と尿素葉面散布効果の関係

第3-1図に尿素有葉面散布区と無散布区におけるタンパク質含有率の関係を示した. 無散布区のタンパク質含有率が高くなるにつれ, 葉面散布によるタンパク質含有率の向上効果は低減した. この時, 葉面散布区のタンパク質含有率を y (%), 無散布区のタンパク質含有率を x (%) とすると, $y = 0.790x + 3.6$ ($n = 25$, $r = 0.973$, $P < 0.01$) の回帰式で表された. ただし, 本結果は無散布区のタンパク質含有率が9.6~13.9%の範囲で得られたものである. 千粒重についても同様に, 無散布区のタンパク質含有率が高いほど, 千粒重の向上程度は低くなる傾向であった(図

2. 硫安土壌施用および尿素葉面散布の時期と効果

硫安土壌施用試験の結果を第3-4表に示した. 両年次とも, 有意な差は認められなかったが, 収量, 千粒重は硫安土壌施用によって増加する傾向を示した. タンパク質含有率に対しても, 有意な差は認められなかったものの, 2004年には1%程度のタンパク質含有率



第3-1図 無散布区と尿素葉面散布区におけるタンパク質含有率の関係.

2004, 2005年は上川農試, 美瑛町, 士別市, 2006年は上川農試のデータである. 黄化症状の発生が認められた2006年士別市のデータは除いた. 太線は回帰直線を表し, 破線は個別の値に対する95%信頼区間である.

向上効果が得られた。しかし、2005 年にはその効果は全く認められなかった。

尿素葉面散布回数を2回に減らした試験の結果を第3-5表に示した。タンパク質含有率は、0.3~1.4%向上する傾向が認められ、2003年は上川農試9, 12 g m⁻²区と美瑛町6 g m⁻²区で、2004年は美瑛町と士別市で有意であった。

尿素的葉面散布時期についての試験結果を第3-6表に示した。いずれの処理においても有意な差は認められなかったが、千粒重では7-21区よりも0-14区でより重くなる傾向が認められた。一方、収量、タンパク質含有率では、葉面散布時期による一定の傾向は認められなかった。

考 察

春まきコムギ「春よ恋」に対し、開花期以降3回の尿素葉面散布(1回につき窒素成分で0.92 g m⁻², 計2.76 g m⁻²)を行った場合、タンパク質含有率が増加し、千粒重と収量も増加する傾向を示した(第3-1表, 第3-2表, 第3-3表)。後期追肥による収量の増加は、1粒重の増加に起因することが、渡辺・下野(1992)やVarga and Svecnjak (2006)によって指摘されている。本試験で示された春まきコムギにおける葉面散布による収量の増加は、千粒重の増加が主要因であったと考えられる。

尿素葉面散布によるタンパク質含有率の向上効果は、無散布区のタンパク質含有率が高いほど低下していた(第3-1図)。この関係は、葉面散布区のタンパク質含有率(y, %)は、無散布区のタンパク質含有率をx(%)とすると、 $y = 0.790x + 3.6$ (n = 25, r = 0.973, P < 0.01)の回帰式で表された。そのため、パン用コムギのタンパク質含有率の基準値(11.5~14.0%)を考慮すると、無散布区のタンパク質含有率が10%の時、3回の葉面散布を行うと、タンパク質含有率は11.50 ± 0.51% (95%信頼区間)となることからおおむね基準値に達するが、逆に、無散布区で13.2%の場合には、14.03 ± 0.53% (95%信頼区間)となり基準値を超過する可能性が高くなる。したがって、無散布条件で13.2%以上となる可能性が高い場合には、追肥を行うべきではないといえる。本試験結果では、基肥窒素量の増加に伴い、タンパク質含有率も増加した(第3-1表, 第3-2表, 第3-3表)。したがって、タンパク質含有率が高まるような多肥条件下では、葉面散布効果が低下するのみならず、さらに基準値を超過する可能性も高くなるといえる。ただ

し、どのような条件下でタンパク質含有率が13.2%以上になるかについては、穂揃期の葉色診断や生育診断の適応を試みるなど、今後の検討が必要である。また、本試験結果は無散布区のタンパク質含有率が9.6~13.9%の範囲で得られたものである。そのため、9.6%以下、あるいは13.9%以上に対する葉面散布効果については、今回得られた回帰式に当てはまらない可能性がある。なお、本試験は、熱水抽出性窒素30~70 mg kg⁻¹と、ほぼ中庸な窒素肥沃度の圃場で行われた(第2-1表)が、この範囲では地力の違いによる葉面散布効果の差異は認められなかった。

出穂期以降の硫安土壌施用の効果は、秋まきコムギでは、葉面散布と同様にタンパク質含有率の上昇効果が認められている(岩井ら1994, 佐藤2000, 高山ら2004)。また、春まき栽培にくらべ登熟日数の長い道央地域での初冬まき栽培においても、同様の効果が示されている(佐藤・土屋2004)。しかし、本試験では、年次によりタンパク質含有率に対する効果は安定していなかった(第3-4表)。効果の高かった2004年は出穂期以降の降雨に恵まれた年であった(出穂期から25日間の降水量117.5 mm, 平年比210%。比布アメダス)のに対し、効果の低かった2005年は降雨が少ない年(同32.0 mm, 平年比55%。比布アメダス)であった。そのため、登熟日数の短い春まき栽培の場合、硫安土壌施用のタンパク質含有率への効果は、施用時期以降の降雨の量や時期に依存している可能性が考えられる。したがって、特に寡雨条件となりやすい地域での出穂期以降の硫安土壌施用は、効果の不安定さから採用すべきではないと考えられる。また、尿素葉面散布の回数を2回に減らした場合でも、平均で0.8%のタンパク質含有率向上効果が認められた(表3-6)。しかし、タンパク質含有率の向上は0.3~1.4%と幅が大きく安定性に欠けたことから、タンパク質含有率向上効果を確実に得るためには、不十分であると判断した。

尿素的葉面散布時期による影響をみると、開花期とその7日後, 14日後に葉面散布を行った区(0-14区)と、開花期の7日後, 14日後, 21日後の散布区(7-21区)とでは、タンパク質含有率に差はなかった。しかし、有意差はなかったものの、千粒重に対する効果は0-14区で高い傾向を示した(第3-6表)。秋まきコムギでは、タンパク質含有率に対する葉面散布効果は、開花期から乳熟期以降1週目までの登熟中期の効果が高い(渡辺・下野1992)とされている。本試験では、どちらの散布区にも登熟中期が含まれていたこ

とから、タンパク質含有率については差が出なかったものと考えられる。一方で、千粒重に対しては、葉面散布時期が開花期に近い方が効果は高いという既報（渡辺・下野 1992）と一致した。したがって、春まきコムギにおいても葉面散布時期とその効果の関係は秋まきコムギとほぼ同じであると考えられ、タンパク質含有率と千粒重の双方を増加させるためには、開花期、開花期から7日後、開花期から14日後の計3回葉面散布を行うことが効果的であると言える。なお、尿素的価格は20 kgあたり1228円（注：平成19年度ホクレン当用価格）である。そのため、2%尿素溶液を10 aあたり100 L散布した場合、尿素は0.97 kgの散布となり、3回でも179円に過ぎない。したがって、収量増加効果を考慮すると、葉面散布はコストに見合う効果を得られると推測される。

本試験では、葉の著しい黄化症状がある場合、尿素葉面散布を行ってもタンパク質含有率や千粒重に対する効果がまったく認められない事例があった。本試験で供試した「春よ恋」は、その品種特性として、出穂期以降に上位葉の中央部が黄化する場合があるが、ある程度の黄化については正常な生育の範疇とされている。しかし、2006年に士別市の試験地を含む北海道北部地域（上川支庁）の北部ほぼ全域で、上位葉全面に及ぶ著しい黄化症状の発生が認められた。佐藤・鈴木（2006）の報告によると、登熟初期にあたる7月11日の葉色値（SPAD値）では、黄化症状がわずかであった部分で30～50の範囲内に分布していたが、黄化部分では20以下ときわめて低く、その後も回復することはなかった。黄化症状に対する知見が少ないため、その発生機作は明らかではないが、この黄化症状の発生に伴い、2006年の士別市では、葉面散布によるタンパク質含有率、千粒重の増加は認められなかった（第3-3表）。これは、黄化部分では葉の機能低下が生じ、葉面散布により尿素が葉面で吸収されなかった、あるいは穂への転流が阻害されたためと推察される。黄化症状の発生程度と葉面散布効果の関係については、今後もさらに検討が必要であるが、上位葉が全面黄化するような著しい症状では、葉面散布効果は認められないものと推測される。

以上のように、本試験では、窒素施肥条件や生育条件の違いが後期追肥、特に尿素葉面散布に与える影響を検証した。その結果、開花期以降3回の尿素葉面散布は、タンパク質含有率を向上させる効果があり、同時に千粒重と収量を増加させる傾向が認められた。しかし、その効果は、タンパク質含有率が高くなるよう

な条件下では低減した。したがって、無散布区のタンパク質含有率、すなわち窒素施肥条件の多少により葉面散布効果は変動し、特にタンパク質含有率が高くなりやすい多肥条件下では、葉面散布効果が劣る可能性があることが明らかとなった。さらに、倒伏や黄化症状といった障害発生時にも、葉面散布効果が劣る可能性が示された。また、登熟期間が特に寡雨となりやすい条件下では、安定的な効果を得るために、開花期の硫酸土壌施用よりも、開花期以降3回の尿素葉面散布を選択すべきであると考えられた。一方で、無散布区のタンパク質含有率が13.2%以上となるような場合に葉面散布を行うと、タンパク質含有率が基準値の上限を超過する可能性があった。

第4章 品種の生育特性に応じた栽培指針の構築

第1節 新品種「はるきらり」の窒素施肥法

「はるきらり」は、2007年に北海道の優良品種となった春まきパン用コムギである（北海道農政部 2007）。「はるきらり」は、現在の基幹品種である「春よ恋」並からやや多収だが、子実タンパク質含有率（以下、タンパク質含有率）はやや低い傾向がある（中道ら 2011）。第2章でも検討したように、タンパク質含有率は、窒素吸収量が同一であれば収量と負の相関関係となる。そのため、「春よ恋」と同じ窒素施肥法では、タンパク質含有率の向上に必要な窒素吸収量が不足し、パン用の品質取引基準に適したタンパク質含有率（11.5～14.0%）に到達しない可能性がある。

第3章で示したとおり、道北地域における「春よ恋」のタンパク質含有率向上には、開花期以降3回の尿素葉面散布が効果的であった。「はるきらり」においては、開花期以降4回の2%尿素溶液の葉面散布で、「春よ恋」と同程度のタンパク質含有率が得られるとしている。一方で、「はるきらり」の耐倒伏性は「春よ恋」よりも高いことも明らかにされている（中道ら 2011）。したがって、基肥窒素量の増肥と窒素追肥の組合せにより、タンパク質含有率の向上と収量の安定化を達成できると推察された。

以上より、本節の目的は、1)「はるきらり」の窒素吸収量、収量とタンパク質含有率の関係から、収量水準毎のタンパク質含有率が基準値を満たすために必要な窒素吸収量を明らかにすること、2)現在の基幹品種である「春よ恋」と新品種「はるきらり」の耐倒伏性の差を明らかにし、倒伏を生じさせない基肥窒素量を明らかにすること、3)「はるきらり」のタンパク質含有率を向上させるために効果的な窒素追肥方法を検討すること、の3点である。

材料と方法

1. 成熟期窒素吸収量、収量とタンパク質含有率、倒伏の関係

試験は、2004年から2007年まで北海道内の春まきコムギ栽培圃場5地点（北海道北部地域（以下、道北）3地点、北海道中央部地域（以下、道央）2地点）、のべ16箇所で行った。供試品種は「はるきらり」であ

る。各圃場の供試年次、土壌分類、土壌深0～20cmの熱水抽出性窒素は第4-1表に示した。また、道北地域、道央地域の代表地点として、上川農試および中央農試の年平均気温、年間降水量、年日照時間、年平均気温日較差を第4-1図、第4-2図、第4-3図、第4-4図（上川農試は比布アメダスデータ、中央農試は長沼アメダスデータを使用）、生育期節、登熟日数、平均収量を第4-2表に示した。試験は、3反復（士別市、美瑛町、江別市は2反復）で行った。上川農試、士別市、美瑛町は1区9.6 m²、江別市は1区7.2 m²で、畦幅30 cmの手播またはシーダーテープによる条播とし、収穫面積は4.8 m²で行った。中央農試は、1区4.8 m²で、畦幅20 cmのドリルシーダ条播とし、収穫面積4.8 m²で行った。播種量は340 粒/m²とした。多様な窒素吸収条件を作出するために、基肥窒素施肥量を0 g m⁻²、6～26 g m⁻²の間で2～4 g m⁻²毎に設定した。窒素以外の施肥は各区共通とし、上川農試、士別市、美瑛町ではP₂O₅およびK₂Oは各々16 g m⁻²、11 g m⁻²、中央農試、江別市は18 g m⁻²、12 g m⁻²を基肥として、それぞれ単肥（重過リン酸石灰および硫酸カリ）で施用した。2. 窒素追肥法試験

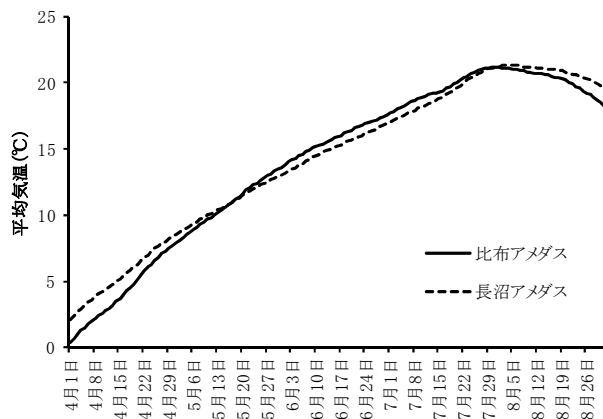
試験実施箇所および耕種概要は1.と同じである。

尿素葉面散布効果を検討するために、基肥窒素施肥量6～26 g m⁻²の間で2～4 g m⁻²毎に設定された試験区に対し、開花期から1週間毎に3回の葉面散布を行った。次に、尿素葉面散布の回数がタンパク質含有率に及ぼす影響を検討するために、中央農試および江別市で、基肥窒素施肥量10 g m⁻²の試験区に対し、開花期から1週間毎に4回散布する試験区を設けた。いずれも尿素的濃度は1回につき窒素成分で0.92 g m⁻²である。また、硫安の土壌施用効果を検討するために、上川農試および中央農試で、基肥窒素施肥量9, 10 g m⁻²の区に対し、止葉期から開花期の間に1回、窒素成分で3～4 g m⁻²を施用する区を設けた。さらに、2006年、2007年の中央農試は10 g m⁻²区に加え、14 g m⁻²区にも硫安を施用した。上記試験の試験場所、実施年次は第4-3表に示した。

第4-1表 試験実施場所、試験年次、土壌区分および熱水抽出性窒素.

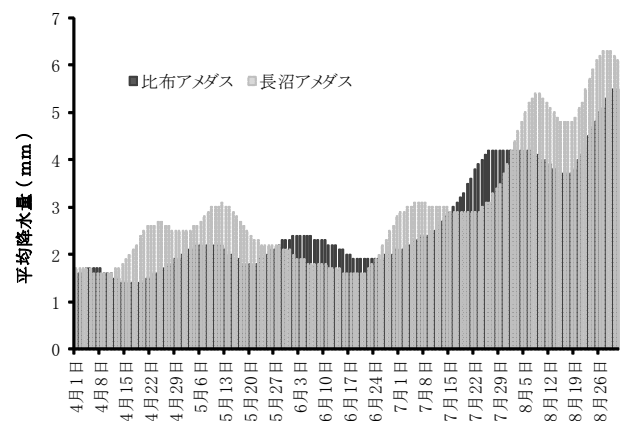
地域	試験地	試験年次	土壌区分	熱水抽出性窒素 (mg kg^{-1})
道北地域	上川農試(比布町)	2004～2007	褐色低地土	29～43
	士別市	2004～2007	褐色低地土	51～69
	美瑛町	2004～2005	褐色森林土	37～43
道央地域	中央農試(長沼町)	2004～2007	造成火山性土	22～51
		2007	褐色低地土	31
	江別市	2006～2007	改良泥炭土	139～163

熱水抽出性窒素は深さ0～20 cmで調査した.

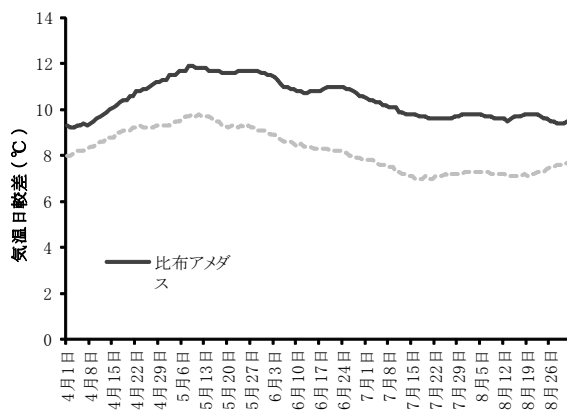


第4-1図 道北地域および道央地域の年平均気温.

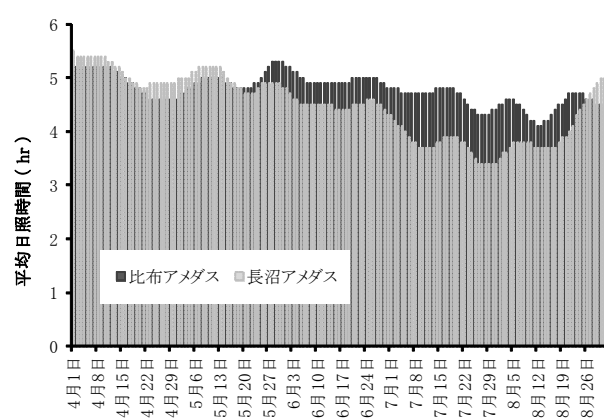
道北地域は上川農試所在地である比布町、道央地域は中央農試所在地である長沼町を代表地点とした(以下、同じ).
使用データは、比布アメダスおよび長沼アメダスデータである.



第4-2図 道北地域および道央地域の年平均降水量.



第4-4図 道北地域および道央地域の年平均気温日較差.



第4-3図 道北地域および道央地域の年平均日照時間.

第4-2表 上川農試と中央農試の生育期節と登熟日数、収量(2004～2007年平均).

	播種期	出穂期	成熟期	収量(gm^{-2})
上川農試(道北地域)	4月26日	6月20日	7月31日	481
中央農試(道央地域)	4月16日	6月19日	8月2日	554

基肥窒素量は上川農試 9gm^{-2} 、中央農試 10gm^{-2} である.
登熟日数は、出穂期から成熟期までの日数である.

第4-3表 葉面散布回数および硫安土壌施用試験実施箇所.

地域	試験場所	処理	追肥 回数	試験実施年次			
				2004年	2005年	2006年	2007年
道北地域	上川農試	硫安土壌施用	1	○	○		○
		尿素葉面散布	3	○	○	○	○
			4			○	○
		土別市 尿素葉面散布	3	○	○	○	○
	美瑛町	尿素葉面散布	3	○	○		
道央地域	中央農試	硫安土壌施用	1	○	○	○*	○*
		尿素葉面散布	3	○	○	○	○
			4		○	○	○
	江別市	硫安土壌施用	1				○
		尿素葉面散布	3			○	○
			4			○	○

*各試験は基肥量 $9 \sim 10 \text{ gm}^{-2}$ である。ただし、2006年、2007年の中央農試は 10 gm^{-2} , 14 gm^{-2} の2水準に対して行った。

3. 調査, 分析方法

生育および収量調査は、特記した項目以外は「小麦調査基準 第1版」(農業研究センター 1986)に準拠した。倒伏程度は、倒伏角度(°)と試験区の倒伏面積割合を遠観で調査し、その掛け合わせた値により、無(指数1)～甚(指数5)と判定した。判定基準は以下の通り: 0 無(指数0), 1～1000 微(指数1), 1001～3000 少(指数2), 3001～5000 中(指数3), 5001～7000 多(指数4), 7001～9000 甚(指数5)と判定した。このうち、倒伏程度2(少)以上を収量品質に影響のある倒伏として評価した(大山ら 2002)。穂揃期の葉色値の測定は、葉緑素計 SPAD502 を用い、展開第2葉の葉身中央部を、中肋を避けて1区20葉を測定して平均した。粗タンパク質含有率の分析は、粒のまま透過型近赤外分光光度計(Tecator 社 Infratec 1255)で測定し、同時に同じ方法で測定した子実水分含有率を用いて13.5%水分換算(農林水産技術会議事務局 1968)で示した。なお、用いた検量線のタンパク質含有率のタンパク係数は5.7とした(農林水産技術会議事務局 1968)。成熟期窒素吸収量は佐藤・土屋(2002)に基づいて以下の式で算出した。

成熟期窒素吸収量 = {(地上部重 - 子実収量) × 0.865} × 茎葉窒素含有率 + 子実収量 × 子実タンパク質含有率 / 5.7

結 果

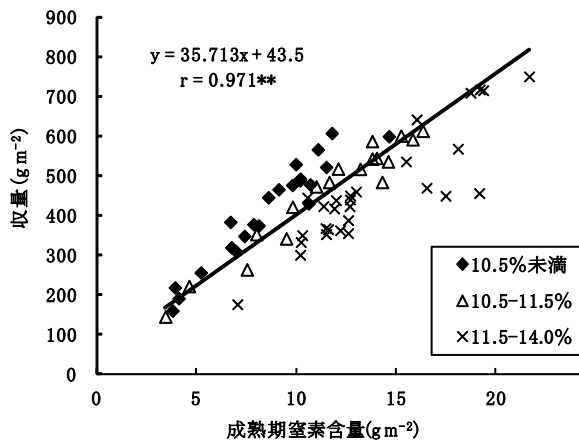
1. 成熟期窒素吸収量、収量とタンパク質含有率、倒伏の関係

「はるきらり」の成熟期窒素吸収量、収量とタンパク質含有率の関係を示す(第4-5図)。目標とするタンパク質

含有率は11.5%以上であることから、10.5～11.5%の範囲を下限值としてプロットしたところ、 $y = 35.713x + 43.5$ ($n = 20$, $r = 0.971$, $P < 0.01$)の直線回帰式で表された。

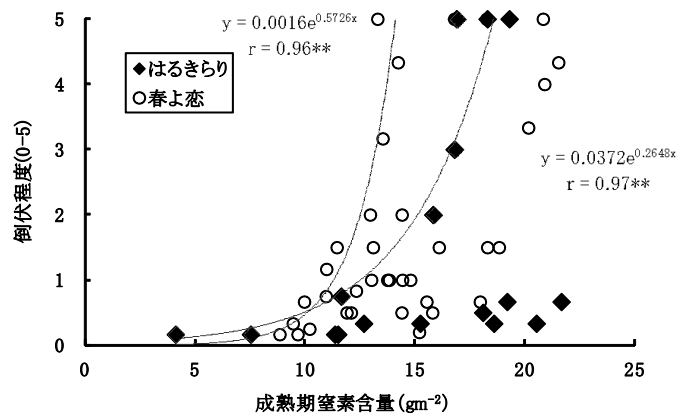
「はるきらり」と「春よ恋」の成熟期窒素吸収量と倒伏程度について第4-6図に、基肥窒素量と倒伏程度について第4-7図に示した。図が煩雑となるため、倒伏程度が0(無)の区(「はるきらり」62箇所、「春よ恋」32箇所)は、図示していない。倒伏程度(y)は、同程度の成熟期窒素吸収量の中でもっとも早く倒伏が始まった窒素吸収量を(x)とすると、「はるきらり」は $y = 0.0372e^{0.2648x}$ ($n = 6$, $r = 0.97$, $P < 0.01$)、「春よ恋」は $y = 0.0016e^{0.5726x}$ ($n = 10$, $r = 0.96$, $P < 0.01$)の指数近似曲線で示された。これらの式より、栽培上問題となる程度2(少)以上の倒伏が生じる成熟期窒素吸収量は、「はるきらり」で 15.0 g m^{-2} 、「春よ恋」で、 12.5 g m^{-2} 以上であった(第4-6図)。基肥窒素量と倒伏程度についてみると、「春よ恋」は基肥窒素量 9 g m^{-2} から倒伏が著しく増加したのに対し、「はるきらり」は、基肥窒素量 9 g m^{-2} での倒伏が1例あるものの、倒伏点数、倒伏程度共に高まったのは基肥窒素量 12 g m^{-2} 以上であった(第4-7図)。

「はるきらり」の基肥窒素量と成熟期窒素吸収量の関係を第4-8図と第4-9図に示す。道北地域では、基肥窒素量を増肥すると 12 g m^{-2} までは、ほぼ直線的に成熟期窒素吸収量も増加した。しかし、 12 g m^{-2} 以上では、成熟期窒素吸収量はそれ以上増加しないか、あるいは微増に留まった(第4-8図)。道央地域でも、年次により 10 g m^{-2} あるいは 15 g m^{-2} 以上で成熟期窒素吸収量は増加しなくなった(第4-9図)。

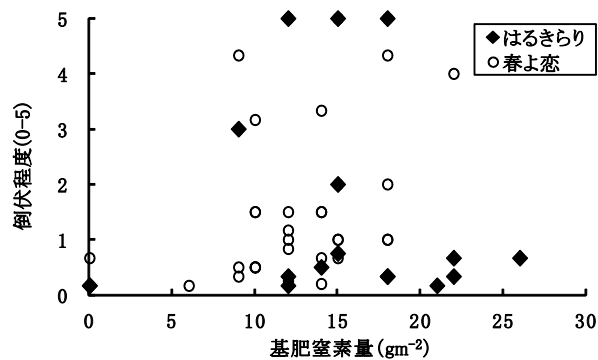


第4-5図 タンパク質含有率水準毎の成熟期窒素含量, 収量の関 (2004年～2007年, n = 84)

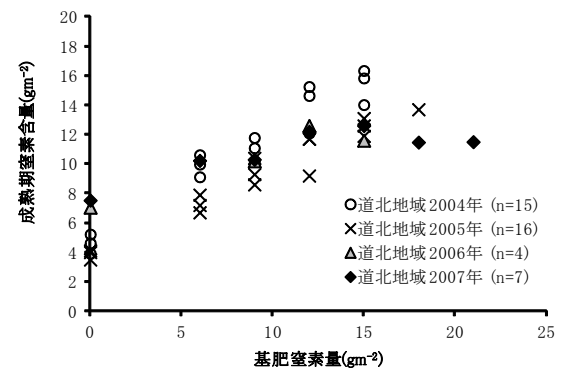
図中の回帰式, 回帰直線は, タンパク質含有率10.5-11.5%に対するものである。



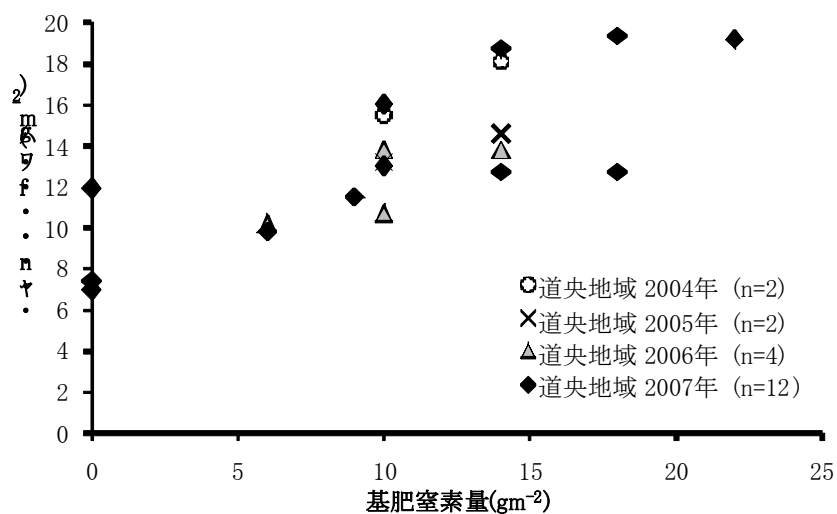
第4-6図 成熟期窒素含量と倒伏程度の関係(2004年～2007年, n = 53). 倒伏程度が0 (無) は, 図から省略した。



第4-7図 基肥窒素量と倒伏程度の関係(2004年～2007年, n = 53). 倒伏程度が0 (無) は, 図から省略した。



第4-8図 「はるきり」の道北地域における基肥窒素量と成熟期窒素含量。



第4-9図 「はるきり」の道央地域における基肥窒素量と成熟期窒素含量。

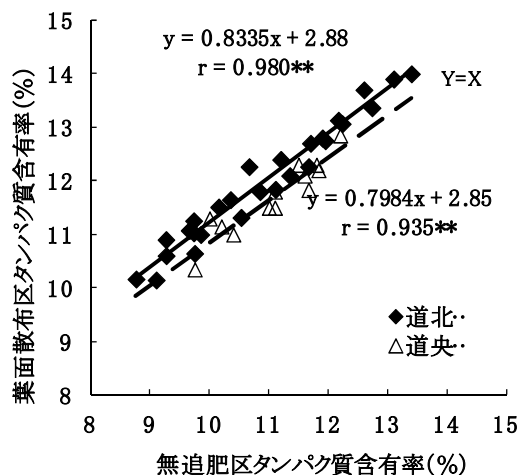
2. 窒素追肥法試験

開花期以降3回の尿素葉面散布により、タンパク質含有率は0.2～1.6%向上した(第4-10図)。また、第3章の「春よ恋」同様に、無散布区のタンパク質含有率が高いほど、尿素葉面散布によるタンパク質含有率向上効果は低下した。これら尿素葉面散布によるタンパク質含有率向上効果は、北海道北部地域(以下、道北地域)と北海道中央部地域(以下、道央地域)とで差があった。道北地域では、尿素葉面散布によるタンパク質含有率の向上効果は $y = 0.8335x + 2.88$ ($n = 27$, $r = 0.980$, $P < 0.01$) の回帰式で示され、平均で1.0%向上した。一方、道央地域では、 $y = 0.7984x + 2.85$ ($n = 13$, $r = 0.935$, $P < 0.01$) であり、平均で0.3%しか向上しなかった。

開花期以降3回の尿素葉面散布では効果が低かった道央地域について、開花期以降4回の尿素葉面散布の回数について検討した(第4-4表)。その結果、3回散布と4回散布との間に有意な差は認められなかったものの、いずれの試験においても、4回散布でより高いタンパク質含有率向上効果(平均0.9%)が得られた。

次に、止葉期あるいは開花期の硫安土壌施用(以下、硫

安)について、開花期以降3回の尿素葉面散布の効果と比較した。道北地域にある上川農試では、2004年、2005年には硫安と尿素葉面散布とは同等の効果が得られたが、2007年は、硫安で効果が劣った(第4-5表)。道央地域にある中央農試では、年次に関わらず、硫安土壌施用は尿素葉面散布と同等かそれ以上の効果が認められた(第4-6表)。



第4-10図 無追肥区と尿素葉面散布区のタンパク質含有率(%)。

実線(—): 道北地域 ($n = 27$)、波線(---): 道央地域 ($n = 13$)。

第4-4表 道央地域における尿素葉面散布回数とタンパク質含有率の比較。

追肥回数	2005年	2006年		2007年	
	中央農試	中央農試	江別市	中央農試	江別市
0	11.1±0.5 a	10.4±0.4 a	11.1±0.3 a	11.7±0.2 a	10.2±0.4 a
3	11.8±0.2 ab	11.0±0.2 b	11.5±0.0 a	11.8±0.3 ab	11.2±0.5 a
4	12.5±0.1 b	11.4±0.1 b	11.7±0.6 a	12.2±0.1 b	11.4±0.1 a

* Tukey-KramerのHSD検定を行い、同じ文字で繋がっていない値は5%水準で有意に異なる。

第4-5表 硫安土壌施用と尿素葉面散布のタンパク質含有率の差(上川農試)。

処理	2004年	2005年	2007年
無処理	9.3±0.2 a	10.7±0.2 a	12.6±0.4 a
硫安	10.8±0.6 b	11.1±0.6 b	12.9±0.4 a
葉面散布	10.6±0.2 b	12.3±0.4 b	13.7±0.1 b

硫安: 止葉期～開花期に窒素成分で3～4g m^{-2} の硫安を土壌施用したことを示す。

葉面散布: 開花期から3回の尿素葉面散布(窒素成分で3g m^{-2})を行ったことを示す。

Tukey-KramerのHSD検定を行い、同じ文字で繋がっていない値は5%水準で有意に異なる。

第4-6表 硫安土壌施用と尿素葉面散布のタンパク質含有率の差（中央農試）。

処理	2004年	2005年	2006年		2007年	
			(N10)	(N14)	(N10)	(N14)
無処理	11.8±0.3 a	11.1±0.5 a	10.4±0.4 a	11.0±0.3 a	11.7±0.2 a	11.8±0.1 a
硫安	12.2±0.3 a	12.1±0.1 b	11.4±0.2 b	11.7±0.1 b	12.3±0.1 b	12.3±0.1 b
葉面散布	12.3±0.5 a	11.8±0.2 ab	11.0±0.2 ab	11.5±0.0 ab	11.8±0.3 ab	12.2±0.2 ab

N10, N14はそれぞれ基肥窒素量10g^{m⁻²}, 14g^{m⁻²}の試験区に対し各処理を行ったことを示す。

硫安：止葉期～開花期に窒素成分で3～4g^{m⁻²}の硫安を土壌施用したことを示す。

葉面散布：開花期から3回の尿素葉面散布（窒素成分で3g^{m⁻²}）を行ったことを示す。

Tukey-KramerのHSD検定を行い、同じ文字で繋がっていない値は5%水準で有意に異なる。

考 察

1. 成熟期窒素吸収量、収量とタンパク質含有率、倒伏の関係

「はるきらり」の成熟期窒素吸収量と収量、タンパク質含有率の関係から、目標とする収量とタンパク質含有率の両方を満たす成熟期窒素吸収量が明らかとなった（第4-5図）。この図から、目標のタンパク質含有率（11.5～14.0%）を確保するためには、600～660 g m⁻²の収量では、15.3～17.0 g m⁻²以上の窒素吸収量が必要であった。しかし、「はるきらり」は窒素吸収量15.0 g m⁻²以上では、栽培上問題があるとされる倒伏程度が少（倒伏程度2）以上となった（第4-6図）。したがって、収量が600～660 g m⁻²以上では、耐倒伏性と適正なタンパク質含有率を両立させることが難しいと想定され、この収量水準が「はるきらり」の安定生産可能な限界収量と考えられた。

「はるきらり」と「春よ恋」の耐倒伏性を比較すると、「はるきらり」の耐倒伏性は「春よ恋」よりも明らかに優っており（第4-6図、第4-7図）、基肥窒素量を増やすことが可能であると考えられた。ただし、「はるきらり」は、道北地域では基肥窒素量12 g m⁻²以上、道央地域では10 g m⁻²あるいは15 g m⁻²以上では、窒素吸収量の増加は頭打ちとなった（第4-8図、第4-9図）。したがって、本試験における「はるきらり」の適切な基肥窒素量は、倒伏開始時の窒素吸収量と基肥窒素量、窒素吸収量の上限を勘案し、「春よ恋」よりも3 g m⁻²多い12 g m⁻²程度と判断した。

「春よ恋」の基肥窒素量は土壌分類別に定められており、洪積土と火山性土で9 g m⁻²、沖積土で6 g m⁻²、泥炭土3 g m⁻²である（大山ら2002）。大山らの試験は、北海道の春まきコムギ栽培地帯全域で行われており、土壌の種類も多様であった。本試験は、道北地域、道央地域5箇所での試験であり、土壌分類別に基肥窒素量を定めることは困難である。そこで、実際の栽培への適応に際しては、倒伏開始時の窒素吸収量から、

「はるきらり」の基肥窒素量は「春よ恋」の窒素施肥量に3 g m⁻²増肥することが適当であると判断した。ただし、第4-8図、第4-9図より、基肥窒素量は12 g m⁻²を上限とすべきである。また、例年「春よ恋」で著しい倒伏を生じるような圃場においては、既に多量の窒素施肥が行われていると判断できるため、これ以上増肥すべきではない。

なお、大山ら（2002）の試験では、「春よ恋」の程度2（少）以上の倒伏発生開始時（以下、倒伏開始時）の窒素吸収量は15 g m⁻²程度であった。これは、本試験での「はるきらり」の窒素吸収量と同程度である。この時の収量水準をみると、大山ら（2000）の試験事例では、倒伏開始時の収量は約350 g m⁻²程度であるのに対し、本試験の「春よ恋」は倒伏開始時で488 g m⁻²であった（データ未掲）。収量が向上すると穂重が重くなることから、より少ない窒素吸収量で倒伏しやすくなったと考えられる。

2. 窒素追肥法試験

「はるきらり」に対し、道北地域、道央地域の2地域で尿素葉面散布と硫安土壌施用の試験を行ったところ、タンパク質含有率向上効果は、地域と追肥の形態により異なった（第4-10図、第4-5表、第4-6表）。道北地域においては、第3章「春よ恋」での結果と同様に、開花期以降3回の尿素葉面散布の効果が高く、硫安土壌施用の効果は低いか、あるいは認められなかった。道央地域では、開花期以降3回の尿素葉面散布の効果が低く、道北地域と同程度の効果を得るためには、開花期以降4回の尿素葉面散布が必要であった。一方、硫安土壌施用の効果が高く、道北地域とは逆の結果となった。これは、この2地域の気象・土壌条件が反映しているものと考えられる。

硫安は土壌施用後、水分により溶解し、硝酸体窒素として作物に吸収されるため、土壌中にある程度の水分が必要である。道北地域は、道央地域と比較すると、追肥時期に

相当する6月後半から7月中旬にかけての降水量が少なく、平均気温が高い傾向にあった(第4-1図, 第4-2図)。さらに、粘質の高い土壌が多く分布しており(橋本・志賀1993)、今回試験を行った道北地域の士別地区でも土壌硬度がきわめて硬いことが報告されている(佐藤ら2004)。したがって、道北地域では、土壌水分が少なく、さらに土壌が緊密で養分の移動が妨げられたため、硫安土壌施用の効果が低かったといえる。

一方、尿素的葉面散布は、葉面から直接吸収されるため、土壌条件の影響は少ない。葉面吸収は細胞代謝による養分の積極吸収であり、緑葉への光照射は葉面吸収を促進させる(堤1976)。加えて、夜温が低い場合、呼吸による消費を抑えられることから、葉や稈といった同化器官から子実への転流速度が速くなることが知られている(Sofieldら1977, Wardlawら1980)。内陸の盆地に位置している道北地域は、道央地域に比べ、日照時間が長く、気温の日較差が大きい(第4-3図, 第4-4図)。このことが、道北地域において葉面散布の効果が高かった要因と推測される。

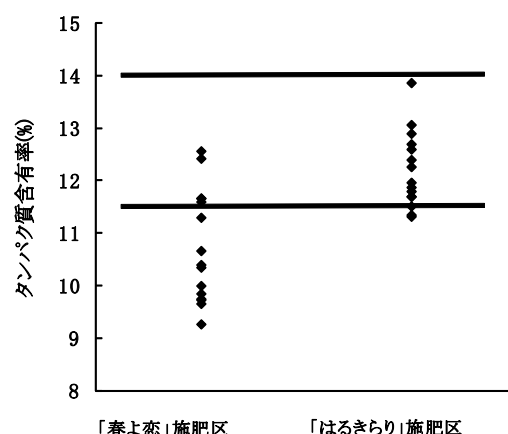
以上より、追肥は、地域によって異なる方法を選択すべきである。すなわち、葉面散布を行う場合、道北地域に代表される日照時間が長く、気温日較差の大きい地帯では、開花期以降の葉面散布3回でタンパク質含有率を1%程度向上させることができるが、道央地域のような比較的日照時間が短く、気温日較差の小さい地帯では、同じ効果を得るためには開花期以降の葉面散布は4回必要である。硫安土壌施用は、土壌が緊密で追肥時期に降水量の少ない地帯では安定した効果を得ることは難しいが、そうでない地帯においては硫安土壌施用でも十分に追肥の効果が認められると考えられる。

3. 「はるきり」の窒素施肥法

上記の結果に基づき、「はるきり」が安定してタンパク質含有率が基準値(11.5~14.0%)となるような窒素施肥法を次のように策定した。基肥窒素量は 12 g m^{-2} を超えない範囲で、「春よ恋」の標準施肥量に 3 g m^{-2} 程度増肥する。タンパク質含有率向上のための窒素追肥は、道北地域など少雨条件になりやすい地帯は、開花期以降の葉面散布3回、道央地域などそれ以外の地帯では同4回または止葉期の硫安土壌施用を行う。ただし、収量水準が $600 \sim 660 \text{ g m}^{-2}$ となるような多収圃場では、耐倒伏性とタンパク質含有率を安定的に両立させることが難しく、本栽培法によってもパン用コムギとして必要とされる基準値の下限11.5%に達しない場合がある。

最後に、第2章第1節で検討した穂揃期の生育診断

による追肥の要否判定が、「はるきり」に必要なかどうかを検討した。第4-11図に、本試験で行った試験区のうち「春よ恋」標準施肥法(基肥窒素量は各圃場慣行, 追肥なし)で栽培した「はるきり」と、本節で新たに設定した「はるきり」の施肥法(基肥窒素量は「春よ恋」に 3 g m^{-2} 増肥を行い、各地域に適した追肥を実施)で栽培した「はるきり」について、タンパク質含有率の分布を示した。その結果、「春よ恋」施肥法では、タンパク質含有率の基準値下限(11.5%)を下回る試験区が15例中10例であったのに対し、「はるきり」施肥法のタンパク質含有率はほぼ基準値内となった。また、タンパク質含有率が基準値の上限(14.0%)を超過する事例もなかった。したがって、「はるきり」に対しては、生育診断の必要はなく、すべての圃場において追肥を行う必要があると判断された。



第4-11図 「はるきり」に対する窒素施肥方法とタンパク質含有率の分布(2004~2007年)。

「春よ恋」施肥区: 基肥窒素量は各圃場の「春よ恋」慣行法による($n = 15$)。

「はるきり」施肥区: 基肥窒素量は「春よ恋」に 3 g m^{-2} 増肥。追肥は各地域に適した方法で実施($n = 15$)。

品質評価基準によるパン用コムギのタンパク質含有率の基準値は11.5~14.0%である。その上限(14.0%)と下限(11.5%)に実線を引いた。実線の範囲内であれば、その試験区の生産物が基準値内にあることを示す。

第2節 播種期・播種量の差が生育・収量に

及ぼす影響

前節までは、主に窒素施肥の観点から栽培技術の方法を検討してきた。そこで、本節においては、窒素施肥法以外の栽培技術、特に、播種期と播種量についての検討を行った。

春まき栽培では、古くから融雪後なるべく早くに播種することが推奨されている（北海道農事試験場 1920）。これは、秋まきコムギに比べ、春まきコムギは生育期間が短く、播種が遅れると生育量が不足し、収量低下の要因となるためである（下野 1987）。高橋・中世古（1992）は、春まきコムギの半矮性品種「ハルユタカ」、長稈品種「ハルヒカリ」、ドイツの晩生品種「Selpek」を用いた試験で、遅まきによる収量の低下は、1）出芽から幼穂形成期までの日数が減少すること、2）幼穂形成期間が短くなり小穂数が低下すること、3）登熟期に急激な老化が生じること、を明らかにしている。ただし、播種の遅れによる収量への影響は、品種により異なり、穂重型の「Selpek」で減収程度が少なかった。また、北海道の春まきコムギ品種「はるひので」は「春よ恋」より千粒重が大きいため、5月上旬播種までは品質への影響は少ないとされている（北海道農政部 2002）。

春まき栽培での播種量は、1960年代初めまで 170 粒 m^{-2} が標準であった。これは、長稈品種が主流であったことから、畦幅 50～60cm、播き幅を 12cm と広くし、作物間の競合を避けることで倒伏を避けていたためである。1962年に、密植による増収効果が示され、25cm 畦幅、播き幅 6cm、播種量 340 粒 m^{-2} 以上で増収

することが明らかにされた（北海道農政部 1962）。以降は、品種にかかわらず m^2 あたり 340 粒が標準とされている（佐藤 2004）。ただし、「春よ恋」については、倒伏軽減効果の観点から 255 粒 m^{-2} についても試験が行われている（大山ら 2000）。播種量を減らした場合の倒伏軽減は、窒素の減肥に比べると小さかった。また、遅れ穂が発生しやすく、成熟ムラの可能性が増加することが懸念されるため、積極的な推奨はされていない（佐藤 2004）。

本節では、新品種「はるきらり」と現在の基幹品種である「春よ恋」を用いて播種期および播種量試験を行い、播種の遅れによる収量の低下程度と播種量の多少が生育や収量に与える影響について明らかにした。

材料と方法

1. 播種期試験

試験は、2003年から2007年に北海道内2箇所で行った。北海道北部地域（以下、道北地域）の上川農業試験場（以下、上川農試）で2003年から2006年、播種期は各年次2水準である。北海道中央部地域（以下、道央地域）の中央農業試験場（以下、中央農試）では、2005年と2006年は播種期3水準、2007年は同4水準で行った。また、2007年の中央農試では、各播種期水準に対し3～4水準の基肥窒素量を設置した（第4-7表）。いずれの試験も分割区法3反復で行った。供試圃場の耕種概要は第4章第1節と同じである。

第4-7表 各試験地の播種期。

試験場所 上川農試					中央農試		
試験年次	2003年	2004年	2005年	2006年	2005年	2006年	2007年
播種期1	4月18日	4月23日	4月28日	4月30日	4月13日	4月18日	4月12日
播種期2	5月2日	5月6日	5月11日	5月12日	4月23日	4月25日	4月17日
播種期3					5月1日	5月2日	4月25日
播種期4							5月1日

2. 播種量試験

試験は、2007 年と 2008 年に上川農試で行った。供試品種は「はるきらり」(2007 年, 2008 年), 「春よ恋」(2007 年(標準播種量のみ), 2008 年)である。基肥窒素量は 9 g m^{-2} とした。播種量は 4 水準 113, 225, 340 (標準), 510 粒 m^{-2} 設置し、いずれもシーダーテープによる条播である。うち、 113 粒 m^{-2} に対しては、 3 g m^{-2} を播種直後に硫安土壌施用する区を設けた。2007 年は乱塊法 3 反復, 2008 年は分割区法 3 反復で行った。供試圃場の耕種概要は第 4 章第 1 節と同じである。

3. 調査, 分析方法

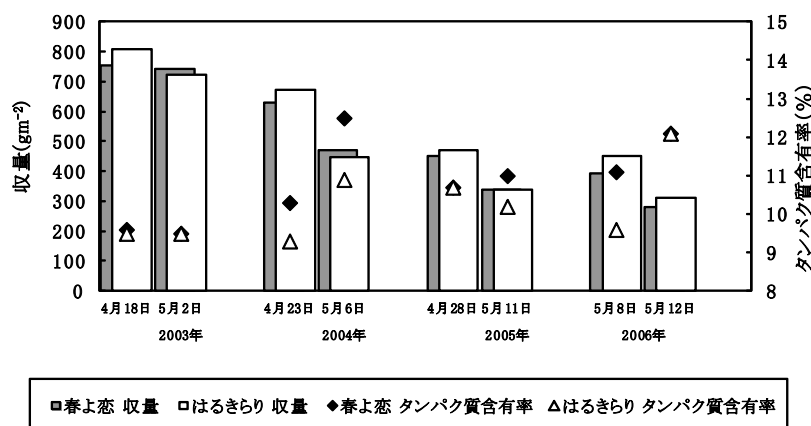
生育および収量調査は、特記した項目以外は「小麦調査基準 第 1 版」(農業研究センター 1986) に準拠した。幼穂形成期は、主稈の幼穂長が 2mm 前後に達した日とした(北海道立中央農業試験場 2002)。倒伏程度は、倒伏角度($^{\circ}$)と試験区の倒伏面積割合を達観で調査し、その掛け合わせた値により、無(指数 1)～甚(指数 5)と判定した。判定基準は以下の通り: 0 無(指数 0), 1～1000 微(指数 1), 1001～3000 少(指数 2), 3001～5000 中(指数 3), 5001～7000 多(指数 4), 7001～9000 甚(指数 5)と判定した。粗タンパク質含有率の分析は、粒のまま透過型近赤外分光光度計(Tecator 社 Infratec 1255)で測定し、同時に同じ方法で測定した子実水分含有率を用いて 13.5%水分換算(農林水産技術会議事務局 1968)で示した。なお、用いた検量線のタンパク質含有率のタンパク係数は 5.7 とした(農林水産技術会議事務局 1968)。

結 果

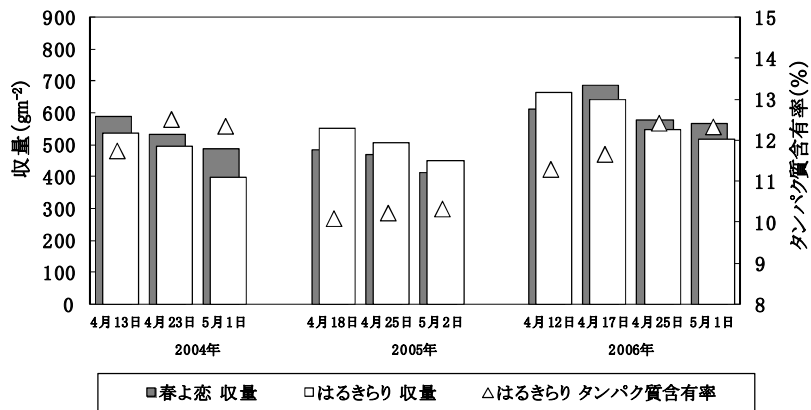
1. 播種期試験

収量は、中央農試の 2006 年「春よ恋」を除き、播種期 1 でもっとも高く、播種期が遅くなるにつれ低下し、タンパク質含有率は、2004 年と 2006 年には播種期が遅くなると高まる傾向があったが、それ以外は判然としなかった(第 4-12 図, 第 4-13 図)。全ての年次での播種期と収量の間関係を見ると、「はるきらり」, 「春よ恋」共に、播種期が遅くなるにつれ、収量は直線的に低下した(第 4-14 図)。播種期から出穂期までの日数(以下、出穂期まで日数)は「はるきらり」で 44～66 日間, 「春よ恋」で 45～68 日間, 出穂期から成熟期までの結実日数は「はるきらり」で 35～49 日間, 「春よ恋」で 34～46 日間であり、いずれも播種期が遅くなるにつれ短くなった(第 4-15 図)。また、全ての年次での播種期と各形質との関係を見ると、播種期が遅くなると、千粒重、稈長、穂数のいずれも低下する傾向が認められた(第 4-16 図, 第 4-17 図, 第 4-18 図)。

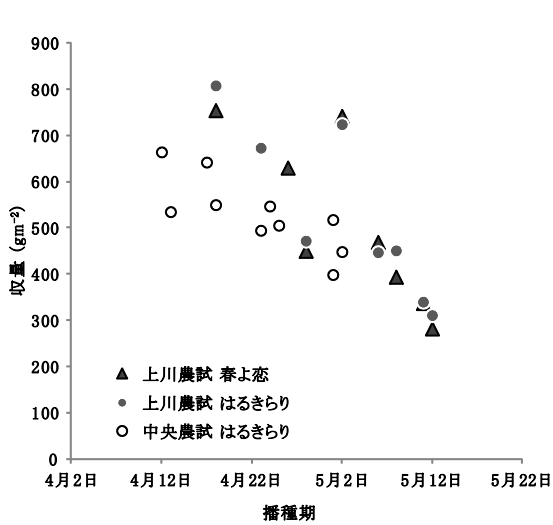
播種期に関わらず、基肥窒素量を増肥することで、収量やタンパク質含有率は向上した(第 4-19 図)。しかし、4 月 25 日播種、5 月 1 日播種の 18 g m^{-2} 区であっても、4 月 12 日播種、4 月 17 日播種の 10 g m^{-2} 区よりも低収であった(第 4-19 図)。



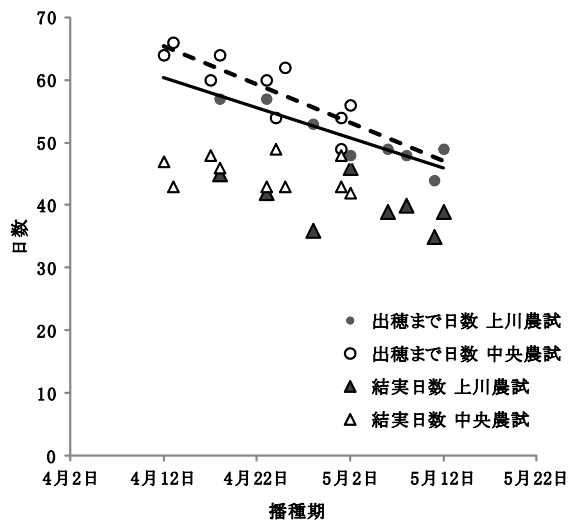
第4-12図 播種期と収量, タンパク質含有率(上川農試)。



第4-13図 播種期と収量, タンパク質含有率(中央農試).

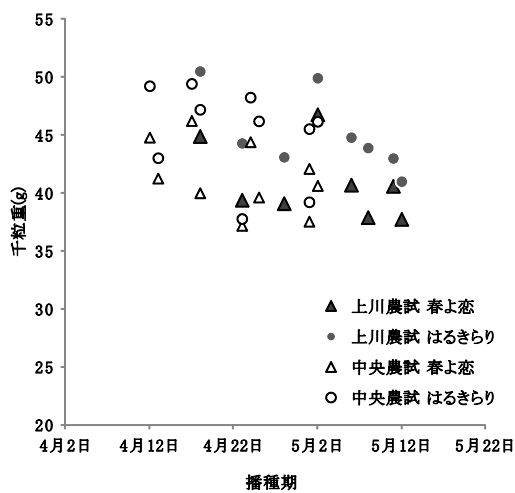


第4-14図 播種期の違いが収量に及ぼす影響(2003年～2007年).

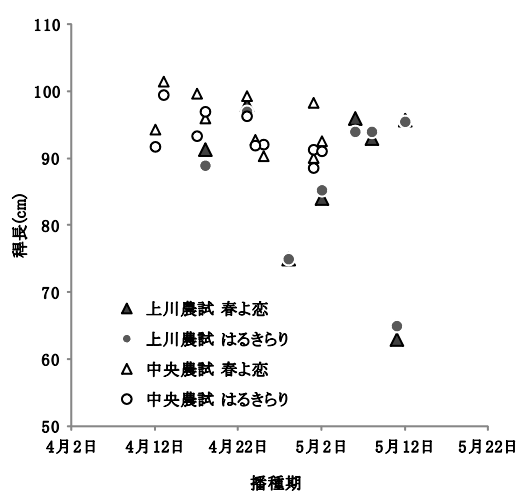


第4-15図 播種期の違いが「はるきり」の出穂まで日数と登熟日数に及ぼす影響(2003年～2007年).

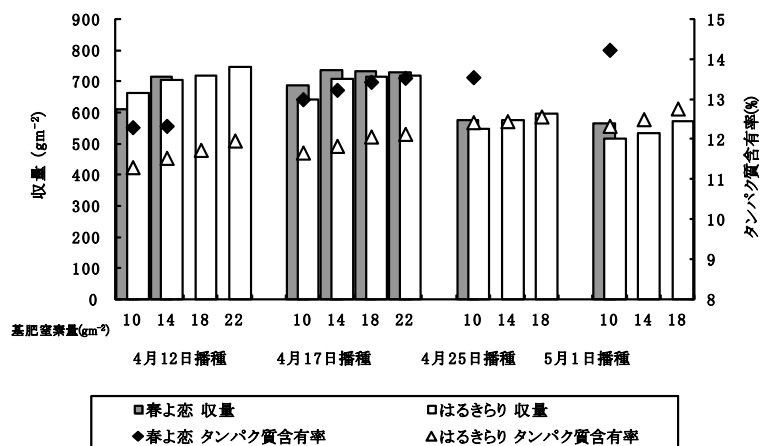
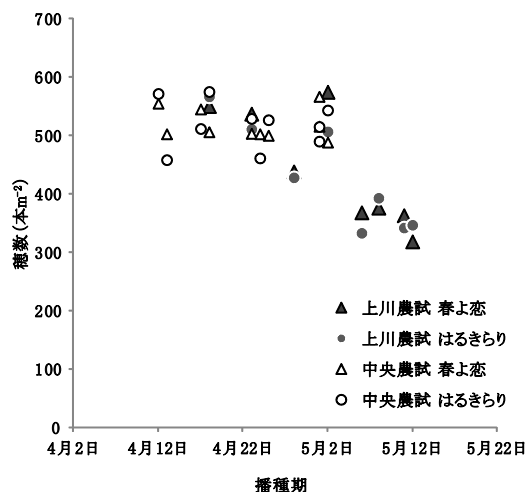
太線(): 出穂まで日数, 上川農試. $r = 0.906^{**}$, ($n = 8$).
太線破線(---): 出穂まで日数, 中央農試. $r = 0.829^{**}$, ($n = 10$).
** ; 1%水準で有意.



第4-16図 播種期の違いが千粒重に及ぼす影響(2003年～2007年).



第4-17図 播種期の違いが稈長に及ぼす影響(2003年～2007年).



第4-18図 播種期の違いが穂数に及ぼす影響(2003年～2007年)．第4-19図 播種期と窒素基肥量による収量，タンパク質含有率への影響(2007年，中央農試)．

2. 播種量試験

2007年と2008年に「はるきり」に対する播種量試験を行った結果を第4-8表，第4-9表に示す．播種粒数を510粒 m^{-2} から113粒 m^{-2} まで減少させると，出穂期が遅くなり，出穂期まで日数は有意に長くなった．出穂期から成熟期までの結実日数には，一定の傾向は認められなかった．推定分けつ数（穂数／播種粒数）は，播種粒数を減らすにつれ増加したが，成熟期の穂数は，播種粒数の多い区で多かった．千粒重は，播種粒数が少ないほど重くなる傾向であった．収量は，113粒 m^{-2} 区で著しく低かった．いずれの区でも倒伏は生

じなかった．

2008年に「春よ恋」に対する播種量試験を行った結果を第4-8表に示す．「はるきり」同様，播種量の低下に伴い，出穂期まで日数は長くなったが，結実日数に一定の傾向は認められなかった．推定分けつ数は，播種粒数を減らすに従い増加し，成熟期の穂数は113粒 m^{-2} で422本 m^{-2} と，255粒 m^{-2} よりも多くなった．千粒重は，510粒 m^{-2} で軽かったものの，その他の試験区に差は認められなかった．収量は，510粒 m^{-2} でもっとも多収となったが，他の試験区に大きな差は認められなかった．

第4-8表 播種粒数が生育および収量特性に及ぼす影響（2007年）．

品種名	播種粒数 (粒 m^{-2})	播種期 (月日)	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	出穂まで 日数	結実 日数	生育 日数	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本 m^{-2})	推定 分けつ数	倒伏 (0-5)	収量 (gm^{-2})	標準比 (%)	容積重 (g)	千粒重 (g)
はるきり	113	4.25	6.17	8.01	53	45	98	78	7.1	262	2.3	0.0	35.6 ^{*2}	92	846	47.9
	225	4.25	6.16	7.30	52	44	96	80	7.6	306	1.3	0.0	38.0	98	851	45.8
	340	4.25	6.16	7.29	52	43	95	82	7.2	360	1.1	0.0	38.6	100	848	45.1
	510	4.25	6.15	7.29	51	44	95	81	7.3	399	0.7	0.0	40.7	105	849	46.6
春よ恋	340	4.25	6.17	7.26	53	39	92	85	8.3	341	1.0	1.0	43.7	-	840	44.3
統計処理 ^{*1}	平均	-	-	-	52	44	96	80	7.3	332	-	0.0	37.4	-	848	46.6
	LSD(5%)	-	-	-	2.3	ns	2.3	ns	0.5	80	-	-	3.1	-	ns	ns
	LSD(1%)	-	-	-	3.4	ns	3.4	ns	ns	117	-	-	4.5	-	ns	ns
	CV	-	-	-	1.1	2.1	1.1	1.6	3.5	13.6	-	0.0	4.4	-	1	2.6

*1 統計処理には，「春よ恋」は含んでいない．

*2 2反復試験であることを示す．

第4-9表 播種粒数が生育および収量特性に及ぼす影響 (2008年).

品種名	播種粒数 (粒 m^{-2})	播種期 (月日)	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	出穂まで 日数	結実 日数	生育 日数	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 ($/m^2$)	推定 分けつ数	倒伏 (0-5)	収量 (gm^{-2})	標準比 (%)	容積重 (g)	千粒重 (g)
はるきらり	113	4.15	6.18	8.01	64	44	108	93	8.3	387	3.4	0.0	47.5	87	813	44.0
	225	4.15	6.16	7.28	62	42	105	96	8.3	434	1.9	0.0	51.8	95	818	42.3
	340	4.15	6.16	7.29	62	43	105	98	8.1	501	1.5	0.0	54.6	100	817	41.3
	510	4.15	6.15	7.29	61	44	105	100	7.9	610	1.2	0.0	53.5	98	815	40.3
春よ恋	113	4.15	6.20	7.27	66	38	104	98	9.1	422	3.7	0.0	46.3	98	813	39.9
	225	4.15	6.19	7.27	65	39	104	99	8.6	393	1.7	0.0	45.0	95	812	39.9
	340	4.15	6.19	7.27	65	38	104	98	8.6	560	1.6	0.5	47.4	100	817	39.7
	510	4.15	6.17	7.26	64	39	102	97	8.5	582	1.1	0.3	50.8	107	818	37.4
統計処理	2品種平均	—	—	—	64	40	104	97	8.5	483	2.3	0.1	49.4	—	815	40.6
主区	品種	—	—	—	*	*	*	n.s.	*	n.s.	—	—	n.s.	—	n.s.	*
細区	処理	—	—	—	**	n.s.	**	n.s.	**	**	—	—	n.s.	—	n.s.	**
交互作用		—	—	—	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	—	—	n.s.	—	n.s.	*

考 察

1. 播種期試験

播種期を遅くした場合、「はるきらり」,「春よ恋」ともに収量が低下した(第 4-12 図, 第 4-13 図). この時の収量は, 試験年次や場所にかかわらず, 暦日での播種期で直線的に低下していた(第 4-14 図). コムギの出穂には, 純粋早晩性に加え, 感光性も関与するとされている(Kato and Yamagata 1988). 今回供試した 2 品種の感光性の有無については分かっていないが, 出穂期まで日数が直線的に減少していたこと(第 4-15 図), 年次により変化する気温条件ではなく, 暦日での相関が高かったことから, 感光性が関与している可能性があると考えられた. したがって, 気象条件にかかわらず, 播種期を遅らせることは, 収量性の低下につながるため避けるべきといえる.

播種期の遅れによる収量の低下は, 既往の報告(下野 1986, 高橋・中世古 1992)と同様に, 生育量と穂長の低下に起因していた. すなわち短稈化や穂数の減少, また千粒重の低下が生じたためである(第 4-16 図, 第 4-17 図, 第 4-18 図). 特に 5 月上旬の播種は, 穂数が著しく減少しており, 稈長もきわめて短い事例が認められていることから, 4 月中の播種が望ましいと考えられる.

晩播により生育量が小さくなることを補うために, 晩播時に基肥基肥量を増肥したが, 施肥量を増やしても, 早播きの収量性には達しなかった(第 4-19 図). コムギの収量性は, 開花期までの初期生育に強く規定されることが多く報告されている(Whan ら 1991, Regan ら 1992,

Bindraban ら. 1998, 福嶋 2007) ことから, 開花期までに生育量を確保することが重要と考えられる. しかし, 上述したように本節での晩播による収量の低下の要因は, 生育期間の短縮によるものであった. 作物の窒素吸収速度や生育速度には上限があることから, 生育期間の短縮による生育量の低下に対しては, 増肥の効果が少なかったものと推測される.

「はるきらり」と「春よ恋」を比較した場合, これら 2 品種の収量性に差は認められなかった. 晩播適性があるとされた「Selpek」は, 標準播種においても分けつ数が少なく, 晩播時の穂数がほとんど減少しない穂重型であった(高橋・中世古 1992). また, 「はるひので」も粒大が大きく, 晩播してもその低下程度が小さかった(北海道農政部 2002). しかし, 今回供試した「はるきらり」は, 「春よ恋」よりも千粒重が大きい, 標準栽培における穂数は同程度である(中道ら 2011). また, 千粒重の低下程度にも差は認められなかった(第 4-16 図). したがって, 今回供試した 2 品種の晩播適性は同程度であると言える.

収量と成熟期の窒素含量, タンパク質含有率には密接な関係があり, 窒素含量が一定ならば, 収量とタンパク質含有率には負の相関が認められる(第 2-3 図). 本試験においては, 窒素施肥条件が一定であるため, 晩播すると収量が低下し, タンパク質含有率が向上する事例が多く認められた(第 4-13 図, 第 4-14 図, 第 4-19 図). しかし, 2005 年の上川農試や 2004 年, 2006 年の中央農試の「はるきらり」では, 収量, タンパク質

含有率ともに低下、あるいはタンパク質含有率の向上が認められなかった。タンパク質含有率は登熟後期に決定されることから、登熟後期における窒素吸収あるいは転流能力が「はるきらり」と「春よ恋」では異なる可能性があると考えられた。

2. 播種量試験

2007 年と 2008 年の試験において、「はるきらり」の播種量を 113 粒 m^{-2} まで減らした場合、推定分けつ数が増加し、千粒重が重くなったものの、穂数の少なさを補うことができず減収した(第 4-8 表, 第 4-9 表)。 255 粒 m^{-2} は、 340 粒 m^{-2} とほぼ同等の生育を示したが、収量は 2 か年ともやや低い傾向であった。 510 粒 m^{-2} の収量は、 340 粒 m^{-2} と大きな差は認められず、さらに 2007 年の推定分けつ数が 0.7 と、1 を切っており、出穂しなかった個体があったと推測される。1962 年の北海道における「北育 4 号」、「北育 7 号」、「農林 75 号」に対する播種量試験でも、 170 粒 m^{-2} よりも 340 粒 m^{-2} 以上で多収だったが、 680 粒 m^{-2} の場合、穂数は $479 \sim 575 \text{ 本 m}^{-2}$ と播種粒数より少なかった(北海道農政部 1962)。したがって、過度の播種粒数は、未出穂個体の増加を招くことから、種子の無駄であり、適切な粒数を播種することが重要である。本試験より、「はるきらり」に対する播種量は、現行の標準播種量である 340 粒 m^{-2} がもっとも適切であるといえる。

2008 年の試験では、「はるきらり」と「春よ恋」に品種間差が認められた。「はるきらり」では上述したとおり、播種量 133 粒 m^{-2} で穂数が減少したが、「春よ恋」の穂数は、播種量 255 粒 m^{-2} よりも多かった(第 4-8 表)。福岡県での「イワイノダイチ」と「チクゴイズミ」の栽培法試験では、疎植などにより初期生育が抑制された場合、「イワイノダイチ」は最高茎数が多いため穂数の確保が可能であり、一方「チクゴイズミ」は最高茎数が少ないことから穂数の確保が困難となる可能性が指摘されている(福嶋 2007)。したがって、本節における「はるきらり」と「春よ恋」においても、同様に最高茎数に違いがあった可能性があると推測される。

また、「はるきらり」は播種量を減らした場合、穂数が減少し、千粒重が重くなったが、「春よ恋」では、千粒重の増減はなかった。「春よ恋」でも播種量 340 粒 m^{-2} に比べ、播種量 255 粒 m^{-2} 、 133 粒 m^{-2} で穂数が減少していることから、1 穂粒数を増加させることで収量を維持したと考えられる。したがって、「はるきらり」は 1 穂粒数よりも 1 粒重を、逆に「春よ恋」は、

1 穂粒数を増加させる補償作用が働きやすいと考えられた。ただし、1 穂粒数、1 粒重、穂数の間にはそれぞれ負の相関がある(川口 2001)ため、1 穂粒数と 1 粒重のどちらが収量性に寄与しているかは生育条件によって異なる(下野 1993, 福嶋 2007)。本試験においては、「春よ恋」の試験例が 1 事例のみであるため、どちらの形質が春まきコムギの安定生産に適しているかの判断までは困難であった。

上記の 2 つの試験結果より、「はるきらり」と「春よ恋」は、共に播種が遅れるにつれ直線的に収量が低下したため、両品種の晩播適性は同等であり、融雪後可能な限り早く播種することが重要といえる。また、「はるきらり」は、播種量の減少に伴い穂数が減少し、減収するため、 340 粒 m^{-2} の現行播種量を厳守すべきであることが明らかとなった。

第3節 開花期までの温度差が収量に及ぼす

影響

前節まで、窒素施肥量や播種期、播種量による生育の差から、各品種の生育特性を明らかにし、それに応じた栽培指針を作成した。しかし、実際の栽培では、上記の条件が同一であっても、播種後の気象条件により生育に差が生じ、生育や収量に影響を及ぼす大きな要因の一つとなっている。特に、コムギの収量性は、初期生育に強く規定されることが数多く報告されている（深山ら 1989, Ayoub 1994, Bindraban 1998, 佐藤・土屋 2002, 福嶋 2007）。そこで、本節では、窒素施肥量、播種期、播種量条件を揃えた試験区に対し、出芽期から止葉期、出芽期から幼穂形成期、幼穂形成期から止葉期までのそれぞれの期間に被覆処理し保温することで、開花期の生育が異なる試験区を作出した。これらの試験区は、開花期以降の登熟条件はほぼ一定となることから、開花期までの生育差が以降の生育や収量に及ぼす影響を精査することが可能である。本節では、開花期までの生育が収量に与える影響について検討を行った。

材料と方法

試験は北海道立上川農業試験場（北海道上川郡比布町、以下、上川農試）の圃場（普通畑、沖積土）で2008年に実施した。供試品種は「春よ恋」である。播種は4月15日に行った。前作はダイズである。試験は、2反復で行い、1区9.6 m²で、畦長4.0 m、畦幅60 cm、畦数4畦の条播とし、播種量は340 粒/m²とした。基肥施肥量は窒素9g m⁻²、リン酸16.2 g m⁻²、カリウム10.8 g m⁻²とした。穂揃期で生育、特に葉色に差を生じさせるために、時期別に被覆処理を行った。被覆資材は、不織布（パオパオ 80、光線透過率 80%）を2重にして用い、薬剤防除の時のみ開閉を行った。被覆処理期間および各試験区の出穂期、開花期、成熟期は、第2-6表に示した。生育および収量調査は、「小麦調査基準 第1版」（農業研究センター 1986）に準拠した。葉身長、葉身幅ともに最大となる部位をデジタルノギスで測定して平均し、葉面積は葉身長と葉身幅を乗じて算出した。各部位の窒素濃度および窒素吸収量は、1区あたり0.3 m²を6月18日（出穂期～出穂揃期）、6月25日（開花期～開花

揃期）、7月9日（登熟中期）、7月25日（成熟期）、8月1日（収穫時）の5回サンプリングし、それらを稈、展開第1葉（止葉）、展開第2葉（止葉直下1葉）、展開第3葉（止葉直下2葉）、展開第4葉（止葉直下3葉）に分け、乾燥後粉碎したものを全自動元素分析装置 vario EL III（ドイツ・エレメンタル社）により窒素濃度を測定した。窒素吸収量は、測定された窒素濃度に乾物重を乗じて算出した。タンパク質含有率は、測定された原粒の窒素濃度にタンパク質換算係数5.7を乗じて算出した。

結 果

処理1（出芽期から止葉期まで被覆）と処理2（出芽期から幼穂形成期まで被覆）は、無処理（被覆なし）や処理3（幼穂形成期から止葉期まで被覆）に比べ、幼穂形成期が7日、出穂期が3～6日遅く、出穂まで日数も3～7日長くなった（第2-6表、第4-10表）。しかし、結実日数は1～5日の差に留まったため、生育日数では無処理で2日長かったものの、処理1～3は93日と同じであった。

開花期～開花期揃に相当する6月25日の生育を第4-11表に示す。稈長は、有意な差はなかったものの、幼穂形成期以降の節間伸長期に被覆した処理1と処理3でやや長い傾向であった。穂長と茎数に差は認められなかった。止葉およびその1枚下位葉にあたる展開第1葉と展開第2葉の長径は、処理間で有意な差が認められ、いずれも出芽期から幼穂形成期に被覆していた処理1と処理2で長かった。短径は、展開第1葉の処理3で短く、展開第2葉の無処理で長かったものの、それ以外はほぼ同程度であった。葉面積は、展開第1葉の処理1と処理2で大きい傾向であったが、展開第2葉では判然としなかった。

成熟期の生育・収量および品質について第4-12表に示す。稈長、穂長、穂数、容積重、千粒重に差は認められなかった。収量は処理1で高く、タンパク質含有率は、無処理で高く処理2で低い傾向であった。

第4-10表 処理による生育期間の差.

処理	被覆時期	被覆日数 (日)	出穂期まで日数 (日)	結実日数 (日)	生育日数 (日)
無処理	被覆処理なし	0	55	41	95
処理1	出芽期から止葉期まで	41	48	45	93
処理2	出芽期から幼穂形成期まで	24	51	42	93
処理3	幼穂形成期から止葉期まで	10	54	40	93
平均		—	52	42	93
分散分析		—	**	n.s.	n.s.

第4-11表 処理による6月25日の生育の差.

処理区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	茎数 (本 m^{-2})	展開第1葉			展開第2葉		
				葉身長 (cm)	葉身幅 (cm)	面積 (cm^{-2})	葉身長 (cm)	葉身幅 (cm)	面積 (cm^{-2})
無処理	96	9.2	510	24.7	15.5	382.9	26.3	11.8	310.3
処理1	101	9.3	510	28.7	15.7	450.6	29.8	10.4	309.9
処理2	96	9.4	472	26.8	15.4	412.7	28.9	10.5	303.5
処理3	100	9.1	542	25.1	13.9	348.9	27.1	10.9	295.4
平均	98	9.3	509	26.3	15.1	398.8	28.0	10.9	304.8
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

* 面積は長径×短径で算出した.

第4-12表 処理による成熟期の生育および収量の差.

処理区	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本 m^{-2})	収量 (gm^{-2})	容積重 (g)	千粒重 (g)	タンパク質含有率 (%)
無処理	97	8.8	537	393	816	39.9	13.3
処理1	100	8.7	522	482	821	39.4	11.9
処理2	97	9.0	508	505	819	39.0	11.6
処理3	99	9.0	457	402	820	39.0	12.5
平均	98	8.9	506	446	819	39.3	12.3
分散分析	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

地上部植物体全体、及び穂の乾物重は、いずれの処理においても6月18日以降、成熟期にあたる7月27日まで増加した(第4-20図左上, 右下). 茎葉の乾物重は6月25日に、稈の乾物重は7月9日最大値となり、以降は低下した(第4-20図左下, 右上). 茎葉を部位別に分けた場合、展開第1葉の乾物重は、被覆期間の長かった処理1で重かった(第4-21図). 展開第2葉以降の下位葉の乾物重は、無処理で登熟後半まで重い傾向が認められた(第4-21図).

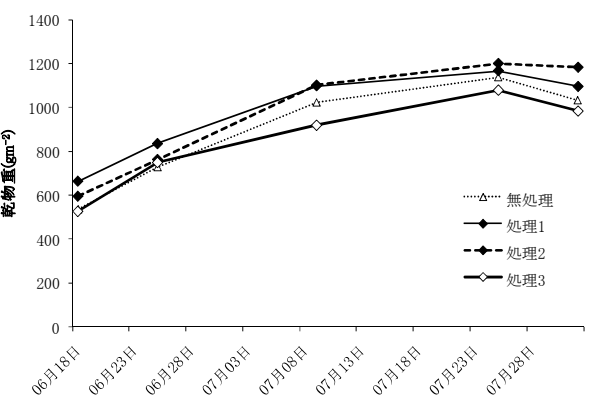
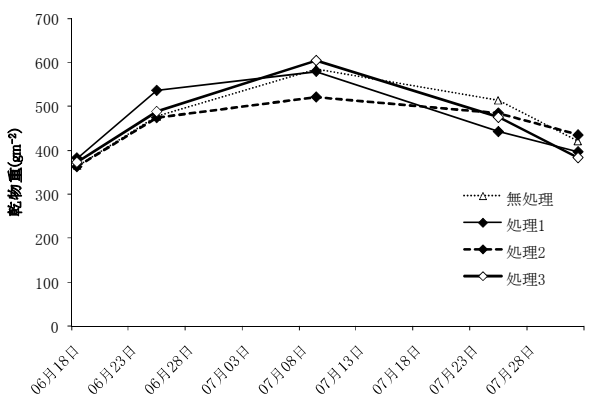
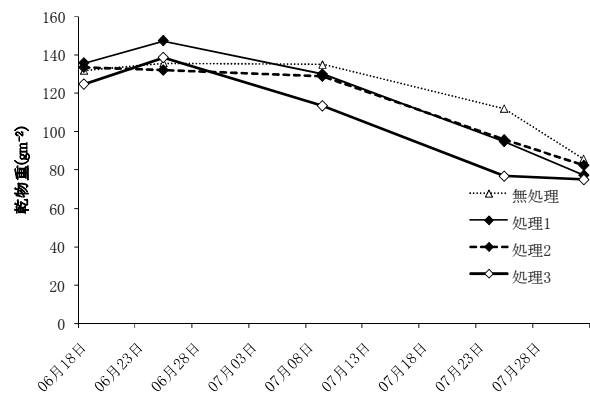
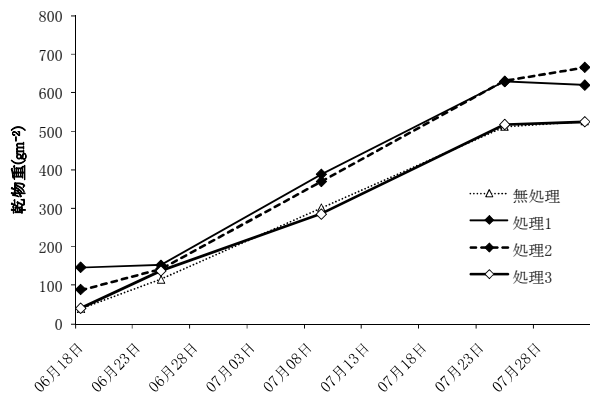
窒素含量は、地上部植物体全体では6月18日から8月1日の間に、いずれの処理でも1~2 gm^{-2} 増加したが、明確な処理間差は認められなかった(第4-22図左上). そこで、茎葉、稈、穂の各部位別の窒素含量について調査したところ、6月25日以降の茎葉と稈の窒素含量は無処理区で高く、穂はいずれも出芽期から幼穂形成期に被覆していた処理1と処理2で高い傾向であった(第4-22図).

窒素濃度は、地上部植物体全体では、無処理と処理

3がやや高い傾向を示したが、明確な差は認められなかった(第4-24図左上). そこで、茎葉、稈、穂の各部位別の窒素含量について調査したところ、茎葉の窒素濃度は無処理と処理3で高い傾向であり、稈はその差が判然としなかった(第4-24図左下, 第4-24図右上). 穂においても、無処理と処理3でやや高い傾向を示した(第4-24図右下). さらに、茎葉を葉位別に分けた場合、8月1日を除き、無処理と処理3が常に高い窒素濃度を示した(第4-25図).

考 察

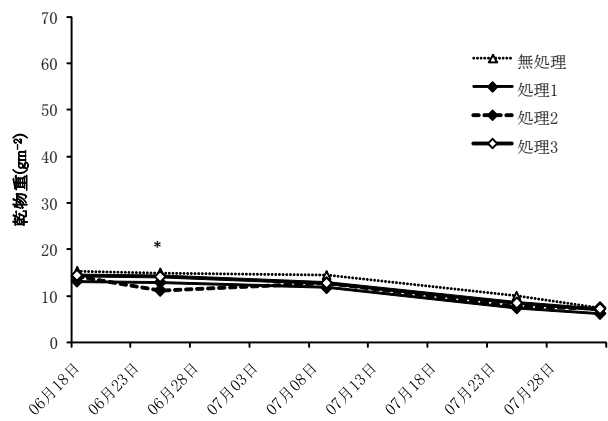
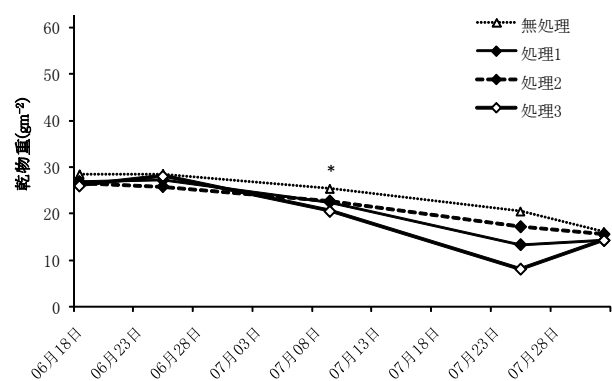
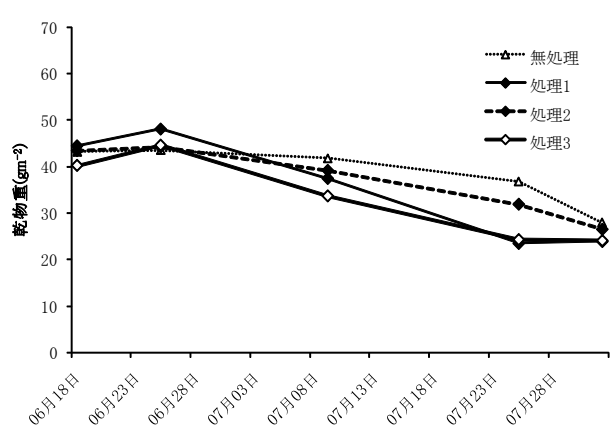
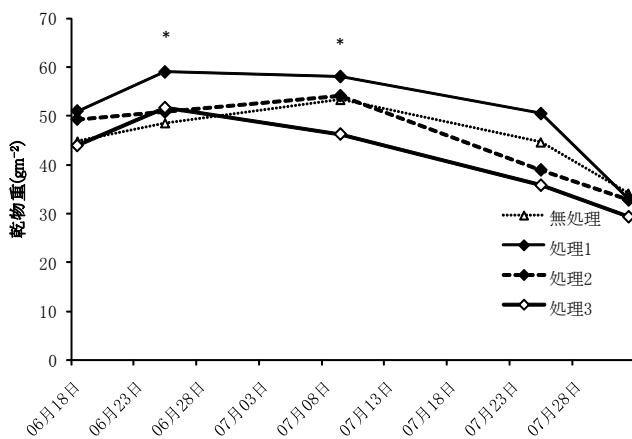
被覆期間の差により、開花期における展開第1葉と展開第2葉の葉身長、葉面積、稈長に差が生じた(第4-11表). しかし、登熟期間における地上部植物体全体の窒素含量に、差は認められなかった(第4-20図). 前節までに検討した窒素施肥量や播種期、播種量試験では、穂揃期の稈長の長さや穂数に差があっただけでなく、窒素含量にも大きな変異があった. したがっ



第4-20図 処理、部位別の乾物重の推移

左上:穂部乾物重, 右上:茎葉部乾物重, 左下:稈部乾物重, 右下:地上部植物体全体の乾物重.

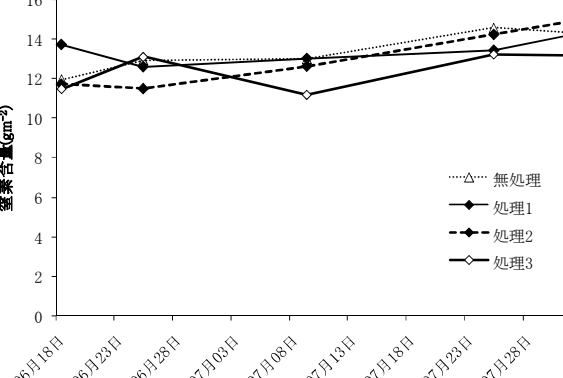
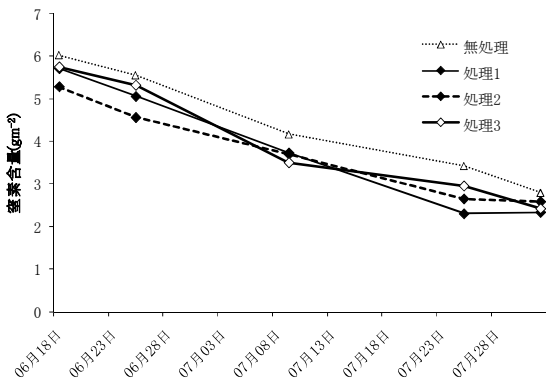
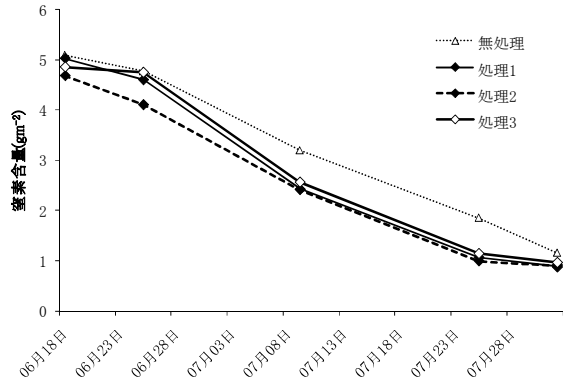
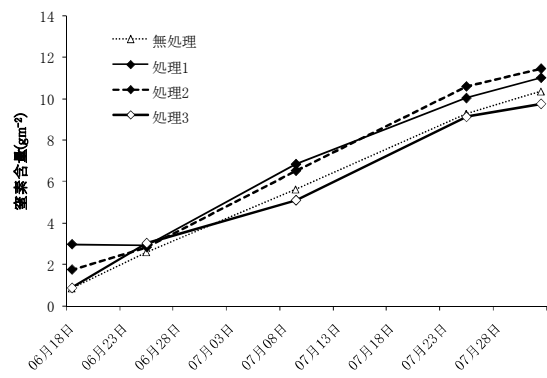
*:5%水準で有意.



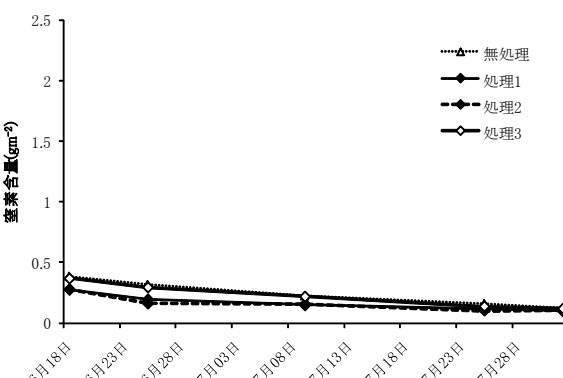
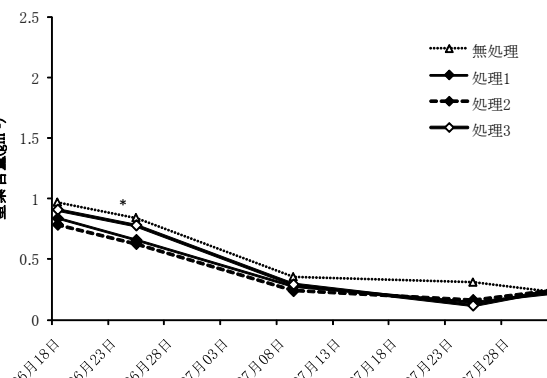
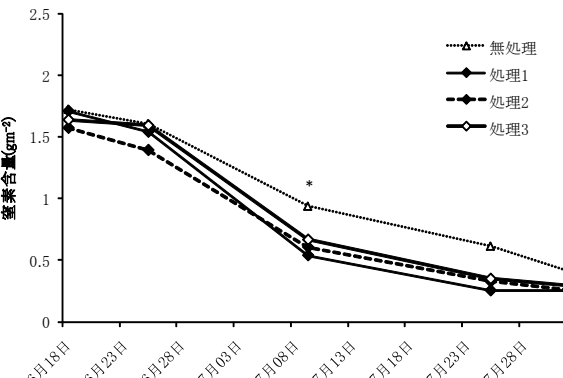
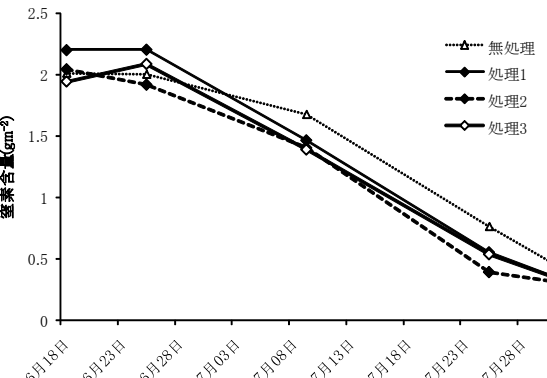
第4-21図 処理、葉位別の乾物重の推移

左上:展開第1葉, 右上:展開第2葉, 左下:展開第3葉, 右下:展開第4葉の乾物重.

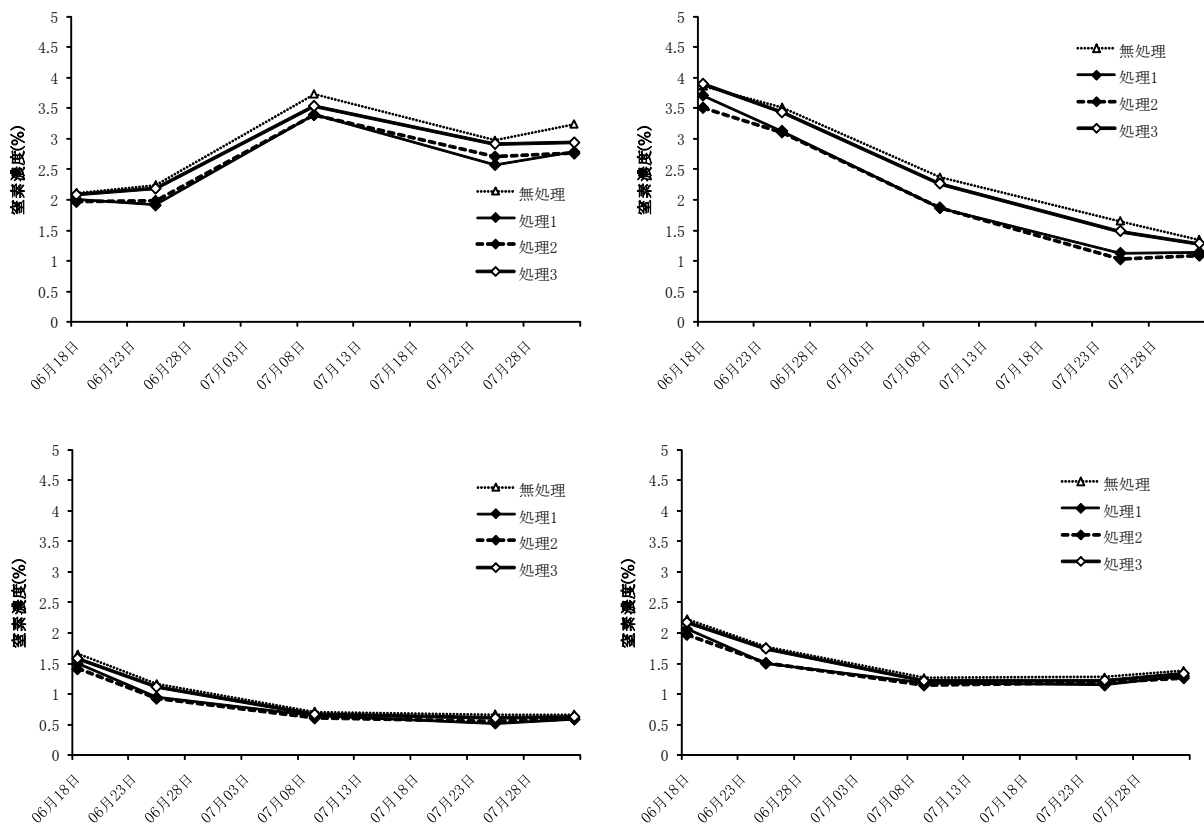
*:5%水準で有意.



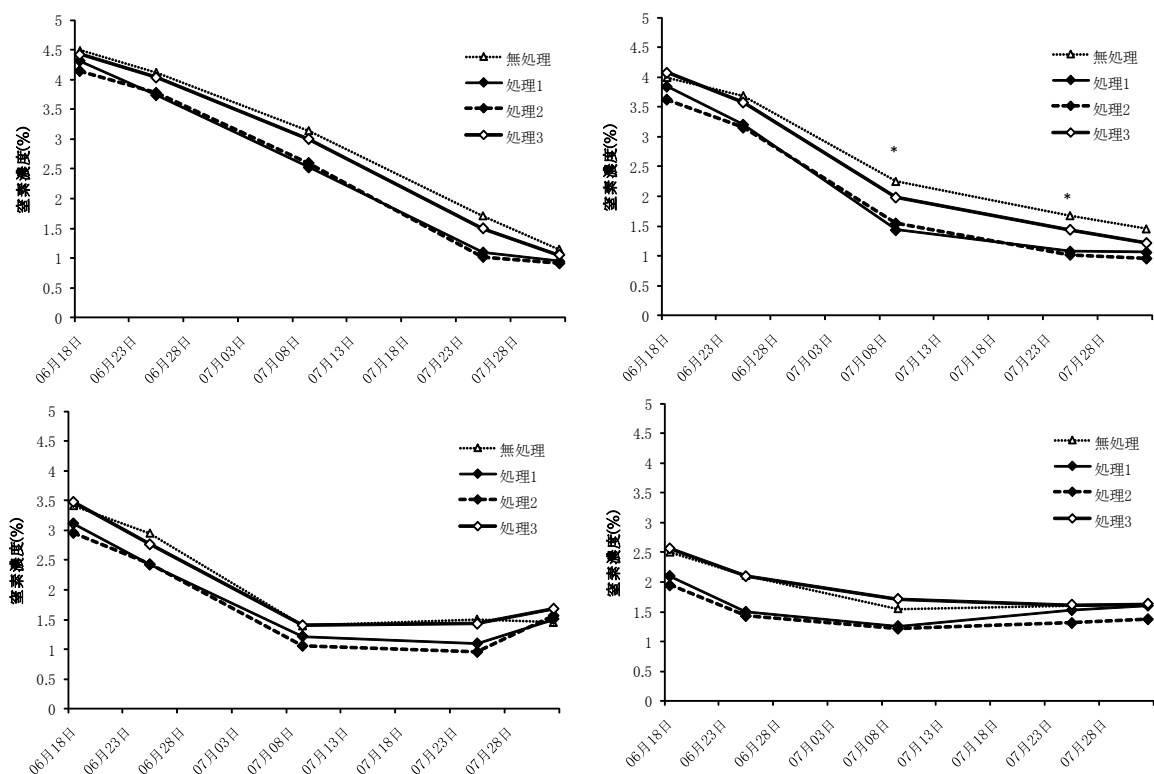
第4-22図 処理、部位別の窒素含量の推移
 左上:穂部乾物重, 右上:茎葉部乾物重, 左下:稈部乾物重, 右下:地上部植物体全体の窒素含量.
 すべての処理間で有意差なし.



第4-23図 処理、葉位別の窒素含量の推移
 左上:展開第1葉, 右上:展開第2葉, 左下:展開第3葉, 右下:展開第4葉の窒素含量.
 *:5%水準で有意.



第4-24図 処理、部位別の窒素濃度の推移
 左上:穂部乾物重, 右上:茎葉部乾物重, 左下:稈部乾物重, 右下:地上部植物体全体の窒素濃度.
 すべての処理間で有意差なし.



第4-25図 処理、葉位別の窒素濃度の推移
 左上:展開第1葉, 右上:展開第2葉, 左下:展開第3葉, 右下:展開第4葉の窒素濃度.
 *:5%水準で有意.

て、前節までの試験では、窒素含量の多少が生育に差が生じた主要因であったと考えられる。しかし、本節では、窒素含量に大きな処理間差はなかったことから、被覆処理による保温が、これらの差が生じた主要因であるといえる。

幼穂形成期に被覆処理を行っていた処理 1、処理 2 は、穂の乾物重が高く推移し、収量も高い傾向が認められた（第 4-24 図、第 4-12 表）。これらの処理区は、幼穂形成期に被覆していなかった区と比較し、成熟期の穂数、容積重、千粒重に差がなかった（第 4-12 表）。そのため、収量の向上は、一穂粒数の増加に起因すると推測される。コムギは、幼穂形成期の温度条件により、一穂小穂数と一小穂穎花数が決定されることから、処理 1 と処理 2 は、幼穂形成期の保温により、一穂小穂数が確保されていたと考えられる。

登熟期間の窒素濃度は、開花期の葉面積の大きく収量の高かった処理 1、処理 2 で薄く、葉面積が小さい無処理と処理 3 で濃く推移した（第 4-11 表、第 4-23 図）。窒素は、葉緑体の構成成分であり、窒素濃度が高いほど光合成能力も高い（高橋 1994）。そのため、窒素濃度が高かった無処理と処理 3 の光合成能力が高かったと考えられる。しかし、この 2 区の収量は、窒素濃度の薄かった処理区よりも低収であった。これは、コムギでは、出穂後、上層に分布する穂や止葉での光合成が子実生産に大きく貢献しており（Voldeng and Simpson 1967）、特に止葉より上位の器官の緑色面積と収量の高いに高い正の相関が認められている（Simpson 1968、高橋 1994）ことから、本節の栽培条件においては、収量に対しては窒素濃度よりも葉面積の確保が重要であったと推測される。窒素濃度は薄い、葉面積がもっとも大きかった処理 1 で、乾物重が常に高く推移していた（第 4-25 図）ことも、葉面積の重要性を裏付けるといえる。

各処理間の子実のタンパク質含有率の高低は、登熟期間の茎葉窒素濃度の高低と一致していた（第 4-22 図、第 4-23 図）。しかし、タンパク質含有率の高低は、収量の高低とは逆であった。すなわち、第 2 章で検討したように、窒素含量が同一水準であれば、収量とタンパク質含有率には負の関係があることから、本節でも同様の結果が得られたものと考えられる。

福嶋（2007）によると、福岡県における「イワイノダイチ」と「チクゴイズミ」を用いた試験では、開花期における LAI と総小花数が収量との間に相関が高かった。本節においても、開花期にお

ける窒素含量や乾物重より、一穂粒数と葉面積の確保により収量性が高まったと考えられた。さらに福嶋（2007）は、開花期までの平均気温が低い場合、LAI と総小花数が減少する可能性が高いと述べている。一方で、北海道での春まきコムギ栽培では、低温条件下で幼穂形成期間が延長すると、一穂小穂数が増加する傾向にあると言われている（吉村 2004）。本節において収量が優ったのは、幼穂形成期に被覆により保温された区であった。これらから、幼穂形成や葉面積の増加には適した温度帯があり、それを下回った場合には保温により増収効果が認められるが、その温度帯の範囲でなら低温条件下で生育させた方が良いといえる。したがって、本節の栽培条件では、幼穂形成期の気温が開花期までの生育に影響を及ぼし、収量に対する制限要因となったと推定される。

本節の試験は道北地域で行われた。第 4 章第 1 節第 4-1 図に示したように、道北地域は播種期にあたる 4 月中下旬から幼穂形成期にあたる 5 月上旬中甸までの平均気温が低い傾向にある。このため、低温が開花期までの生育に影響を及ぼし、収量水準を低下させる可能性がある。しかし、収量確保のために農家圃場において被覆等で保温することは現実的ではない。したがって、春まき栽培においては、開花期までの生育量確保を栽培法のみで解決することは困難であり、低温下でも生育量が確保できるような特性を持った品種の導入が望まれる。

第5章 総合考察

本研究は、春まきパン用コムギの生産量の向上と品質の安定化を目的として、コムギの栽培技術向上に関する施肥・播種法や生育診断法について広く試験を行ったものである。まず、第2章で現在の基幹品種である「春よ恋」の生育特性を解析することで、パンの品質にかかわる重要な形質であるタンパク質含有率の推定方法を構築し、第3章では、タンパク質含有率向上のための窒素追肥の効果について検証した。第4章では、第2章および第3章から得られた知見を元に、新たな品種「はるきらり」に適した窒素施肥法を開発し、さらに、窒素施肥法以外の栽培条件、すなわち播種期、播種量および開花期までの温度条件が生育・収量に及ぼす影響と最適な栽培条件について検討した。本章では、これまでに得られた成果から、春まきパン用コムギに対し効果的な栽培方法を総括すると共に、今後の課題と展望について論議する。

第1節 春まきパン用コムギの生育診断法

コムギの生育診断技術は、収量やタンパク質含有率の安定化のために数多くの研究がなされている（倉井ら 1998, Matsunaka ら 1997, 佐藤 2000, Lopez－Bellido ら. 2004, 佐藤ら 2005, 建部ら 2006b）。しかし、生育診断法は農業現場に広く普及しなければ、精度が高くても意味のないものとなるため、その手法が簡便で理解しやすいことが重要である。そこで、本研究では、圃場でも簡易に測定できる生育診断法の確立を念頭に、穂揃期の草丈、穂数および、簡便に葉色の窒素濃度を測定できる葉色値計 SPAD（Soil and Plant Analyzer Development）を用いたタンパク質含有率の予測方法を示した。この生育診断法は、穂揃期の「草丈×葉色値」から成熟期の窒素吸収量を推定し、さらに、収量も予測しなければならないため、パン用としての基準値上限（14.0 %）を超過させないための上限タンパク質含有率である 13.2%のタンパク質含有率を厳密に予測することは困難であった。しかし、圃場で簡易に使用するには十分に実用的なタンパク質含有率の予測法であると判断した。そこで、北海道北部地域の「春よ恋」に対しては、これらの結果を基に、実際の圃場での調査が行いやすいよう、簡易な追肥要否基準表を作成し、普及推進事項として利用を開始した（北海道農政部 2007a）。これらから、推

定されたタンパク質含有率が、基準値よりも低い場合には、追肥を行うことでタンパク質含有率を向上させ、逆に高いと予測される場合には、それ以上タンパク質含有率が上昇しないよう追肥を控えることで、タンパク質含有率の安定化を図ることができる。ただし、著しい虫害や倒伏が発生した区では、本方式は適用できなかったことから、本方法の適応には、正常な生育であることが必要であった。また、「春よ恋」よりタンパク質含有率の低い「はるきらり」では、生育診断によらず、追肥を行う必要があった。

現在、わが国ではパン用コムギの育種が進んでおり、北海道だけでなく全国で栽培されるようになっていく（吉川ら 2003, 田引ら 2003, 九州沖縄農研 2004, 乙部ら 2008）。本研究で作成した生育診断法が、広く他地域、あるいは他品種でも適応できれば、より一層のパン用コムギ生産の安定化に繋がると考えられる。本研究の生育診断法は、①成熟期窒素含量、収量、タンパク質含有率の関係から、成熟期窒素含量水準毎の収量とタンパク質含有率の関係を明らかにする、②穂揃期の生育（草丈、穂数、葉色値）から、成熟期窒素吸収量と収量を予測する、③①で得られた関係と②で予測した値から、収量とタンパク質含有率を推定するという3つの手順から成り立っている。したがって、①、②の条件が成立すれば、他の地域や品種に応用することが可能である。①の成熟期窒素含量、収量、タンパク質含有率の関係については、「春よ恋」と「はるきらり」で目標とするタンパク質含有率、収量に必要な成熟期窒素含量が異なっていたことから、品種毎にこれら3者の関係について整理する必要がある。一方で、秋まきコムギ「ホクシン」や「きたほなみ」の事例では、北海道東部地域と中央部地域では、上記3者の関係はほぼ同等であった（須田ら 2007）。そのため、この3者の関係は、作型や栽培地帯が大きく変化しない限りは、地域間差は少ないものと考えられる。次に、②穂揃期の生育（草丈、穂数、葉色値）による成熟期窒素含量と収量の予測であるが、これには穂揃期窒素含量と成熟期窒素含量の関係が、複数年次で一定であることが必要である。上記の方法は、穂揃期の生育が、穂揃期窒素含量と成熟期窒素含量の双方と相関が高いことを利用しているためである。したがって、適応にあたっては、まず、穂揃期窒素含量と成熟期窒素含量の関係が複数年次で安定しているかどうかを

確認しなければならない。また、登熟期間の窒素吸収量は栽培地帯によっても異なると考えられることから、それぞれの地域で穂揃期と成熟期の窒素含量の関係について明らかにする必要がある。

北海道の秋まきコムギ品種においては、より簡易な葉色値のみのタンパク生育診断法も開発されている(Matsunakaら 1997, 北海道農政部 1999, 佐藤ら 2005, 建部ら 2006b)が、本研究での適応は困難であった。この理由として、第2章第1節では、穂揃期窒素濃度が1.7%以下と1.7%以上の時で、穂揃期窒素濃度と葉色値の対応関係が異なったこと、年次や場所によって登熟環境が大きく変動したことを要因としてあげた。しかし、第2章第2節において、葉身窒素濃度と葉色値は、葉身窒素濃度2.0%を境に対応関係が異なったものの、葉身窒素濃度2.0%以上では、葉色値との間に直線関係が認められ、また、稈の窒素濃度は、タンパク質含有率との相関がきわめて低く、穂揃期の時点でも窒素濃度が1.5%と低かった。さらに、穂揃期の部位別乾物重は稈が最も重い(高橋ら 1989)ことを考え合わせると、第2章第1節における植物体窒素濃度と葉色値の関係には、稈の窒素濃度と乾物重が強く影響した可能性が高い。したがって、葉色値からタンパク質含有率を推定できなかった要因としては、適当ではなかったと判断せざるを得ない。今後、葉色のみでの生育診断を検討する場合には、登熟環境の変異について考察する必要があると考えられる。

第2節 栽培技術の高度化による収量・品質安定化手法

春まきパン用コムギの生育期間は、90～100日程度しかなく、他の作物と比べて短いことが特色である。本研究でも、生育期間の短さが栽培法を検討するうえで大きな制限要因となった。この生育期間の短さを解決するための手法としては、根雪前に播種を行い、融雪と同時に生育を開始させる「初冬播き栽培」(佐藤・土屋 2002)がある。この方法は融雪後に播種を行う一般の栽培法に比べ、生育期間が長くなり収量が高まることから、北海道内で約1,800haの広がりを見せている(久保 2010)。ただし、土壌凍結地帯では越冬が困難であり(新発田・沢田 1989, 沢田ら 1991)、土壌の種類にも影響される(佐藤 2006)ことから、すべての地域で初冬播き栽培を導入することは難しく、初冬播き栽培を導入できない多くの地帯においては、やはり春まき栽培せざるを得ない。このため、本研究は、

春まきパン用コムギの「春まき栽培」に着目した試験を行っており、以降も「春まき栽培」についての考察である。

春まきコムギの窒素施肥を考える上で重要なのは、基肥窒素量と耐倒伏性との関係である。生育期間の長い秋まきコムギでは、融雪後、起生期―幼穂形成期―止葉期と分肥することで、穂数や生育量のコントロールを行い、倒伏を回避する手法が行われている。しかし、生育期間が短い春まきコムギでは、分肥の効果が薄いことが指摘されており(Ayoubら 1994, 佐藤 2004)、基肥を重点とした窒素施肥体系にならざるをえない。基肥窒素量の増加は、収量を向上させるが倒伏も生じやすくすることから、基肥窒素量は、収量と倒伏の両方を考慮して設定する必要がある。本研究では、新品種「はるきらり」の基肥窒素量の設定について検討した。その結果、「はるきらり」は、「春よ恋」より耐倒伏性に優れており、基肥窒素量を増やすことで収量を確保することが可能であった。したがって、耐倒伏性に優れた品種が開発されれば、より一層の多収とコムギ生産の安定化を図ることが可能になるといえよう。しかし、品種の開発は一朝一夕に進むものではないことから、現在の品種を用いて更なる収量水準を目指すためには、基肥窒素量によらない方策を講じる必要もあると思われる。秋まきコムギでは、前述したように分肥による方法の他に、播種期を遅らせたり播種量を低減することによる倒伏軽減対策も行われている(須田ら 2007)が、春まき栽培では播種期の遅れは収量水準を直線的に低下させ、播種量の低減は、収量の低下を招く事例があり不適であった。また、イギリスにおいては倒伏が懸念される場合、倒伏軽減剤の使用を行うことも指導されている(HGCA 2005)。倒伏軽減剤は、コムギの節間伸長を抑制する作用があり、短稈化させることが数多くの試験から明らかにされている(Pinthus 1973, Dahnousら 1981, Knappら 1987, 高橋・中世古 1990, Ali 1993, Crookら 1995, Simmonsら 1997, Tripathiら 2004)。国内で認可されている春まきコムギの倒伏軽減剤としては、節間伸長抑制剤であるエテホン液剤とクロルメコート液剤が植物成長調節剤として農薬登録されており、それぞれ6葉期前後と出穂始に使用が可能である(北海道 2010)。したがって、倒伏が疑われるような旺盛な生育に対しては、積極的な使用も考慮すべきと思われる。ただし、これらの薬剤は一般農薬に比べ高価な場合が多いことから、収量水準を考慮し、費用対効果についても検討した上で導入すべきである。

高いタンパク質含有率は、製パン性に良い影響を与える(田中・松本 1992, 長尾 1998)。また、品質評価

ランク区分においても、パン用として適したタンパク質含有率の基準範囲が定められている。新品種「はるきらり」について検討したところ、「春よ恋」に比べ収量は優るものの、タンパク質含有率は1%程度低かった。そのため、基肥窒素のみの栽培法ではタンパク質含有率が基準の下限值に到達しない場合がある恐れがあり、追肥を行う必要があった。また、「春よ恋」でも、穂揃期の生育診断により、タンパク質含有率が低いと診断された場合には、追肥を行う必要があった。そこで、この2品種に対し、穂揃期の追肥を行ったところ、タンパク質含有率を向上させる効果が認められた。出穂後の追肥によるタンパク質含有率の向上は、カナダの春まきパン用品種「Neepawa」において、パンの生地物性悪化させたという報告(Tipplesら1977)がある。しかし、2001年に高分子グルテンサブユニット構成の異なる春まきパン用コムギ10品種に対して行った試験では、グルテンを構成するグルテニンやグリアジンの双方を向上させ、製パン性を向上させると報告されている(Johanssonら2001)。国内においても、東北・北陸地域での「東北205号(現品種名「ハルイブキ」(吉川ら2004))」、九州北部での「ミナミノカオリ」、「ニシノカオリ」、北海道における「ハルユタカ」に対する試験があり、いずれもタンパク質含有率の向上に伴ってパンの比容積が向上した(佐藤・土屋2004, 奥村2004, 岩淵ら2007)。本論文で供試した「春よ恋」、「はるきらり」も、タンパク質含有率の向上に伴って、製パン性は向上した(北海道農政部2008)。したがって、必要に応じて穂揃期の追肥を行うことで、高品質なコムギを生産させることができるといえる。

窒素の追肥は、タンパク質含有率を高める効果があったが、その効果には地域により差があった。「はるきらり」を用いた試験では、日照時間が長く、気温日較差の大きい道北地域では開花期以降の尿素葉面散布3回の追肥効果が高かったが、道央地域では同じ効果を得るためには4回の尿素葉面散布が必要であった。また、硫安土壌施用は、土壌が緊密で追肥時期に降水量の少ない道北地域では安定した効果は得られなかった。道北地域での「春よ恋」に対する試験でも、「はるきらり」と同じ傾向が認められた。したがって、追肥の効果は品種間差よりも地域間差、特に土壌条件や気象条件の違いにより大きく差があることを示しており、栽培環境に適した追肥法を選択することの重要性を示している。また、「はるきらり」と「春よ恋」のどちらの品種も、無追肥区のタンパク質含有率が低

いほど、追肥の効果が高まった。尿素の葉面散布効果は、植物体窒素濃度が低いと向上することが知られている(Goodingら1992)。本試験では、タンパク質含有率と植物体窒素濃度には高い正の相関が認められていた。そのため、無追肥区でタンパク質含有率が低い場合、植物体窒素濃度も低く、追肥の効果が高まったと推測される。

窒素施肥量の増加は、倒伏に加え様々な糸状菌病害を引き起こすことが知られている(Huber and Thompson 2007)。コムギではうどんこ病(Last 1953, Teichら1987)、赤さび病(Teichら1987, Howardら1994)、黄さび病(Ash and Brown 1991, Danial and Parlevliet 1995)が窒素基肥量の増加とともに被害度を増す。窒素追肥と赤かび病との関係についても国内外で多くの研究報告がある。基肥窒素を含む出穂期前の施肥量の影響について検討した報告では(Teich and Hamilton 1985, Martinら1991, Fauzi and Paulitz 1994, Lemmensら2004, Heierら2005, Oldenburgら2007, Subediら2007)などがあり、研究者により結果は様でなく、必ずしも一定の傾向が認められない。本試験では、基肥窒素量を増やすことでうどんこ病が増加する傾向があったものの、赤さび病やその他病害の発生は認められなかった(データ未掲)。開花時の窒素追肥の影響について、Yoshidaら(2008)は子実中のタンパク量は増加するが、赤かび病の被害度やDONの蓄積量には有意な差がない結果を得ている。本試験においても、赤かび病の被害程度に処理間で差はなかった(データ未掲)。北海道では、うどんこ病、赤さび病、赤かび病といった病害に対し、各品種の抵抗性や、病害の進展程度に応じた防除回数が研究されており(清水2004, 池田2004, 相馬・小澤2006)、本試験もその基準に則って薬剤防除を行った。以上より、現行の防除体系で病害発生を抑制できているのであれば、基肥量の増肥や開花期の追肥により病害被害が増加することはないと考えられる。

第3節 栽培法による収量・品質安定化の限界

上記から、春まきパン用コムギの栽培技術は3つのポイントに要約された。①生育期間が短いことから、倒伏を生じさせない範囲で初期生育を確保することを第一の目的とする。すなわち、できるだけ早期に播種し、各品種の耐倒伏性に応じた窒素基肥量を施用する。播種量は、現行品種においては340粒/m²が適当である。②品質の安定化のために、穂揃期の生育診断によ

り、タンパク質含有率の高低を予測する。必要に応じて追肥を行うが、「はるきらり」のようにタンパク質含有率が低くなりやすい品種に対しては、生育診断を行う必要はなくすべて追肥を行う。③追肥の形態や回数、栽培環境を勘案して決定する。本試験では、「春よ恋」、「はるきらり」の2品種の生育・収量の特性を検討し、上記についてそれぞれの品種に適した栽培法を構築した。しかし、栽培法では解決が困難な事例も認められた。例えば、幼穂形成期の気温差による開花期頃の光合成能力に関与していると考えられる事例があったが、幼穂形成期の生育温度を制御することは現実的ではなく、また、「はるきらり」では、収量を600~660 g m⁻²以上確保しようとする、必要な窒素施肥量が多くなるため、耐倒伏性と適正なタンパク質含有率を両立させることが難しいと想定された。これらは各品種の能力の限界を示している事例だと考えられる。すなわち、低温下での茎葉伸長能力や耐倒伏性は、品種固有の能力であり、この限界を超えるような栽培法を構築することは困難といえる。したがって、各品種の能力の限界を考慮した上で、各地域の圃場環境下で最大限能力を発揮させられる技術を構築することが重要であるといえよう。今後、能力の高い品種の開発を期待すると共に、各品種に応じた栽培法が確立、普及することで、春まきパン用コムギの生産量の向上と品質の安定化を実現することが望まれる。

摘 要

パン用コムギの需要は高いが、年次により収量や品質の水準が一定していない。そこで、春まきパン用コムギ収量とタンパク質含有率の安定化を目的として、生育診断法、栽培技術の高度化、特に窒素追肥法の改良について検討し、品種特性に応じた栽培指針を作成した。その概略は以下の通りである。

1. 春まきコムギの生育診断

(1) 穂揃期における生育診断技術の開発

春まきコムギの子実タンパク質含有率を推定するために、北海道北部地域の「春よ恋」の穂揃期の生育診断法について検討した。まず、成熟期の窒素含量、収量、子実タンパク質含有率の関係を精査した結果、成熟期の窒素含量を窒素含量 2 g m^{-2} 水準別に区切り、各区切り毎に子実タンパク質含有率と収量との関係をみると、窒素含量が 8 g m^{-2} 以上 14 g m^{-2} 未満の範囲では両者に高い負の相関関係が認められた。次に、これら成熟期の形質と、穂揃期の草丈、展開第2葉葉色値、穂数およびそれらの積との関連を検討した結果、成熟期の窒素含量は、「穂揃期の草丈×展開第2葉葉色値」との相関が高かった ($r = 0.872$, $P < 0.01$)。収量は、「穂揃期の草丈×展開第2葉葉色値×穂数」との相関が高かった ($r = 0.826$, $P < 0.01$)。これらの結果から、子実タンパク質含有率適正化のための穂揃期の生育診断法を策定した。すなわち、穂揃期の生育から成熟期窒素含量と収量を推定し、そこから子実タンパク質含有率を推定する。この推定法は、収量の予測が必要なのでこれに伴う推定誤差が生じるが、子実タンパク質含有率の高低を穂揃期に予測する必要がある場合や追肥要否を穂揃期に検討する場合に、圃場で簡易に使用する実用的な推定法として利用できる。

(2) タンパク質含有率推定に適した測定葉位、測定時期の検討

葉色値のみによるタンパク質含有率の推定法について、時期別に被覆処理を行うことで葉色値の異なる生育状況を作出し、より詳細に検討した。その結果、測定葉位は展開第2葉が適していたが、調査時期は穂揃期よりも開花期～開花揃期がより適していることが明らかとなった。また、葉身窒素濃度 2.0% 以下では、転流がほぼ終了しており、生育診断には不適であ

った。

2. 追肥技術の高度化による収量・品質安定化手法の開発

北海道北部地域で生育させた春まきコムギ「春よ恋」における開花期以降の尿素葉面散布（1回につき窒素成分で 0.92 g m^{-2} 、計 2.76 g m^{-2} ）が、収量、子実タンパク質含有率に与える効果と、その効果が栽培条件の違いによりどのような影響を受けるか検討した。その結果、開花期以降3回（開花期、開花期から7日目、開花期から14日目）の尿素葉面散布は、硫安土壌施用や開花期以降2回の尿素葉面散布よりも安定的にタンパク質含有率を向上させる効果があり、同時に千粒重と収量を増加させる傾向が認められた。ただし、倒伏や生育途中での葉の黄化が発生した場合、尿素葉面散布の効果は劣った。尿素葉面散布区のタンパク質含有率（ y ）は、無散布区のタンパク質含有率を x （%）とすると、 $y = 0.790x + 3.6$ ($9.6 < x < 13.9$, $n = 25$, $r = 0.973$, $P < 0.01$) の回帰式で示された。すなわち、無散布区のタンパク質含有率が高くなるような条件下では、尿素葉面散布の効果は低減し、逆に、タンパク質含有率が低くなるような条件下では、効果が高まることが明らかとなった。タンパク質含有率は窒素施肥条件に影響されることから、窒素施肥条件の多少により尿素葉面散布の効果は変動すると推測された。

3. 品種特性に応じた栽培指針の構築

(1) 新品種「はるきらり」の窒素施肥法

春まきコムギ「はるきらり」は2007年に北海道優良品種となったパン用品種である。この「はるきらり」は、「春よ恋」よりもタンパク質含有率が低くなりやすいが、多収で耐倒伏性が優れる。そこで、「春よ恋」と「はるきらり」の窒素施肥反応の差を明らかにし、「はるきらり」のタンパク質含有率をパン用コムギとして適切な範囲（ $11.5 \sim 14.0\%$ ）となるような窒素施肥法を策定した。すなわち、1)「はるきらり」の耐倒伏性から判断して、基肥窒素量は 12 g m^{-2} を超えない範囲で、「春よ恋」の標準施肥量に 3 g m^{-2} の増肥が適当である。ただし、例年「春よ恋」で著しい倒伏を生じるような圃場においては、既に多量の窒素施肥が行われていると判断できるため、これ以上増肥す

べきではない。2)「はるきらり」のタンパク質含有率は低くなりやすいため生育診断の必要はなく、開花期以降に行う窒素の後期追肥は、基肥窒素量に関わらず、タンパク質含有率と品質・子実重の向上のために必ず行う。3)道北地域など少雨条件になりやすい地帯は、開花期以降の葉面散布3回、道央地域などそれ以外の地帯では同4回または止葉期の硫酸土壌施用を行う。ただし、収量水準が $600\sim 660\text{ g m}^{-2}$ となるような多収圃場では、耐倒伏性とタンパク質含有率を安定的に両立させることが難しく、本栽培法によってもパン用コムギとして必要とされる基準値の下限に達しない場合がある。

(2) 播種期・播種量の差が生育・収量に及ぼす影響

新品種「はるきらり」と現在の基幹品種である「春よ恋」に対して播種期および播種量試験を行い、播種の遅れによる収量の低下程度と播種量の多少が生育や収量に与える影響について明らかにした。その結果、「はるきらり」と「春よ恋」は、共に播種が遅れるにつれ直線的に収量が低下したため、両品種の晩播適性は同等であり、融雪後可能な限り早く播種することが重要であった。播種量の増減は、「はるきらり」の穂数や収量に大きな影響を及ぼした。特に播種量の減少は穂数を減少させ、減収したことから、 340 粒 m^{-2} の現行播種量を厳守すべきであった。

(3) 開花期までの生育差が収量に及ぼす影響

開花期までの生育差が収量に与える影響について検討するために、窒素施肥量、播種期、播種量条件を揃えた試験区に対し、出芽期から止葉期、出芽期から幼穂形成期、幼穂形成期から止葉期までのそれぞれの期間に被覆処理し保温することで、開花期の生育が異なる試験区を作出し、以降の生育を解析した。これらの処理に窒素含量の差はなかったが、幼穂形成期に被覆により保温された区で窒素濃度は低かったが、多収となった。これは、上位葉の葉面積と一穂粒重が確保されたためと考えられた。したがって、本試験の栽培条件下では、幼穂形成期の気温が開花期までの生育に影響を及ぼし、収量に対する制限要因となったと推定された。開花期までの生育量確保は、栽培法のみで解決することは困難であることから、低温下でも生育量が確保できるような特性を持った品種の導入が望まれる。

以上から、生育期間の短い春まきパン用コムギでは、品種特性や栽培環境に応じて①初期生育の確保と耐倒伏性の両立、②生育診断によるタンパク質含有率の推定、③追肥方法の選択の3点を解明することが栽培技術の構築に必要であった。

Studies on the cultivation method for stable yield and high quality of breadmaking spring wheat

Sato Mikako

Summary

Changes of eating habits of Japanese people and economic development lead to increasing demands on domestic bread wheat for several decades. Therefore, wheat breeders and researchers have been making efforts to develop hard wheat cultivars with high yielding and suitable flour quality for breadmaking. However, the production of domestic wheat for bread meets only one percent of the demands and most of which are produced in Hokkaido, the northernmost island of Japan. While Hokkaido has high potential for cultivation of wheat for breadmaking, production in this area is always at risk for yield reduction and degradation of flour quality because of uncertain weather. For breadmaking, the quality and quantity of grain protein are most important determinants. The quality of grain protein is primarily controlled by genetics, whereas grain protein content (GPC) is dependent on cultivation technique. The criteria of GPC is determined as 11.5 to 14.0% that is highly influenced by the environment including cultural practices, most notably nitrogen fertilizer.

The aim of this study was to establish the cultivation method for stable yield and high flour quality of spring wheat for bread in Hokkaido. The present thesis described the growth diagnosis method and advanced fertilizer application method, and illustrated the cultivation guidelines according to different cultivar's ability. The results of this study are summarized as follows.

1. Growth diagnosis of spring wheat for bread

(1) Development of growth diagnosis at heading time

A simple method for predicting the GPC of spring wheat cultivar "Haruyokoi" from plant characters evaluated at heading in the field was developed by using the field data for growth diagnosis in northern Hokkaido. GPC at maturity was strongly correlated with grain yield at plant nitrogen absorption every 2 gm⁻² from 8 to 14 gm⁻² ($r = 0.871 \sim 0.937$, $P < 0.01$). The plant nitrogen absorption was correlated with "plant height $\times$ color value of the second leaf" at heading time ($r = 0.872$, $P < 0.01$). The grain yield was correlated with "plant height $\times$ color value of the second leaf $\times$ number of ears" at heading time ($r = 0.826$, $P < 0.01$). These results indicated that a simple prediction of GPC is possible by using plant characters generally used for growth diagnosis at heading time. This prediction method was expected to be useful to decide the amount of supplemental application of nitrogen at heading time.

(2) Optimal leaf position and diagnosis time for predicting GPC

For the predicting GPC using only leaf color, the optimal leaf position and diagnosis time were investigated by growing "Haruyokoi" at different levels of shading to make leaf color variation. The second leaf below the flag leaf was profitable to estimate the plant nitrogen level and GPC with accuracy same as the previous trails. Optimal diagnosis time was the flowering stage rather than heading stage. Less than 2.0% of leaf blade nitrogen concentration or yellowing of leaf blade was not adapted to growth diagnosis for lower nitrogen concentration.

2. Effect of topdressing with foliar spray of nitrogen on grain yield and GPC

To determine effect of topdressing of foliar spray of nitrogen, "Haruyokoi" was cultivated with different

basal nitrogen applications at three locations in northern Hokkaido during 2004-2006. Foliar spray of nitrogen as urea was conducted three times (0.92 g m^{-2} /time per application) at the anthesis time, 7 days later, and 14 days later. These three applications resulted in a significant increase in GPC over the three locations and years. Grain yield and 1000-grain weight were also increased. In lodged plants or younger plants with yellow leaves, the effect was not strong. The relationship between GPC with foliar application (y) and GPC without foliar application (x) was shown by the regression formula; $y = 0.790x + 3.6$ ($9.6 < x < 13.9$, $n=25$, $r = 0.973$, $P < 0.01$). GPC varied with the amount of basal nitrogen applied, and it was found that the topdressing by foliar spray of nitrogen was more effective to control GPC and increase yield in plants grown under lower nitrogen fertilizer conditions.

3. Design of production guidelines according to cultivar's ability

(1) Nitrogen fertilizing method for "Harukirari"

A new spring wheat cultivar "Harukirari" that was released in 2007 has better yield and tolerance to lodging than "Haruyokoi". GPC of "Harukirari", on the other hand, tends to be lower than that of "Haruyokoi". Response to nitrogen fertilizer was compared between two varieties. The results suggested that the effective cultivation method of "Harukirari" for the adequate GPC for bread; 1) in terms of lodging resistance, basal nitrogen level of "Harukirari" can increase by 3 g m^{-2} of the basal nitrogen level of "Haruyokoi" within 12 g m^{-2} . But it should not increase the basal nitrogen level of "Harukirari", if "Haruyokoi" had previously lodged. It meant excessive fertilization in the field already. 2) For high yield and adequate GPC for bread, additional fertilization is needed at full heading time without growth diagnosis. 3) How to select of the effective additional fertilization, it would be considered their weather. The results of fertilization trials showed that 3 times of foliar urea application was adapted for increasing GPC in the northern Hokkaido where the amount of rainfall is small. In the other areas of Hokkaido, 4 times of foliar urea fertilization or topdressing with ammonium sulfate was more effective. These results revealed that considering high lodging resistance of "Harukirari", it is difficult to be compatible with adequate GPC in the high yield fields, for example over $600\text{-}660 \text{ g m}^{-2}$.

(2) Effects of seeding time and rate on growth and grain yield

The effects of seeding time on growth and yield were analyzed using "Haruyokoi" and "Harukirari". Both cultivars showed great yield loss in later seeding time. It indicated the importance of early seeding after winter. The effect of seeding rate on development and yield was investigated. The ear number and yield were less in low seeding rate than in the standard rate (340 seeds/m^2). This result demonstrated that the seeding rate should be kept at the standard rate of spring wheat.

(3) Effect of growth promotion on nitrogen absorption and grain yield

To know effect of growth promotion until flowering time on subsequent growth and grain yield, "Haruyokoi" was grown under three different mulching treatments; viz. from emergence to flag leaf stage, from emergence to panicle formation stage and from panicle formation stage to flag leaf stage. Compared to control or no mulching treatment, heading date was accelerated in the mulching treatment from emergence to panicle formation stage. Growth promotion at the panicle formation stage associated to plant nitrogen content, and increased in yield mainly due to higher numbers of spikelets per ear. This indicated that low temperatures from emergence to panicle formation stage could retard wheat growth and limit grain yield. Thus, it is necessary to breed new cultivars which have high growth ability under the low temperature from emergence to panicle formation stage.

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、終始、温かい励ましとご助言、ご校閲を頂いた帯広畜産大学地域環境学研究部門教授 三浦秀穂博士に心から感謝申し上げます。本論文のご校閲の労を頂いた岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター教授 星野次汪博士、帯広畜産大学地域環境学研究部門教授 筒木潔博士にも深く感謝いたします。また、論文投稿に際し、ご校閲いただいた北海道大学大学院農学研究院教授 岩間和人博士に深く感謝します。

本研究を取りまとめるきっかけを与えてくれたのは、上川農業試験場研究主任 奥村正敏博士(現、道南農業試験場研究部長)、上川農業試験場栽培環境科長 柳原哲司博士(現、中央農業試験場作物開発部農産品質グループ主査)、および上川農業試験場栽培環境科 五十嵐俊成博士(現、上川農業試験場研究部生産環境グループ主査)のお3方です。共同研究者として多大なるご助力を頂いただけでなく、熱意あるご指導・ご教示がなければ、本研究を取りまとめることはできませんでした。心より感謝します。また、上川農業試験場畑作園芸科 藤田正平博士(現、中央農業試験場作物開発部作物グループ主査)からは、論文執筆にあたって、絶大なるご支援と激励をいただきました。コムギ試験全般に関しては、北見農業試験場技術普及部次長 柳沢朗氏(現、中央農業試験場作物開発部長)、十勝農業試験場研究部主任研究員 中津智史博士(現、中央農業試験場環境部環境保全グループ研究主幹)、上川農業試験場研究部管理科長 宮本裕之氏(現、北見農業試験場研究部麦類グループ研究主幹)、北見農業試験場麦類科長 吉村康弘氏(現、北見農業試験場研究部麦類グループ主査)、元北海道立中央農業試験場作物開発部畑作科 佐藤導謙博士、中央農業試験場作物開発部畑作科 佐藤仁氏(現、十勝農業試験場研究部豆類グループ主査)からは、様々な専門知識をご教示いただき、また大いなる薫陶を受けました。

本研究の主要部分は、農林水産省委託プロジェクト研究「新鮮でおいしい『ブランド・ニッポン』農産物提供のための総合研究」および北海道農業協同組合中央会からの受託試験の一環として、北海道立中央農業試験場と共同で実施したものです。中央農業試験場において担当者であった神野裕信氏(現、北見農業試験場研究部麦類グループ)と上川農業試験場研究部栽培環境科 櫻井道彦氏(現、中央農業試験場農業環境部

栽培環境グループ)からは、快くデータの提供を受け、さらに貴重なご助言をいただきました。北見農業試験場作物研究部麦類科 中道浩司氏(現、上川農業試験場研究部地域技術グループ)には、子実のタンパク質含有率の分析をしていただき、また数々のご助言をいただきました。土壌分析では、中央農業試験場生産環境部栽培環境科 小野寺政行科長(現、北見農業試験場研究部生産環境グループ主査)、同栽培環境科 須田達也氏にご協力をいただきました。植物体の窒素分析には、帯広畜産大学地域環境学研究部門准教授 谷昌幸博士および研究室の皆さまに多大なるご助力をいただきました。帯広畜産大学作物学研究室の皆さまには、植物体の分析を手伝っていただき、また、私の学業に対する情熱をかき立てていただきました。畑作園芸科長 鈴木和織氏(現、中央農業試験場遺伝資源部遺伝資源グループ主査)、元上川農試畑作園芸科長 小田義信氏(現、花・野菜技術センター研究部技術研修グループ主査)には、試験遂行にあたり様々なご支援をいただきました。

現地試験の実施にあたっては、上川農業試験場技術普及部の方々、上川農業改良普及センター士別支所の相馬直子専門普及員(現、檜山農業改良普及センター本所主査)、同支所横山幸則地域第2係長、大雪支所の中村浩専門普及員(現、留萌農業改良普及センター主査)、同支所田辺清美地域第1係長、同支所千葉健太郎改良普及員(現、網走農業改良普及センター専門普及指導員)、石狩農業改良普及センター北部支所江別分室(現、石狩農業改良普及センター本所江別分室)の方々、各試験委託圃場の生産者の方々には、試験区の設定、管理、各種調査等、煩雑な作業にも関わらず快く試験にご協力いただきました。上川農業試験場研究部管理科農業技能員の各位、同場管理科臨時農業技能員および畑作園芸科臨時研究補助員の各位には、圃場作業、管理、調査、分析、また、それ以外の多くの面でも研究を支えていただきました。

論文執筆に当たり、前北海道立上川農業試験場長 塩澤耕二氏、上川農業試験場畑作園芸科の各位、北見農業試験場畑作園芸科の各位、北見農業試験場研究部麦類グループの各位に格別のご配慮をいただきました。この他にも、多くの方々のご協力とご指導により、本研究を取りまとめることができました。各位に篤くお礼申し上げます。

最後に、いつも支えてくださった私の家族、友人に心か

らの謝意を捧げます.

引用文献

1. Ali, A. A. 1993. Effect of nitrogen nutrition and ethephon on lodging and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Agric. Res. 18 : 2225–2234.
2. Arregui, L.M., B. Lasa, A. Lafarga, I. Iraneta, E. Baroja and M. Quemada 2006. Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions. Eur. J. Agr. 24 : 140-148.
3. Ash, G. J. and J. F. Brown 1991. Effect of nitrogen nutrition of the host on the epidemiology of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* and crop yield in wheat. Aust Plant Pathol. 20 : 108–114.
4. Ayoub, M. S., S. L. Guertin and D. L. Smith 1994. Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in eastern Canada. Crop Sci. 34 : 748-756.
5. Bindraban, A., K.D. Sayre and E. Solis-Moya 1998. Identifying factors that determine kernel number in wheat. Field Crops Res. 58 : 223-234.
6. Bly, A. G. and H. J. Woodard 2003. Foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. Agron. J. 95 : 335-338.
7. Crook, M. J. and A. R. Ennos 1995. The effect of nitrogen and growth regulators on stem and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat. J. Exp. Bot. 46 : 931–938.
8. Dahnous, K., G. T. Vigue, A. G. Law, C. F. Konzak and D. G. Miller 1981. Height and yield response of selected wheat, barley, and triticale cultivars to ethephon. Agron. J. 74 : 580-582.
9. Danial, D. L. and J. E. Parlevliet 1995. Effects of nitrogen fertilization on disease severity and infection type of yellow rust on wheat genotypes varying in quantitative resistance. J. Phytopathol. 143 : 679–681.
10. 榎本中衛 1929. 麦類に於ける春播型と秋播型の生理的差異に関する研究. 農事試験報 2 : 107-138.
11. Fauzi, M. T. and T. C. Paulitz 1994. The effect of plant growth regulators and nitrogen on fusarium head blight of the spring wheat cultivar Max. Plant Dis. 78 : 289–292.
12. 福嶋 陽 2007. 暖地で早播き栽培した秋播性早生コムギ品種イワイノダイチの生育特性, 収量形成に基づいた栽培技術の開発. 九州沖縄農業研究センター報告 48 : 125-181.
13. Gooding, M. J. and W. P. Davies 1992. Foliar urea fertilization of cereals : A review. Fertil. Res. 32 : 209-222.
14. HGCA 2005. Avoiding lodging in winter wheat—practical guidelines. [http : //www. Hgca.com](http://www.Hgca.com).
15. 橋本 均, 志賀行弘編 1993. 北海道土壌区一覽. 北海道立農試資料 21 : 1-123.
16. Heier, T., S. K. Jain, K. H. Kogel and J. Pons-Kuehnemann 2005. Influence of N-fertilization and fungicide strategies on Fusarium head blight severity and mycotoxin content in winter wheat. J. Phytopathol. 153 : 551–557.
17. 北海道 2010. 平成 22 年度 北海道農作物病害虫, 雑草防除ガイド (付 植物成長調整剤使用ガイド). 札幌市. p310.
18. 北海道米麦改良協会 2004. 新しい小麦作り 2004 年版. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. pp 1-258.
19. 北海道農事試験場 1920. 小麦. 北海道農事試験場彙報 24 : 1-45.
20. 北海道農政事務所 2009. 平成 21 年水稻の市町村別収穫量. [http : //www.maff.go.jp/hokkaido/toukei/kikaku/sokuho/index.html](http://www.maff.go.jp/hokkaido/toukei/kikaku/sokuho/index.html).
21. 北海道農政部 1961. 春播麦類の多条播栽培法について. 昭和 37 年普及奨励ならびに指導参考事項. p99-126.
22. 北海道農政部 1962. 春播麦類の多条播栽培法について. 昭和 37 年普及奨励並びに指導参考事項. p99-105.
23. 北海道農政部 1965. 春播小麦「北見春 2 号」に関する試験成績. 農業技術普及資料 8 : 687-701.
24. 北海道農政部 1984. 春播小麦における多収の可能性と窒素, リン酸施肥. 昭和 59 年普及奨励並びに指導参考事項. p339-343.

25. 北海道農政部 1987. 春まき小麦「ハルユタカ」の施肥改善試験. 昭和 62 年普及奨励並びに指導参考事項. p434-438.
26. 北海道農政部 1999. 土壌診断による秋まき小麦の窒素施肥量の設定. 平成 11 年普及奨励ならびに指導参考事項. p226-228.
27. 北海道農政部 2002. 春まき小麦品種「春よ恋」, 「はるひので」の品種特性に応じた栽培技術. 平成 14 年普及奨励ならびに指導参考事項. p119-121.
28. 北海道農政部 2007a. 上川地域における春まき小麦「春よ恋」に対する尿素葉面散布効果と追肥要否判定. 平成 19 年普及奨励ならびに指導参考事項. p84-86.
29. 北海道農政部 2007b. 春まき小麦新品種候補「北見春 67 号」. 平成 19 年普及奨励並びに指導参考事項. p4-7.
30. 北海道農政部 2008. パン用春まき小麦「はるきりり（北見春 67 号）」の高品質安定栽培法. 平成 20 年普及奨励並びに指導参考事項. p72-74.
31. 北海道立中央農業試験場 2002. 奨励品種決定現地調査等の実施手引き及び特性調査基準. 夕張郡長沼町. p5-13.
32. ホクレン農産部 2000. 北海道小麦今昔物語-北海道の小麦アラカルト 100 余年-. ホクレン農産事業本部 農産部麦類課. p19-99.
33. Howard, D.D., A.Y. Chambers and J. Logan 1994. Nitrogen and fungicide effects on yield components and disease severity in wheat. *J. Prod. Agr.* 7 : 448-454.
34. Huber, D. M. and I. A. Thompson 2007. Nitrogen and plant disease. In : Datnoff L. E., W.H. Elmer and D.M. Huber (eds) *Mineral nutrition and plant disease*. APS, St Paul, MN, pp 31-44.
35. 池田幸子 2004. 新しい小麦作り 2004 年版. V 病虫害防除. 7 赤さび病. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. p130-101.
36. 池田達也 2010. 小麦粉の加工適性とグルテンタンパク質組成の関連と高品質な品種開発. *農林水産技術研究ジャーナル* 33: 9-14.
37. 井上君夫, 中園 江, 脇山恭行 2005. コムギ 4 品種の登熟性に関する気象反応. *農業気象* 61 : 49-59.
38. 岩渕哲也, 田中浩平, 松江勇次, 松中 仁, 山口末次 2007. 開花期の窒素追肥がパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」と「ニシノカオリ」の製粉性, 生地物性および製パン適性に及ぼす影響. *日作紀* 76: 37-44.
39. 岩井 正志, 澤田 富雄, 須藤 健一 1994. 窒素追肥が小麦の生育, 品質に及ぼす影響. *日作紀* 63 (別 1) : 104-105.
40. Johansson, E., M. L. Prieto-Linde and J. Ö. Jönsson 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chem.* 78 : 19-25.
41. 柿崎陽一, 鈴木真三郎 1937. 小麦に於ける出穂の生理に関する研究. *農事試験場彙報* 3 : 41-92.
42. Kato, K. and H. Yamagata 1988. Method for evaluation of chilling requirement and narrow-sense earliness of wheat cultivars. *Japan. J. Breed.* 38 : 172-186.
43. 川口数美 2001. ムギ類栽培の基礎理論 I 収量構成. 転作全書 第 1 巻 ムギ. 農山漁村文化協会. 東京. p175-194.
44. 北川靖夫, 岡山清司, 廣川智子 1987. 葉緑素計によるコシヒカリの葉色と稲体窒素濃度. *富山県農技セ研報* 1 : 1-7.
45. 北見農業試験場 2008. 北見農業試験場創立 100 周年記念誌. 訓子府. 28-48.
46. 木俣 栄 2009. 北海道の小麦作り V 小麦の病害とその予防. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. p109-142.
47. Knapp, J.S., C.L. Harms, and J.J. Volence 1987. Growth regulator effects on wheat culm nonstructural and structural carbohydrates and lignin. *Crop Sci.* 27 : 1201-1205.
48. 児玉 徹 1993. 寒地秋播きコムギの生育, 栄養診断と追肥. *農業技術体系 作物編*. 第 4 巻. 174 の 2-21.
49. 久保勝照 2010. 春まき小麦「初冬まき栽培」のポイント. *北海道米麦改良* 68: 4-7.
50. 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.
51. 九州沖縄農研 2004. 製パン適性の良い硬質小麦新品種「ミナミノカオリ」. 平成 15 年度九州沖縄農業研究成果情報. http://www.affrc.go.jp/ja/research/seika/data_kyusyu/h15/2003007.

52. Last, F. T. 1953. Some effects of temperature and nitrogen supply on wheat powdery mildew. *Ann. Appl. Biol.* 40 : 312-322.
53. Le Bail, M., M. H. Jeuffroy, C. Bouchard, and A. Barbottin 2005. Is it possible to forecast the grain quality and yield of different varieties of winter wheat from Minolta SPAD meter measurements? *Eur. J. Agron.* 23 : 379-391.
54. Lemmens, M., K. Haim, H. Lew and P. Ruckebauer 2004. The effect of nitrogen fertilization on Fusarium head blight development and deoxynivalenol contamination in wheat. *J. Phytopathol.* 152 : 1-8.
55. Little, T. M. and J. M. Hills 1978. *Agricultural Experimentation*. John Wiley and Sons, New York. 87-100.
56. Lopez-Bellido, R. J., C. E. Shepherd and P. B. Barraclough 2004. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *Eur. J. Agron.* 20 : 313-320.
57. Martin, R. A., J. A. Macleod and C. Caldwell 1991. Influences of production inputs on incidence of infection by Fusarium species on cereal seed. *Plant Dis.* 75 : 784-788.
58. Matsunaka, T., Y. Watanabe, T. Miyawaki and N. Ichikawa 1997. Prediction of grain protein content in winter wheat through leaf color measurements using a chlorophyll meter. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43 : 127-134.
59. 深山政治, 勝木田博人, 斉藤憲二 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.
60. 中尾弘志, 土屋俊雄, 秋山安義 2007. 春播小麦「ハルユタカ」におけるムギキモグリバエの発生被害実態と防除対策 I. 上川地方における「ハルユタカ」の低収要因. *北海道立農試集報* 91 : 41-50.
61. 長尾精一 1998. 世界の小麦の生産と品質 上巻. 輸入食料協議会事務局. 東京. 36-90, 132-139.
62. 永尾浩司, 高橋肇, 中瀬古公男 1999. 春播コムギ2品種の乾物生産特性の遮光に対する反応の差異. *日作紀* 68 : 29-33.
63. 中道浩司, 佐藤導謙, 吉村康弘, 小林 聡, 西村 努, 池永充伸, 足利奈奈, 荒木和哉, 柳沢 朗, 今 友親, 吉田俊幸, 土屋俊雄, 白井滋久, 鈴木孝子, 白井和栄, 奥村 理 2011. 春まきコムギ品種「はるきらり」の育成. *北海道立農試集報* 95 : 25-37.
64. 農業研究センター 1986. 小麦調査基準 第1版. 農業研究センター, つくば. 1-74.
65. 農林水産省 2009. 平成21年産4麦の収穫量(第2報). *農林水産統計*. 平成22年3月22日発表.
66. 農林水産省 2010. 平成21年度食糧自給率をめぐる状況. <http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/pdf/21slide.pdf>.
67. 農林水産技術会議事務局 1968. 小麦品質検定法-小麦育種試験における- (研究成果シリーズ35). 農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京. 1-70.
68. 小田俊介・勝田真澄 2010. 小麦・大麦の増産による食料自給率向上に向けた研究の方向性. *農林水産省研究ジャーナル* 33 : 5-8.
69. Oldenburg, E., A. Bramm and H. Valenta 2007. Influence of nitrogen fertilization on deoxynivalenol contamination of winter wheat : Experimental field trials and evaluation of analytical methods. *Mycotoxin Res.* 23 : 7-12.
70. 大山耕二, 庵 英俊, 池口正二郎 2002. 春まき小麦「春よ恋」の特性と栽培法. *北農* 69 : 186-191.
71. 奥村 理 2004. 北海道産春まきコムギの品質と製パン性に及ぼす窒素施肥量と収穫時期の影響. *土肥誌* 75 : 307-312.
72. 乙部千雅子, 関 昌子, 松中 仁, 藤田雅也, 吉岡藤治, 柳沢貴司, 吉田久, 田引 正, 谷尾昌彦, 伊藤美環子, 西尾善太 2008. 製パン適性をもつ温暖地向け硬質小麦新品種「ユメシホウ」. 平成19年度研究成果情報 作物研究所. http://www.affrc.go.jp/ja/agropedia/seika/data_nics/h19/nics07-01.
73. 尾関幸男, 佐々木宏, 天野洋一, 土屋俊雄, 前野真司, 上野賢司 1988. 春播小麦新品種「ハルユタカ」の育成について. *北海道立農試集報* 58 : 41-54.
74. Payne, P. I., K. G. Corfield, L. M. Holt and J. A. Blackman 1981. Correlations between the inheritance of certain high-molecular weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. *J. Sci.*

- Food Agric. 32, 51-60.
75. Payne, P. I., M. A. Nightingale, A. F. Krattiger and L. M. Holt 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the breadmaking quality of British grown wheat varieties. J. Sci. Food Agric. 40, 51-65.
 76. Payne P. I., M. A., Nightingale, A. F., Krattiger and L. M. Holt 1989. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. J. Sci. Food Agric. 40: 51-65.
 77. Pinthus, M. J. 1973. Lodging in wheat, barley and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. Adv. Agron. 25: 209-263.
 78. Regan, K. L., K. H. M. Siddique, N. C. Turner and B. R. Whan, 1992. Potential for increasing early vigour and total biomass in spring wheat. II. Characteristics associated with early vigour. Aust. J. Agri. Res. 43: 541-553.
 79. 佐藤一弘 2000. 土壌診断, 栄養診断に基づく小麦の高品質, 安定栽培技術. 土肥誌 71: 254-258.
 80. 佐藤康司, 志賀弘行, 東田修司 2005. 道東地域における秋まき小麦「きたもえ」の窒素施肥指針. 北農 72: 224-230.
 81. 佐藤康司, 中津智史, 三木直倫, 中村隆一, 笛木伸彦, 志賀弘行 2008. 秋まきコムギの起生期における土壌硝酸態窒素診断による窒素追肥量の設定. 土肥誌 79: 45-51.
 82. 佐藤 仁 2004. 新しい小麦作り 2004 年版. VII 優れる小麦栽培法. 4「春よ恋」「はるひので」の栽培法. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. p166-167.
 83. 佐藤導謙 2006. 北海道における春播型コムギ品種の初冬播き栽培に関する研究. 北海道立中央農業試験場. 夕張郡長沼町. p26-29.
 84. 佐藤導謙, 土屋俊雄 2002. 北海道中央部における春播コムギの初冬播栽培に関する研究 — 窒素施肥法が収量および子実粗タンパク質含有率に及ぼす影響—. 日作紀 71: 455-462.
 85. 佐藤導謙, 土屋俊雄 2004. 北海道中央部における春播コムギの初冬播栽培に関する研究: 窒素施肥法が製パン品質に及ぼす影響. 日作紀 73: 282-286.
 86. 佐藤三佳子, 相馬直子, 渋谷幸平, 藤田正平, 鈴木和織 2004. 上川北部地域における秋まき小麦「ホクシン」の収量変動要因 (予報). 日育・日作北海道談話会報 45: 63-64.
 87. 佐藤三佳子, 鈴木和織 2006. 春まき小麦「春よ恋」の葉の黄化症状と生育, 収量への影響について. 日育・日作北海道談話会報 47: 73-74.
 88. 佐藤洋一郎, 加藤鎌司 2010. 麦の自然史-人と自然が育んだムギ農耕. 北海道大学出版会. 札幌. p1-12, p71-85, p113-150.
 89. 沢田壮平, 新発田修司, 高橋浩司, 角谷啓登 1991. 十勝における春播きコムギの秋および初冬栽培の生育と収量. 帯大研報 I 17: 203-207.
 90. 三分一敬 1998. 北海道における作物育種. 北海道協同組合通信社. 札幌. p60-78.
 91. 新発田修司, 沢田壮平 1989. 春播小麦「ハルユタカ」を秋及び初冬に播種すると生育と収量はどうか. 日育・日作北海道談話会報 29: 6.
 92. 清水基滋 2004. 新しい小麦作り 2004 年版. V 病害虫防除. 7 うどんこ病. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. p125-126.
 93. Simmons, S.R., E. A. Oelke, J.V. Wiersma, W.E. Lueschen and D.D. Warnes 1997. Spring wheat and barley responses to ethephon. Agron. J. 80: 829-834.
 94. Simpson G.M. 1968. Association between grain yield per plant and photosynthetic area above the flag-leaf node in wheat. Can. J. Plant Sci. 48: 253-260.
 95. 下野勝昭 1987. 北海道農業と土壌肥料 1987. 日本土壌肥料学会北海道支部編. 札幌. p219-231.
 96. Sofield, I., L. T. Evans, M. G. Cook and I. F. Wardlaw 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. Aust. J. Plant Phys. 4: 785-797.
 97. 相馬 潤, 小澤 徹 2006. 北海道におけるコムギ赤かび病の薬剤防除. マイコトキシン 56: 25-30.
 98. Subedi, K.D., B. L. Ma and A. G. Xue 2007. Planting date and nitrogen effects on fusarium head blight and leaf spotting diseases in spring wheat. Agron. J. 99: 113-121.
 99. 須田達也, 小野寺政行, 佐藤 仁, 神野裕信, 佐藤三佳子, 鈴木和織, 佐藤康司, 竹内晴信, 中津智史, 西村 努, 吉村康弘 2007. めん用秋

- まき小麦「きたほなみ」の高品質安定栽培法。平成 19 年度 新しい研究成果－北海道地域－, 107-113.
100. 田引 正, 高田兼則, 西尾善太, 桑原達雄, 尾関幸男, 田端聖司, 入来規雄, 山内宏昭, 一ノ瀬靖則 2003. 製パン適性が優れる秋まき小麦新品種候補系統「北海 2 5 7 号 (キタノカオリ)」. 平成 14 年度北海道農業研究成果情報. http://www.affrc.go.jp/ja/agropedia/seika/data_hokkaido/h14.
 101. Tabiki, T., S. Ikeguchi and M. Ikeda 2006. Effects of high-molecular-weight and low-molecular-weight glutenin subunit alleles on common wheat flour quality. *Breed. Sci.* 56: 131-136.
 102. 高橋昭雄, 後藤寛治 1984. 春播コムギにおける窒素施肥反応の系統間差異, とくに収穫指数とその関連形質について. 北海道大学農学部邦文紀要 14: 193-200.
 103. 高橋 肇 1994. 乾物分配特性からみた春播コムギの生育相と生産力の評価. 北海道大学農学部邦文紀要 19: 1-56.
 104. 高橋 肇, 中世古公男, 後藤寛治 1989. 乾物分配率からみた春播コムギの生育相と品種特性との関係. 日作紀 58: 91-95.
 105. 高橋 肇, 中世古公男 1990. エテホン連続処理が春播コムギの稈長, 稈内可溶性糖含有率および子実収量におよぼす影響. 日作紀 59: 715-720.
 106. 高橋 肇, 中世古公男 1992. 北海道の春播コムギにおける播種期に対する収量反応の品種間差異について. 日作紀 61: 22-27.
 107. Takebe, M and T. Yoneyama 1989. Measurement of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plant. *JARQ* 23: 86-93.
 108. 建部雅子 2009a. 非破壊的手法による作物栄養診断の最前線 講座を始めるにあたって. 土肥誌 80: 63-65.
 109. 建部雅子 2009b. 非破壊的手法による作物栄養診断の最前線 2. コムギの収量, 子実タンパク質制御のための葉色診断. 土肥誌 80: 75-79.
 110. 建部雅子, 岡崎圭毅, 唐澤敏彦, 渡辺治郎, 大下泰生, 辻 博之 2006a. パン用秋まき小麦「キタノカオリ」の収量, タンパク質含有率を高める窒素施肥法. 土肥誌 77: 273-281.
 111. 建部雅子, 岡崎圭毅, 唐澤敏彦, 渡辺治郎, 大下泰生, 辻 博之 2006b. パン用秋まき小麦「キタノカオリ」に対する葉色診断と施肥対応. 土肥誌 77: 293-298.
 112. 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.
 113. 田中康夫, 松本博 1992. 製パンの科学 II. 製パン材料の科学. 光琳, 東京. 1-56.
 114. Teich, A.H. and J.R. Hamilton 1985. Effect of cultural practices, soil phosphorus, potassium, and pH on the incidence of Fusarium head blight and deoxynivalenol levels in wheat. *Appl. Environ. Microbiol.* 49: 1429-1431.
 115. Teich, A.H., D.R. Sampson, L. Shugar, A. Smid, W. E. Curnoe and C. Kennema 1987. Yield, quality and disease response of soft white winter wheat cultivars to nitrogen fertilization in Ontario, Canada. *Cereal Res. Commun.* 15: 265-272.
 116. Tipples, K.H., S. Dubetz and G.N. Irvine 1977. Effects of high rates of nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation. II. Milling and baking quality. *Can. J. Plant Sci.* 57: 337-350.
 117. Toyota, M., Tsutsui, I., Kusutani, A. and Asanuma, K. 2001. Initiation and development of spikelets and florets in wheat as influenced by shading and nitrogen supply at the spikelet phase. *Plant Prod. Sci.* 4: 283-290.
 118. Triboi, E. and A. M. Triboi-Blondel 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem-invited paper. *Eur. J. Agron.* 16: 163-186.
 119. Tripathi, S.C.T., K.D. Sayre, J.N. Kaul and R.S. Narang 2004. Lodging behavior and yield potential of spring wheat (*Triticum aestivum* L.): effects of ethephon and genotypes. *Field Crop Res.* 87: 207-220.
 120. 堤 道雄 1976. 葉面吸収. 高井康雄, 早瀬達郎, 熊沢喜久雄編. 植物栄養土壌肥料大事典. 養賢堂. 東京. p180-182.
 121. Varga, B. and Z. Svečnjak 2006. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. *Field Crops Res.* 96: 125-132.

122. Vogel, O. A. , R. E. Allan and C. J. Peterson 1963. Plant performance characteristics of semi-dwarf winter wheats producing most efficiently in Eastern Washington, *Agron. J.* 55 : 397-398.
123. Voldeng, H. D. and G. M. Simpson 1967. The relationship between photosynthetic area and grain yield per plant in wheat. *Can. J. Plant Sci.* 47 : 359-365.
124. Wardlaw I., F. , Sofield, I. and Cartwright, P. , M. 1980. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Aust. J. Plant Phys.* 7 : 387 – 400.
125. 渡辺祐志, 下野勝昭 1992. 尿素の時期別葉面散布が秋播小麦の収量と蛋白含有率に及ぼす影響. 土肥講演要旨集 38 : 175.
126. 渡辺祐志, 山神正弘, 下野勝昭, 古山芳廣, 松中照夫, 市川信雄, 中津智史 1994. 秋播小麦の起生期重点施肥による収量向上及び子実タンパク質含有率の制御. 北海道農業試験研究推進会議, 平成 5 年度新しい研究成果—北海道地域—. 農林水産省北海道農業試験場, 札幌. p79-83.
127. 渡辺祐志 2001. 土壌窒素診断技術に基づく秋まき小麦の窒素施肥. *農業技術* 55 : 201-204.
128. Whan, B. R. , G. P. Carlton and W. K. Anderson 1991. Potential for increasing early vigour and total biomass in spring wheat. I. Identification of genetic improvements. *Aust. J. Agri. Res.* 42 : 347 – 361.
129. Woolfolk, C.W., W.R. Raun, G.V. Johnson, W. E. Thomason, R. W. Mullen, K. J. Wynn and K.W. Freeman 2002. Influence of late-season foliar nitrogen applications on yield and grain nitrogen in winter wheat. *Agron. J.* 94 : 429-434.
130. 柳沢 朗, 田引 正 2002. 春まきコムギ新品種「春よ恋」の特性. 北海道立農試集報. 82: 113-116.
131. Yoshida, M., T. Nakajima and T. Tonooka 2008. Effect of nitrogen application at anthesis on Fusarium head blight and mycotoxin accumulation in bread making wheat in the western part of Japan. *J. Gen. Plant Pathol.* 74 : 355-363.
132. 吉田美夫 2001. 麦の日本史. 転作全書 1 ムギ. 農山漁村文化協会. 東京. 15-35.
133. 吉川 亮, 中村和弘, 伊藤美環子, 伊藤裕之, 中村 洋, 星野次汪, 田野崎真吾, 谷口義則, 佐藤暁子, 伊藤誠治, 八田浩一, 後藤虎男, 藤原秀雄, 上田邦彦, 北原操一, 中島秀治 2003. 製パン適性が高く, 早生で耐寒雪性が強い小麦新品種「ゆきちから」. 平成 14 年度 東北農業研究成果情報. [http : //www.affrc.go.jp/ja/agropedia/seika/data_tohoku/h14/to038](http://www.affrc.go.jp/ja/agropedia/seika/data_tohoku/h14/to038).
134. 吉川 亮, 中村和弘, 伊藤美環子, 星野次汪, 伊藤誠治, 田野崎真吾, 谷口義則, 佐藤暁子, 中村 洋, 高橋博幸 2004. パン用小麦新品種「ハルイブキ」の育成. *東北農研報* 102: 1-22.
135. 吉村康弘 2004. 新しい小麦作り 2004 年版. II 小麦の特性と育ち方. 1 気象条件と小麦作. 社団法人北海道米麦改良協会, 札幌. p13-21.
136. 吉村康弘 2010. 技術開発の成果と展望 (5)「きたほなみ」「はるきらり」の育成と今後の小麦育種について. *北農* 77 : 65-67.

北海道立総合研究機構農業試験場報告 第 131 号

春まきパン用コムギ品種の栽培法による収量・品質安定化に関する研究

著 者 佐 藤 三佳子

平成 24 年 1 月 発行

発行者 北海道立総合研究機構農業研究本部

上川農業試験場

079-0897 北海道上川郡比布町南 1 線 5 号

印刷所 有限会社 江部乙印刷