

第5章 総合論議

5-1 秋播小麦の生産性向上に関する栄養生理的特性

5-1-1 北海道における新旧品種の栄養生理的特性の比較

北海道におけるこれまでの品種改良の過程は、3期に区分できる。すなわち、(i) 第1期 「赤錆不知1号」から「ムカコムギ」までの改良過程で、子実収量は漸増した (ii) 第2期 「ムカコムギ」から「ホロシリコムギ」への変遷過程で、子実収量は停滞した (iii) 第3期 「ホロシリコムギ」から「チホクコムギ」への改良過程で、子実収量は急増した。

第1期では、品種が新しくなるに従い短稈化され、「赤錆不知1号」と「ムカコムギ」の稈長の差は30 cm以上に及ぶ(図1-b)。一方、登熟中期の単位稈長当り重量は新品種ほど重く、新しい品種は古い品種より稈が太くなったことを示す(図3)。したがって、第1期における品種改良で、稈が短く、太くなり、耐倒伏性が向上した。しかし、環境条件によっては、「ムカコムギ」でも倒伏する場合があります、その改良は充分でない(図22-a, 表10)。

登熟期間における「赤錆不知1号」の茎重は、最も重く、成熟期まで増加したが、「ホクエイ」や「ムカコムギ」の茎重は、登熟中期で最高に達した後、成熟期に向けて減少した(図3)。このため、古い品種は登熟の後半でも多量の同化産物が茎の生育に消費され、HIが低い。

第2期の新品種である「ホロシリコムギ」は、稈がさらに短く、太くなり、耐倒伏性が大きく向上し、耐肥性が高まった(図1-b, 図3)。しかし、耐倒伏性を重視するあまり、「ホロシリコムギ」は「ムカコムギ」より登熟期間の茎重が重く、その増加量も大きく、HIが低下した(図7, 図9)。また、「ホロシリコムギ」では葉身が湾曲し、相互遮へいが著しく、葉面積当り粒数が減少した(写真1, 図1-b)。このため、「ホロシリコムギ」

は多肥密植条件での受光態勢が不良で、窒素の施与反応性が小さく、生産性はあまり高くない(図22)。

第3期の新品種である「チホクコムギ」は、さらに短稈であったが、単位稈長当り重量は「ホロシリコムギ」と同等かやや減少し、耐倒伏性では両品種でほとんど差がない(図1-b, 図3)。

出穂揃期の下位葉に対する上位葉のLAIと窒素含有量の比率は、「チホクコムギ」が「ホロシリコムギ」より高く、新品種の登熟期間の光合成は、上位葉に強く依存する(図2)。また、「チホクコムギ」は葉身が直立し、登熟期間の受光態勢が良好で、単位葉面積当り粒数が多く、多肥密植条件下での栽培に適するよう改良された(写真1, 図1-b)。

登熟中期の茎の全糖含有率は、「チホクコムギ」が「ホロシリコムギ」よりやや低く、「チホクコムギ」の後統系統でも同様な傾向を示すため、茎の可溶性炭水化物貯蔵能は「ホロシリコムギ」でほぼ最大に達している(図4, 図15)。一方、成熟期に向けたその放出能は「チホクコムギ」で優り、この品種では、登熟の前半における茎の貯蔵炭水化物が後半において子実へ効率的に転流し、このため、成熟期の茎重が出穂揃期より軽くなり、HIが高まり、増収した(図3, 図1-b)。

以上のように、子実収量は新しい品種ほど高い傾向を示すが、その上昇に最も寄与した収量構成要素は単位面積当り粒数であり、sink能の向上が収量性を高めたと理解できる(図1-b)。一方、粒数が多い品種では粒重が小さく、拡大したsink能に対して同化産物の供給が不足し、新品種では相対的にsource能が劣っていると考えることもできる(図12)。

しかし、第1期の品種改良の主目標は、倒伏の防止であり、子実収量は倒伏の程度に支配され、source-sink関係を論ずる以前の問題が存在した。第2期においては耐倒伏性が大きく向上したが、

「ホロシリコムギ」は葉身が湾曲し、登熟期間の受光態勢が不良で、さらに、この間の同化産物が茎の生育に多量消費され、source 能と sink への転流効率が劣る。第3期ではこれらの点が改良され、「チホクコムギ」では葉が直立し、LAI が大きくなり、source 能が向上し、さらに葉面積当り粒数も増加し、source 能と sink 能のバランスが良い。

「ムカコムギ」以後の育成系統では、出穂期の LAI あるいは LAD と子実収量の間に正の相関があり、また、子実収量は葉身のクロロフィル含有率の高い系統で高い (図8、図1)。したがって、半矮性化された近年の育成系統では、主として source 能が子実収量を支配する。ただし、この関係は LAI が6以下の条件で得られ、6以上では source から sink への転流効が劣り、減収する場合もあり、source 能と sink 能のバランスをさらに改善する必要がある。

5-1-2 登熟期間における穂と茎の生育特性の品種間比較

開花後の穂の生育は4段階に区分できる。すなわち、(i) 穂の乾物増加がない lag period (ii) 穂の乾物生産速度 (EGR) が小さく、茎の生育が同時進行する期間 (iii) EGR が大きく、同化産物が旺盛に子実へ転流する期間 (iv) 穂重が横ばいか、微減あるいは微増する期間、である (図16)。

第(i)段階の lag period の研究は、ほとんどなされておらず、この期間を登熟期間に含めることは問題で、生産性に与える登熟期間の影響を論ずる場合には注意を要する。

子実収量は子実の乾物生産速度と登熟期間の積として表わされるため、EGR の他に登熟期間の長短を考慮すべきである。たしかに、ある特定品種の収量変動を年次間や地域間で検討する場合には、登熟期間が重要であろう。しかし、単年度における品種比較では、穂重増加がない lag period を除外すると、その差は小さく、登熟期間はそれほど問題にするに足らない (図8)。また、特定品種の年次間差さえも、lag period を除外すると、その差は小さい (表18)。

第(ii)段階では茎の全糖含有率が增加する (図5)。

これはこの期間における sink 側 (穂) の需要が少く、余分な同化産物が茎に一時的に貯蔵されるためと考えられる。しかし、(a) この期間の茎の生育が旺盛な品種ほど、全糖含有率が高く、(b) 出穂揃期の剪葉処理による乾物重の減少程度は、子実より茎で小さく、(c) 出穂揃期以後の茎重の増加は、穂の有無によってあまり影響されない、などから推察して、登熟の前半には穂より茎が優先的な sink ととして作用し、穂の生長が茎の生長との競合のために負の影響を受ける可能性がある (図13、図15、図19-a、図21)。

また、「ホロシリコムギ」では気象条件の年次変動に関係なく、常に開花後の茎の生育が他の短強稈品種より旺盛であること、および、穂切除による全乾物重の減少率が他品種に比べて小さいことから判断して、茎の sink としての機能は品種の遺伝特性に支配され、その能力が大きい品種ほど、この期間の EGR が小さいと考えられる (図6、図7、図13、図20)。

第(iii)段階では茎重が減少し、EGR はすべての品種で第(ii)段階より大きい、品種間差が認められる (図13、図16、表3)。EGR の大きい品種は、この期間の茎の全糖含有率の低下が著しく、茎に貯蔵されていた炭水化物が効率よく穂に転流し、この期間は穂の sink 能が EGR を律する (図15)。

第(iv)段階には、穂重は増加しない品種が多いが、微増するものもあり、この時期には蛋白質の集積がおこる (図16)。

一般に、第(ii)、第(iii)段階の EGR が大きい品種ほど、収量性が高く、登熟期間の相違は生産性にあまり関与していない。しかし、「北見52号」では第(ii)、第(iii)段階の EGR は小さいが、第(iv)期の EGR が比較的大きいために低収ではない (図16)。それは、この系統の上位葉の窒素含有率が登熟後期まで高く、登熟末期まで光合成能が強いことに帰因し、このため、この系統では、出穂揃期の剪葉処理で減収率が大きい (表2、図19-a)。

5-1-3 吸収窒素と同化産物の子実への転流特性の品種間比較

吸収窒素当り子実生産能 (NE) は「ホロシリコムギ」を除けば、新品種で大きく、子実収量との

間には正の相関があった(図1-b)。このため、新品種では吸収窒素が効率的に子実生長に利用され、収量性が高い。

一方、子実窒素含有率は「ホロシリコムギ」を除けば、新品種ほど低く、子実収量とは負の相関があり、短稈化された育成系統間でも同様の関係が認められた(図1-b, 図6-c)。このことから、子実の蛋白合成に多量のエネルギーが消費される品種や系統では、子実の乾物集積が劣り、収量性が低い。

NHI と HI には正の関係があり、吸収窒素と光合成産物の子実への最終配分率は、対応する場合が多いが、配分の過程は異なる(図1-b)。すなわち、窒素は登熟の全期間を通じて子実に転流するが、穂の窒素含有率は、登熟初期には生育に伴いむしろ低下し、登熟末期に急激に高まる(図17)。このことから、登熟初期の子実には、窒素より炭水化物が多く転流し、炭水化物の転流がほぼ停止したあと窒素の転流が旺盛になると考えられる。このことは多くの品種・系統で登熟末期の穂重が横ばいかやや減少することに対応し、この時期には大量のエネルギーが転流窒素の子実における蛋白合成に消費され、そのため呼吸量が高まり、穂重は減少傾向を示す(図16)。

「北見52号」でも登熟末期に子実窒素含有率が高まるが、子実の蛋白合成で消費される炭水化物以上の光合成産物が供給され、成熟期近くまでの穂重が増加し、転流窒素が稀釈され、子実窒素含有率が他の品種より低い(図16, 図17)。

EGR が小さく、子実窒素含有率が高く、収量性の劣る品種でも、「ホロシリコムギ」のように耐倒伏性が強ければ、窒素増施で容易に全乾物生産量を高め得る。そこで残された問題は、窒素増施によって生じた増加同化産物の子実への転流効率であるが、いずれの品種でも窒素増施で HI は低下せず、少なくとも窒素増施が子実への同化産物の転流を阻害しない(図22-b)。したがって耐倒伏性が強い品種では窒素を可能な限り増施し、窒素吸収と乾物生産力を高める必要がある(図23-b)。

5-2 秋播小麦の生産向上対策としての窒素施与法

5-2-1 窒素表面施与の肥効とその機作

現在、北海道の秋播小麦に対する基肥窒素は、大部分が作条施与されている。使用肥料は $\text{NH}_4\text{-N}$ が主体であり、施与時期が9月中旬で比較的冷涼ではあるが、その大部分は約1ヶ月以内に硝酸化成され、生成した $\text{NO}_3\text{-N}$ はこの時期の降水量と蒸発量の関係で下層に流亡しやすい(表27)。また、作条施与の窒素施与量が少い場合には、肥料が初生根の近傍に分布するために初期生育が良好であるが、施与量が多い場合には、幼植物近傍の土壌溶液中の EC や $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高まり、発芽と初期生育を阻害する危険性が大きい(図26, 表6)。現在の集約栽培条件では、窒素施与量が多く、基肥窒素がすべて作条施与されると、前述の理由により初期生育が抑制され勝ちである。

基肥窒素を地表全面に施与する施肥法を“表面施与法”と呼ぶことにするが、この施肥法では、施与 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝酸化成速度が遅く、肥料の散布面積が大きく、施与窒素が根系域外に達する距離も長く、起生期までの施与窒素の流亡は作条施与より少ない(表4, 表5, 表29)。さらに、同一窒素施与量では、播種層土壌の EC や $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は作条施与より表面施与で低く、発芽障害や濃度障害の危険性が少ない。この傾向は窒素施与量が多くなるほど顕著であり、両施与位置間の初期生育量には大きな差が生じる(図26, 表6)。

以上の結果から、多量の窒素が施与された場合、表面施与は作条施与に比べて、濃度障害が少く、発芽・初期生育が良好で、さらに、施与窒素の硝酸化成と下層への移動が抑制されて、基肥窒素吸収率が高く、高収であると結論できる(表7, 表32)。

5-2-2 追肥窒素の肥効とその機作

北海道東部地域に分布する土壌凍結地帯では、秋から春にかけての土壌水分の運動方向からみて、基肥窒素の下層移動は小さく⁷⁰⁾、多量の窒素肥料が播種時に作条施与されてきた。しかし、播種期から凍結前(9月中旬~11月上旬)までの降水量が多い年次は、収穫時の窒素吸収量が少い傾向が認められた(図36-a)。また、春先の多量の

融雪水の影響も考慮すると、凍結地帯であっても施用窒素の下層移動は無視できず、非凍結地帯では一層深刻な問題である。さらに、秋播小麦の体内窒素はその大部分が起生期以降に吸収されるため、施用窒素が流亡しやすい播種時に多量施用する必然性はない。したがって、今後は現行の基肥重点主義から脱し、作物の生育状態と環境条件を考慮しながら窒素を与える追肥重点主義に改めるべきである。

(1) 安定収量確保のための窒素施与法

越冬前の生育に対する最適作条窒素施与量は年次で異なる。すなわち、越冬前の降水量が多い年次では最適施与量が多く、降水量が少ない年次で少ない(図30,表12)。また、播種前の有効土層中に残存する無機態窒素量によっても影響される。その他、生育期間中に無機化される土壤窒素も関与するが、その重要度は残存無機態窒素量や窒素施与量の多少に影響されやすく、常に考慮すべき要因ではない。しかし、一般的に言って、前作に過剰の有機物や窒素が施用されていない場合には、基肥として40~80 Kg N/haの窒素施与が必要と推定される(図30)。

越冬後の窒素追肥については、追肥時期と追肥量が問題になる。一般に、窒素追肥時期が早いと穂数が増加し、遅いと粒重が増加し、子実窒素含有率が上昇する(表10,図27)。

30 cm 畦幅に条播された「ホロシリコムギ」の穂数は、窒素施与量が多い場合でも700 本/m²以上になることは少なく、また、700 本/m²以上になってもほとんど増収しない(図56)。したがって、越冬後早期(起生期)の窒素追肥によっては、越冬前の窒素条件下で700 本/m²の穂数が確保されていれば、収量は増加しないが、穂数が少ない場合には穂数が増加し、増収する(図27,表47,図48,図50-b)。

止葉期の窒素追肥は穂数と1穂粒数を高め、さらに粒重も増加させるので、起生期の窒素追肥より増収効果が安定している(表36)。ただし、止葉期の窒素追肥による穂数の増加率は小さく、穂数が収量制限の主因である場合には、その増収効果が相対的に小さい(表10)。

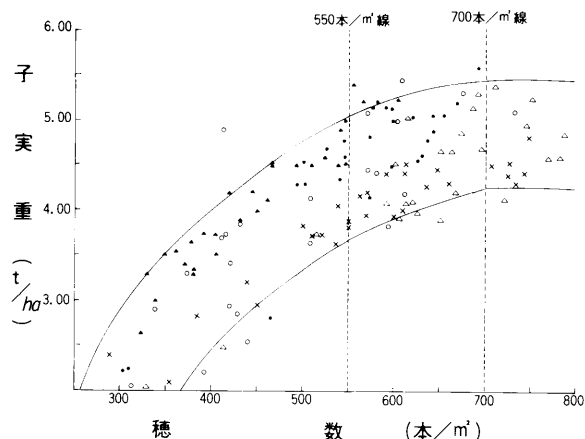


図56. 4試験地の5年間に亘る窒素施与試験結果から得られた穂数と子実収量の関係

注) 1977 △1978 ●1979 ▲1980 ×1981

出穂期の窒素追肥では粒重増になるが、穂数や1穂粒数の増加がなく、その増収効果は起生期や止葉期の窒素追肥より小さい(表10,表36)。

したがって、越冬後の窒素追肥適期は、起生期から止葉期の約1ヶ月間であり、増収効果の安定性を期待すると、この期間の後期が、安定性はないが、大きな増収効果を期待する場合は前期である。この場合、60 Kg N/haの追肥量が最も効果的である(図31,表13,表15)。

以上の結果から、4t~5t/haの子実収量を安定的に得るための標準窒素施与法は、越冬前の播種時に40~80 Kg N/haを作条施与し、止葉期に60 Kg N/haを追肥することで結論できる。

(2) 高収を目標とした窒素施与法

5 t/ha以上の高収を得るにはHIを35%、収穫時の地上部窒素含有率を1.22%¹⁸⁶⁾に仮定すると、少なくとも174 Kg N/haの吸収窒素が必要である。すなわち、前記の安定収量のための標準的な窒素施与量の含量は、100~140 Kg N/haで、施用窒素が全量吸収されたとしても必要窒素吸収量に及ばない。不足する窒素が播種前の跡地に残存した無機態窒素や土壤窒素によって供給される場合は別として、そうでない場合にはより以上の窒素施与が必要であり、この分を追肥として施与するのが合理的である。

窒素の追肥時期と追肥量は、土壤診断と作物栄

養診断に基づいて決定する必要がある。播種時の窒素施与は、安定収量確保のための施肥法が適用できるため、残された問題は越冬後における窒素追肥の適否診断基準を設けることである。

起生期の0～80 cm 土層中の無機態窒素含量と収穫時の小麦の窒素吸収量とは、正の相関を示し、この層位に存在する無機態窒素のほぼ全量が作物に吸収されると考えられる(図45-b)。しかし、(i) 窒素吸収量と0～40 cm 土層の無機態窒素含量との間には正の相関があるが、40～80 cm 土層の無機態窒素含量との間には相関がないこと(図45-a, c)。(ii) 基肥窒素の吸収率と翌春の0～35 cm 土層中に残存する施与窒素量との関係が深いこと(表26, 表27)。(iii) 秋播小麦は全根量の約80%が0～30 cm までの層位に分布すること^{24, 239)}から判断して、秋播小麦が吸収する窒素の主体は、0～40 cm 土層の無機態窒素であると推定される。したがって、収量や施与窒素の吸収率を比較するには、40 cm までの土層についての測定値を用いれば充分である。

子実収量は、起生期の0～40 cm 土層の無機態窒素含量が多いほど高く、両者の関係は直線式で表すことができるため、起生期の追肥窒素量を決定するには、目標収量を得るために必要なこの時期の土層中の無機態窒素量を推定し、これから起生期に土壤中に存在する無機態窒素量を差引けば良いことになる。

しかし、起生期の残存無機態窒素が150 Kg N/ha 以上では、越冬直後の生育が旺盛で、茎数が増加し、稈が伸長し、栄養生長は増進されるが、軟弱に生育し、倒伏のため減収する場合がある(図52-a)。また、起生期の地上部乾物重が1.0 t/ha 以上であると、起生期窒素追肥の増収効果がほとんど認められない(図50-a)。

したがって、起生期の地上部乾物重が1.0 t/ha 未満で土壤中無機態窒素が150 Kg N/ha 以下の場合には、起生期に60 Kg N/ha を限度として窒素追肥を行い、より高収を得るには起生期とそれ以降の窒素追肥が必要と判断した。

止葉期の窒素追肥は1穂粒数と粒重を高め(表36)、さらに上位葉の活性を長期に亘って維持で

きる。したがって、起生期の窒素追肥で穂数を増し、止葉期の窒素追肥で1穂粒数と粒重を増加させればsink能とsource能が同時に高まり、増収効果が大きいであろう。

出穂期以後の窒素追肥はそれ以前の追肥に比べて、増収効果は小さいが、確実に粒重増となるため、起生期および止葉期の追肥に組合せると増収効果が期待できる(図27-e, 表15, 表36)。開花期における窒素含有率が止葉で5.0%、第2葉で4.6%以下の場合には、この時期の窒素追肥で増収効果が期待できることを、出穂期以降の窒素追肥の要否の判断基準にすると良い(図53)。また、出穂期以降の窒素追肥では、過剰に吸収された窒素が子実蛋白の増加になり、これによる倒伏の危険性は小さい(表10)。

出穂期以後の窒素追肥法には、固体の肥料の地表面散布法と尿素液の葉面散布法がある。この時期は作物の消費水量が多く、土壌表面は乾燥しており、このような状態で地表面施与された固体の肥料の成分はその利用速度が遅いものに対して、尿素有効な葉面散布は速効性であり、実用上は後者が有利である(図28, 図29, 表11)。尿素有効な葉面散布はその濃度と散布回数が自由に調整できるため、葉身の窒素含有率を速効的に高めるだけでなく、使用方法によっては葉の活性が登熟末期まで持続する。

以上の結果から、5 t/ha 以上の高収を目指す場合には、起生期から開花期までの土壌診断や栄養診断結果に基づいて追肥量を決定し、この間に2～3回の窒素追肥を行う必要がある。

5-3 異った気象条件における秋播小麦の生産性と合理的窒素施与法

基肥として播種時に窒素を多量施与した場合、越冬前の降水量が多いほど窒素の流亡が多く、収穫時の地上部窒素吸収量が少く、子実収量も低い(図36)。したがって、越冬前の降水量が多い条件では、越冬後の窒素追肥によって施与窒素の吸収率が高まり、その増収効果が大きい(図49)。

越冬後の温度は、生育、収量に大きな影響を及ぼすが、生育時期別にその影響をまとめると次のようになる。

(i) 出穂期前4週間の平均気温が13℃より高い場合は、出穂期や開花期が早まり、出穂期までの乾物生産量は低下し、穂数不足により sink 能が収量の制限要因になる例が多い(図34, 図35-a)。

(ii) 出穂期前後10日間の平均気温が15℃以上の場合には、1穂粒数が減少する。

(iii) 出穂期後4週間の平均気温が19℃より高い場合は、光合成器管の老化が早く、登熟期間が短く、source 能が収量の制限要因になる例が多い(図34, 図37-a, 表16)。ただし、登熟前期は高温、高日射量が望ましく、この条件では登熟前期のEGRが小さい期間が短く、子実への同化産物の転流が良好である(図39, 表19)。

(iv) 出穂期前および登熟後期が高温であると、sink 能、source 能、ともに劣り、高収は望めない(表17, 図38, 表18)。

以上のように、温度の影響は生育時期によって異なり、その組合せにより全生育期間を通じての温度の推移が生育に対して複雑な影響を与える。例えば、出穂期前4週間の平均気温が13℃より低く、出穂後4週間のそれが19℃より高いと、粒数は充分確保されるが、source から sink への同化産物の転流効率が劣り、HI と粒重は低下する(表16, 図37)。一方、気温の経過が逆であれば、子実に対する同化産物の配分は良好であるが、粒数が不足する。このように、温度の影響は多様で、それに対応した合理的な窒素施与法を確立する必要がある。

出穂前の高温によって、栄養生長期間が短縮して茎数が少く、穂数が不足する。この場合には、起生期の窒素追肥は穂数を増加し、増収効果が大きい(図27-a, c, 表37)。

一方、出穂前が低温で栄養生長期間が長く、穂数が増加し、とくに、越冬前の窒素施与のみで690本/m²以上の穂数が確保される条件では、起生期の窒素追肥は増収効果がほとんどなく、むしろ栄養生長を旺盛にしすぎて倒伏が生じる恐れがある(図48, 図50-b)。この場合には、後期の窒素追肥が効果的であり、その時期は出穂後の温度条件で異なる。

すなわち、出穂後も低温であれば、1穂粒数が

多く、それに応じた同化産物の供給が必要で、光合成器管の活性を登熟後期まで持続させる出穂期の窒素追肥やそれ以後の窒素葉面散布が収量を高める(図35-c, 表11)。ただし、全生育期間が低温であると、成熟期の遅れや病害の発生を招く危険性があり、後期窒素追肥の必要性は、これらの問題との関連で検討されるべきである。一方、出穂期および出穂後が高温であると、1穂粒数と粒重が小さい値になり勝ちであり、この場合には止葉期と出穂期の追肥がそれぞれ1穂粒数と粒重の減少を抑制し、子実収量を高める(図35-c, d, 表36)。

気象条件は年次間変動が大きく、予測が困難であり、施肥技術の組立に気象条件を考慮することは問題がある。したがって、気象条件に応じた窒素施与法が前述のように机上で確立されても、それは越冬前の降水量のように越冬後における窒素追肥の是非を判断する場合や、気象条件を予測することが可能な場合に限り、適用されるのである。

5-4 異った土壤条件における秋播小麦の生産性と合理的窒素施与法

基肥窒素の肥効を左右する土壤特性としては、水分特性と養分保持能および硝酸化能があげられる。

水分特性の影響はとくに大きく、粗孔隙量が多く、透水性が良好で保水力の劣る土壤では、基肥窒素の下層への流亡が著しく、施与窒素の吸収率は低い(表25, 表26, 表28, 図44)。一般に透水性は、粗粒質で粒団間の粗孔隙量が多い土壤ほど良好であると考えられるが、粘土含量の多い細粒質土壤でも透水性の良好な土壤がある。佐久間ら¹⁵⁸⁾、波多野⁷³⁾は、粗大孔隙は粒団間孔隙の他に、乾燥亀裂、根管あるいは土壤動物の棲息跡などの孔隙によって構成され、その内容は多種多様であり、また、土壤構造の相違が透水性に及ぼす影響の大きいことを指摘している。したがって、細粒質土壤では上記特性を考慮し、透水性の良否を論じる必要がある。また、降水量、降水強度、および台地、低地などの地形、波状地、平地などの微地形の相違による集排水の難易にも注意する必要がある。

る。

窒素の表面施与は基肥窒素の下層移動を抑制し、基肥窒素の吸収率を高める。しかし、保水力が劣悪な粗粒質土壌では、この方法でも基肥窒素の下層移動が著しく、吸収率がそれほど高まらず、増収率も相対的に小さい（表29、図46、表33）。したがって、この土壌では多量の窒素肥料を基肥として施与することは非効率的で、越冬後の窒素追肥が不可欠である（表36、表37-a）。

目下の基肥窒素の主要形態は $\text{NH}_4\text{-N}$ で、土壌に吸着されやすいが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は土壌中で早期に硝酸化成され、土壌溶液に溶出し、下層へ流亡しやすくなる（表27）。そのため、施与 $\text{NH}_4\text{-N}$ に対する硝酸化成の遅速が基肥窒素の吸収率に影響を与える。

一般に硝酸化成能は、低pH土壌より高pH土壌で高く、とくに低温条件でその差が大きく、播種時の低温条件では、保水力が劣り、pHが高い土壌で基肥窒素の流亡が著しい（図40、表24-b、表27）。また、鉄やアムミニウムのコロイドが多くてpHの低い土壌では、陽荷電が大きく $\text{NO}_3\text{-N}$ 保持能が高いため $\text{NO}_3\text{-N}$ の流亡がおさえられると指摘されている²⁴⁹⁾。さらに、高pH土壌では、尿素や $\text{NH}_4\text{-N}$ 系肥料の表面施与でアンモニヤが揮散する可能性があるため、土壌pHは5.5から6.0の間に保つ必要がある⁹⁷⁾。

$\text{NH}_4\text{-N}$ 吸着能が強い土壌では、窒素が作条施与されても播種位置のECや $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はそれほど高くなり、発芽・初期生育にはほとんど影響しない（表31、図47）。一方、このような土壌での表面施与は、溶液中に溶出する $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が極度に低く、発芽後の初期生育が作条施与より劣る。ただし、この傾向は越冬前の初期生育で認められたのであり、越冬後の生育に対する影響はそれと別問題である。

作物が吸収する窒素は、施与肥料窒素以外に無機態と有機態で構成される土壌窒素があり、一般には生育期間中に無機化される有機態窒素含有量が土壌の窒素供給力と考えられている。しかし、越冬前、越冬後の小麦による窒素吸収量はいずれも土壌中で最も活性な部分である無機態窒素の多

少に支配されており、有機態窒素より無機態窒素が重要である（図41、表31、図45）。また、近年の集約栽培条件下では、有効土層中に残存する無機態窒素を無視できず、その量が多い場合には窒素肥料の施与の必要がなく、有機態窒素の役割も相対的に小さい。

したがって、窒素施与量が少なく、生産性の低い粗放な栽培条件では、有機態窒素の役割が大きかったが、窒素多投を前提とした今日の集約栽培では、その役割は小さく、むしろ、施与窒素の固定、溶出、流亡を規制する土壌の水分・養分保持能などが大きな影響を及ぼす。

5-5 今後の秋播小麦の生産性向上方策についての提言

北海道におけるこれまでの品種改良においては、短強稈化と葉の形態を中心としたsource能の改善に重点がおかれ、最新の「チホクコムギ」ではそれがかなり改善され、source-sinkの両者が比較的バランスよく機能している。しかし、この品種でもどちらかと言えばsink能が充分でなく、今後も光合成器官の能力向上、とくに上位葉の機能が登熟後期まで持続しうる品種を育成する必要がある。

同時に考慮すべきは、sourceからsinkへの転流問題であり、この問題は現存の北海道にとおける品種改良の中心課題と考える。同化産物の子実への分配効率を示すHIは、単純に稈の長短や茎葉重の大小に支配されるのではなく、登熟期間における茎の生育量にも支配され、その生育量が小さい品種でHIは高い。とくに、子実の生長があまり旺盛でない登熟前半には、茎と穂が競合関係にあり、この生育競合の小さい品種、換言すれば、競合期間が短く、茎の生育量が小さい品種では子実への同化産物の転流が良好で、登熟後期の子実生育が良好で高収になる。

source能が向上し、同化産物がsourceからsinkへ効率的に転流する品種では、sink能が収量制限要因になり、粒数を増加させる必要がある。

source能が改善された西欧の高収型品種と現在の北海道における栽培品種を比較すると、1穂粒数が前者で後者の2倍弱である（表38、表39）。

このことから判断すると、北海道では source 能の改善後、1 穂粒数を増大させることが生産性の向上に必要であると考えられる。また、1 穂粒数の多い品種では高 HI になる傾向があり¹⁶⁵⁾ 1 穂粒

数が増加しやすい大きな穂が同化産物の転流を促進するため有利である。

一般に無窒素栽培での収量は、気象条件より土

表38. 日本と西欧の生産力比較

国名	要因 項目	栽 培 法				収 量 調 査				
		品 種 名	試 験 年 次	延 試 験 地 数	播 種 量 (kg/ha)	N 施 与 量 (kg/ha)	子 実 重 (t/ha)	穂 数 (本/m ²)	1 穂 粒 数	粒 数 (×10 ² /m ²)
日本(北海道)	ホロシリ	1979~1981	12	140	153	5.37	599	21.5	128	42.3
オランダ	不 明	1979~1981	17	140	142	7.93	533	42.2	188	42.1
西ドイツ	不 明	1979~1981	25	不 明	148	7.20	504	33.3	168	42.9

データの出典 日 本：本研究のN分肥試験（子実重、粒重は13%水分換算値）
 オランダ：Dilz, K., A. Carwinkell & R. Boon (1982) : Symposium on fertilizers and intensive wheat production in the EEC. The Fertilizers Society, London on the 10th Decemker1 94~124
 西ドイツ：Becker, F. A & Oufhammer, W (1982) : _____

表39. 日本とオランダの品種別生産力比較

国名	品 種 名	子 実 重 (t/ha)	穂 数 (本/m ²)	1 穂 粒 数	粒 数 (×10 ² /m ²)	粒 重 (mg)
日本 (北海道)	チホクコムギ	5.35	858	20.4	175	30.6
	ホロシリコムギ	5.73	653	21.3	139	41.2
	ムカコムギ	5.21	676	22.8	154	33.8
	ホクエイ	5.28	940	18.0	169	34.2
	平 均	5.39	782	20.6	159	39.7
オランダ	Arminda	8.69	568	38.5	219	49.4
	Okapi	8.54	528	33.1	175	48.1
	Nautica	8.28	445	39.2	174	46.9
	Marksman	9.17	467	42.1	197	46.0
	平 均	8.67	502	38.2	191	1.20
オランダ/日本(平均)		1.61	0.64	1.85	1.34	1.20

試験地の位置 日 本：北海道訓子府町
 オランダ：Lelystad
 データの出典 日 本：北見農試、小麦科、秋播小麦育種試験成績書 P89~90 (1981)
 オランダ：表38と同じ

壤条件、その中でも窒素供給や水分供給力の影響を強く受ける。一方、窒素を施与した場合には、土壤条件とともに気象条件の相違が収量に反映するであろう。ただし、養水分保持能が劣悪な土壤では、窒素の施与法が悪いと無窒素栽培と同様に土壤条件が収量の支配要因になる。しかし、このような土壤でも、合理的に窒素施与を行えば増収効果が高い。すなわち、播種期の基肥窒素を増量

した場合の収量は、土壤条件や気象条件の影響を強く受け、地域間差が大きいのが、窒素を越冬後の起生期に追肥すれば、その差は小さく、いずれの地域でも4.6 t/ha 前後の収量であった(図57)。

起生期の窒素追肥が最も合理的な窒素施与法ではないが、環境条件の相違に基づく地域間の収量差を小さくしたので、各地域の環境条件に適応した最も合理的な窒素施与体系であれば、より増収

し、地域間差もさらに小さくなるであろう。ただし、本研究の窒素肥培管理に関する試験で得られた最高収量は5.5 t/haで、世界的にみると必ずしも高い水準にあるとは言えない(図56)。

これらの試験で使用された品種は「ホロシリコムギ」で、畦幅は30 cmである。同じ品種が用いられた十勝増収記録会、および北見農試小麦科の多収記録は、絶乾物換算でそれぞれ6.69, 6.91 t/haであり、いずれもグレンドリルによる狭畦栽培(前者: 17 cm, 後者12 cm)で得られ^{222, 133)}、本試験の最高収量との1~1.5 t/haの格差は、主に栽培法の相違に基づくと推定した。したがって、

が望まれる。

気象条件は年次間変動が大きい、気象条件の地域間差は一定の傾向を示す場合が多く、その差は生育相にも反映するので、生育相の特徴から類型化した気象分布図を作成し、それに応じた窒素肥培管理技術を確立すべきである。

土地改良や土壤改良で土壤条件が大きく改善された段階では、養水分の有効利用を支配する土壤の水分特性と水分環境が最も重要な問題であり、続いて土壤に残存する無機態窒素の量的評価法の確立が重要である。これらの土壤特性は、合理的な窒素施与量や施与時期の決定に大きな影響を与えるであろう。

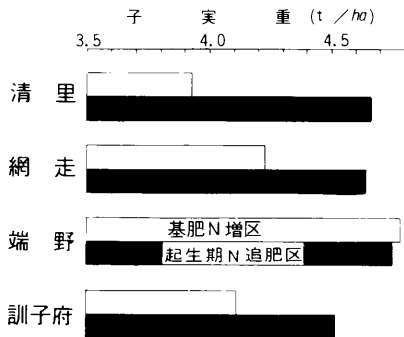


図57. 起生期の窒素追肥が子実収量に及ぼす影響の試験地間差(4ヶ年平均値)

北海道の気象条件下における「ホロシリコムギ」の生産性は7 t/haが限度と推定され、この品種では、各地域の環境条件に適した合理的な窒素施与体系であってもこれ以上の多収は望めない。

一方、北見農試小麦科では「ホロシリコムギ」と同時に行われたグレンドリル栽培で、最新の「チホクコムギ」は8.3 t/haの高収を得ており、この品種では、地域の実態に応じた窒素施与法の改善で収量がさらに増加するであろう。

地域の実態に応じた最も合理的な肥培管理法を確立するには、作物の栄養状態、および気象条件や土壤条件の相違を詳しく解析し、その成果を窒素施与法に反映する必要がある。しかし、北海道の畑作物では、栄養生理学的知見が施肥法に応用された実例があまりなく、開発された施肥技術の理論的根拠と普遍性が欠如する原因であり、改善

要 約

1 北海道における秋播小麦品種の栄養生理的特性の変遷

(1) これまでの品種改良の過程は、以下に示す3期に区分できる。

(i) 第1期：「赤銹不和1号」から「ムカコムギ」までの過程。この間の品種改良で、稈が短く、太くなり、耐倒伏性が高まり、また、登熟後半の茎の生育が抑制され、収穫指数(HI)が高まった。

(ii) 第2期：「ムカコムギ」から「ホロシリコムギ」への過程。この間の品種改良で、稈はさらに短く、太く、強くなり、耐倒伏性と耐肥性が著しく高まった。しかし、「ホロシリコムギ」は葉が湾曲し、群落内での相互遮へいが激しい。

(iii) 第3期：「ホロシリコムギ」から「チホクコムギ」への過程。この間の品種改良で、葉が直立し、上位葉の葉面積と窒素含有量が高まり、葉の形態と機能が向上した。

(2) 子実収量は、第1期では漸増し、第2期では停滞し、第3期では急増した。第1期の増収の主要因は倒伏の軽減であり、第2期の収量性の停滞は、登熟期間の受光態勢が不良で、さらに、この間の同化産物が茎の生育に多量消費されることに帰因する。第3期の増収要因は、第2期における不良要因が改善されたことに基づき、この改良で葉面積当り粒数が増加し、集約栽培条件下での生産性がより高まった。

(3) 茎の全糖含有率は、開花後のある一定期間上昇し、その後、成熟期に向けて急激に低下する。上昇期間の全糖含有率は、古い品種から「ホロシリコムギ」に至る品種では新品種ほど高く、新品種では登熟期間における茎の可溶性炭水化物貯蔵能が高まった。しかし、「チホクコムギ」では、その含有率が「ホロシリコムギ」よりやや低く、後統系統でも同様で、この貯蔵能は「ホロシリコムギ」でほぼ最高に達している。登熟後半の茎の全糖含有率の低下は、古い「赤銹不知1号」では小さく、「チホクコムギ」では最も大きく、「ホロ

シリコムギ」はそれらの中間で、新品種では茎に集積した炭水化物の放出能が高まった。

(4) 茎の乾物重は開花期以降も一定期間増加するが、増加期間が長く、増加量の多い品種ほどHIが小さく、低収である。「ホロシリコムギ」は開花後の茎の乾物重増加が多く、全糖含有率が高く、同化産物集積能で優るが、その放出能で劣り、HIが低い。この性質は稈の長短に関係ない遺伝的特性に基づく。

(5) 「ホロシリコムギ」以外の品種では、新品種ほど吸収窒素当り子実生産能(NE)が高く、逆に子実窒素含有率が低い。子実へ移行した窒素の蛋白合成には、大量のエネルギーが必要で、子実に貯蔵あるいは転流した炭水化物が呼吸によって消費されるため、子実窒素含有率の高い品種では、蛋白合成時に同化産物がエネルギー基質として大量消費され、NEが劣り、収量性も低い。

2. 穂の乾物生産速度(EGR)の律速因子と品種間差

(1) 開花後の穂の生育は以下に示す4期に分けられる。

(i) 第1期：開花後、穂の生長が全く認められない、いわゆるlag period。この期間には開花前の穂に蓄積されていた炭水化物が呼吸によって消費されるため、乾物重はやや減少する。

(ii) 第2期：EGRが全乾物生産速度(CGR)より小さいか、ほぼ同等の期間。この期間には茎と穂の生育が競合する。

(iii) 第3期：EGRがCGRより大きい期間。この期間には茎の貯蔵物質と新たな光合成産物が子実に転流する。

(iv) 第4期：登熟末期の穂の重量はほとんど変化せず、窒素含有率が高まる期間。この期間には炭水化物に比べて多量の窒素が穂に転流してきて蛋白が合成され、そのために呼吸によるエネルギー消費が大きい。

(2) (i)と(ii)の期間が短く、(iii)の期間が長い品種ほど、また、(ii)と(iii)のEGRが大きい品種ほど生産性が高い。換言すれば、開花前の貯蔵物質や開花後の光合成産物が茎葉の生育と競合することなく、効率よく子実に転流する品種ほど高HIで高収で

ある。しかし、登熟後期の葉の活性が高く維持され、茎との競合があっても、同化産物を成熟期近くまで子実に供給できる品種も生産性が高い可能性がある。

(3) 高温、高日射量条件下では、(ii)の期間は短縮され、EGRが大きくなる。また、この期間に遮光処理を行うと、限られた光合成産物が子実より茎の生育に消費されるため、HIの低下による減収が著しい。したがって、登熟前期は、高温、高日射量であることが望ましい。一方、穂数、1穂粒数、粒重などの収量構成要素の温度に対する反応からみて、その他の期間が高温になることは必ずしも有利でない。

3. 北海道の基幹品種に対する合理的な窒素の肥培管理法

- (1) 秋播小麦の吸収窒素は、越冬前、越冬後にかかわらず、いづれも土壤中の無機態窒素に支配されており、窒素が充分量施与される条件では、土壤の有機態窒素が窒素吸収に果す役割は小さい。
- (2) 秋季・播種時に作条施与された $\text{NH}_4\text{-N}$ は、1ヶ月以内にほとんどが硝酸化成され、越冬前後の多水分条件下で下層へ流亡し、吸収率が低下する。播種時に $\text{NH}_4\text{-N}$ を地表面全面施与すると、濃度障害が少く、発芽・初期生育が良好であり、それに加えて硝酸化成と下層への移動が抑制されて吸収率が高まり、作条施与に対して約10%増収する。
- (3) 安定的に4~5 t/haの収量を得るためには、播種時に基肥として40~80 kg N/haを作条施与し、止葉期に60 kg N/haを追肥するとよい。
- (4) 起生期の窒素追肥は穂数を、止葉期の窒素追肥は1穂粒数と粒重を、出穂期の窒素追肥は粒重をそれぞれ高めて増収するので、5 t/ha以上の高収を目指す場合には、下記の基準により窒素の追肥が必要である。

(i) 起生期追肥：越冬後の地上部乾物重が1.0 t/ha以上、土壤中無機態窒素含量が40cmまでの土層で150 kg N/ha以上の場合には窒素追肥しない。両要因が上記の値以下の場合には、土壤中無機態窒素含量の不足分を60 kg N/haを限度として、なるべく早期に追肥する。

(ii) 止葉期追肥：(i)の基準値により片方が基準

値以下の場合や、起生期に窒素追肥を行っても生育が劣る場合には(i)と同一要領で追肥する。

(iii) 開花期追肥：止葉と第2葉の葉身の窒素含有率がそれぞれ5.0%、4.6%以下の場合には、3%尿素液を葉面散布する。

(5) 上記の窒素肥培管理法は、「ホロシリコムギ」を対象とするものであるが、今後作付面積の増加が予想される「チホクコムギ」を始めとした短強稈性品種にも適用できると推定される。

4. 環境条件と窒素の肥培管理法

(1) 越冬前(9月中旬~11月上旬)の降水量が100mm以上になると、施与位置と土壤条件に関係なく基肥窒素が下層流亡し、窒素吸収量と収量は低下する。この場合には、越冬後の窒素追肥によって窒素吸収率が高まり、増収する。

(2) 出穂前4週間の平均気温が平年値(13℃)より高温であると、栄養生長期が短縮し、乾物生産量と穂数が不足する。この場合には、起生期窒素追肥で栄養生長量が高まるため穂数は増加し増収する。逆に、出穂前4週間の平均気温が平年値より低温であると、栄養生長期が延長し穂数が増加する。この場合には、止葉期や出穂期の窒素追肥で出穂期や出穂後の乾物生産能が高まるために、1穂粒数や粒重が増加し増収する。

(3) 保水力や養分保持能が劣悪な土壤では、施与位置が地表面であっても下層移動が著しく、窒素吸収量が低下する。このような土壤では、表面施与時期を後期にするか、あるいは越冬後の窒素追肥が必要である。また、アンモニヤ態窒素吸着能の高い土壤では、窒素の表面施与では生育初期の肥効が小さいことに留意すべきである。

引用文献

- 1) ALLISON, T.C.B and D.J. WATSON (1966) : *Ann. Bot. N.S.* 30 : 365~381
- 2) ASANA, R.D and A.D. SAINI (1958) : *Physiol Plantar.* 11 : 666~674
- 3) ————— and R.F. WILLIAMS (1965) : *Aust. J. agric. Res.* 16 : 1~13
- 4) ————— and A.K. BAGGA (1966) : *Indian. J. Pl. Physiol.* 9 : 1~21
- 5) ATSMON, D and E. JACOBS (1977) : *Crop Sci.* 17 : 31~35
- 6) AUSTIN, R.B. (1978) : *ADAS Quarterly Review* 29 : 76~87 (68. 後藤寛治から引用)
- 7) —————, M.A. FORD., J.A. EDRIK and B.E. HOOPER (1976) : *Ann Appl. Biol* 83 : 425~446
- 8) —————, J. BINGHAM., R.D. BLACKWELL., L. T. EVANS., M.A. FORD., C.L. MOYEN and M. TAYLOR (1980) : *J. agric. Sci., Camb.* 94 : 675~689
- 9) —————, M.A. FORD., J.A. EDRIK and R.D. BLACKWELL (1977) : *J. agric. Sci. Camb.* 88 : 159~167
- 10) BAGGA, A.K. and H.M. RAWSON (1977) : *Aust. J. Plant Physiol.* 4 : 877~887
- 11) BANFIERD, C.F., J.T. CLAPP and R.H. JARVIS (1980) : *Experimental Husbandry* 37 : 7~15 (Soil and Fertilizers. 1982. 45. : 850 から引用)
- 12) BENZIAN, B and P. LANE (1979) : *Food. Agr.* 30 : 59~70
- 13) BHATT, G.M (1976) : *Euphytica.* 25 : 41~50
- 14) BINGHAM, J. (1976) : *J. agric. Sci. Camb.* 68 : 411~422
- 15) BISCOE, P.V. and J.N. GALLAGHER (1977) : *Academic press, New York* : 75~100 (244. WIEGAND et al : *Crop Sci.* 21 : 95~101 より引用)
- 16) BOSWELL, F.C and O.E. ANDERSON (1970) : *Agron. J.* 62 : 499~503
- 17) BREMNER, P.M (1972) : *Aust. J. Biol. Sci.* 25 : 657~668
- 18) BRIGGLE, L.W and O.A. VOGAL (1968) : *Euphytica* 17. Suppl. 1 : 107~130
- 19) BROADBENT, F.E (1981) : *Plant and Soil.* 58 : 383~399
- 20) BROCKLEHURST, P.A (1977) : *Nature.* 266 : 348~349
- 21) BURNES, G.R and L.A. DEAN (1964) : *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28 : 470~474
- 22) BURSTROM, H (1943) : *Ann. Royal Agr. Coll. Sweden.* 11 : 1~50 (129. Novoa et al. *Plant and Soil.* 58 : 177~204 より引用)
- 23) CAMPBELL, C.A and H.R. DAVIDSON (1979) : *Can. J. Plant Sci.* 59 : 603~626
- 24) CAMPBELL, C.A., D.R. CAMERON., W. NICHOLAICHUK and H.R. DAVIDSON (1977) : *Can. J. Soil. Sci.* 57 : 289~310
- 25) CARR, D.J and I.F. WARDLAW (1965) : *Aust. J. Biol. Sci.* 18 : 711~719
- 26) CARTER, J.N., D.T. WESTERMAN and M.E. JENSEN (1976) : *Agron. J.* 68 : 49~55
- 27) —————, M.E. JENSEN and S.M. BOSMA (1974) : *Agron. J.* 66 : 319~323
- 28) CHINYOY, J.J (1947) : *Nature.* 159 : 442~444
- 29) CHOWDHURY, S.I. and I.F. WARDLAW (1978) : *Aust. J. Agric. Res.* 29 : 205~223
- 30) CHRISTENSEN, N.W and V.W. MEINTS (1982) : *Agron. J.* 74 : 840~844
- 31) COCHRAN, V.L., R.L. WARNER and R.I. PASENDICK (1978) : *Agron. J.* 70 : 964~968
- 32) DAIGGAR, L.A and D.M. SANDER (1976) : *Agron. J.* 68 : 524~526
- 33) DALLING, M.J., G.H. HALLORAN and J.H. WILSON (1975) : *Aust. J. Agr. Res.* 26 : 1~10
- 34) DAS, S and A.K. SARKAR (1981) : *Indian agriculturist.* 25 : 267~273
- 35) DECKARD, E.L., K.A. LUCKEN., L.R. JOPPA and

- J.J.HAMMOND (1977) : Crop Sci. 17 : 293~296
- 36) DEV.A.D and D.V.DEV (1980) : Indian. Jour of Agron. 25 : 494 ~ 496 (Soil and Fertilizers. 1982. 45 : 269)
- 37) DILZ.K., A.DARFWINKELL and R.BOON (1982) : symposium on fertilizers and intensive wheat production in the EEC. The Fertilizers Society. London on the 10th December : 94~124
- 38) DOBBEN.W.H.VAN (1962) : Neth. J. agric. Sci. 10 : 377~389
- 39) DONALD.C.M (1968) : Euphytica. 17 : 1~46
- 40) ————— (1962) : J. Aust. Inst. agric. Sci. 28 : 177~178
- 41) ————— and J. HAMBLIN (1976) : Adv. Agron. 28 : 361~405
- 42) DUNCAN.W.G (1971) : Crop Sci. 11 : 482~485
- 43) 江口久夫 (1983) : 農及園. 58 : 790~794
- 44) ELLENJ and J.H.J.SPIERTZ (1980) : Fertilizer Research. 1 (3) 177~190 (Soil and Fertilizers. 1980. 43 : 51)
- 45) EVANS.J.R (1983) : Plant Physiol. 72 : 297 ~ 302
- 46) EVANS.L.T and RAWSON.H.M (1970) : Aust. J. Biol. Sci. 23 : 245~254
- 47) ————— and R.L.DUNSTONE (1970) : Aust. J. Biol. Sci. 23 : 725~741
- 48) ————— .. I.F.WARDLAW and R.A.FISCHER (1975) : Crop Physiology. Cambridge univ press. London : 101~149
- 49) ————— .. ————— (1976) : Adv. Agron. 28 : 301~359
- 50) FENN.L.B and K.E.KISSEL (1973) : Soil. Sci.Soc. Am. Proc. 37 : 855~859
- 51) ————— .. R.M.TAYLOR and J.E.MATOCHA (1981) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 45 : 777 ~ 781
- 52) ————— .. S.MIYAMOTO (1981) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 45 : 537~540
- 53) FINNEY.K.F., J.W.MEYER., F.W.SMITH and H.C.FRYER (1957) : Agron. J. 49 : 341~347
- 54) FISCHER.R.A and G.D.KOHN (1966) : Aust. J. Agric. Res. 17 : 281~295
- 55) FISCHER.R.A (1975) : Crop Sci. 15 : 607~613
- 56) ————— .. I.AGUILAR., R.MAURER and A.RIVAS (1976) : J.agric. Sci., Camb. 87 : 137~149
- 57) ————— .. Z.KERTESZ (1976) : Crop Sci. 16 : 55~
- 58) ————— .. R.MAURER (1976) : Crop Sci. 16 : 855~859
- 59) ————— .. D.HILLERISLAMBERS (1978) : Aust. J. Agric. Res. 29 : 443~458
- 60) FOGH.H.T (1978) : Tolvmandsbladet. 50 (11) 573~576 (Soil and Fertilizerz. 1980. 43 : 50)
- 61) FORD.M.A and G.N.THORNE (1975) : Ann. appl. Biol. 80 : 283~299
- 62) ————— .. I.PERMAN and G.N.THORNE (1976) : Ann. appl. Biol. 82 : 713~733
- 63) GALLAGHER.J.N., P.V.BISCOE and B.HUNTER (1976) : Nature. 264 : 541~542
- 64) GASSER.J.K.R and I.G.IORDANOU (1967) : J. Agr. Sci. 68 : 307~316
- 65) GASS.W.B., G.A.PETERSON., R.D.HAUCK and R.A.OLSON (1971) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 35 : 290~294
- 66) GIFFORD.R.M., BREMNER.P.M. and D.B.JOHNES (1973) : Aust. J. Agric. Res. 24 : 297~307
- 67) GILES.J.F., J.O.REUSS and A.E.LUDWICK (1975) : Agron. J. 67 : 454~459
- 68) 後藤 寛治 (1982) : 農及園. 57 : 613~617
- 69) ————— (1982) : 農及園. 57 : 737~744
- 70) 長谷部俊雄 (1969) : 北海道農業と土壤肥料. P 175. 北農会. 札幌
- 71) HALSE.N.L., E.A.N.GREENWOOD., P.LAPINS and C.A.P.BOUNDY (1969) : Aust. J. Agric. Res. 20 : 987~998
- 72) HALSE.N.J. and R.N.WEIR (1974) : Aust. J. Agric. Res. 25 : 687~695
- 73) 波多野隆介, 佐久間敏雄, 岡島秀夫 (1983) : 土肥誌. 54 : 490~498
- 74) HAYASI.K (1968) : Proc. Crop. Sci. Soc. Jap. 37 : 297~300
- 75) HERRON.G.M., G.T.TERMAN., A.F.DREIER and

- R.A.OLSON (1968) : *Agron. J.* 60 : 477~482
- 76) 北条良夫 (1978) : 農業技術, 33 : 309~316
- 77) 北海道立中央農業試験場 (1979) : 北海道立農業試験場資料第10号
- 78) HOLMES.D.P (1973) : *Can. J. Bot.* 51 : 941~956
- 79) HUBER.D.M., H.L.WARREN., D.W.NELSON., C.Y.T.SAI and G.E.SHANER (1980) : *Agron. J.* 72 : 632~637
- 80) ————, G.A.MURRAY and J.M.CRANE (1969) : *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 33 : 975~976
- 81) HUKLESBY.D.P.C., M.BROWN., S.E.HOWELL and R.H.HAGEMAN (1971) : *Agron. J.* 63 : 274~276
- 82) HUME.D.J and D.K.CAMPBELL (1972) : *Can. J. Plant. Sci.* 52 : 363~368
- 83) IRVINE.J.E (1967) : *Crop. Sci.* 7 : 297~300
- 84) 石塚喜明, 田中明 (1969) : 水稻の栄養生理, 養賢堂, 東京
- 85) JAAKKOLA (1978) : *Jour of Scientific Agri Soc of Finland.* 50 : 346~360 (Soil and Fertilizers, 1980, 43 : 445)
- 86) JAPPA.L.R (1973) : *Crop. Sci.* 13 : 743~746
- 87) JENNINGS.A.C. and R.K.MORTON (1963) *Aust. J. Biol. Sci.* 16 : 332~341
- 88) JENSEN.N.F (1978) : *Science.* 201 : 317~320 (68. 後藤寛治から引用)
- 89) JOHNSON.V.A., J.W.SCHMIDT and W.MAKASHA (1966) : *Agron. J.* 58 : 438~440
- 90) JOHNSON.R.C and E.T.TANEMASU (1983) : *Agron. J.* 75 : 561~565
- 91) KHAN.M.A and S.TSUNODA (1979) : *Jap. J. Breeding.* 21 : 143~150
- 92) ———— and ———— (1971) : *Jap. J. Breeding.* 21 : 143~150
- 93) ———— and ———— (1970) : *Jap. J. Breeding.* 20 : 305~314
- 94) KING.R.W., I.F.WARDLAW and L.T.EVANS (1967) : *Planta.* 77 : 261~276
- 95) KIRBY.E.J.M (1974) : *J. Agric. Sci., Camb.* 82 : 437~447
- 96) 岸谷 幸枝 (1973) : 育種学最近の進歩, 第15集 : 13~20
- 97) 北見農試・土壌肥料科 (1983) : 北海道農業試験会議資料 : 1~32
- 98) KRAMER.T.H (1979) : *Euphytica.* 28 : 209~218
- 99) KREIDEMANN.P (1966) : *Ann. Bot.* 30 : 349~363
- 100) LANGER.R.H.M and M.HANIF (1973) : *Ann. Bot.* 37 : 743~751
- 101) ———— and F.K.Y.LIEW (1973) : *Aust. J. Agr. Res.* 24 : 647~656
- 102) LAW.C.N., J.N.SNAPE and A.J.WORLAND (1978) : *Heredity.* 40 : 133~151
- 103) LEDENT.J and D.L.MOSS (1977) : *Crop. Sci.* 17 : 873~879
- 104) LUPTON.F.G.H (1968) : *Ann. apple. Biol.* 64 : 363~374
- 105) MAKUNGA.O.H.D., I.PERMAN., S.M.THOMAS and G.N.THORNE (1978) : *Ann. apple. Biol.* 88 : 429~437
- 106) MARCELLO.H and W.V.SINGLE (1972) : *Aust. J. Agric. Res.* 23 : 533~540
- 107) MATSUMOTO.T (1968) : *J A R Q* 3(4)22~26
- 108) MCNEAL.F.H (1968) : *USDA. Pub. CR* 73~76 (68. 後藤寛治から引用)
- 109) ————, M.A.BERG., P.L.BROWN and C.F.MCGUIRE (1971) : *Agron. J.* 63 : 908~910
- 110) ————, G.O.BOATWRIGHT., M.A.BERG and C.A.WATSON (1968) : *Crop. Sci.* 8 : 535~537
- 111) MIEZAN.K., E.G.HEYNE and K.F.FINNEY (1977) : *Crop. Sci.* 17 : 591~593
- 112) MOHUDDIN.S.H and L.I.CROY (1980) : *Agron. J.* 72 : 299~301
- 113) MONSI.M and T.SAEKI (1953) : *Jap. J. Bot.* 14 : 22~52
- 114) MONTEITH.J.L (1965) : *Ann. Bot. N. S.* 29 : 17~37
- 115) 諸岡 稔 (1982) : 施肥位置と栽培技術—現状と問題点—博友社
- 116) 麦類便覧 (1982) : 北海道農務部
- 117) MUNAKATA.K., KAWASAKI and K.KARIYA (1967) : *Chugoku Agr. Expt. Sta. Ser. A.* 14 : 59~96

- 118) MUSON,R.D and G.STANFORD (1955) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 19 : 464~468
- 119) 村田 吉男 (1961) : 農技研報告. D 9 : 1~169
- 120) ————— (1973) : 育種学最近の進歩. 第15集 : 3~12
- 121) —————, 玖村 敦彦, 石井 龍一 (1976) : 作物の光合成と生態 — 作物生産の理論と応用 — : 200~207. 農文協. 東京
- 122) NASS,A.G (1973) : Can. J. Plant. Sci. 53 : 755~762
- 123) —————, B.REISER (1975) : Can. J. Plant. Sci. 55 : 673~678
- 124) NICHIPROVICH,A.A (1960) : Field. crop. Abst. 13 : 169~175
- 125) 野口 純隆 (1977) : 鹿児島農試報. 5 : 1~202
- 126) 農林省北海道統計情報事務所 (1982) : 北海道農作物市町村別統計
- 127) NOVOA,R and R.S.LOOMIS (1981) : Plant. and Soil. 58 : 177~204
- 128) 小川 吉雄, 石川 実, 吉原 貢, 石川 昌男 (1979) : 茨城農試特別研究報告 4 : 1~71
- 129) 岡島 秀夫 (1976) : 土壤肥沃度論. P142. 農文協. 東京
- 130) OLSON,R.A., K.D.FRANK., E.J.DEIBERT., A.F.DRIER., D.H.SANDER and V.A.JOHNSON (1976) : Agron. J. 68 : 769~772
- 131) —————, L.S.MURPHY., H.C.MOSER and C.W.SWALLOW (1979) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 43 : 973~975
- 132) ————— (1982) : Agron. J. 60 : 477~482
- 133) 長内 俊一 (1985) : 北農. 56 : 1~27
- 134) OSMAN,A.M and F.L.MILTHORPE (1971) : Photosynthetica. 5 : 61~70 (127. NOVOA,R et al より引用)
- 135) PEARCE,R.B., G.E.CARLSON., D.K.BARNES., R.H.HART and C.H.HANSON (1969) : Crop. Sci. 4 : 116~117
- 136) PEARMAN,I., S.M.THOMAS and G.N.THORNE (1977) : Ann. Bot. 41 : 93~108
- 137) PENDLETON,J.W and G.H.DUNGAR (1962) : Agron. J. 52 : 310~312
- 138) PENDLETON and R.O.WEIBEL (1965) : Agron. J. 57 : 292~293
- 139) PENNING de VRIES,F.W.T (1975) : Ann. Bot. 39 : 77~92
- 140) PEARMAN,I., S.M.THOMAS and G.N.THORNE (1978) : Ann. Bot. 42 : 91~99
- 141) PETERSON,L.A., O.J.ATTOE and W.B.OGDEN (1960) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 24 : 205~209
- 142) ————— and ————— (1965) : Agron. J. 57 : 572~574
- 143) POTER,K.B., I.M.ATKINS., E.C.GILMORE and K.A.LAHR (1964) : Agron. J. 56 : 393~396
- 144) PUKRIDGE,D.W (1971) : Aust. J. Agron. Res. 22 : 1~9
- 145) PUSHMAN,F.M and J.BINGHAM (1976) : J. Agr. Sci. Camb. 87 : 281~292
- 146) RAWSON,H.M and G.HOFSTRA (1969) : Aust. J. Biol. Sci. 22 : 321~331
- 147) ————— and L.T.EVANS (1970) : Aust. J. Biol. Sci. 23 : 753~764
- 148) ————— and ————— (1971) : Aust. J. Agric. Res. 22 : 851~863
- 149) RAWSON,H.M (1971) : Aust. J. Biol. Sci. 23 : 1~16
- 150) RICHARDS,T.A., O.J.ATTOE., S.MOSCAL and E.A.TRUOG (1960) : Trans. Intern.Congr. Soil. Sci. 7th Madison. 11 : 28~35
- 151) RIEHLE,G (1977) : Tolvmandsbladet. 49 (9) 449~456 (Soil and Fertilizers. 1982. 45 : 560)
- 152) RIG A., FISCHER and H.J. VAN PRAAG (1980) : Soil. Sci. 130 : 88~99
- 153) RIJIVAN,A.H.G.C and R.CHOEN (1961) : Aust. J. Biol. Sci. 14 : 552~556
- 154) ROBBINSON,F.K., D.W.CUDNEY and W.F.LEHMAN (1979) : Agron. J. 71 : 304~308
- 155) RUKKENBAUER,P (1975) : Ann. appl. Biol. 79 : 351~359
- 156) RULLE,J.S (1980) : Arable farming 7 (7) 67 (Soil and Fertilizers. 1981. 44 : 560)

- 157) 三枝 正彦, 庄子 貞雄, 酒井 博 (1983) : 土肥誌. 54 : 460~466
- 158) 佐久間 敏雄, 老松 博行, 飯塚 文男, 岡島秀夫 (1979) 土肥誌. 50 : 10~16
- 159) ————— (1979) : 土肥誌50 : 17~24
- 160) 沢口 正利, 長谷川 進, 横井 義雄, 熊谷秀行, 及川 博, 稲村 裕文 (1979) : 北農. 46 : 24~54
- 161) SCHARPF.M.C. and J.WEHRMANN (1976) : Land-wirtschaftliche Forschung Sonderhert. 32 (1) : 100~114 (Soil and Fertilizers. 1980. 43 : 147)
- 162) SEGOVIA.A.J and R.H.BROWN (1978) : Crop Sci. 18 : 90~93
- 163) SETH.J., T.T.HEBERT and G.K.MIDDLETON (1960) : Agron. J. 52 : 207~209
- 164) SHANAHAN.J.F., D.H.SNITH and J.R.WELISH (1984) : Agron. J. 76 : 611~615
- 165) 下野 勝昭 (1977) : 北海道土壤肥料研究通信. 第23回シムポジュウム. 26~44
- 166) —————, 大崎 亥佐雄 (1980) : 道立農試集報. 44 : 12~24
- 167) —————, ————— (1981) : 道立農試集報. 45 : 27~37
- 168) SIGH.I.D and N.C.STOSKOPF (1971) : Agron. J. 63 : 224~226
- 169) SILVEY.V (1979) : Jour. Nat. Inst. Agric. Botany. 14 : 367~384 (68. 後藤寛治から引用)
- 170) SIMMONS.S.R and R.K.CROOKSTON (1979) : Crop. Sci. 19 : 690~693
- 171) SIMPSON.G.M (1968) : Can. J. Plant. Sci. 48 : 253~261
- 172) SINCLAIR.T.R and C.T.DEWIT (1975) : Science. 89 : 565~567
- 173) SINGH.R.A., O.P.SINGH and M.SINGH (1976) : Plant. and Sci. 44 : 87~96
- 174) SKARSAUNE.S.K., V.L.YOUNGS and K.A.GILLES (1970) : Cereal Chem. 47 : 522~532
- 175) SOFIELD.I., L.T.EVANS and I.F.WARDLAW (1974) : R.Soc. N. Z. Bull. 12 : 909~915
- 176) SOFIELD.I., L.T.EVANS., M.G.COOK and I.W.WARDLAW (1974) : Aust. J. Plant. Physiol. 4 : 785~797
- 177) SPENCER.W.F., A.J.MACKENZIE and F.G.VIETS. Jr (1966) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 30 : 480~485
- 178) SPIERTZ.J.H.J., TEN HAG.B.A and L.J.P.KUPERS (1971) : Neth. J. Agric Sci. 19 : 211~222
- 179) ————— (1974) : Neth. J. Agric Sci. 22 : 207~220
- 180) ————— (1977) : Neth. Agric Sci. 25 : 182~197
- 181) —————, J.ELLEN (1978) : Neth. J. Agric Sci. 26 : 210~231
- 182) —————, VAN DER HAAR.H (1978) : Neth. J. Agric Sci. 26 : 233~249
- 183) SPRATT.E.D and J.K.R.GASSER (1970) : Can. J. Plant. Sci. 50 : 613~625
- 184) STANFORD.G and S.J.SMITH (1972) Soil. Soc. Am. Proc. 36 : 465~472
- 185) —————, M.H.FRERE and D.H.SCHWANINGEN (1973) : Soil. Sci. 115 : 321~323
- 186) —————, H.HUNTER (1973) : Agron. J. 65 : 442~447
- 187) —————, J.O.LAGG and S.J.SMITH (1973) : Plant. and Soil. 39 : 113~124
- 188) ————— and E.EPSTEIN (1974) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 38 : 103~106
- 189) —————, J.N.CARTER., D.T.WESTERMANN and J.J.MEICINGER (1977) : Agron. J. 69 : 303~308
- 190) STOSKOPF.N.C (1967) : Can. J. Plant. Sci. 47 : 597~601
- 191) —————, D.F.FAIRREY (1975) : Plant. Breeding Abst. 45 : 467~470
- 192) STOY.V (1965) : Physiol Plantrum supplementum. 4 : 1~125
- 193) STURM.H and H.EFFLAND (1982) : Symposium on fertilizers and intensive wheat production in the EEC. The Fertilizer Society of London : 5~32
- 194) SYME.J.R and J.P.THOMPSON (1981) : Euphytica.

- 30 : 467~481
- 195) TANAKA.A., KAWANO.K and J.YAMAGUCHI (1966) : IRRITech. Bull. 7 : 1~46
- 196) 田中 明, 山口 淳一 (1967) : 農及園. 42 : 1321~1328
- 197) ————, 石塚 喜明 (1969) : 土肥誌. 40 : 113~120
- 198) ————, 原 徹夫 (1970) : 土肥誌. 41 : 502~508
- 199) ————, 藤田 耕之輔 (1971) : 土肥誌. 42 : 152~156
- 200) ————. (1973) : 育種学最近の進歩. 第15集 : 29~39
- 201) ———— (1977) : 昭和51年度土壤肥料関係専門別総括検討会議資料. 3. シンポジウム資料. 農技研編
- 202) TANAKA.A (1977) : Proceeding of SEFMIA : 582~589
- 203) 田中 明 (1977) : 北海道の畑作と土壤肥料 : 87~129. 土壤肥料学会
- 204) ———— () : エネルギーの利用効率からみた北海道農業の発展方向
- 205) 高橋 和彦 (1983) : 農及園. 58 : 17~22
- 206) 武田 元吉, 宇田川 武俊 (1976) 日作記. 45 : 357~368
- 207) ———— (1978) : 農業技術. 33 : 445~448
- 208) 竹上 静夫, 小合 竜夫 (1956) : 農及園. 31 : 281~284, 405~408
- 209) TANNER.J.W., C.J.GARDNER., N.C.STOSKOPF and E.REINBERGS (1966) : Can. J. Plant. Sci. : 46 : 690
- 210) TERMAN.G.L and C.M.HUNT (1964) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 28 : 667~672
- 211) ————, R.E.RAMING., A.F.DRIER and R.A.OLSON (1969) : Agron. J. 61 : 755~759
- 212) THOMAS.S.M., G.N.THORNE and I.PEARMAN (1978) : Ann. Bot. 42 : 827~837
- 213) THORNE.G.N (1965) : Ann. Bot. N.S. 29 : 317~319
- 214) ———— (1966) : The growth of cereals and grasses. ed. F. L. Milthorpe. J. D. Ivins : 88~105. London
- 215) THORNE.G.N M.A.FORD and D.J.WATSON (1968) : Ann. Bot. 32 : 425~446
- 216) ————, ———— (1971) : Rothamsted expt. Station. Report for 1970. part 1 : 94~95
- 217) ———— (1972) : Rothamsted Report for 1971 part 1 : 104
- 218) ———— (1973) : Rothamsted Report for 1973 part 2 : 5~25
- 219) ———— (1974) : Rothamsted Report for 1973 part 1. Botany Dept Section
- 220) ———— (1981) : Ann. appl. Biol. 98 : 355~363
- 221) TISDALE.S.L. and W.L.NELSON (1971) : Soil. fertilizer 2nd E.D.p511. Collier-Macmillan. L.T.D. Londonn
- 222) 十勝農作物増収記録審議会 (1982) : 第20回十勝農作物増収記録会審査報告 十勝農協連
- 223) TOMAR.J.S and R.T.SOPER (1981) : Agron. J. 73 : 991~995
- 224) TSUNODA.S (1959) : Jap. J. Breeding. 9 : 161~168
- 225) 角田 重三郎 (1973) : 育種学最近の進歩. 第15集 : 21~28
- 226) VOGAL.O.A., J.C.CRADDOCK., C.E.MUIR., E.H.EVERSON and C.R.ROHDA (1956) : Agron. J. 48 : 76~78
- 227) ———— (1964) : Crop. Sci. 4 : 116~117
- 228) ————, R.E.ALLAN and C.T.PETERSON (1963) : Agron. J. 55 : 397~398
- 229) VOLDANG.H.D and G.M.SIMPSON (1967) : Can. J. Plant. Sci. 47 : 359~365
- 230) WALPORE.P.K and D.G.MORGAN (1970) : Ann. Bot. 34 : 309~318
- 231) WARDLAW.I.F., D.J.CARR and M.J.ANDERSON (1965) : Aust. J. Agric. Res. 16 : 893~901
- 232) ———— and H.K.PORTER (1967) : Aust. J. Biol. Sci. 20 : 309~318
- 233) ———— (1970) : Aust. J. Biol. Sci. 23 : 765~774
- 234) WARRINGTON.I.J., R.L.DUNSTONE and L.M.GREEN

- (1977) : Aust. J. Agric. Res. 28 : 11~27
- 235) WATANABE. H and S.YOSHIDA (1970) : Soil. Sci. Plant. Nutr. 16 : 163~166
- 236) WATSON.D.J., G.N.THORNE and S.A.W.FRENCH (1958) : Ann. Bot. 22 : 321~351
- 237) WEHRMANN.J and H.C.SCHARPF (1979) : Plant and Soil. 52 : 109~126
- 238) WELBANK.P.J., K.J.WITTS and G.N.THORNE (1968) : Ann. Bot. 32 : 79~95
- 239) ————— .. M.J.GIBB., P.J.TAYLOR and E.D.WILLIAMS (1973) : Rothamsted Report for 1973 part 2.26~66
- 240) WHITE.W.C and J.PESLK (1959) : Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 23 : 39~42
- 241) WIEGAND.C.L and J.A.CUELLAR (1981) : Crop. Sci. 21 : 95~101
- 242) ————— .. A.H.GERBERMANN and J.A.CUELLAR (1981) : Agron. J. 73 : 29~37
- 243) WILLY.R.W. and R.HOLLIDAY (1971) : J. Agric. Sci. Camb. 77 : 453~461
- 244) WIT.C.T DE and H.DJ.VAN HEEMST (1976) : Chemical engineering in a changing world : 125~145
- 245) YAMAGUCHI.J (1978) : J. Fac. Agric. Hokkaido Univ. 59 : 59~129
- 246) 米山 忠克 (1982) : 農及園. 57 : 373~378
- 247) ————— (1982) : 農及園. 57 : 509~515
- 248) YAP.J.C and B.L.HARVEY (1972) : Can. J. Plant. Sci. 52 : 241~246
- 249) YOSHIDA.S (1972) : Ann. Rev. Plant. Physiol 23 : 437~464



①開花期における「ホロシリコムギ」と「チホクコムギ」の葉実の形態比較

improvement achieved in this stage leaves were erected, leaf area of upper leaves and their nitrogen content were increased, resulting in a better shape and function of leaves.

(2) The grain yield increased gradually in stage 1, stayed almost unchanged in stage 2 but again increased sharply in stage 3. The yield increase in stage 3 was caused mainly by decrease of lodging. The slowness of grain yield in stage 2 was due to poor light-intercepting characteristics in ripening period, and in addition to an intensive consumption for stem growth of the assimilation products in this period. The yield increase in stage 3 was attributed to an improvement of the yield-decreasing factors observed in stage 2. This improvement includes an increased number of grains per unit leaf area giving higher grain productivity in an intensive cultivation condition.

(3) The total sugar concentration in the stem increased during a certain period after anthesis, then sharply decreased toward maturing time. When the total sugar concentration during the increase period were compared among varieties from older ones to "Horoshirikomugi", the newer varieties showed a higher concentration. Therefore, it is concluded that the newer varieties increased the soluble carbohydrate storage ability in their stems during ripening period. In "Chihokukomugi", however, the concentration was slightly lower than in "Horoshirikomugi", and a similar tendency was shown also in its succeeding variety, per, as the result, the soluble carbohydrate storage ability almost reached its peak in the case of "Horoshirikomugi". The decrease of the total sugar concentration during latter period of ripening was lowest in "Akasashirazu No.1", an older variety; highest in "Chihokukomugi", and "Horoshirikomugi".

Studies on Nutritional Physiology and Nitrogen-Fertilizer Management of Winter Wheats

by

Kathuaki SHIMONO

Summary

1. Changes of the nutritional physiological characteristics of winter wheats varieties of Hokkaido

(1) The process of variety improvement in the past 59 years can be divided into three stages as follows :

i) Stage 1 : Process from varieties "Akasabishirazu No. 1" to "Mukakomugi". Owing to the variety improvement in this stage, culms were shortened and thickened; lodging resistance was increased; stem growth in the later stage of ripening was inhibited, resulting in a higher Harvest Index(H I).

ii) Stage 2 : Process from varieties "Mukakomugi" to "Horoshirikomugi". The variety improvement in this stage made culms further short , thick and stiff; the lodging resistance and the fertilizer responsiveness were also greatly increased. In "Horoshirikomugi", however, leaves are curved and heavy mutual shading occurs in its crop community.

iii) Stage 3 : Process from varieties "Horoshirikomugi" to "Chihokukomugi". As the results of variety improvement achieved in this stage,leaves were erected; leaf area of upper leaves and their nitrogen content were increased, resulting in a better shape and function of leaves.

(2) The grain yield increased gradually in stage 1, stayed almost unchanged in stage 2 but again increased sharply in stage 3. The yield increase in stage 1 was caused mainly by decrease of lodging. The stagnancy of grain yield in stage 2 was due to poor light-intercepting characteristics in ripening period and, in addition, to an intensive consumption for stem growth, of the assimilation products in this period. The yield increase in stage 3 was attributed to an improvement of the yield-decreasing factors observed in stage 2. This improvement includes an increased number of grains per unit leaf area giving higher grain productivity in an intensive cultivation condition.

(3) The total sugar concentration in the stem increased during a certain period after anthesis, then sharply decreased toward maturing time. When the total sugar concentration during the increase period were compared among varieties from older ones to "Horoshirikomugi", the newer varieties showed a higher concentration. Therefore, it is concluded that the newer varieties increased the soluble carbohydrate storage ability in their stems during ripening period. In "Chihokukomugi", however, the concentration was slightly lower than in "Horoshirikomugi", and a similar tendency was shown also in its succeeding genotypes, as the results, the soluble carbohydrate storage ability almost reached its peak in the case of "Horoshirikomugi". The decrease of the total sugar concentration during latter period of ripening was lowest in "Akasabishirazu No.1", an older variety; highest in "Chihokukomugi"; and "Horoshirikomugi".

"was intermediate between the two varieties, suggesting an increased ability of the newer varieties to release carbohydrates accumulated in the stems.

(4) The stem dry matter weight continued to increase for a certain period even after anthesis had past. The longer increasing period and more weight increment a wheat variety showed, the lower its HI was and, as the results, the less it yielded. In the case of "Horoshirikomugi", its stem has a more dry matter increment and, higher total sugar concentration and higher ability to accumulate assimilation products, but ability to release them is lower, making HI lower. This property is based on its genetic characteristics, not on its culm length.

(5) In the case of varieties other than "Horoshirikomugi", the newer ones show better grain productivity per uptake-nitrogen (Nitrogen Efficiency, NE) and, conversely, lower grain nitrogen concentration. Much energy is necessary for proteins to be synthesized from the nitrogen translocated to the grains, and carbohydrates stored in or translocated to the grains are consumed by respiration. As a result, in the case of varieties having higher grain nitrogen concentration, assimilation products are consumed in large quantities as an energy source when proteins are being synthesized. This is the reason why NE is low and yield is poor in these varieties.

2. Limiting factor of the Ear Growth Rate(EGR) and its inter-variatal difference

(1) The growth of ear after anthesis is divided into 4 stages as follows :

i) Stage 1 : So called lag period, when the growth of ears is not observed at all. The dry matter weight decreases slightly in this stage since the carbohydrates which has been accumulated in the ears before anthesis are consumed by respiration.

ii) Stage 2 : EGR is lower than, or almost similar to, the Crop Growth Rate(CGR). In this stage, the growth of stems competes with that of ears.

iii) Stage 3 : EGR is higher than CGR. In this stage, reserved material in stems and newly-photosynthesized material are translocated to grains.

iv) Stage 4 : The ear weight at the end of the ripening period is almost constant and the nitrogen concentration of ears is sharply increased. In this period, more nitrogen, as compared with carbohydrate, is translocated to ears and is synthesized into proteins bringing about increased energy consumption by respiration.

(2) The shorter period between stage 1 and 2, and the longer period of stage 3 and the higher EGR in stages 2 and 3 a wheat variety gives, the higher it yield. In other words, higher HI and higher yield are given by varieties in which materials reserved before anthesis and photosynthesized after anthesis are efficiently translocated to the grains without competition with the growth of stems. However, in spite of competition with stems, the varieties could be also high-yielding in which leaves are maintained still highly active at the later period of ripening and, grains can be supplied with assimilation products until maturation time draws near.

(3) The period of stage 2 is shortened and EGR is increased under high-temperature and high-solar radiation conditions. And the shading treatment in this stage brings about a marked yield decrease

caused by lower HI because the limited amount of photosynthetic products is consumed by stem growth, rather than by grain growth. Accordingly, high temperature and high solar radiation are desired during the early period of ripening. High temperatures during the other periods, on the other hand, are not necessarily favorable, judging from the responses to temperature, of the yield components such as number of ears, number of kernel per ear and kernel weight.

3. Effective nitrogen—fertilizer management for principal wheat varieties of Hokkaido

(1) The nitrogen uptake by winter wheat is controlled by the amounts of inorganic nitrogen in the soil, regardless of whether it has wintered or not and, when enough nitrogen—fertilizer is applied, the amounts of organic soil nitrogen has no significant effect on the nitrogen uptake.

(2) The $\text{NH}_4\text{-N}$ which has been band—applied to 5~7 cm depth from soil surface in autumn is almost all nitrified within one month and runs off into the lower layer under moist conditions prevailing during the period before or after wintering, resulting in a lowered uptake ratio of applied nitrogen. When a soil surface nitrogen application (broadcasting) is carried out, the salt damage is less severe and germination and initial growth better, in addition, a higher uptake ratio of applied nitrogen is obtained as the restriction of nitrification and downward run—off and the yield is increased 10% higher than when the band—application is done.

(3) It is recommended, in order to obtain a stable grain yield of 4~5t per ha, that a basal application of 40~80kg N per ha be band—applied at sowing and an additional application of 60kg N per ha be applied at flag leaf stage.

(4) Since yield increase can be achieved by additional nitrogen application at raising (immediately after wintering), flag leaf and heading stages, each increasing the number of ears per plant, the number of kernels per ear and kernel weight, and the kernel weight, respectively, the additional application of nitrogen should be applied according to the following standards when a good yield of 5t per ha or more is aimed at :

i) Additional nitrogen application at raising stage : The additional application of nitrogen should not be applied when the weight of total above—ground dry matter after wintering exceeds 1.0t per ha and inorganic nitrogen content in the soil to the depth of 40cm exceeds 150kg N per ha. When both parameters do not exceed the above values, the additional nitrogen application should be applied as early as possible to fill the shortage of inorganic nitrogen content of the soil under the upper limit of 60kg N per ha.

ii) Additional nitrogen application at flag leaf stage : When either of the two parameters does not reach the standard value as described in i) , or the growth is poor in spite of the application of additional nitrogen application at raising stage, additional nitrogen application should be applied in the same manner as described in i)

iii) Additional nitrogen application at flowering stage : When the nitrogen concentration of the flag and the second leaf blade is less than 5.0 and 4.6%, respectively, 3% solution of urea should be foliage—

applied.

(5) The nitrogen–fertilizer application management as described above has been considered for “Horoshirikomugi”. However, it is assumed that the management can equally be applied to short– and stiff–culmed varieties including “Chichokukomugi” for which a planted acreage increase is anticipated.

4. Environmental conditions and nitrogen–fertilizer application management

(1) When the precipitation during the period before wintering (mid–September ~ early–November) exceeds 100mm, the nitrogen which has been applied as basal fertilizer runs off to the lower layer regardless of the application places or soil conditions and, as a results, nitrogen uptake and grain yield are lowerd. The nitrogen uptake and grain yield can be increased even under such conditions if nitrogen is additionally applied after wintering.

(2) When the average temperature during 4–week period before heading is higher than that in an average year (13°C), the vegetative period is shortend, as the results, shortage of dry matter production and of number of ears is caused. Even under this condition, the increase of ear number and grain yield can be achieved, since the additional application of nitrogen at raising stage enhances vegetative growth and dry matter productivity. On the contrary, when the average temperature during 4–week period before heading is lower than that in an average year, the vegetative period is extended and the number of ears is increased. Since, in this case, the additional application of nitrogen at flag leaf and heading stages, enhances the dry matter productivity in and after heading stage, the number of kernels per ear and kernel weihgt are increaced and better yield is achieved.

(3) When water holding capacity and nutrient adsorbing capacity of the soil is poor, fertilizer nitrogen is intensively runned off to the lower layer, even if it is applied on the soil surface, resulting in a lowered nitrogen uptake. In the case of such soil the time of surface nitrogen application should be shifted to the later stage, or additional nitrogen application after wintering is necessary. Also, it should be taken into consideration that the surface–application of nitrogen has only a little fertilizing effect at the initial stage of growth in the case of the soil with high $\text{NH}_4\text{-N}$ adsorbing capacity.